

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIEROS CIVILES**

**TEMA:  
FORMULACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL DISEÑO INTEGRAL DE UNA  
PRESA VERTEDERO ESCALONADA DE HORMIGÓN COMPACTADO.**

**AUTORES:  
DIEGO JOEL LOGACHO DÍAZ  
JOSÉ LUIS OROZCO ORBE**

**TUTOR:  
JORGE IVÁN CALERO HIDALGO**

**Quito, julio del 2020**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Logacho Díaz Diego Joel y Orozco Orbe José Luis, con documento de identificación N° 172053212-4 y 172616248-8 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: FORMULACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL DISEÑO INTEGRAL DE UNA PRESA VERTEDERO ESCALONADA DE HORMIGÓN COMPACTADO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, julio del 2020



---

Diego Joel Logacho Díaz  
CI. 172053212-4



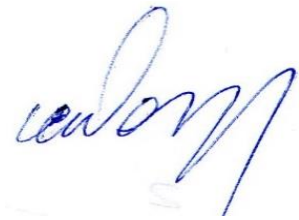
---

José Luis Orozco Orbe  
CI. 172616248-8

## DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, FORMULACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL DISEÑO INTEGRAL DE UNA PRESA VERTEDERO ESCALONADA DE HORMIGÓN COMPACTADO, realizado por Diego Joel Logacho Díaz y José Luis Orozco Orbe, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, julio del 2020



---

Jorge Iván Calero Hidalgo  
180048043-4

## DEDICATORIA

A Dios, por su eterno amor, fidelidad y misericordia que me permitió alcanzar un nuevo peldaño con su guía y favor.

A mis padres, por enseñarme desde niño sus valores para enfrentar la vida y por trasmitirme su amor, esfuerzo y consejos de perseverar hasta alcanzar los objetivos.

A mi esposa, por ser mi ayuda idónea, mi mejor amiga, por creer en mí y haber formado un gran equipo, por ser fuente de mi inspiración y hacerme sentir en todo tiempo que somos una sola carne.

A mi hermana Sandra, por su amor incondicional y su ejemplo de esfuerzo, responsabilidad y trabajo.

A mis hermanos Víctor, Gustavo, por su apoyo, por su preocupación y por sus cuidados en cada instante de mi vida.

A mis sobrinos Mateo, Ariel, Benjamín, Valentina, Estefany y José por ser una fuente de ternura y alegría para mi vida.

A mis tíos Luis, Julita y Lupe por su gran amor, apoyo y oraciones en todo momento.

**Diego Logacho.**



## DEDICATORIA

A Dios, creador que con su bendición fortalece mi fe y me permite seguir adelante.

A mis padres, el sustento de mi vida y de mi amor.

A mi hijo, mi inspiración y la mejor motivación.

A mi hermano, hermana y mis tres hermosos sobrinos, mi amada familia.

A mi novia, que a la distancia el amor une nuestras fuerzas.

**José Luis Orozco.**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darnos la vida y sabiduría para poder culminar con éxito esta etapa universitaria.

A nuestros padres, por su apoyo espiritual, moral y económico además de su ejemplo que nos permitió llegar hasta este momento.

A nuestro tutor, Ing. Iván Calero Hidalgo, quien con sus sólidos conocimientos y amplia experiencia hizo posible culminar este trabajo de titulación; compartiendo su legado y ejemplo que es digno de respeto y admiración.

A nuestros maestros de la Universidad Politécnica Salesiana quienes durante toda la carrera compartieron con dedicación sus conocimientos, sembrando en nosotros las bases para forjarnos como buenos profesionales.

**Logacho & Orozco.**

## ÍNDICE

CAPÍTULO I: VIGENCIA DE LAS PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO (HC).....	1
1.1 Aspectos generales .....	1
1.2 Ventajas del uso del hormigón compactado.....	1
1.3 Experiencias en el diseño y construcción de las presas de hormigón compactado (HC) ...	2
1.4 Datos históricos .....	4
1.5 Primeras experiencias en presas de hormigón compactado (HC) entre 1970 - 1987.....	5
1.6 Conclusiones de las primeras experiencias entre 1970 – 1987 .....	6
1.7 Situación actual de la construcción de presas de hormigón compactado (HC) .....	7
1.8 Las 10 presas más altas de hormigón compactado (HC) .....	8
1.9 Las 10 presas de mayor volumen de hormigón compactado (HC) .....	9
CAPÍTULO II: BASES TEÓRICAS DISPONIBLES .....	10
2.1 Perspectivas de la construcción de presas de hormigón compactado (HC) .....	10
2.1.1 Geometría de la presa.....	10
2.1.2 Geomecánica .....	12
2.1.3 Mecánica de materiales .....	21
2.1.4 Hidromecánica .....	25
2.1.5 Económica.....	31
2.2 Elementos hidromecánicos de una presa de HC con vertido incorporado.....	33
2.2.1 Condiciones hidráulicas de operación de los vertederos con disipación de considerable parte de la energía, en la superficie de vertido escalonada.....	33
2.2.2 Clasificación de las presas vertedero .....	47
2.2.3 Dimensionamiento del perfil práctico tipo Creager .....	50
2.2.4 Dimensionamiento del perfil escalonado.....	57
2.2.5 Características geométricas de los escalones .....	59
2.2.6 Construcción del perfil escalonado .....	62
2.2.7 Deflector tipo esquí.....	63
2.3 Componentes del diseño integral de una presa de hormigón compactado (HC) .....	69
2.3.1 Características del hormigón compactado (HC) .....	69
2.3.2 Características físico – mecánicas del HVC y del HC.....	78

2.3.3	Clasificaciones de las presas de HC dependiendo del contenido de cemento .....	83
2.3.4	Aplicabilidad de las presas de HC en diferentes condiciones climáticas .....	97
2.3.5	Resistencia al corte ( $\tau_h$ ) y calidad de las juntas de construcción en las presas de HC.....	100
2.3.6	Parámetros que intervienen en los indicadores en las juntas del HC.....	104
2.3.7	Elementos constructivos de una presa de hormigón compactado (HC).....	111
2.3.8	Mecanismos para incrementar la estabilidad de la presa de HC.....	117
2.3.9	Mecanismos para disminuir los esfuerzos en la presa de HC .....	123
2.3.10	Optimización del perfil transversal de las presas de HC.....	128
2.3.11	Zonificación del HC en el cuerpo de la presa a gravedad.....	132
2.3.12	Particularidades del fisuramiento o agrietamiento del HC.....	134
2.3.13	Control del agrietamiento.....	137
2.4	Tecnología moderna en la construcción de presas de HC.....	137
2.4.1	Topografía del proyecto con laderas con pendientes bajas y medias .....	137
2.4.2	Topografía del proyecto con laderas con pendientes altas.....	138
2.4.3	Tecnología para el almacenamiento y producción de los agregados .....	140
2.4.4	Control de producción del hormigón compactado (HC).....	141
2.4.5	Tecnología del transporte de hormigón compactado (HC).....	141
2.5	Conclusiones sobre las bases teóricas disponibles.....	144
2.6	Recomendaciones sobre las bases teóricas disponibles .....	147
<b>CAPITULO III: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO PARA DISTINTOS ESCENARIOS DE CARGA .....</b>		<b>150</b>
3.1	Criterios generales.....	150
3.1.1	Criterios geométricos .....	150
3.1.2	Criterios geomecánicos .....	152
3.1.3	Criterios hidráulicos .....	153
3.1.4	Criterio hidromecánico .....	155
3.1.5	Criterio económico.....	155
3.2	Presentación de las alternativas.....	155
3.2.1	Presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC) .....	155
3.2.2	Presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC).....	227

3.3	Criterios generales para realizar el presupuesto referencial.....	247
3.3.1	Precios unitarios.....	247
3.3.2	Presupuesto .....	249
3.4	Criterios generales para realizar el estudio de impacto ambiental.....	249
<b>CAPITULO IV: ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.....</b>		<b>250</b>
4.1	Comparación de las alternativas.....	250
4.2	Presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC).....	251
4.2.1	Presupuesto de la presa vertedero de hormigón compactado .....	265
4.3	Presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC).....	266
4.3.1	Presupuesto referencial de la presa vertedero de hormigón vibrado convencional .	276
4.4	Elección de la alternativa más favorable.....	277
<b>CAPÍTULO V: DISEÑO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA PRESA VERTEDERO ESCALONADA DE HORMIGÓN COMPACTADO .....</b>		<b>278</b>
5.1	Obtención de datos preliminares para el diseño.....	278
5.1.1	Características del embalse .....	278
5.1.2	Cálculo del nivel aguas abajo.....	279
5.2	Diseño de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC).....	279
5.2.1	Perfil teórico triangular .....	279
5.2.2	Perfil hidráulico.....	280
5.2.3	Perfil constructivo .....	280
5.2.4	Análisis de resultados del diseño de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado para combinación básica (B1).....	288
5.2.5	Análisis de resultados del diseño de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado para combinación especial (E1) .....	288
5.2.6	Análisis de resultados del diseño de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado para combinación especial (E2) .....	289
5.3	Solución integral para optimizar el diseño de una presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC) .....	290
5.3.1	Solución integral para optimizar el diseño de una presa vertedero escalonada de HC calculada para combinación básica (B1) .....	290
5.3.2	Solución integral para contrarrestar los esfuerzos de tracción en una presa vertedero escalonada de HC calculada para combinación especial (E1).....	291

5.3.3 Solución integral para contrarrestar los esfuerzos de tracción en una presa vertedero escalonada de HC calculada para combinación especial (E2).....	292
CAPÍTULO VI: IMPACTO AMBIENTAL.....	294
6.1 Factores ambientales que intervienen en la construcción de una obra hidráulica.....	295
CONCLUSIONES .....	297
RECOMENDACIONES.....	302
REFERENCIAS.....	304
ANEXOS .....	310

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Primeras presas de hormigón compactado (HC) en el mundo .....	4
Tabla 1-2. Resultados de los ensayos realizados a la presa Erizana y Santa Eugenia .....	5
Tabla 1-3. Presas más altas del mundo .....	8
Tabla 1-4. Presas de mayor volumen en el mundo .....	9
Tabla 2-1. Tipos de presa respecto al valor de la relación de esbeltez .....	12
Tabla 2-2. Coeficiente de meteorización de la roca .....	14
Tabla 2-3. Módulo de fisuramiento de las rocas .....	15
Tabla 2-4. Parámetros correlacionados de las rocas .....	15
Tabla 2-5. Permeabilidad de las rocas .....	16
Tabla 2-6. Deformabilidad, dureza y velocidad de ondas de la roca .....	18
Tabla 2-7. Módulo de deformación y coeficiente de Poisson de la roca .....	19
Tabla 2-8. Valores de fricción y cohesión de las rocas .....	24
Tabla 2-9. Esfuerzos mínimo y máximo en una presa .....	25
Tabla 2-10. Esfuerzos principal mayor y principal menor .....	25
Tabla 2-11. Nivel de importancia de las presas en función de su altura y macizo de cimentación .....	33
Tabla 2-12. Coordenadas Offizyerov .....	52
Tabla 2-13. Caudal unitario respecto al macizo de cimentación .....	57
Tabla 2-14. Alturas óptimas de escalones en términos de disipación de energía obtenidas de la relación propuesta por (Tozzi, 1992) y (Ohtsu, Yasuda, & Takahashi, 2004). .....	59
Tabla 2-15. Coeficiente de aireación del flujo .....	66
Tabla 2-16. Propuestas para determinar la profundidad de socavación .....	67
Tabla 2-17. Ejemplo #1 según ACI 304R .....	73
Tabla 2-18. Ejemplo #2 según ACI 304R .....	74
Tabla 2-19. Ejemplo #3 según ACI 304R .....	74
Tabla 2-20. Tipos de cemento Portland .....	83
Tabla 2-21. Cementos hidráulicos compuestos .....	83
Tabla 2-22. Cementos hidráulicos por desempeño .....	84
Tabla 2-23. Normativa de cementos a lo largo de la historia .....	84
Tabla 2-24. Clases de puzolana según ASTM C618 (2019) .....	86
Tabla 2-25. Contenido de los componentes de las mezclas hormigón compactado (HC) en 150 presas .....	87
Tabla 2-26. Características del hormigón compactado .....	87
Tabla 2-27. Cantidades de agua y contenido de aire atrapado para el tamaño máximo nominal de los agregados .....	91
Tabla 2-28. Granulometría ideal del agregado grueso .....	93
Tabla 2-29. Límites de gradación del agregado fino .....	93
Tabla 2-30. Resistencia a tracción y porcentaje de fuerza de unión de la junta .....	101
Tabla 2-31. Resistencia al corte en núcleos perforados en presas de HC .....	102

Tabla 2-32. Propiedades térmicas de algunas mezclas de hormigón compactado (HC) .....	136
Tabla 2-33. Producción de HC horaria por tipo de proyecto .....	141
Tabla 2-34. Mecanismo de transporte utilizados y volumen de hormigón compactado (HC) colocados en diferentes proyectos .....	143
Tabla 3-1. Relación de esbeltez para un rango de alturas de presa adoptadas.....	151
Tabla 3-2. Coeficientes de talud típicos en función de la altura de la presa y calidad de la roca .....	152
Tabla 3-3. Rangos adoptados para análisis geomecánico preliminar .....	152
Tabla 3-4. Rangos adoptados para análisis hidráulico preliminar .....	153
Tabla 3-5. Coeficientes de talud $m_1$ , $m_2$ de una presa de HC para $f=0.80$ y $C=400$ KPa .....	159
Tabla 3-6. Coeficientes de talud $m_1$ y $m_2$ de una presas de HC para $f=0.75$ y $C= 250$ KPa .....	160
Tabla 3-7. Coeficientes de talud $m_1$ , $m_2$ de una presa de HC para $f=0.70$ y $C=150$ KPa .....	161
Tabla 3-8. Coeficiente de talud $m_1$ , $m_2$ de una presa de HC para $f=0.65$ y $C=100$ KPa .....	162
Tabla 3-9. Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para presas de HC, asegurando un esfuerzo mínimo igual al 20% de la presión hidrostática .....	163
Tabla 3-10. Cuadro resumen de PTT para presas de HC de altura entre (50 - 120) m.....	165
Tabla 3-11. Análisis del perfil constructivo para una presa de HC de $H_p=50$ m cimentada en ROCA BUENA para combinación B1 .....	168
Tabla 3-12. Análisis del perfil constructivo para una presa de HC de $H_p=60$ m cimentada en ROCA BUENA para combinación B1 .....	170
Tabla 3-13. Análisis del perfil constructivo para una presa de HC de $H_p=70$ m cimentada en ROCA BUENA para combinación (B1).....	172
Tabla 3-14. Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de $H_p=80$ m cimentada en ROCA BUENA para combinación básica (B1).....	174
Tabla 3-15. Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de $H_p=90$ m cimentada en ROCA BUENA para combinación básica (B1).....	176
Tabla 3-16. Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de $H_p=100$ m cimentada en ROCA BUENA para combinación básica (B1) .....	178
Tabla 3-17. Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de $H_p=110$ m cimentada en ROCA BUENA para combinación básica (B1) .....	180
Tabla 3-18. Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de $H_p=120$ m cimentada en ROCA BUENA para combinación básica (B1) .....	182
Tabla 3-19. Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de $H_p=50$ m cimentada en ROCA BUENA para combinación especial (E1) y (E2).....	184
Tabla 3-20. Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de $H_p=60$ m cimentada en ROCA BUENA para combinación especial (E1) y (E2).....	187
Tabla 3-21. Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de $H_p=70$ m cimentada en ROCA BUENA para combinación especial (E1) y (E2).....	190
Tabla 3-22. Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de $H_p=80$ m cimentada en ROCA BUENA para combinación especial (E1) y (E2).....	193



Tabla 3-23. Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de Hp=90 m cimentada en ROCA BUENA para combinación especial (E1) y (E2).....	196
Tabla 3-24. Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de Hp=100 m cimentada en ROCA BUENA para combinación especial (E1) y (E2).....	199
Tabla 3-25. Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de Hp=110 m cimentada en ROCA BUENA para combinación especial (E1) y (E2).....	202
Tabla 3-26. Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de Hp=120 m cimentada en ROCA BUENA para combinación especial (E1) y (E2).....	205
Tabla 3-27. Análisis hidráulico para una presa de HC de 50 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad.....	211
Tabla 3-28. Análisis hidráulico para una presa de HC de 60 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad.....	213
Tabla 3-29. Análisis hidráulico para una presa de HC de 70 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad.....	215
Tabla 3-30. Análisis hidráulico para una presa de HC de 80 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad.....	217
Tabla 3-31. Análisis hidráulico para una presa de HC de 90 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad.....	219
Tabla 3-32. Análisis hidráulico para una presa de HC de 100 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad.....	221
Tabla 3-33. Análisis hidráulico para una presa de HC de 110 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad.....	223
Tabla 3-34. Análisis hidráulico para una presa de HC de 120 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad.....	225
Tabla 3-35. Coeficientes de talud m1 y m2 para presas de HVC para f=0.80 y C=400 KPa....	230
Tabla 3-36. Coeficientes de talud m1, m2 para presas de HVC para f=0.75 y C=250KPa.....	230
Tabla 3-37. Coeficientes de talud m1, m2 para presas de HVC para f=0.70 y C=150KPa.....	231
Tabla 3-38. Coeficientes de talud m1, m2 para presas de HVC para f=0.65 y C=100KPa.....	231
Tabla 3-39. Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para presas de HVC .....	232
Tabla 3-40. Resumen de la obtención del perfil teórico triangular para presas de HVC para alturas de presa entre (50 - 120) m .....	234
Tabla 3-41. Análisis hidráulico para una presa de HVC de 50 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad.....	239
Tabla 3-42. Análisis hidráulico para una presa de HVC de 60 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad.....	240
Tabla 3-43. Análisis hidráulico para una presa de HVC de 70 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad.....	241
Tabla 3-44. Análisis hidráulico para una presa de HVC de 80 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad.....	242

Tabla 3-45. Análisis hidráulico para una presa de HVC de 90 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad .....	243
Tabla 3-46. Análisis hidráulico para una presa de HVC de 100 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad .....	244
Tabla 3-47. Análisis hidráulico para una presa de HVC de 110 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad .....	245
Tabla 3-48. Análisis hidráulico para una presa de HVC de 120 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad .....	246
Tabla 3-49. Rubros referenciales para una presa vertedero de hormigón compactado (HC) ....	247
Tabla 4-1. Datos preliminares para realizar el análisis técnico - económico de las alternativas .....	250
Tabla 4-2. Resumen de la iteración del parámetro $\eta$ .....	252
Tabla 4-3. Perfil teórico triangular que cumple la condición $(0.20 \cdot \gamma_o \cdot H_p)$ .....	253
Tabla 4-4. Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para el PTT de una presa de HC .....	254
Tabla 4-5. Datos preliminares para el perfil constructivo de la presa de HC .....	255
Tabla 4-6. Datos iniciales para realizar el dimensionamiento del perfil constructivo de la presa vertedero escalonada de HC para combinación básica (B1) .....	257
Tabla 4-7. Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para el perfil constructivo de una presa de HC para combinación básica (B1) .....	258
Tabla 4-8. Datos iniciales para realizar el dimensionamiento del perfil constructivo de la presa vertedero escalonada de HC para combinación especial (E1) y (E2) .....	259
Tabla 4-9. Verificación del perfil constructivo de una presa de HC para combinación especial (E1) .....	261
Tabla 4-10. Verificación del perfil constructivo de una presa de HC para combinación especial (E2) .....	262
Tabla 4-11. Presupuesto referencial de la presa vertedero de hormigón compactado .....	265
Tabla 4-12. Datos preliminares para la obtención del PTT de una presa de HVC .....	267
Tabla 4-13. Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para el PTT de una presa de HVC .....	269
Tabla 4-14. Datos preliminares para en análisis del perfil constructivo de una presa de HVC. 270	
Tabla 4-15. Dimensionamiento del pozo de disipación .....	272
Tabla 4-16. Datos iniciales para el análisis del perfil constructivo de la presa de HVC para combinación básica (B1) .....	273
Tabla 4-17. Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para el perfil constructivo de una presa de HVC .....	275
Tabla 4-18. Presupuesto referencial de la presa vertedero de hormigón vibrado convencional 276	
Tabla 4-19. Análisis económico de las alternativas formuladas para un metro de ancho .....	277
Tabla 5-1. Resultados finales del perfil teórico triangular para una presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC) .....	280

Tabla 5-2. Perfil constructivo calculado de la presa vertedero escalonada de HC .....	281
Tabla 5-3. Datos preliminares para el cálculo del perfil escalonado de la presa de HC.....	282
Tabla 5-4. Análisis de resultados para las condiciones de flujo rasante .....	284
Tabla 5-5. Parámetros iniciales para el diseño del deflector tipo esquí.....	285
Tabla 5-6. Parámetros iniciales para el diseño del pozo de socavación .....	287
Tabla 5-7. Solución para optimizar el diseño de una presa vertedero escalonada de HC para combinación básica B1 .....	291
Tabla 5-8. Solución para contrarrestar los esfuerzos de tracción en una presa vertedero escalonada de HC para combinación especial E1 .....	292
Tabla 5-9. Solución para contrarrestar los esfuerzos de tracción en una presa vertedero escalonada de HC para combinación especial E2 .....	293
Tabla 6-1. Factores ambientales que intervienen en la construcción de una obra hidráulica....	295

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Estadística de la construcción de las presas de hormigón compactado (HC) por país	7
Figura 1-2. Porcentaje de la construcción de las presas de hormigón compactado (HC) por país.	7
Figura 2-1. Relación de esbeltez de la presa.....	11
Figura 2-2. Medidas para mitigar los efectos del agua de filtración.....	17
Figura 2-3. Cortina y drenaje vertical.....	17
Figura 2-4. Fuerzas que actúan sobre el perfil teórico triangular.....	23
Figura 2-5. Fuerza de gravedad.....	26
Figura 2-6. Fuerza de presión hidrostática.....	27
Figura 2-7. Fuerza de empuje de sedimentos.....	27
Figura 2-8. Fuerza de presión de oleaje.....	28
Figura 2-9. Fuerza de subpresión.....	29
Figura 2-10. Fuerzas inerciales sísmicas en el cuerpo de la presa.....	30
Figura 2-11. Fuerzas inerciales sísmicas en el agua.....	31
Figura 2-12. Flujo escalón a escalón (a).....	34
Figura 2-13. Flujo escalón a escalón (b).....	35
Figura 2-14. Flujo escalón a escalón (c).....	35
Figura 2-15. Regímenes de flujo en un vertedero escalonado.....	37
Figura 2-16. Flujo de transición (a).....	38
Figura 2-17. Flujo de transición (b).....	39
Figura 2-18. Flujo rasante (a).....	40
Figura 2-19. Flujo rasante (b).....	40
Figura 2-20. Flujo rasante (c).....	41
Figura 2-21. Comportamiento del flujo a lo largo del vertedero escalonado.....	42
Figura 2-22. Presa vertedero (1).....	48
Figura 2-23. Presa vertedero con enlace liso.....	49
Figura 2-24. Presa vertedero con escalón bajo.....	49
Figura 2-25. Presa vertedero con escalón alto.....	50
Figura 2-26. Perfil hidráulico tipo Creager.....	51
Figura 2-27. Vertedero de pared delgada.....	51
Figura 2-28. Alternativa para formar el perfil según USACE.....	54
Figura 2-29. Superposición del perfil hidráulico con el perfil teórico triangular.....	55
Figura 2-30. Enlace del perfil Creager con el fondo del cauce.....	55
Figura 2-31. Radio de enlace.....	56
Figura 2-32. Geometría del escalón.....	57
Figura 2-33. Características geométricas de los escalones.....	60
Figura 2-34. Construcción del perfil escalonado en el paramento aguas abajo.....	62
Figura 2-35. Vertedero tipo esquí Presa L'aigle, Francia.....	64
Figura 2-36. Parámetros que intervienen en el diseño del deflector tipo esquí.....	69
Figura 2-37. Proporción de la mezcla en algunas presas de hormigón compactado (HC).....	70

Figura 2-38. Combinación de agregados en varios proyectos de USA .....	73
Figura 2-39. Consistómetro Vebe .....	75
Figura 2-40. Contenido de cemento equivalente versus resistencia a la compresión .....	90
Figura 2-41. Contenido de cemento vs resistencia a compresión; datos promedios para HC con puzolana .....	92
Figura 2-42. Contenido de cemento vs resistencia a compresión; datos promedios para HC sin puzolana .....	92
Figura 2-43. Relación entre el contenido de agua y la resistencia a la compresión de HC .....	96
Figura 2-44. Insertado de junta, presa Miel I, Colombia. ....	108
Figura 2-45. Tratamiento de una junta de elevación, presa Miel I, Colombia. ....	111
Figura 2-46. Elementos constructivos de una presa de HC .....	112
Figura 2-47. Elementos constructivos de una presa de HC .....	113
Figura 2-48. Galerías longitudinales.....	114
Figura 2-49. Geometría de la cuneta.....	115
Figura 2-50. Espesor y sellado de las juntas de deformación .....	116
Figura 2-51. Drenaje en la base de la presa y diagrama de subpresión .....	119
Figura 2-52. Tratamiento de consolidación .....	120
Figura 2-53. Tratamiento de impermeabilización, sección transversal y frontal.....	121
Figura 2-54. Perforaciones para construir la cortina de impermeabilización .....	121
Figura 2-55. Mecanismos para disminuir los esfuerzos en una presa de HC .....	123
Figura 2-56. Perfil teórico triangular .....	125
Figura 2-57. Resultados obtenidos de la propuesta de perfil con paramentos simétricos y perfil con paramentos cercano a lo vertical.....	125
Figura 2-58. Fuerzas actuantes en el perfil teórico triangular .....	129
Figura 2-59. Superposición del perfil teórico triangular con la curva para obtener el perfil constructivo.....	130
Figura 2-60. Fuerzas actuantes en una presa vertedero de HC .....	130
Figura 2-61. Verificación del perfil constructivo para combinación básica. ....	131
Figura 2-62. Esfuerzos a diferentes cotas de la presa .....	131
Figura 2-63. Análisis a diferentes alturas tomadas desde la cresta hacia abajo.....	132
Figura 2-64. Esfuerzos actuantes al pie de los paramentos de la presa .....	132
Figura 2-65. Zonificación del hormigón compactado en el cuerpo de la presa a gravedad (a) ..	133
Figura 2-66. Zonificación del hormigón compactado en el cuerpo de la presa a gravedad (b)..	133
Figura 2-67. Zonificación del hormigón compactado en el cuerpo de la presa a gravedad (c) ..	134
Figura 2-68. Zonificación del hormigón compactado en el cuerpo de la presa a gravedad (d)..	134
Figura 2-69. Maquinaria utilizada para la construcción de la presa Batu Hampar, Malasia. ....	138
Figura 2-70. Planta móvil de concreto utilizada en la construcción de la presa El Realito, Guanajuato, México.....	140
Figura 3-1. Programa de cálculo para obtener el PTT de una presa de HC.....	157
Figura 3-2. PTT de una presa de HC en base a $m_1+m_2$ , $H_p$ , $n$ para $f=0.80$ y $C=400$ KPa .....	159

Figura 3-3. PTT de una presa de HC en base a $m_1+m_2$ , $H_p$ , $n$ para $f=0.75$ y $C=250$ KPa .....	160
Figura 3-4. PTT de una presa de HC en base a $m_1+m_2$ , $H_p$ , $n$ para $f=0.70$ y $C=150$ KPa .....	161
Figura 3-5. PTT de una presa de HC en base a $m_1+m_2$ , $H_p$ , $n$ para $f=0.65$ y $C=100$ KPa .....	162
Figura 3-6. Perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de $H_p= 50m$ .....	169
Figura 3-7. Perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de $H_p= 60m$ .....	171
Figura 3-8. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de $H_p= 70m$ .....	173
Figura 3-9. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de $H_p= 80m$ .....	175
Figura 3-10. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de $H_p= 90m$ .....	177
Figura 3-11. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de $H_p= 100m$ .....	179
Figura 3-12. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de $H_p= 110m$ .....	181
Figura 3-13. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de $H_p= 120m$ .....	183
Figura 3-14. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de $H_p= 50m$ .....	185
Figura 3-15. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de $H_p= 50m$ .....	186
Figura 3-16. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de $H_p= 60m$ .....	188
Figura 3-17. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de $H_p= 60m$ .....	189
Figura 3-18. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de $H_p= 70m$ .....	191
Figura 3-19. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de $H_p= 70m$ . .....	192
Figura 3-20. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de $H_p= 80m$ . .....	194
Figura 3-21. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de $H_p= 80m$ . .....	195
Figura 3-22. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de $H_p= 90m$ . .....	197
Figura 3-23. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de $H_p= 90m$ . .....	198
Figura 3-24. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de $H_p= 100m$ . .....	200

Figura 3-25. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de $H_p=100\text{m}$ .	201
Figura 3-26. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de $H_p=110\text{m}$ .	203
Figura 3-27. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de $H_p=110\text{m}$ .	204
Figura 3-28. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de $H_p=120\text{m}$ .	206
Figura 3-29. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de $H_p=120\text{m}$ .	207
Figura 3-30. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 50 m, $m_2=0.72$	212
Figura 3-31. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 60 m, $m_2=0.70$	214
Figura 3-32. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 70 m, $m_2=0.69$	216
Figura 3-33. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 80 m, $m_2=0.68$	218
Figura 3-34. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 90 m, $m_2=0.67$	220
Figura 3-35. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 100 m, $m_2=0.66$	222
Figura 3-36. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 110 m, $m_2=0.66$	224
Figura 3-37. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 120 m, $m_2=0.65$	226
Figura 3-38. Programa de cálculo para obtener el PTT de una presa de HVC	228
Figura 3-39. Obtención del perfil teórico triangular para presas de HVC con base en $\xi$ , $f$ , $m_1$ , $m_2$	236
Figura 4-1. Perfil teórico triangular para una presa de HC	253
Figura 4-2. Fuerzas actuantes para el cálculo del perfil teórico triangular	253
Figura 4-3. Perfil hidráulico construido con las coordenadas Offizeyerov para una presa de HC	255
Figura 4-4. Fuerzas actuantes para el cálculo del perfil constructivo de la presa de HC para combinación B1	258
Figura 4-5. Fuerzas actuantes para el cálculo del perfil constructivo de la presa de HC para combinación (E1)	262
Figura 4-6. Fuerzas actuantes para el cálculo del perfil constructivo de la presa de HC para combinación E2	263
Figura 4-7. Perfil teórico triangular para una presa de HVC	268

Figura 4-8. Fuerzas actuantes para el cálculo del perfil teórico triangular .....	268
Figura 4-9. Perfil hidráulico construida con las coordenadas Offizeyerov para una presa de HVC .....	270
Figura 4-10. Fuerzas actuantes para el cálculo del perfil constructivo de la presa de HVC .....	274



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis hidráulico para presas de HC para roca de mala calidad $f = 0.65$ y $C=100\text{KPa}$ .....	310
Anexo 2. Análisis hidráulico para presas de HVC para roca de mala calidad $f = 0.65$ y $C=100\text{KPa}$ .....	318
Anexo 3. Diseño preliminar del perfil teórico triangular para una presa de HC .....	326
Anexo 4. Diseño del perfil constructivo de la presa vertedero escalonada de HC para combinación básica B1, especial E1 y especial E2 .....	330
Anexo 5. Diseño preliminar del perfil teórico triangular de una presa de hormigón vibrado convencional (HVC) .....	340
Anexo 6. Diseño del perfil constructivo de la presa de HVC .....	344
Anexo 7. Diseño del perfil escalonado de hormigón compactado (HC) .....	351
Anexo 8. Diseño del deflector tipo esquí y pozo de socavación de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC).....	357

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación comprende una investigación de presas de hormigón compactado que permite formular los componentes de diseño partiendo de un universo de caudales unitarios y alturas de presa, analizadas con base en criterios: geométricos, geomecánicos, hidráulicos e hidrodinámicos; con la finalidad de obtener una presa que sea económica y segura.

Principalmente se conocieron las experiencias en el mundo durante la etapa de diseño y ejecución de la obra, implícitamente explorando las características del hormigón compactado y las perspectivas de la construcción de presas con esta alternativa; se analizó las condiciones hidráulicas de operación de los vertederos que permiten la disipación de considerable parte de la energía en superficies de vertido escalonada, realizando el dimensionamiento hidráulico de los escalones para distintos caudales unitarios. En el estudio se asumió que el macizo de cimentación es roca, lo que permitió realizar la optimización del perfil transversal de la presa, diseñando un perfil teórico triangular que presente adecuada estabilidad al deslizamiento por el método empírico y un método propuesto en la investigación para presas de hormigón compactado. Para el análisis de verificación de resistencias se adoptó el esfuerzo mínimo del 20% de la presión hidrostática como condición de diseño, con el fin de salvaguardar el correcto funcionamiento a compresión de las juntas del hormigón compactado. Dentro del análisis de las juntas en las capas del hormigón compactado se presentan valores de resistencia al corte, así como también métodos para el incremento de la estabilidad y la disminución de esfuerzos, principalmente en el paramento aguas arriba. Se halló que la tecnología de transportación de hormigón compactado influye en los tiempos y volúmenes de colocado dependiendo de la topografía del sitio del proyecto. Finalmente se realizó la comparación técnico – económica con una presa de hormigón vibrado convencional con condiciones semejantes a la presa de hormigón compactado.

## ABSTRACT

The present degree work includes an investigation of compacted concrete dams that allows the design components to be formulated based on a universe of unit flows and dam heights, analyzed based on criteria: geometric, geomechanical, hydraulic and hydrodynamic; in order to obtain a dam that is economical and safe.

Mainly the experiences in the world were known during the design and execution stage of the work, implicitly exploring the characteristics of compacted concrete and the prospects of dam construction with this alternative; The hydraulic operating conditions of the landfills that allow the dissipation of considerable part of the energy in staggered discharge surfaces were analyzed, making the hydraulic dimensioning of the steps for different unit flows. In the study it was assumed that the foundation massif is rock, which allowed optimizing the dam's transverse profile, designing a triangular theoretical profile that presents adequate sliding stability by the empirical method and a method proposed in research for dams of compacted concrete. For the analysis of resistance verification, the minimum effort of 20% of the hydrostatic pressure was adopted as a design condition, in order to safeguard the correct compression operation of the compacted concrete joints. Within the analysis of the joints in the layers of compacted concrete, shear resistance values are presented, as well as methods for increasing stability and reducing stresses, mainly in the upstream face. Compacted concrete transportation technology was found to influence placement times and volumes depending on the topography of the project site. Finally, the technical-economic comparison was made with a conventional vibrated concrete dam with conditions similar to the compacted concrete dam.

## INTRODUCCIÓN

La gran variedad de necesidades existentes en el continuo desarrollo de la sociedad ha hecho que el manejo de los recursos naturales converja con innovadoras ideas adaptadas a diversas culturas. La Ingeniería Hidráulica es una noble profesión que ayuda a transformar en realidad los sueños de la sociedad para habitar en un mundo mejor. Esta visión ha permitido que los ingenieros hidráulicos interactúen con los científicos naturales y sociales de campos como la geología, geografía, economía, biología de la pesca, ecología y sociología. Con el vertiginoso crecimiento de las metrópolis y un enfoque en el cambio de la matriz productiva la construcción de presas de hormigón a gravedad en el Ecuador ha tenido una notable evolución durante la última década, entre los objetivos estaba el convertir a esta nación en exportadora de energía eléctrica a través de la explotación sostenible de los cauces naturales. Por lo tanto, se puede identificar dos tipos de construcción de presas de hormigón a gravedad, la más común y utilizada es con hormigón vibrado convencional (HVC) que requiere técnicas constructivas más especializadas, relativamente costosas, tiene resistencia subutilizada en los casos de presas pequeñas y medianas, pero son prácticamente irremplazables en los tramos de disipación de energía al pie de una presa vertedero convencional; mientras que la alternativa con hormigón compactado (HC) plantea importantes ventajas como un costo más reducido, mayor velocidad de construcción y menor impacto ambiental utilizando equipos y maquinaria prácticamente similares que para la construcción presas de material de lugar. Una desventaja importante es la dificultad de su uso en el tramo de disipación al pie de un perfil convencional de vertido (tipo Creager), sin embargo, esta desventaja puede ser superada proponiendo una adecuada zonificación del hormigón compactado (HC) en la presa y a través de una solución hidráulica, consistente en reemplazar el perfil Creager por un perfil escalonado que transforma substancialmente las condiciones de disipación de la energía.

Actualmente en el Ecuador la mayoría de las presas vertedero son de hormigón vibrado convencional, debido a la falta de investigación que detalle la formulación de los componentes del diseño integral de una presa vertedero escalonada de hormigón compactado, misma que en la práctica y con base en la experiencia de otros países, ha demostrado, en muchos casos, ser más eficiente. El desarrollo que ha tenido el hormigón compactado con rodillo en la última década es debido a los menores costos de construcción, al desarrollo de equipos de mezclado, transporte, compactación y al uso de conglomerantes de bajo calor de hidratación que han permitido un avance significativo de la técnica, resolviendo en gran medida los problemas que presentaban la construcción de presas en hormigón convencional o en materiales sueltos. Por tanto, se identifica que es necesario que en nuestra nación se desarrolle una investigación más detallada sobre esta alternativa, para el adecuado diseño de una presa de hormigón compactado con vertedero escalonado, formulando de manera integral sus componentes necesarios, de tal manera que pueda satisfacer los requerimientos del diseñador con el uso de tecnología moderna en cada etapa de su ejecución y permitiendo una optimización de recursos.

## **Objetivos**

### **General:**

Formular los componentes del diseño integral de una presa de hormigón compactado con vertedero escalonado, considerando los componentes hidromecánicos, geo-mecánicos y de mecánica de materiales para diferentes magnitudes de caudal unitario entre 30-100 (m<sup>3</sup>/s/m), así como el uso de nuevas tecnologías con el fin de poseer información actual y clara, que incentive su conocimiento y aplicación.

### **Específicos:**

- Analizar la vigencia de las presas de hormigón compactado, a través de experiencias, perspectivas de diseño y construcción, y características del hormigón compactado.
- Formular los criterios hidromecánicos para el diseño de una presa de hormigón compactado con vertido incorporado basados en la capacidad para evacuar diversos caudales unitarios.
- Analizar los criterios geo-mecánicos de las presas de hormigón compactado cimentadas en roca, semiroca o en suelo proponiendo mecanismos para verificar la interacción suelo - estructura, asegurando las condiciones de estabilidad y de resistencia del macizo de cimentación.
- Analizar las características mecánicas del hormigón compactado, en relación a las solicitaciones a las que está sometida una presa de hormigón a gravedad con vertido incorporado.
- Estimar rangos aproximado de la altura de las presas de hormigón compactado de diferente calidad, dentro de los cuales se cumplen las condiciones de resistencia.
- Analizar el uso de tecnologías modernas en la construcción de presas de hormigón compactado.
- Realizar una comparación técnico – económica entre la presa de hormigón compactado y la presa de hormigón convencional para condiciones físicas similares de implantación.

## Glosario de Abreviaturas

<b>Simbología</b>	<b>Significado</b>	<b>Unidad</b>
<b>a</b>	Distancia desde el paramento aguas abajo hasta el eje de la cortina de impermeabilización	m
<b>a<sub>3</sub></b>	Componente horizontal de los sedimentos	m
<b>Ap</b>	Área de la presa, obtenido mediante AutoCAD	m <sup>2</sup>
<b>APT</b>	Área del perfil teórico triangular	m <sup>2</sup>
<b>B</b>	Frente del vertedero	m
<b>b<sub>dent</sub></b>	Ancho del dentellón	m
<b>b<sub>máx</sub></b>	Base máxima de la presa, en función de la esbeltez	m
<b>B<sub>mayor</sub></b>	Base mayor del trapecio para la presión hidrostática PH1	m
<b>B<sub>menor</sub></b>	Base menor del trapecio para la presión hidrostática PH2	m
<b>b<sub>mín</sub></b>	Base mínima de la presa, en función de la esbeltez	m
<b>b<sub>o</sub></b>	Ancho de la cresta de la presa	m
<b>b<sub>PCO</sub></b>	Base del perfil constructivo, obtenido del AutoCAD	m
<b>b<sub>pozo</sub></b>	Base del pozo de socavación	m
<b>b<sub>PTT</sub></b>	Base del perfil teórico preliminar	m
<b>C</b>	Cohesión de la roca	KPa
<b>C<sub>e</sub></b>	Factor que depende de la carga de agua y del periodo de vibración de la roca	
<b>C<sub>s</sub></b>	Altura de la presa igual a NNE	M
<b>d<sub>90%</sub></b>	Diámetro de las partículas en la zona de impacto del chorro	mm
<b>E</b>	Energía estática específica	m
<b>e</b>	Excentricidad	m
<b>E<sub>H</sub></b>	Módulo de elasticidad del hormigón	GPa
<b>E<sub>o</sub></b>	Energía específica total	m
<b>f</b>	Coefficiente de fricción de la roca	
<b>f</b>	Factor de fricción para flujo aireado igual a 0.11	
<b>f'c</b>	Resistencia a compresión del hormigón	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Fr</b>	Número de Fraude	
<b>FSD</b>	Factor de Seguridad al deslizamiento	
<b>FSD<sub>per</sub></b>	Factor de seguridad al deslizamiento permisible	
<b>g</b>	Aceleración de la gravedad	m/s <sup>2</sup>
<b>G</b>	Fuerza de gravedad	KN
<b>Y<sub>H</sub></b>	Peso específico del hormigón	KN/m <sup>3</sup>

<b>Y<sub>o</sub></b>	Peso específico del agua	KN/m <sup>3</sup>
<b>G<sub>s</sub></b>	Fuerza inercial sísmica horizontal en el cuerpo de la presa	KN
<b>Y<sub>sum.sed</sub></b>	Peso específico saturado de los sedimentos	KN/m <sup>3</sup>
<b>Y<sub>ssed</sub></b>	Peso específico seco de los sedimentos	KN/m <sup>3</sup>
<b>H</b>	Carga sobre el vertedero sin incluir la carga por velocidad	m
<b>h</b>	Altura del escalón	m
<b>h'</b>	Primera conjugada	m
<b>h''</b>	Segunda conjugada	m
<b>H<sub>o</sub></b>	Carga sobre el vertedero considerando velocidad	m
<b>h<sub>asum</sub></b>	Altura de escalón asumida	m
<b>h<sub>2</sub></b>	Profundidad aguas abajo	m
<b>h<sub>2</sub> + z<sub>2</sub></b>	Altura del deflector tipo esquí	m
<b>h<sub>c</sub></b>	Profundidad contraída	m
<b>h<sub>cor</sub></b>	Profundidad de la cortina de impermeabilización	m
<b>h<sub>cr</sub></b>	Profundidad crítica	m
<b>h<sub>dent</sub></b>	Profundidad del dentellón	m
<b>h<sub>dren</sub></b>	Profundidad del drenaje vertical	m
<b>h<sub>opt</sub></b>	Altura óptima del escalón	m
<b>H<sub>máx</sub></b>	Carga total máxima para calcular la disipación de energía	m
<b>h<sub>ola</sub></b>	Altura de la ola	m
<b>h<sub>ola</sub>/λ</b>	Relación para obtener K <sub>p</sub> ,K <sub>m</sub>	
<b>H<sub>p</sub></b>	Altura de presa	m
<b>h<sub>rec</sub></b>	Altura de escalón recomendada	m
<b>H<sub>res</sub></b>	Profundidad residual o energía remanente	m
<b>h<sub>s</sub></b>	Profundidad de sedimentos	m
<b>h<sub>soc</sub></b>	Profundidad de socavación	m
<b>h<sub>Smáx</sub></b>	Profundidad máxima de socavación	m
<b>J<sub>perm</sub></b>	Gradiente permisible del flujo filtración	
<b>k</b>	Coefficiente de desprendimiento del flujo	
<b>k<sub>α</sub></b>	Coefficiente de reducción de flujo	
<b>k<sub>a</sub></b>	Coefficiente de aireación de flujo	
<b>K<sub>m</sub></b>	Coefficiente para determinar el momento generado por la presión de ola	
<b>K<sub>p</sub></b>	Coefficiente para determinar la presión de ola	
<b>k<sub>s</sub></b>	Rugosidad de forma	mm



<b>L</b>	Distancia horizontal desde el pie de la presa hasta el inicio del pozo de socavación	m
<b>l</b>	Longitud de escalón	m
<b>L<sub>i</sub></b>	Longitud desde la cresta hasta el punto de inyección	m
<b>L<sub>p</sub></b>	Longitud del pozo de disipación	m
<b>L<sub>r</sub></b>	Longitud del resalto hidráulico	m
<b>L<sub>v</sub></b>	Longitud de vuelo del chorro	m
<b>m<sub>1</sub></b>	Coefficiente de talud aguas arriba	
<b>m<sub>1</sub>+m<sub>2</sub></b>	Sumatoria de los coeficientes m <sub>1</sub> y m <sub>2</sub>	
<b>m<sub>1pozo</sub></b>	Coefficiente de talud al ingreso del pozo de socavación	-
<b>m<sub>2</sub></b>	Coefficiente de talud aguas abajo	
<b>m<sub>2pozo</sub></b>	Coefficiente de talud a la salida del pozo de socavación	-
<b>M<sub>ola</sub></b>	Momento de presión de oleaje	KN*m
<b>n</b>	Porosidad de los sedimentos	
<b>NFE</b>	Nivel forzado de embalse	m.s.n.m
<b>NME</b>	Nivel muerto de embalse	m.s.n.m
<b>NNE</b>	Nivel normal de embalse	m.s.n.m
<b>P<sub>H1</sub></b>	Fuerza de presión hidrostática horizontal aguas arriba	KN
<b>P<sub>H2</sub></b>	Fuerza de presión hidrostática horizontal aguas abajo	KN
<b>P<sub>HS</sub></b>	Fuerza de presión de sedimentos horizontal aguas arriba	KN
<b>P<sub>HSISMO</sub></b>	Fuerza inercial horizontal sísmica en el agua del embalse	KN
<b>P<sub>ola</sub></b>	Presión de ola	KN
<b>P<sub>SSISMO</sub></b>	Fuerza de inercial sísmica en los sedimentos	KN
<b>P<sub>v1</sub></b>	Fuerza de presión hidrostática vertical aguas arriba	KN
<b>P<sub>v2</sub></b>	Fuerza de presión hidrostática vertical sobre paramento aguas abajo	KN
<b>P<sub>vs</sub></b>	Fuerza de presión de sedimentos vertical aguas arriba	KN
<b>P<sub>VSISMO</sub></b>	Fuerza inercial vertical sísmica en el agua del embalse	KN
<b>q</b>	Caudal unitario	m <sup>3</sup> /s/m
<b>R</b>	Radio de curvatura del deflector tipo esquí	m
<b>t<sub>c</sub></b>	Periodo de vibración	segundos
<b>t<sub>p</sub></b>	Profundidad del pozo de disipación	m
<b>U<sub>w</sub></b>	Velocidad de flujo al pie del paramento aguas abajo	m/s
<b>V</b>	Velocidad	m/s
<b>V<sub>hc</sub></b>	Velocidad en la sección contraída aguas abajo	m/s
<b>V<sub>esq</sub></b>	Velocidad del flujo a la salida del deflector tipo esquí	m/s

---

$v_o$	Velocidad de acercamiento	m/s
$V_v$	Velocidad del viento	m/s
$W$	Fuerza de supresión	KN
$x, y$	Brazo de momento	m
$y_i$	Profundidad de la lámina de agua en el punto de inepción	m
$z$	Diferencia de niveles de agua	m
$z_2$	Distancia vertical entre la profundidad aguas abajo y el eje del chorro	m
$z_s$	Distancia vertical entre la profundidad aguas abajo y la punta del deflector	m
$Z_{SISMO}$	Coeficiente de zona sísmica	
$\alpha$	Angulo de inclinación de ingreso al chorro	°
$A$	Ángulo entre la horizontal y el paramento aguas arriba	°
$\alpha_H$	Coeficiente sísmico horizontal	
$\beta$	Angulo de salida del chorro en el deflector	°
$\beta_{m\acute{a}x}$	Valor máximo de esbeltez para una presa de hormigón	
$\beta_{m\acute{i}n}$	Valor mínimo de esbeltez para una presa de hormigón	
$\delta_{cor}$	Espesor de la cortina de impermeabilización	m
$\Delta e$	Diferencia de carga entre $H_{m\acute{a}x}$ y $H_{res}$	m
$\varepsilon$	Parámetro para cortina y drenaje igual a 0.37	
$\eta$	Parámetro que define la ubicación del vértice superior del PTT	
$\theta$	Ángulo de inclinación del perfil escalonado	°
$\lambda$	Longitud de la ola	M
$\lambda/H_{libre}$	Relación para obtener $K_p, K_m$	
$\xi_{sed}$	Coeficiente de empuje de sedimentos	
$\Sigma M_o$	Sumatoria de momentos	KN*m
$\Sigma N$	Sumatoria de fuerzas normales	KN
$\Sigma T$	Sumatoria de fuerzas deslizantes	KN
$\sigma_y'$	Esfuerzo mínimo al pie del paramento aguas arriba	KN/m <sup>2</sup>
$\sigma_y''$	Esfuerzo máximo al pie del paramento aguas abajo	KN/m <sup>2</sup>
$\phi_c$	Ángulo de fricción interna del macizo de cimentación	°
$\phi_{sed}$	Ángulo de fricción interna de los sedimentos	°
$\Psi$	Ángulo complementario con la vertical en el paramento aguas arriba	°

---

## **CAPÍTULO I**

### **VIGENCIA DE LAS PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO (HC)**

#### **1.1 Aspectos generales**

El desarrollo del hormigón compactado en la última década ha sido vertiginoso, debido a los menores costos de construcción, el perfeccionamiento de equipos de mezclado, transporte, compactación y al uso de conglomerantes de bajo calor de hidratación; los mismos que permitieron un avance significativo de la técnica resolviendo en gran medida los problemas que presentaba la construcción de presas en hormigón convencional o en materiales sueltos.

La formulación de las bases teóricas para la construcción de una presa requiere de una adecuada investigación de los aspectos hidromecánicos, geomecánicos y de la mecánica de materiales asegurando la integridad de los proyectos. Desde el punto de vista económico esta técnica mejoró notablemente los tiempos y costos de la obra. Sus deficiencias para obras de disipación pueden ser superadas, en muchos casos, a través de una conocida solución hidráulica que evita la acumulación de la energía cinética: la rápida escalonada, complementada con un deflector tipo esquí.

#### **1.2 Ventajas del uso del hormigón compactado**

- Las ventajas respecto al costo dependen de la complicación del proyecto, por lo general, las presas de hormigón compactado (HC) pueden llegar a ser más económicas en un rango entre (30 – 40) %.
- El bajo contenido de cemento en el diseño de las mezclas hace que esta alternativa sea muy atractiva, ya que se puede alcanzar resistencias a la compresión similares a las del hormigón convencional, con poco cemento.

- El método constructivo se lo realiza mediante capas horizontales de espesores entre (0,30 – 1,20) m, lo que permite ahorrar los costos por el encofrado.
- El control de la mezcla por temperatura es un rubro que se reduce notablemente debido al menor contenido de cemento en las mezclas.
- Los tiempos de construcción se reducen hasta en un 25 % con respecto a las presas de hormigón convencional, esto es más visible en proyectos grandes.

### **1.3 Experiencias en el diseño y construcción de las presas de hormigón compactado (HC)**

Según ACI 207.5R-11 (2011), el hormigón compactado con rodillo es un material que en su estado fresco es capaz de soportar el peso de un rodillo para su compactación. Una presa de hormigón compactado (HC) es construida con la tecnología de las presas de material de lugar.

El hormigón compactado (HC) está compuesto por los mismos materiales del hormigón vibrado convencional (HVC), pero con menos contenido de cemento y su consistencia es mucho más seca. El hormigón compactado (HC), fue implementado en la ingeniería de presas con el objetivo de reducir significativamente el tiempo de ejecución, pero condicionando sustancialmente los riesgos de seguridad durante su construcción y funcionamiento, ya que el hormigón compactado (HC) al ser un material suelto y la presa al ser estructura de gravedad debe resultar más económico que construirla con hormigón vibrado convencional (HVC). Para que esto suceda el hormigón compactado (HC) se debe colocar en el menor tiempo posible, optimizando al máximo un componente determinante como lo es la mano de obra, de esta manera se evita los requerimientos de estructuras y procesos complejos que demoren la producción de hormigón compactado (HC). En la tecnología tradicional de presas con hormigón se utiliza hormigón vibrado convencional (HVC), lo que quiere decir que el hormigón llega a tener su máxima compactación mediante vibradores diseñados exclusivamente para este trabajo; es decir, que el hormigón se lleva

a obra, se extiende y se introduce vibradores para que todos los poros queden llenos. De esta manera se obtiene un elemento compacto sin discontinuidades durante y después de la fundición, normalmente estructuras convencionales como viviendas y otros elementos hacen uso del hormigón vibrado convencional (HVC). La desventaja es que lleva mucho tiempo vibrar el hormigón, puesto que este tipo de presas se construyen por bloques y esos bloques son de tamaños relativamente reducidos. Mientras que el hormigón compactado se lleva al sitio de colocado a través de cubos en una torre grúa, esto depende del tipo de proyecto o de los volúmenes por día que necesite la obra. Hay diversos mecanismos de transporte del hormigón, los mismos que se detallan en el capítulo 2.4 del presente trabajo de titulación. La actividad de vibrar el hormigón, por más simple que parezca, hace que la ejecución de la obra se logre en tiempos elevados y, por consiguiente, aumentando los costos del proyecto. En el sistema constructivo de las presas de materiales sueltos o presas de tierra se logra colocar grandes cantidades de material en poco tiempo, independientemente si el material es grava, arcilla u otros. La función de los camiones es llevar el material y extenderlo, posteriormente se pasa el rodillo compactador obteniendo una superficie totalmente consolidada y con máxima compacidad. El rodillo liso de una máquina que se pasa por varias veces hace que el peso propio vaya compactando, en algunas ocasiones, los rodillos tienen adaptado un sistema para que la vibración tenga un efecto dinámico. El hormigón compactado (HC), se lo fabrica en una planta que se arma cerca del sitio del proyecto, este montaje amerita previamente realizar un análisis de disponibilidad de materiales. Debe ser en un área estratégica para el desarrollo integral del proyecto, luego se lleva el hormigón mediante distintos mecanismos de transporte hasta el sitio de colocación del material, para que el bulldozer extienda el hormigón, y el rodillo sea el que compacte el material, que como ya se mencionó se lo realiza en tongadas de espesor mínimo de 0,30 m.

## 1.4 Datos históricos

Al llegar los años 70, esta nueva alternativa del hormigón compactado (HC) tomó fuerza en la ingeniería de presas, con la premisa de construir obras hidráulicas más seguras, de fiar y con un correcto desempeño al momento de un eventual fenómeno que ponga a prueba la estructura.

*Tabla 1-1.  
Primeras presas de hormigón compactado (HC) en el mundo*

Año	Presa	País	Características
1965	Alpe Gera	Italia	Hp=174m, capas horizontales 0,80m en su totalidad no es una presa de hormigón compactado; impermeabilización del paramento aguas arriba con lámina metálica. (Rocco, 2015)
1974	Tarbela	Pakistán	Hp=143,26m; TMA 150mm, contenido de cemento (110 – 134) Kg/m <sup>3</sup> . Producción HC 12.000m <sup>3</sup> /día.
1976	Itaipú	Brasil	Hp=196m; contenido de cemento 115 Kg/m <sup>3</sup> , con 22% de puzolana, f'c=21MPa, espesor capas horizontales 30cm; producción HC 3.000m <sup>3</sup> /día.
1982	Willow Creek	USA	Hp=51m; TMA 76mm, capas horizontales 30cm; m <sub>1</sub> =0; m <sub>2</sub> =0.8; contenido de cemento 66 Kg/m <sup>3</sup> con 30% de puzolana, producción HC 3.115m <sup>3</sup> /día.
1983	Upper Stillwater	USA	Hp=92m; vertedero escalonado h=0.60m; q <sub>máx</sub> =172 m <sup>3</sup> /s*m, contenido de cemento 220 Kg/m <sup>3</sup> .
1985	Erizana	España	Hp=12m; TMA 100mm; contenido de cemento 90 Kg/m <sup>3</sup> con 50% de puzolana, VeBe=30seg; f'c=15 MPa.
1986	Saco De Nova Olinda	Brasil	Hp=56m; producción HC 1.254m <sup>3</sup> /día, contenido de cemento 70 Kg/m <sup>3</sup> .
1987	Urugua-í	Argentina	Hp=78m; 600.000m <sup>3</sup> de HC, contenido de cemento (60-90) Kg/m <sup>3</sup> con (6-10) % de puzolana.

Elaborado por: Logacho & Orozco

Un ejemplo fue España, en 1984 en este país se utilizó por primera vez el hormigón compactado, en el estribo izquierdo de la presa Erizana. Obra de la que se realizaron ensayos para conocer la porosidad del mortero, porosidad del hormigón, permeabilidad, resistencia a tracción y compresión, y módulo de elasticidad; los resultados fueron los siguientes:

*Tabla 1-2.  
Resultados de los ensayos realizados a la presa Erizana y Santa Eugenia*

Presa	Densidad Seca (t/m <sup>3</sup> )	Porosidad del hormigón (%)	Porosidad del mortero (%)	Presión Oxígeno (m <sup>2</sup> ) x10 <sup>-6</sup>	Presión Agua (m/s) x10 <sup>-9</sup>	Resistencia tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad (Kg/cm <sup>2</sup> )
Erizana	2,21	12,8	18,38	8,9	4,00	16,5	151,7	118,2
Santa Eugenia	2,38	6,6	14,48	1,30	3,80	32,4	348,9	216,3

Elaborado por: Logacho & Orozco

Datos que fueron comparados con los de la presa Santa Eugenia, también en el país ibérico, construida totalmente con hormigón compactado (HC) en 1988. El diseño de la mezcla tuvo la siguiente dosificación: contenido de cemento 125 Kg/m<sup>3</sup>, tiempos VeBe entre (10 – 12) segundos, generando mejores condiciones de trabajo y experiencia en esta nueva técnica. Lo que permite entender que, para obtener un hormigón más impermeable, con mejor densidad, duradera y resistente, se debe emplear una mejor relación en la dosificación del agregado fino, tiempos VeBe reducidos que oscilen entre (10 – 12) segundos, es decir más húmedo.

### **1.5 Primeras experiencias en presas de hormigón compactado (HC) entre 1970 - 1987**

Según varios expertos como el Doctor Claudio Rocco, se puede construir presas de hormigón compactado (HC) en tres tipos de hormigones (Rocco, 2015):

1. Hormigón compactado (HC) con bajo contenido de cemento: cuando la cantidad de dicho material está entre (60 – 100) Kg/m<sup>3</sup>. Esta experiencia fue desarrollada y aplicada en Estados Unidos bajo el auspicio del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE). Así también en Sudamérica, específicamente en Brasil, en donde algunas obras hidráulicas presentaron problemas de permeabilidad y falta de monolitismo en las juntas horizontales.
2. Hormigón compactado (HC) con intermedio contenido de cemento.

3. Hormigón compactado (HC) con alto contenido de cemento: normalmente es considerado con este nombre, cuando la cantidad de dicho material oscila entre (150 – 240) Kg/m<sup>3</sup>. Esta experiencia iniciada en Estados Unidos, bajo el auspicio del Bureau of Reclamation y la Tennessee Valley Authority fue adoptada en el Reino Unido y aplicada en España, se presentó mayor riesgo de fisuración térmica.

### **1.6 Conclusiones de las primeras experiencias entre 1970 – 1987**

De acuerdo con Rocco (2015), se concluye lo siguiente:

1. Necesidad de adoptar cuidados especiales en el paramento aguas arriba con el objeto de controlar la permeabilidad.
2. Necesidad de incorporar tratamiento de juntas entre capas, sobre todo en mezclas con bajo contenido de cemento y/o en presas en zonas de alto peligro sísmico.
3. La importancia de comprobar el uso de curvas granulométricas con mayor contenido de finos, particularmente en mezclas con bajo contenido de cemento. Es importante incluir hasta un 10 % de material fino menor de 74 µm para que se pueda obtener coeficientes de permeabilidad que oscilen entre (10<sup>-11</sup> - 10<sup>-12</sup>) m/s, con respecto a materiales cementicios de alrededor de 100 Kg/m<sup>3</sup>.
4. Necesidad de disponer de juntas de contracción con distancias variables entre (20 – 40) m.
5. Necesidad de realizar estudios térmicos para establecer condiciones de colocación y minimizar el riesgo de fisuración térmica.
6. Comprobar la utilidad de zonificar la sección transversal con hormigones de diferentes propiedades en función de las solicitaciones y requerimientos de permeabilidad.
7. Comprobar la utilidad de especificar propiedades a mayores edades: 180 días y 360 días.



De esta manera se confirma que el hormigón compactado (HC) es una alternativa que se puede implementar a distintos tipos de presas y en múltiples condiciones climáticas.

### 1.7 Situación actual de la construcción de presas de hormigón compactado (HC)

La construcción de presas en su mayoría se concentró en países asiáticos como China y Japón mientras que, en Sudamérica Colombia y Chile, ocupan el tercer y noveno lugar, respectivamente.



Figura 1-1. Estadística de la construcción de las presas de hormigón compactado (HC) por país  
Fuente: (Rocco, 2015)

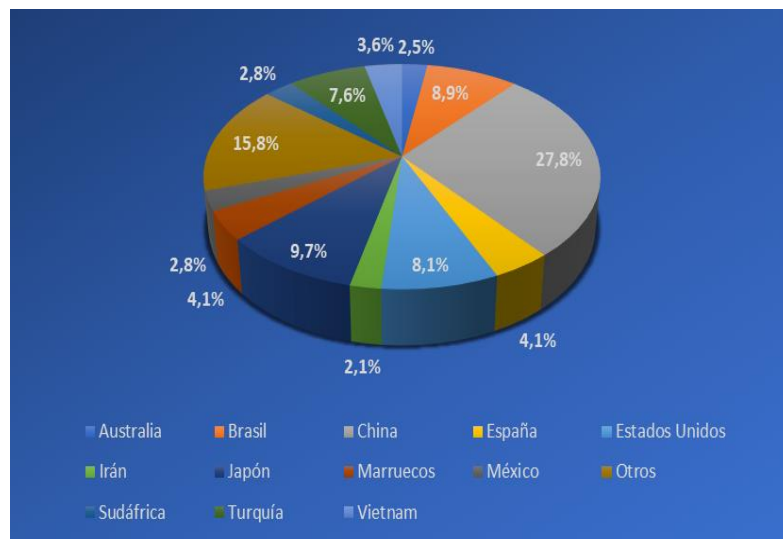


Figura 1-2. Porcentaje de la construcción de las presas de hormigón compactado (HC) por país  
Fuente: (Rocco, 2015)

## 1.8 Las 10 presas más altas de hormigón compactado (HC)

China es el país que lidera en la construcción de presas con mayor altura. Colombia presenta la tercera presa más alta, seguida de Japón y Chile.

*Tabla 1-3.  
Presas más altas del mundo*

Presa	País	Altura (m)	Volumen x10 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )		Proporciones de mezcla (Kg/m <sup>3</sup> )		
			HC	Total	Cemento	Puzolana	Tipo
Longtan	China	217	4.952	7.458	99	121	(F)
Guangzhao	China	201	2.420	2.870	61	91	(F)
Miel 1	Columbia	188	1.669	1.730	85-160	0	(-)
Guandi	China	168	2.970	4.710			(F)
Jin'angiao	China	160	2.400	3.920	72	108	(F)
Urayama	Japón	156	1.294	1.860	91	39	(F)
Miyagase	Japón	156	1.537	2.001	91	39	(F)
Shatuo	China	156	1.510	1.980			(F)
Ralco	Chile	155	1.596	1.640	133	57	(N)
Son La	Vietnam	139	2.677	4.800	60	60	(F)

F: Ceniza de bajo contenido de cal (Clase F - ASTM)  
N: Puzolana Natural

Fuente: (Rocco, 2015)

## 1.9 Las 10 presas de mayor volumen de hormigón compactado (HC)

En torno al volumen de las presas, los 5 primeros lugares son liderados por países asiáticos como: China, Tailandia, Vietnam y Myanmar (Birmania). Estados Unidos ocupa el sexto lugar.

*Tabla 1-4.*  
*Presas de mayor volumen en el mundo*

Presa	País	Altura	Volumen x10 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )		Proporciones de mezcla (Kg/m <sup>3</sup> )		
		(m)	HC	Total	Cemento	Puzolana	Tipo
Longtan	China	217	4.952	7.458	99	121	(F)
Tha Dan	Tailandia	95	4.900	5.400	90	100	(F)
Guandi	China	168	2.970	4.710			(F)
Son La	Vietnam	139	2.677	4.800	60	160	(F)
Yeywa	Myanmar	135	2.473	2.843	75	145	(N)
Taum Sauk	USA	49	2.448	2.500	59	59	(F)
Guangzhao	China	201	2.420	2.870	61	91	(F)
Jin'angiao	China	160	2.400	3.920	72	108	(F)
Beydag	Turquía	96	2.350	2.650	90	30	(N)
Baise	China	130	1.995	2.672	80	132	(F)

F: Ceniza de bajo contenido de cal (Clase F - ASTM)  
N: Puzolana Natural

Fuente: (Rocco, 2015)  
Elaborado por: Logacho & Orozco

## **CAPÍTULO II**

### **BASES TEÓRICAS DISPONIBLES**

#### **2.1 Perspectivas de la construcción de presas de hormigón compactado (HC)**

##### **2.1.1 Geometría de la presa**

Para construir presas de hormigón compactado (HC) desde la perspectiva geométrica se realizan exhaustivos estudios, puesto que la geometría de la presa es determinante para garantizar un buen comportamiento de estabilidad y resistencia frente a distintas sollicitaciones. Según un estudio titulado “Características del Diseño y Construcción de la presa Ralco en Chile” efectuado por Luis Uribe, para fase de factibilidad se realizan análisis mediante modelos y paquetes informáticos bidimensionales y tridimensionales de elementos finitos en softwares como por ejemplo: ANSYS 5.4, EACD-3D; los que fueron utilizados para determinar la geometría de la presa Ralco en Chile construida por la empresa de Ingeniería Ingendesa S.A y bajo la asesoría técnica de Brian Forbes de la consultora australiana Gutteridge Haskins and Davery Pty Ltd.

La geometría de las presas de hormigón compactado (HC) es bastante similar a los criterios geométricos de las presas de hormigón vibrado convencional (HVC), ya que por lo general presentan paramentos aguas arriba verticales y paramentos aguas abajo inclinados con coeficientes de talud (0,6 - 0,8); de acuerdo a la zonificación sísmica del sitio del proyecto la pendiente debe ser menos empinada para que se pueda controlar el efecto de los esfuerzos de tracción causados por el sismo, también la inclinación del paramento aguas abajo suele prolongarse hasta la corona. Dependiendo de los criterios de diseño, el paramento aguas arriba puede ser inclinado, para ello se debe realizar diversos análisis, como la verificación de resistencias asegurando que el esfuerzo vertical en el pie del mencionado paramento tenga un valor entre el (15 – 20) % de la presión hidrostática.

Es importante mencionar que para presas de hormigón compactado (HC) se recomienda reducir al máximo la construcción de galerías debido a que interfiere en el ámbito constructivo del cuerpo de la presa, normalmente para presas HC la geometría de las galerías es cuadrada debido a las tongadas y la compactación del hormigón, y ya no en forma circular como en presas de hormigón vibrado convencional (HVC).

Las capas entre juntas horizontales de las presas de hormigón compactado (HC) tienen un espesor mínimo de 0.30 m y son entre 6 o 7 veces mayores que en una presa de hormigón vibrado convencional (HVC), por ello es esencial que no existan esfuerzos de tracción porque ocasionaría filtración y aumento de la fuerza de subpresión en el cuerpo de la presa, causando fatalidades en el comportamiento ante eventuales fallas.

Las formas geométricas típicas de los perfiles de las presas son normalmente de forma triangular o trapezoidal, un parámetro empírico conocido como la relación de esbeltez ( $\beta=b/h$ ), permite definir el tipo de presa construida o diseñada al relacionar el ancho de la base de la presa con su altura medida hasta la cresta.

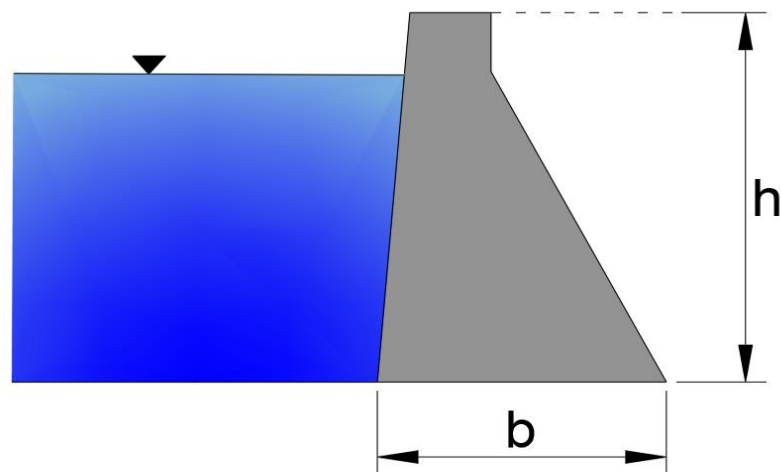


Figura 2-1. Relación de esbeltez de la presa  
Elaborado por: Logacho & Orozco

A continuación, se presentan valores estimados de la relación de esbeltez:

*Tabla 2-1.*  
*Tipos de presa respecto al valor de la relación de esbeltez*

<b>Valor de la relación de esbeltez</b>	<b>Tipo de presa</b>
$\beta > 1.0$	Presa a gravedad que se construye con materiales sueltos, hormigón con macizo de cimentación suelo, madera u otros materiales.
$0.6 \leq \beta \leq 1.0$	Presas de hormigón ciclópeo, presas a gravedad macizas o presas aliviadas, entre ellas las presas de mampostería, etc.
$0.3 < \beta < 0.6$	Presas de arco gravedad.
$\beta \leq 0.3$	Presas de arco puro, o presas de radio constante o de radio variable.

Fuente: (Sandoval E. W., 2018)

La forma geométrica normal de las presas es el triángulo, esta forma se complementa con otras obras adyacentes al cuerpo de la presa como: pilas, corona, vías que atraviesan la presa de una margen a otra o puentes, etc.

### **2.1.2 Geomecánica**

Desde la perspectiva geomecánica, para la construcción de una presa de hormigón compactado (HC) se debe conocer las condiciones geológicas – geotécnicas del sitio del proyecto, por ejemplo: si el macizo de cimentación es suelo o roca. Además, para que el perfil transversal de la presa garantice un buen trabajo mecánico entre el macizo de cimentación – estructura, depende de los indicadores geomecánicos ya que estos deben asegurar la estabilidad del sistema, así como los asentamientos diferenciales y desplazamientos dentro de los rangos permisibles; es

por ello que también se debe contar con informes geotécnicos que tengan alta confiabilidad de resultados.

### **2.1.2.1 Rocas**

Las rocas son agregados naturales duros y compactos de minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo. La proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica (Gonzales de Vallejo, 2002).

Una característica fundamental de las rocas es su resistencia a compresión por ende tiene un buen comportamiento elástico. La base natural de cimentación de una obra hidráulica no es otra cosa que el macizo natural, rocoso o no rocoso.

Las rocas se caracterizan por tener:

- Densidad que oscila entre (2.500 – 2.300) Kg/m<sup>3</sup>
- Porosidad inferior al 1 %
- Resistencia a la compresión en estado saturado mayor a 5 MPa
- Resistencia a la tracción en estado saturado mayor a 1 MPa

Por su parte, las semirocas se caracterizan por tener:

- Densidad entre (2.200 – 2.650) Kg/m<sup>3</sup>
- Porosidad superior al 1 %
- Resistencia a la compresión en estado saturado menor a 5 MPa
- Resistencia a la tracción en estado saturado menor a 1 MPa

### 2.1.2.2 Clasificación de las rocas por diferentes indicadores

**Grado de meteorización:** Las rocas se clasifican a través del coeficiente de meteorización ( $K_m$ ), que es la relación de la densidad de la roca meteorizada a la densidad de la roca sana.

$$K_m = \frac{\rho_m}{\rho} \quad (1)$$

De acuerdo a este indicador las rocas pueden ser:

Tabla 2-2.  
Coeficiente de meteorización de la roca

Tipo de roca	Coeficiente de meteorización $K_m$
Fuertemente meteorizadas	$K_m < 0,8$
Meteorizadas	$0,8 \leq K_m < 0,9$
Débilmente meteorizadas	$0,9 \leq K_m < 1$
No meteorizadas	$K_m = 1$

Elaborado por: Logacho & Orozco

Las rocas **fuertemente meteorizadas** tienen indicadores geomecánicos bajos, son heterogéneas y anisotrópicas, por ello deben ser desalojadas de la base de cimentación para una obra hidráulica. Las rocas **meteorizadas** para servir como base de cimentación de una obra hidráulica deben ser parcialmente desalojadas y además sometidas a tratamiento de consolidación. Las rocas **débilmente meteorizadas** en caso de justificarse económicamente deben ser sometidas a tratamiento de consolidación para servir de base de cimentación de obras hidráulicas importantes, es decir, (Niveles de importancia I - II).

**Discontinuidad o fisuramiento:** Respecto a este criterio las rocas se clasifican a través del módulo de fisuramiento ( $M_F$ ), es decir, aquel que representa el número de fisuras por metro de corte de la roca investigada.



*Tabla 2-3.*  
*Módulo de fisuramiento de las rocas*

<b>Tipo de roca</b>	<b>Módulo de fisuramiento <math>M_F</math></b>
Muy débilmente fisuradas	$M_F < 1,5$
Débilmente fisuradas	$1,5 \leq M_F < 5$
Medianamente fisuradas	$5 \leq M_F < 10$
Fuertemente fisuradas	$10 \leq M_F < 30$
Muy fuertemente fisuradas	$M_F > 30$

Elaborado por: Logacho & Orozco

El módulo de fisuramiento está correlacionado con otros indicadores como el Rock Quality Design (RQD) y el coeficiente de vacíos por fisuramiento ( $K_{VF}$ ). Como se sabe el RQD es la relación de la suma de las longitudes de los fragmentos superiores a 10 cm, obtenidos de la muestra de una perforación a la longitud total de la muestra. Por su parte, el coeficiente de vacíos por fisuramiento es la relación de la superficie de las fisuras, en la muestra considerada a la superficie total de la muestra.

*Tabla 2-4.*  
*Parámetros correlacionados de las rocas*

<b>Tipo de roca</b>	<b><math>M_F</math></b>	<b>RQD</b>	<b><math>K_{VF}</math></b>
Muy débilmente fisuradas	< 1,5	> 90	< 0,1
Débilmente fisuradas	1,5 – 5	75 – 90	0,1 – 0,5
Medianamente fisuradas	5 -10	50 – 75	0,5 – 2
Fuertemente fisuradas	10 -30	25 – 50	2 – 5
Muy fuertemente fisuradas	> 30	< 25	> 5

Elaborado por: Logacho & Orozco

Las rocas **muy fuertemente** y **fuertemente fisuradas** deben ser desalojadas como base de cimentación de una obra hidráulica. Las rocas **medianamente fisuradas** deben ser sometidas a tratamiento de consolidación y al sellado de las fisuras con inyección de cementación.

**Permeabilidad:** En torno a este criterio las rocas se clasifican a través del coeficiente de filtración (k) y la absorción específica (q). La absorción específica (q), es el volumen de agua que se extrae o se inyecta en una roca desde 1 m de perforación.

$$q = \frac{Q}{T * L} \quad (2)$$

Donde;

q: absorción específica

Q: Caudal

T: Tiempo

L: Longitud

Por estos indicadores las rocas se clasifican en:

*Tabla 2-5.*  
*Permeabilidad de las rocas*

Tipo de roca	k (m/día)	q (l/min*m)
Muy fuertemente permeable	> 30	> 10
Fuertemente permeable	3 – 30	1 – 10
Permeable	0,3 – 3	0,1 – 10
Débilmente permeable	0,005 – 0,3	0,01 – 0,1
Prácticamente impermeable	< 0,005	< 0,01

Elaborado por: Logacho & Orozco

Dependiendo de la permeabilidad de la roca de cimentación se toman diferentes medidas para evitar o mitigar los efectos negativos del agua de filtración, es decir, de tener rocas **muy fuertemente permeables** y **fuertemente permeables** se adoptan cortinas de impermeabilización que tienen la profundidad suficiente hasta llegar a un nivel en que la permeabilidad sea aceptable.

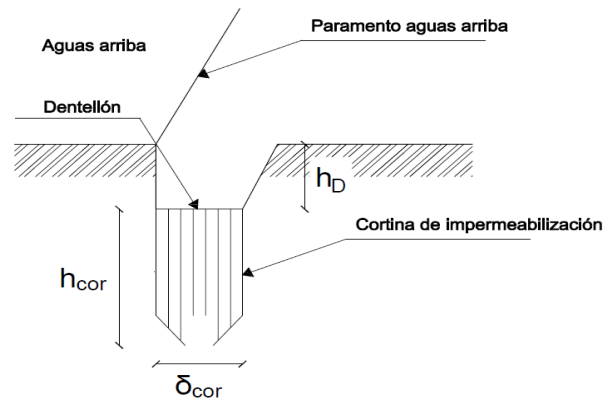


Figura 2-2. Medidas para mitigar los efectos del agua de filtración  
Elaborado por: Logacho & Orozco

El espesor de la cortina se determina a partir de la gradiente permisible de flujo de filtración a través de la cortina, la misma que depende de la calidad de la roca. En el caso de rocas permeables se adopta: cortina de impermeabilización y drenaje vertical.

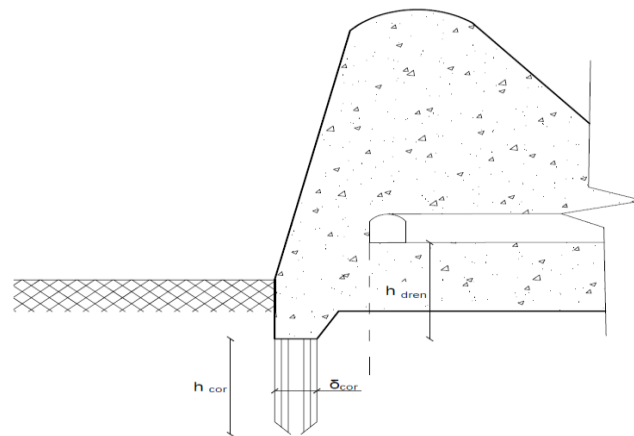


Figura 2-3. Cortina y drenaje vertical  
Elaborado por: Logacho & Orozco

En caso de rocas **débilmente permeables** se utiliza drenaje vertical y cortina de impermeabilización en las zonas de mayor permeabilidad. En el caso de rocas **prácticamente impermeables** se requiere de drenaje intenso.

**Deformabilidad y dureza:** Respecto a estos criterios las rocas se clasifican a través del módulo de deformación (E) y del coeficiente de PROTODYANOKOV ( $K_{DUR}$ ). Desde el punto de vista físico, el coeficiente de dureza no es otra cosa que el coeficiente de corte de la roca ( $f_{cor}$ ).

$$f_{corte} = f + \frac{C}{\sigma} \quad (3)$$

Donde:

C: Cohesión específica

f:  $\tan(\varphi)$

$\sigma$ : Esfuerzo medio

El coeficiente de dureza se obtiene en laboratorio a partir de la fuerza que es necesaria aplicar a la muestra rocosa para destruirla. Por otra parte, la práctica de las investigaciones geofísicas permitió establecer una correlación firme entre el módulo de deformación (E) y la velocidad de difusión de las ondas elásticas y longitudinales (v) a través de su medio rocoso.

En relación a estos indicadores: E,  $K_{DUR}$ , v, las rocas se clasifican en:

*Tabla 2-6.*

*Deformabilidad, dureza y velocidad de ondas de la roca*

Tipo de roca	E (GPa)	$K_{DUR}$	v (m/s)
Débilmente deformable	> 10	> 12	> 4.200
Medianamente deformable	5 – 10	8 – 12	3.500 – 4.200
Fuertemente deformable	2 – 5	4 – 8	2.000 – 3.500

Elaborado por: Logacho & Orozco

En caso de necesidad por la magnitud de las solicitaciones a las que va a ser sometida la roca de cimentación puede ser mejorada su condición de deformabilidad, incrementando su módulo de deformación con ayuda de inyecciones de consolidación con soluciones de cemento. Por esta vía el módulo de deformación puede incrementarse dentro de los siguientes límites:

- Rocas fuertemente deformables hasta en: 1,5 – 2 veces
- Rocas medianamente deformables hasta en: 1,3 – 1,5 veces

- Rocas débilmente deformables hasta en: 1,1 – 1,3 veces

Diferentes autores han agrupado los valores del módulo de deformación (E) para varios tipos de rocas (Balmer, 1953; Jhonson y DeGraff 1988; Hatheway y Kiersch, 1989). En la siguiente tabla se presenta dicha compilación.

*Tabla 2-7.  
Módulo de deformación y coeficiente de Poisson de la roca*

Tipo de roca	Módulo de deformación (E) GPa			Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )		
	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo
Granito	26,2	59,3	75,5	0,10	0,23	0,39
Basalto	34,9	62,6	100,6	0,16	0,25	0,38
Gneiss	16,8	58,6	81,0	0,08	0,21	0,40
Esquistos	5,9	42,4	76,9	0,01	0,12	0,27
Cuarzita	42,4	70,9	100,0	0,07	0,15	0,24
Mármol	23,2	46,3	72,4	0,10	0,23	0,40
Caliza	7,7	50,4	91,6	0,12	0,25	0,33
Arenisca	1,9	15,3	39,2	0,06	0,24	0,46

Elaborado por: Logacho & Orozco

**Homogeneidad:** Por la homogeneidad las rocas pueden ser: homogéneas, heterogéneas y fuertemente heterogéneas. Este indicador caracteriza la variabilidad de las propiedades mecánicas de la roca en la superficie de cimentación.

Una roca es **homogénea** cuando está constituida por un mismo tipo de material y los indicadores geomecánicos corresponden a un grupo de roca. Una roca es **heterogénea** cuando sus indicadores geomecánicos (todos o la mayoría), en la superficie de cimentación varían hasta para dos grupos por cada indicador. Una roca es **fuertemente heterogénea** cuando sus indicadores geomecánicos (todos o la mayoría) corresponden a 3 o más grupos por indicador. En el caso de las

rocas fuertemente heterogéneas deben tomarse las medidas de diseño teniendo en cuenta la variabilidad de los indicadores geomecánicos. Una tarea sumamente importante y de gran relevancia durante la elaboración del proyecto es la zonificación del macizo de cimentación, a fin de que las condiciones de diseño guarden correspondencia con la realidad geomecánica.

**Variabilidad espacial (x, y, z):** Las bases de cimentación pueden ser isotrópicas o anisotrópicas. Esta característica se valora a través del coeficiente de anisotropía ( $K_{an}$ ) que es válido para cada indicador. El coeficiente de anisotropía es la relación del valor medido del indicador considerado a su valor mínimo en cualquier dirección. Una base de cimentación es anisotrópica respecto a determinado indicador cuando el coeficiente de anisotropía es mayor o igual a 1.5

$$K_{an} \geq 1,5 \quad (4)$$

La caracterización de un macizo de cimentación por la variabilidad espacial de sus indicadores permite adoptar las medidas de diseño que eviten consecuencias negativas de la anisotropía.

### **2.1.2.3 Semirocas**

Las semirocas se clasifican por los mismos indicadores que las rocas, con las siguientes exclusiones: diferencia módulo de deformación, porosidad y permeabilidad. En síntesis, una semiroca es una roca deteriorada de mala calidad, que tiene altos niveles de meteorización. Por la deformabilidad las semirocas se clasifican en dos grupos: fuertemente deformables y débilmente deformables.

- Las **semirocas fuertemente deformables** tienen módulo de deformación menor a la unidad de giga pascal, ( $E < 1$ ) GPa, coeficiente de dureza ( $K_{DUR} = 1 - 2$ ) y velocidad de ondas elásticas y longitudinales ( $v < 1.500$ ) m/s.

- Las **semiropas débilmente deformables** tienen módulo de deformación ( $E = 1 - 2$ ) GPa, coeficiente de dureza o protodiacono ( $K_{DUR} = 2 - 4$ ), velocidad de ondas elásticas y longitudinales ( $v = 1.500 - 2.500$ ) m/s.

De igual manera que las rocas, las semiropas pueden ser sometidas a tratamiento de consolidación con inyecciones de cemento para incrementar el módulo de deformación, en concordancia con las sollicitaciones a las que va a ser sometida.

### 2.1.3 Mecánica de materiales

Desde la mecánica de materiales es importante tener en cuenta las cualidades fundamentales del hormigón compactado (HC):

- Se debe tener un mínimo calor de hidratación que evite la retracción y la fisuración.
- Debe ser un hormigón cohesivo tomando en cuenta que será abastecido generalmente por medio de cintas transportadoras, dumpers o camiones de volteo; debe presentar características de trabajabilidad permitiendo la compactación sin que queden poros entre tongadas.
- El hormigón compactado (HC) debe tener características de trabajabilidad y eso se consigue controlando la inclusión de aditivos plastificantes para que se lo realice en dosificaciones adecuadas y asegurando un tiempo del ensayo VeBe entre (8 – 12) seg.
- Además, se debe controlar minuciosamente la tendencia a la segregación para que se garantice la impermeabilidad de la presa, sobre todo en el paramento aguas arriba que es el que está expuesto a las presiones de corte, el hecho de añadir cenizas volantes como conglomerante es fundamental para tener un hormigón más compacto e impermeable en el colocado final.

Normalmente se usan aditivos como SIKA RETARDER 50 para salvaguardar una unión correcta de las juntas del hormigón compactado (HC). Las condiciones que debe cumplir el perfil teórico triangular son similares a una presa de hormigón vibrado convencional (HVC).

En el caso más general, el perfil teórico triangular debe satisfacer las siguientes condiciones:

**a.** Condición de estabilidad al deslizamiento

$$n_c P \leq \frac{mT}{K} \quad (5)$$

Donde;

P: Fuerza deslizante

T: Fuerza resistente al deslizamiento

$n_c$ : Coeficiente de combinación de fuerzas (básica o especial)

m: Coeficiente de condiciones de trabajo

K: Coeficiente de confiabilidad (factor de seguridad)

**b.** Condición de esfuerzo mínimo

$$\sigma_{min} \geq 0; \text{ para HVC} \quad (6)$$

$$\sigma_{min} \geq 0.20 * \gamma_o * Hp; \text{ para HC} \quad (7)$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right); e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} \quad (8)$$

**c.** Condición de esfuerzo máximo

$$n_c \sigma_{m\acute{a}x} \leq \frac{mR_{cr}}{K} \quad (9)$$

Donde;

$R_{cr}$ : Resistencia cilíndrica del hormigón a la compresión

**d.** Condición económica: el área del perfil teórico triangular debe ser la misma.

$$A = A_{min} \quad (10)$$



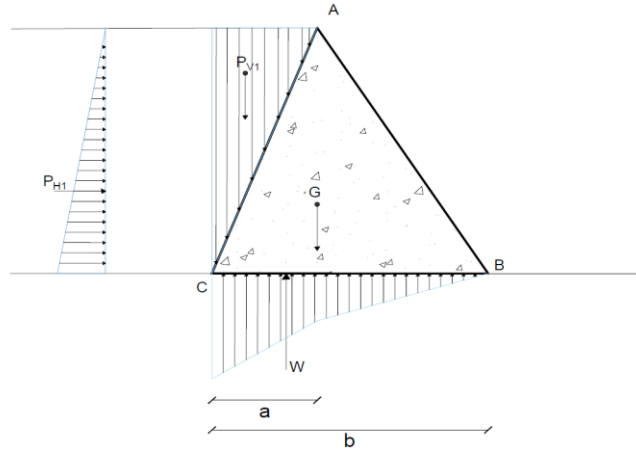


Figura 2-4. Fuerzas que actúan sobre el perfil teórico triangular  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Luego de realizar las operaciones matemáticas correspondientes a las ecuaciones 5 y 8 se obtienen dos ecuaciones: una de estabilidad y otra de resistencia, como se puede observar en la ecuación 11.

$$\frac{FSD_{perm}}{f * \left[ \frac{\gamma_H}{\gamma_o} + \xi - (1 - \alpha_1) - \frac{a}{b} \right]} = \frac{1}{\sqrt{\gamma_o * (1 - \xi) + \xi * (2 - \xi) - \varepsilon_1}} \quad (11)$$

Donde:

b: base de la presa.

H<sub>p</sub>: altura de la presa.

FSD<sub>perm</sub>: factor de seguridad al deslizamiento permisible.

f: factor de fricción entre el macizo de cimentación y la presa

γ<sub>o</sub>: peso específico del agua en (KN/m<sup>3</sup>)

γ<sub>n</sub>: peso específico del hormigón en (KN/m<sup>3</sup>)

ξ: parámetro que determina la ubicación del vértice del perfil teórico triangular.

α<sub>1</sub>: parámetro característico de la subpresión (0.5 o 0.8).

a/b: 0.1

Normalmente se considera que el esfuerzo mínimo debe ser mayor o igual que cero, sin embargo, en la presente investigación se plantea que el valor del esfuerzo mínimo sea el 20 % de la presión hidrostática, con el fin de garantizar que la unión de las juntas horizontales de hormigón compactado (HC) no se abran.

En torno al análisis de estabilidad al deslizamiento, se debe calcular el factor de seguridad al deslizamiento (FSD) y compararlo con el valor permisible (FSD<sub>perm</sub>).

El FSD se determina con la siguiente ecuación:

$$FSD = \frac{f * \Sigma N + C * b}{\Sigma P} \quad (12)$$

Donde:

f: Coeficiente de fricción

ΣN: Suma de las fuerzas normales a la superficie de deslizamiento, aplicadas sobre esta

C: Cohesión específica entre el hormigón y la roca

b: Ancho (A<sub>1</sub> – B<sub>1</sub>; A<sub>2</sub> – B<sub>2</sub>; etc.)

ΣP: Suma de fuerzas deslizantes (P<sub>H</sub>, P<sub>sed</sub>, P<sub>H2</sub>, etc.)

A continuación, se presenta una tabla con valores del coeficiente de fricción y la cohesión específica para roca.

*Tabla 2-8.*

*Valores de fricción y cohesión de las rocas*

Tipo de roca	f	C (KPa)	φ <sub>int</sub>
Granitos u otras rocas no fisuradas, con resistencia temporal a la compresión mayores a 400 Kg/cm <sup>2</sup> (40MPa)	> 0,80	> 400	> 35°
Rocas poco fisuradas con mejoramiento de lechada de cemento hasta la profundidad mayor o igual a 0,1H, con resistencia temporal a la compresión mayores a 400 Kg/cm <sup>2</sup> (40MPa)	0,70 – 0,75	100 – 250	30° - 35°
Rocas fisuradas, con resistencia temporal a la compresión entre 50 y 400 Kg/cm <sup>2</sup> (5 – 40 MPa)	0,65	< 100	25° - 30°

Elaborado por: Logacho & Orozco

El análisis de verificación de resistencias se debe calcular con las ecuaciones de la siguiente tabla. Cabe resaltar que el **esfuerzo mínimo** se presenta al pie del paramento aguas arriba y debe ser mayor el 20 % de la presión hidrostática. El **esfuerzo máximo** se presenta al pie del paramento

aguas abajo y adicionalmente se debe verificar que no sea mayor que la resistencia a compresión de la roca y/u hormigón.

*Tabla 2-9.  
Esfuerzos mínimo y máximo en una presa*

	Condiciones
Esfuerzo mínimo	$\sigma'_2 = 0.20 * \gamma_o * Hp$
Esfuerzo máximo	$\sigma''_1 \leq \sigma_{prom\ HORM}$

Elaborado por: Logacho & Orozco

Mientras que las ecuaciones de la tabla 2-10, son utilizadas para encontrar el valor de los esfuerzos a diferente altura de la presa.

*Tabla 2-10.  
Esfuerzos principal mayor y principal menor*

Parámetro	Ecuación
Esfuerzo principal mayor	$\sigma''_1 = (1 + m_2^2) * (\sigma''_y - \varepsilon_2 * \gamma_o * h_1)$
Esfuerzo principal menor	$\sigma'_2 = (1 + m_1^2) * (\sigma'_y - \varepsilon_1 * \gamma_o * h_1)$
Parámetro $\varepsilon$	$\varepsilon_2 = \frac{a}{b} * \left( \alpha_1 - \frac{a}{b} \right)$

Elaborado por: Logacho & Orozco

## 2.1.4 Hidromecánica

Las presas de hormigón a gravedad sean de HVC o de HC son muy conocidas, debido a: los coeficientes de talud bajos, por consiguiente, los volúmenes del relleno son considerables.

La característica fundamental de las presas de hormigón a gravedad es que aseguran su estabilidad al deslizamiento gracias a su propio peso; y los esfuerzos principales se calculan en función de las fuerzas y sollicitaciones que actúan en la presa.

### 2.1.4.1 Fuerzas y sollicitaciones que actúan en una obra hidráulica

Las fuerzas que actúan sobre una obra hidráulica se clasifican en: permanentes; temporales; de larga y corta duración; especiales.

#### 2.1.4.2 *Combinaciones de fuerzas*

Para el análisis de una obra hidráulica se utilizan combinaciones básicas y especiales de fuerzas. Estas combinaciones se estructuran para los escenarios de construcción, operación, y mantenimiento programado. Considerando las condiciones menos favorables, pero razonablemente posibles.

- **Combinación básica (B1):** Esta combinación de fuerzas para NNE está constituida por las fuerzas de gravedad, fuerza de presión hidrostática, fuerza de empuje de sedimentos, fuerza de subpresión.
- **Combinación especial (E1):** Una combinación especial E1 para NFE, está constituida por las fuerzas de gravedad, fuerza de presión hidrostática, fuerza de empuje de sedimentos, fuerza de subpresión y oleaje.
- **Combinación especial (E2):** Una combinación especial E2 para NFE, está constituida por las fuerzas de gravedad, fuerza de presión hidrostática, fuerza de empuje de sedimentos, fuerza de subpresión y oleaje, así como también, fuerzas inerciales sísmicas en el cuerpo de la presa, sedimentos y en el agua del embalse.

#### 2.1.4.3 *Fuerzas que actúan sobre una presa de hormigón a gravedad*

**Fuerza de gravedad:** se obtiene a partir de una modelo bidimensional a través de la sección transversal y el peso específico del hormigón ( $\gamma_H$ ) es:  $24 \text{ KN/m}^3$ .

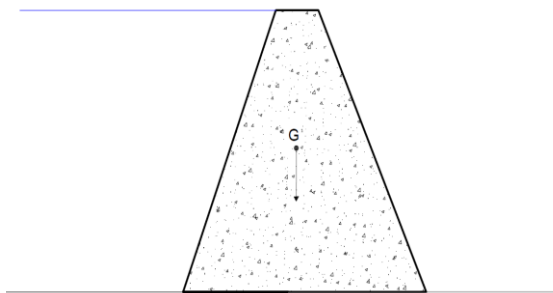


Figura 2-5. Fuerza de gravedad  
Elaborado por: Logacho & Orozco

**Fuerza de presión hidrostática:** esta fuerza equivale a la presión que ejerce el agua sobre una superficie y su diagrama normalmente es de carácter triangular cuya base es la multiplicación entre el peso específico del agua y la profundidad del agua. Se ubica a  $1/3$  de la base o  $2/3$  de la superficie del agua.

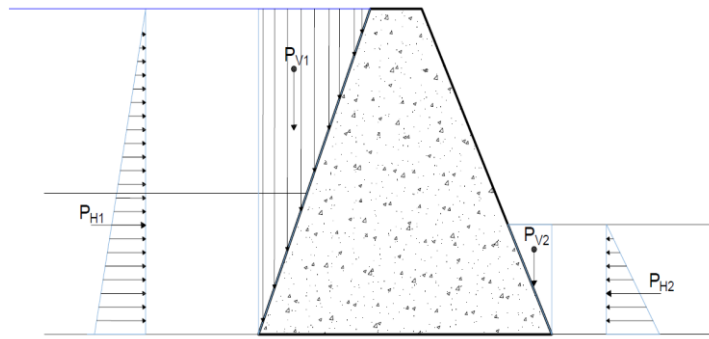


Figura 2-6. Fuerza de presión hidrostática  
Elaborado por: Logacho & Orozco

**Empuje de sedimentos:** es la fuerza de presión que ejercen los sedimentos sobre una superficie. Para el presente estudio se asume que la profundidad de sedimentos será del 40 % de la altura de la presa. Su diagrama de presión es triangular, cuya base es el peso específico sumergido de los sedimentos por la profundidad de sedimentos y por un coeficiente de sedimentos. Se ubica a  $1/3$  de la base.

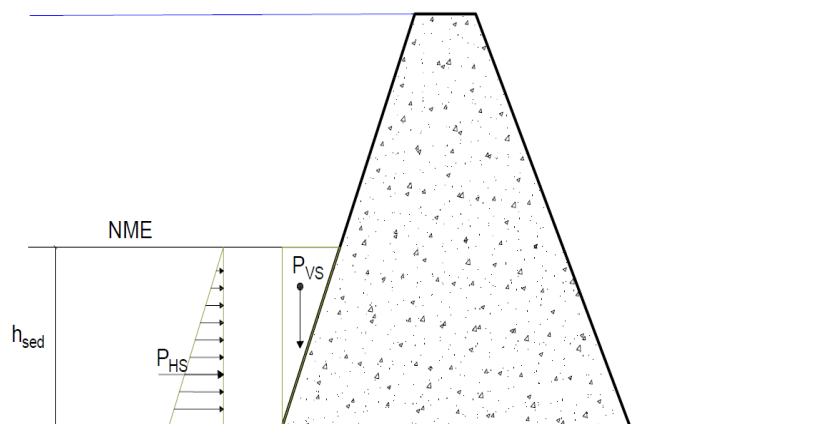


Figura 2-7. Fuerza de empuje de sedimentos  
Elaborado por: Logacho & Orozco

**Fuerza de presión de oleaje:** depende de la altura de ola y, por consiguiente, de la velocidad del viento.

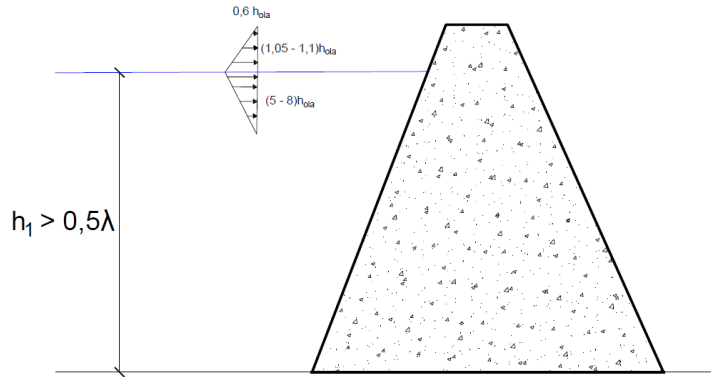


Figura 2-8. Fuerza de presión de oleaje  
Elaborado por: Logacho & Orozco

$$h_{ola} = 0.073 * Vv \quad (13)$$

Donde,

Vv: velocidad del viento en metros por segundo.

$$P_{m\acute{a}x} = k_p * \gamma_o * h_{ola} * \left( Hp + \frac{h_{ola}}{2} \right) \quad (14)$$

La presión de oleaje se considera en casos de aguas profundas, es decir, cuando la profundidad del agua es mayor a la longitud de la ola. La presión de oleaje normalmente tiene incidencia en sitios con velocidades altas de viento. Por consiguiente, se genera un momento producido por la presión de oleaje y se calcula de la siguiente manera:

$$M_{m\acute{a}x} = k_M + \gamma_o * h_{ola} + \left( \frac{h_{ola}^2}{6} + \frac{h_{ola} * Hp}{2} + \frac{Hp^2}{2} \right) \quad (15)$$

Donde;

$k_M$ : coeficiente para determinar el momento generado por la presión de oleaje, se recomienda para diseño preliminar (0.2).

$k_p$ : coeficiente para determinar la presión de oleaje, se recomienda para diseño preliminar (0.1).

$H_p$ : altura de la presa en metros.

$h_{ola}$ : altura de la ola en metros.

**Fuerza de subpresión:** Todas las rocas se caracterizan por tener mayor o menor grado de fisuramiento, en unos casos con fisuras delgadas, en otros con fisuras anchas y, entre estos dos límites varias posibilidades. Por esta razón, el agua del embalse filtra a través de las fisuras y se desplaza bajo la presa hacia aguas abajo, ejerciendo en la base de la presa una presión de abajo hacia arriba, cuya magnitud es igual a la carga o energía específica del flujo de filtración.

Respecto a la variación de la carga del flujo de filtración en la roca fisurada bajo la presa no existe una base teórica debidamente sustentada, sin embargo, se puede asumir que la variación de dicha carga es lineal. En la práctica la fuerza de subpresión es indeseable, no solo por ser desestabilizante sino por originar la distribución de esfuerzos, tanto en el cuerpo de la presa como en la superficie de cimentación con la presencia de esfuerzos de tracción. La acción desestabilizante y de redistribución de esfuerzos en el cuerpo de la presa por la subpresión se origina en el hecho de que el hormigón es permeable y, por consiguiente, filtra el agua del embalse con su carga. Y se calcula de la siguiente manera:

$$W = \frac{\gamma_o * h_1 + \gamma_o * h_2}{2} * b$$

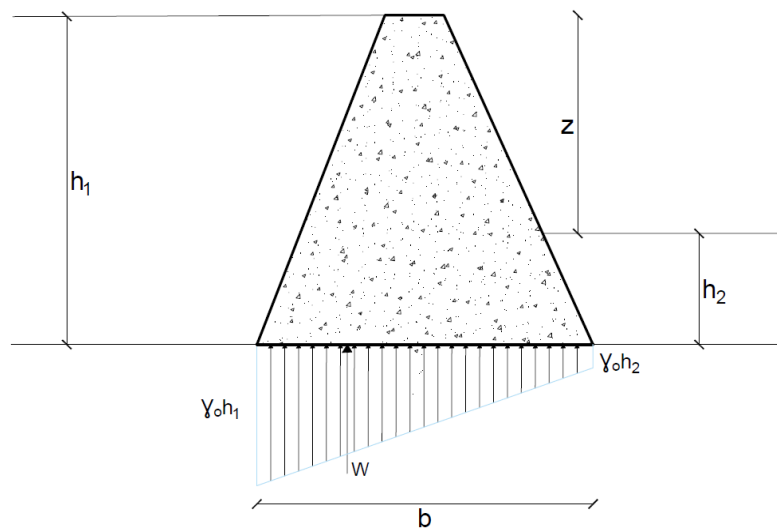


Figura 2-9. Fuerza de subpresión  
Elaborado por: Logacho & Orozco

**Fuerzas inerciales sísmicas:** La fuerza inercial originada por un sismo actúa tanto en el cuerpo de la presa como en el agua del embalse, en el macizo de cimentación y en el sedimento.

- *Fuerzas inerciales sísmicas en el cuerpo de la presa*

$$G_s = \alpha_H * G \quad (16)$$

$$\alpha_H = \frac{z}{1 + 3 * z} \quad (17)$$

Donde;

$\alpha_H$ : Coeficiente sísmico adimensional.

G: Peso propio de la presa.

$G_s$ : Fuerza inercial sísmica.

z: factor que representa la aceleración máxima expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad. Se adopta un valor entre (0.15 – 0.50) de acuerdo al mapa de peligro sísmico.

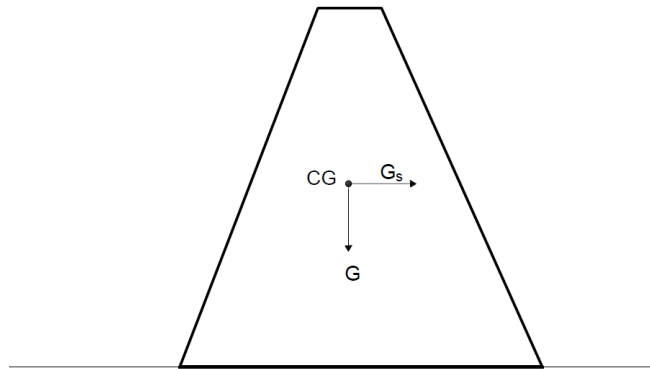


Figura 2-10. Fuerzas inerciales sísmicas en el cuerpo de la presa  
Elaborado por: Logacho & Orozco

- **Fuerza inercial sísmica en el agua del embalse:** La fuerza inercial de origen sísmico origina un diagrama adicional al de presión hidrostática de combinación básica. La fuerza de presión hidrodinámica para cualquier valor de profundidad se puede calcular con la ecuación 18 (USACE, Designing Roller Compacted Concrete Dams, 2000).

$$P_{HSISMO} = \frac{2}{3} * C_e * \alpha_H * y_1 * \sqrt{y_1 * H_{m\acute{a}x}} \quad (18)$$



$$P_{VSISMO} = m_1 * P_{HSISMO} \quad (19)$$

$$y = 0.425 * Hp; \quad x = m_1 * y \quad (20)$$

$$C_e = \frac{0.817}{\sqrt{1 - 0.72 * \left(\frac{H_{m\acute{a}x}}{304.8 * t_e}\right)}} \quad (21)$$

Donde;

**P<sub>HSISMO</sub>**: componente horizontal de la presión hidrodinámica por sismo.

**y<sub>1</sub>**: profundidad a la cual se desea calcular la fuerza inercial sísmica.

**P<sub>VSISMO</sub>**: componente vertical de la presión hidrodinámica por sismo.

**C<sub>e</sub>**: factor que depende de la carga de agua (H<sub>máx</sub>) y del periodo de vibración de la roca (t<sub>e</sub>)

**H<sub>máx</sub>**: carga total de agua.

**y**: brazo de momento correspondiente a la componente horizontal de sismo.

**x**: brazo de momento correspondiente a la componente vertical de sismo.

**t<sub>e</sub>**: periodo de vibración de la roca en segundos, que oscila entre (0.20 – 0.45).

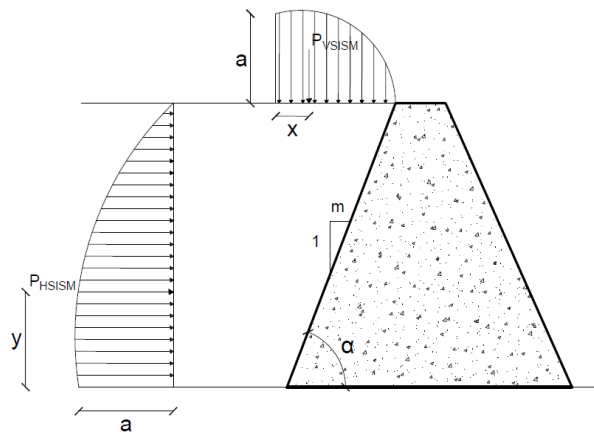


Figura 2-11. Fuerzas inerciales sísmicas en el agua  
Elaborado por: Logacho & Orozco

### 2.1.5 Económica

Desde la perspectiva económica la construcción de presas de hormigón compactado (HC) tiene varias aristas, entre ellas: el nivel de importancia de la obra, el objetivo de construcción, entre otros. A cada presa se le asigna un nivel de importancia dependiendo del impacto que ella tiene en la economía y en las condiciones de vida, así como también por los efectos que puede causar su destrucción en el medio ambiente.

El nivel de importancia que se le asigna a una obra hidráulica incide en los factores que se mencionan a continuación:

- a. Magnitud de los factores de seguridad
- b. Probabilidad de ocurrencia de los caudales de crecida
- c. Calidad de los materiales
- d. Profundidad y grado de detalle de los estudios e investigaciones para el diseño de las obras.

Las normas clasifican a las obras hidráulicas por su nivel de importancia en función de:

- a. Altura de la presa
- b. Calidad del macizo natural de cimentación
- c. Potencia instalada de la central hidroeléctrica
- d. Volumen total del embalse
- e. Área de la superficie de riego
- f. Volumen anual de agua transportado por el embalse

Cabe anotar que la mayoría de las normas de diseño asignan el más alto nivel de importancia (nivel de importancia I) a las obras cuya destrucción amenaza la seguridad de las poblaciones ubicadas aguas abajo. A continuación, se presenta en una tabla referencial, el nivel de importancia de las obras hidráulicas en función de la altura y las características del macizo de cimentación:

*Tabla 2-11.*  
*Nivel de importancia de las presas en función de su altura y macizo de cimentación*

Obra hidráulica	Macizo de cimentación	Nivel de importancia por altura (m)			
		I	II	III	IV
Presa de material de lugar	A	> 80	50 – 80	20 – 50	< 20
	B	> 65	35 – 65	15 – 35	< 15
	C	> 50	25 – 50	15 – 25	< 15
Presa de hormigón, hormigón armado, estructuras sumergidas de la central hidroeléctrica, esclusas de navegación, otros elementos que forman parte del frente de contención	A	> 100	60 – 100	25 – 60	< 25
	B	> 50	50 – 20	10 – 20	< 10
	C	> 25	18 – 25	10 – 18	< 10
Muros hidráulicos	A	> 40	30 – 40	15 – 30	< 15
	B	> 30	20 – 30	12 – 20	< 12
	C	> 25	18 – 25	10 – 18	< 10

Elaborado por: Logacho & Orozco

## **2.2 Elementos hidromecánicos de una presa de HC con vertido incorporado**

### **2.2.1 Condiciones hidráulicas de operación de los vertederos con disipación de considerable parte de la energía, en la superficie de vertido escalonada.**

Un creciente interés sobre los vertederos escalonados ha surgido en las últimas dos décadas en laboratorios del mundo. Principalmente por avances técnicos y tecnológicos en la construcción, tal es el caso del hormigón compactado (HC), y la disipación considerable de energía que ocurre a lo largo de un perfil escalonado. De acuerdo a sus características hidráulicas los vertederos escalonados han sido ampliamente estudiados en modelos a escala y procedimientos de diseño finalizados. En la actualidad este tipo de escalonados están limitados a una descarga unitaria de 30 m<sup>3</sup>/s\*m, debido a los daños ocasionados en las estructuras por cavitación cuando se presentan caudales unitarios mayores (González & Chanson, 2007). Las condiciones hidráulicas permiten interpretar y analizar la investigación a mayor detalle, permitiendo conocer el comportamiento del flujo en diferentes escenarios en un perfil escalonado para la disipación de energía.

Los regímenes de flujo sobre un perfil escalonado pueden ser:

- Flujo escalón a escalón o escalonado (Nappe Flow)
- Flujo de transición (Transition Flow)
- Flujo rasante (Skimming Flow)

### 2.2.1.1 *Flujo escalón a escalón o escalonado (Nappe Flow)*

En el caso de caudales pequeños el comportamiento del flujo obedece a caídas sucesivas que pasan de un escalón hacia la huella del siguiente escalón. Según Chanson (2001), propone que el flujo escalón a escalón se divide en tres diferentes subtipos en relación al resalto hidráulico:

- a) Flujo escalón a escalón con resalto hidráulico desarrollado.
- b) Flujo escalón a escalón con resalto hidráulico con desarrollo parcial.
- c) Flujo escalón a escalón sin resalto hidráulico.

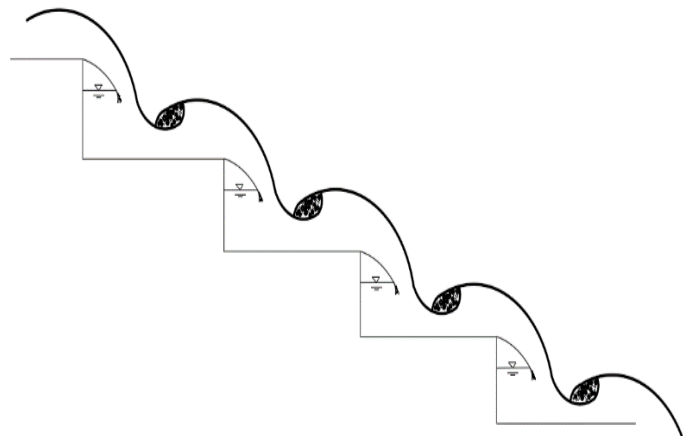


Figura 2-12. Flujo escalón a escalón (a)  
Elaborado por: Logacho & Orozco

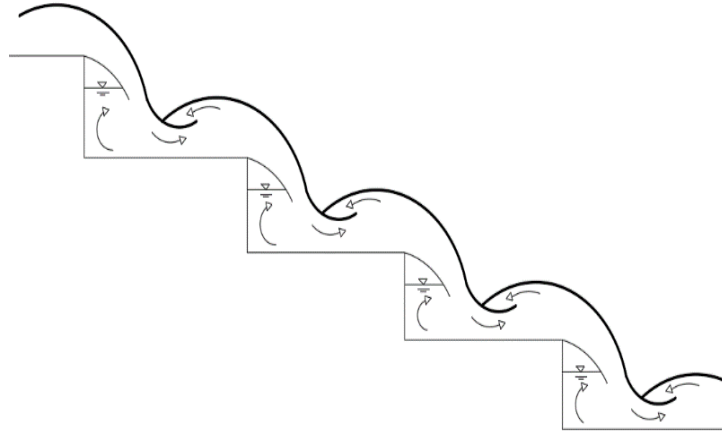


Figura 2-13. Flujo escalón a escalón (b)  
Elaborado por: Logacho & Orozco

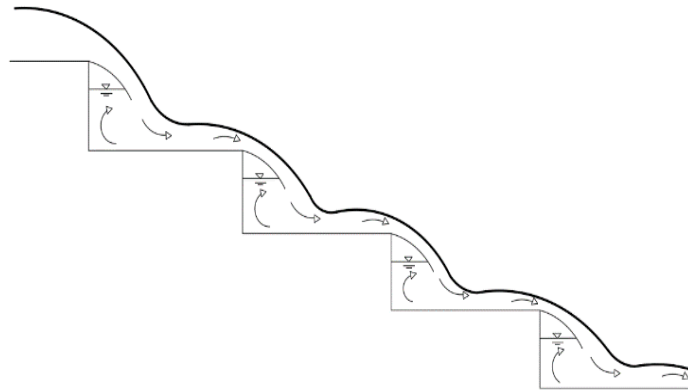


Figura 2-14. Flujo escalón a escalón (c)  
Elaborado por: Logacho & Orozco

### 2.2.1.2 Ocurrencia del flujo escalón a escalón

Este tipo de flujo se presenta o se aplica en descargas pequeñas o en aliviaderos que sean prácticamente planos. Para el caso de descargas grandes, el salto hidráulico es probable que no ocurra, pero el flujo golpea directamente el escalón y cae al siguiente.

Para determinar las condiciones de flujo, se debe tomar en cuenta los parámetros: altura del escalón, longitud del escalón, y el caudal unitario. Con base en los resultados presentados por Rand (1995) sobre la geometría de los escalones, el ingeniero hidráulico Hubert Chanson propuso

la siguiente condición para la ocurrencia de un flujo en láminas aisladas, con un salto hidráulico completamente desarrollado (Chanson H. , 1994b):

Para el intervalo de:  $0.2 \leq h/l \leq 0.6$

$$\frac{h_{cr}}{h} \leq 0.0916 * (h/l)^{-1.276} \quad (22)$$

En el caso que el caudal unitario o la pendiente del escalón aumente no se formaría el resalto hidráulico. Según Yasuda & Chanson (2003), la siguiente relación sirve para determinar el valor del límite inferior de la altura del escalón en la formación del flujo en láminas.

Para  $0.1 \leq h/l \leq 1.43$  y  $0 < h/y_c \leq 1.37$

$$\frac{h}{h_{cr}} = 0.57 * \left(\frac{h}{l}\right)^3 + 1.3 \quad (23)$$

Por lo tanto, Chanson (2001), define el límite superior del flujo en láminas como:

$$\frac{h_{cr}}{h} = 0.89 - 0.4 * \frac{h}{l} \quad (24)$$

Donde;

h: altura del escalón en metros.

$h_{cr}$ : profundidad crítica en metros.

Esta relación será válida para flujo uniforme o cuasi uniforme, no será válida para flujo rápidamente variado, y para un intervalo  $0.005 \leq \frac{h}{l} \leq 1.7$ .

Según Chinnasari (2002), el límite superior del flujo escalón a escalón como:

$$\frac{h_{cr}}{h} = 0.98 * (0.55)^{\frac{h}{l}} \quad (25)$$

Las relaciones anteriores trazadas superpuestas en la figura 2-15, muestran un buen grado de consistencia en los resultados obtenidos por diferentes investigadores (Khatsuria, 2002).

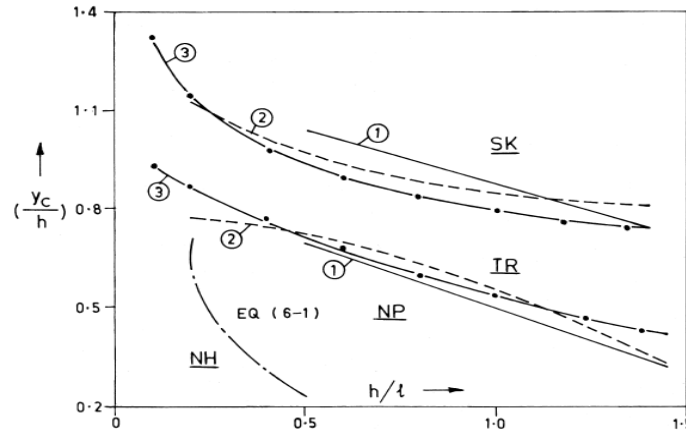


Figura 2-15. Regímenes de flujo en un vertedero escalonado  
Fuente: (USACE, researchgate.net, 1992)

Donde;

La línea 1 es propuesta por (Chanson H. , 2001).

La línea 2 es propuesta por (Yasuda, Y., 2001).

La línea 3 es propuesta por (Chinnarasri, 2002).

NH: flujo en láminas con salto hidráulico;

NP: flujo en láminas;

TR: flujo de transición;

SK: flujo de superficie.

### 2.2.1.3 Disipación de energía en el caso de flujo escalón a escalón.

Para determinar la disipación de energía en un vertedero con flujo escalonado se deberá tener suficientes escalones para que se pueda obtener la altura residual en el último escalón aguas abajo.

$$H_{res} = h_c + \frac{q^2}{2 * g * h_c^2} \quad (26)$$

Para obtener una disipación de energía expresada como:

$$\Delta H = H_{m\acute{a}x} - H_{res} \quad (27)$$

Donde;

$H_{m\acute{a}x}$ : carga total de agua en metros, incluida la carga de velocidad.

$h_c$ : profundidad contraída en metros.

$q$ : caudal unitario en metros cúbicos sobre segundo por metro.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos en estas investigaciones son válidos para caudales unitarios entre  $(0.1 - 10) \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ ., es importante aclarar que para caudales unitarios superiores el flujo que se presentará tendrá un comportamiento rasante (skimming flow). Así también tendrá incidencia la inclinación del paramento aguas abajo, que es donde se realizará el perfil escalonado.

#### 2.2.1.4 *Flujo de transición (Transition Flow)*

En el caso de caudales unitarios intermedios el comportamiento del flujo obedece a fuertes fluctuaciones hidrodinámicas con apariencia caótica, con presencia de aireación y atomización, esto conlleva a un cambio de las propiedades del flujo en la transición de un escalón al otro. Con base en lo expuesto por Chanson & Toombes (2001), donde se propone que el flujo de transición se divida en dos diferentes subtipos en relación a la presencia de cavidades de aire y vórtices de flujo.

- a) Flujo de transición con presencia de cavidades de aire bajo la corriente principal.
- b) Flujo de transición con presencia alternada de cavidades de aire y vórtices.

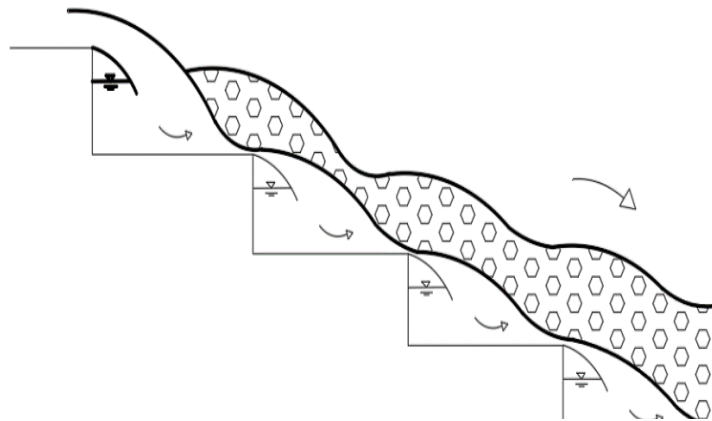


Figura 2-16. Flujo de transición (a)  
Elaborado por: Logacho & Orozco



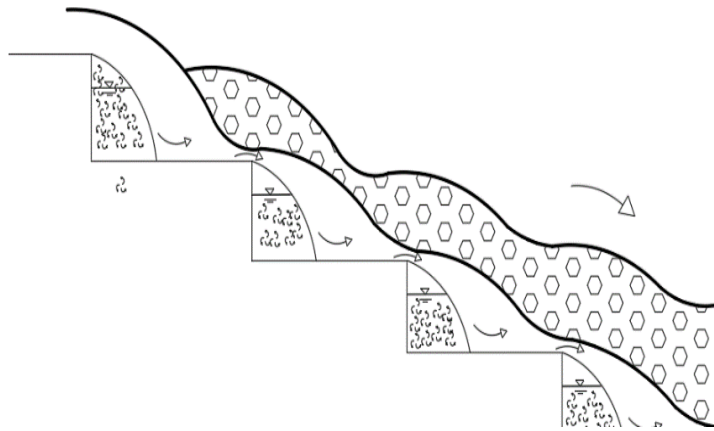


Figura 2-17. Flujo de transición (b)  
Elaborado por: Logacho & Orozco

### 2.2.1.5 Ocurrencia del flujo de transición.

Chanson recomienda tomar en cuenta la aireación que se genera en la transición del flujo al momento del diseño, para considerar este flujo de transición se plantea las siguientes expresiones:

Para un intervalo de:

$$0.2 \leq \frac{h}{l} \leq 1.25$$

$$\frac{h_{cr}}{h} = 1.057 - 0.465 * \left(\frac{h}{l}\right) \quad (28)$$

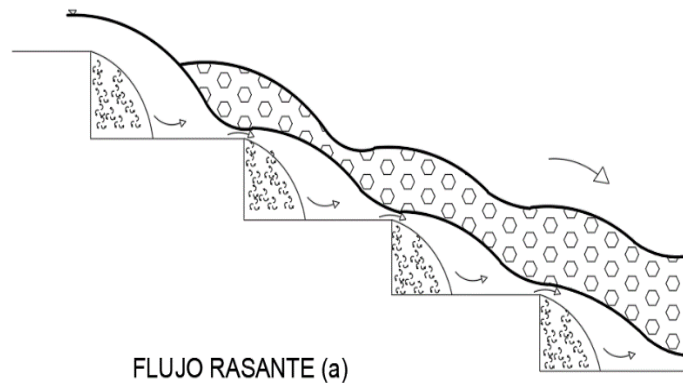
### 2.2.1.6 Flujo rasante (Skimming Flow)

En el caso de caudales unitarios grandes el comportamiento del flujo obedece a una circulación coherente con similar dirección del pseudofondo, el cual está formado por los vértices de los escalones y bajo la corriente principal, los escalones generan cavidades donde se presentan vórtices de flujo y este flujo circula en sí mismo según Chamani & Rajaratnam (1999a), estos

vórtices están presentes por la transmisión de esfuerzo cortante de la corriente principal y este comportamiento participa en gran parte para la disipación de energía (González & Chanson, 2004).

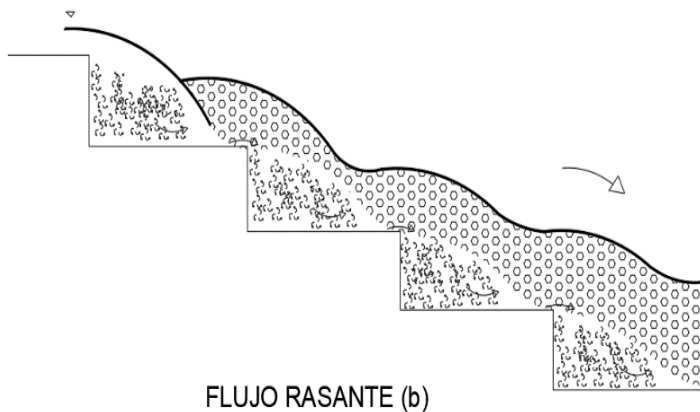
Chanson propone que el flujo rasante se divide en tres diferentes subtipos en relación a la presencia de vórtices de flujo.

- a) Flujo rasante para pendientes entre  $(5 - 22)^\circ$  con caudales pequeños.
- b) Flujo rasante para pendientes entre  $(5 - 22)^\circ$  con caudales grandes.
- c) Flujo rasante para pendientes mayores a  $22^\circ$ .



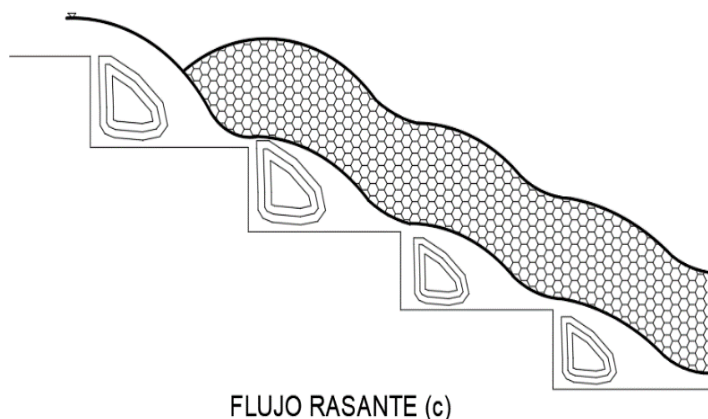
FLUJO RASANTE (a)

Figura 2-18. Flujo rasante (a)  
Elaborado por: Logacho & Orozco



FLUJO RASANTE (b)

Figura 2-19. Flujo rasante (b)  
Elaborado por: Logacho & Orozco



FLUJO RASANTE (c)

Figura 2-20. Flujo rasante (c)  
Elaborado por: Logacho & Orozco

### 2.2.1.7 Ocurrencia del flujo rasante

Las dos zonas del flujo en las que se va a trabajar en el presente estudio son:

- La región superior de los escalones donde se genera un pseudofondo.
- La región inferior de este pseudofondo, en el que las huellas y contrahuellas de los escalones formarán zonas triangulares donde ocurre cambios de flujo y turbulencias.

El flujo rasante comienza sobre la cresta del vertedero, crece a lo largo del paramento aguas abajo hasta alcanzar la superficie libre, en este punto es donde inicia la aireación natural. El objetivo es que el flujo sea uniforme o lo más cercano a uniforme a una distancia segura de la profundidad aguas abajo.

Una vez entendido que el flujo rasante se divide en regiones a lo largo de su desarrollo, para un análisis correcto de este comportamiento se debe tener en cuenta sus características principales, como: la profundidad de agua equivalente  $y_w$ , la concentración media de aire  $C$ , la altura característica  $Y_{90}$ , la energía residual  $H_{res}$  y la energía disipada en términos porcentuales.

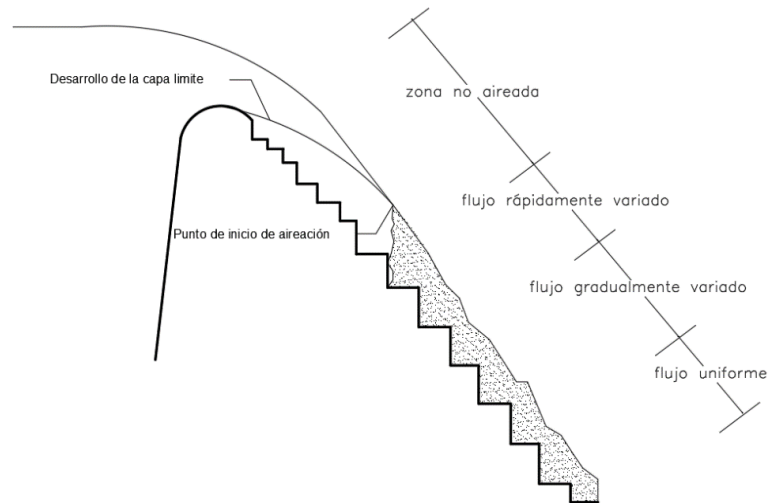


Figura 2-21. Comportamiento del flujo a lo largo del vertedero escalonado  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Como se mencionó antes, para vertederos escalonados en su mayoría de investigaciones se determinó que el flujo deberá ser rasante, por este motivo para el diseño de los vertederos escalonados las características a tomar en cuenta son:

- Estimación de la resistencia al flujo por fricción.
- Disipación de energía.
- Aireación.
- Presiones y cavitación.

Para valorar la resistencia del flujo y así evaluar la pérdida de energía existen varios factores, como: la geometría de los escalones, profundidad del flujo, factor de fricción, etc; y estará fundamentalmente basada en la profundidad del flujo y la velocidad.

De acuerdo con investigaciones realizadas por Nigus (2000), Christodoulou (1993), Kadavy (1996), para determinar la resistencia del flujo se basará en el coeficiente de fricción de un fluido ( $C_f$ ) o el factor de fricción Darcy – Weisbach ( $f$ ).

Con base en estas investigaciones varios autores proponen los siguientes coeficientes de fricción:

Rajaratnam (1990),  $C_f = 0.18$

Chanson (2001),  $C_f = 0.105, 0.17, 0.30$

Matos (1995),  $C_f = 0.18$

Entonces Boes (2000), sugiere la siguiente expresión para calcular la altura equivalente y obtener un coeficiente de fricción equivalente, que deberá estar en el rango sugerido por Chanson (2001): (0.105 - 0.30). Para el presente trabajo se proponen valores entre (0.11 – 0.22)

$$d_e = 0.215 * h_{cr} * \sin^3 \theta \quad (29)$$

$$f_e = 8 * \sin \theta * \left( \frac{d_e}{h_{cr}} \right)^3 \quad (30)$$

Donde;

$d_e$ : altura equivalente en metros.

$f_e$ : coeficiente de fricción del flujo.

$h_{cr}$ : profundidad crítica en metros.

$\theta$ : ángulo de inclinación del perfil escalonado

**Aireación:** La aireación en un perfil escalonado ocurre tanto en el flujo escalón a escalón como en el flujo rasante, pero el mecanismo de arrastre del aire en ambos casos difiere. En el flujo escalón a escalón el arrastre de aire es formado en el punto de choque del agua con el escalón, para el flujo rasante la aireación se presenta cuando la capa que tiene turbulencia emerge en la zona de superficie libre.

Para esto según Boes & Minor (2002), las coordenadas ( $L_i, y_i$ ) se pueden obtener con las siguientes ecuaciones:

$$L_i = \frac{5.90 * h_{cr}^{1.2}}{\sin \theta^{1.4} * h^{0.2}} \quad (31)$$

$$y_i = \frac{0.4 * h_{cr}^{0.9} * h^{0.1}}{\sin \theta^{0.3}} \quad (32)$$

También Chanson (1994b) propone:

$$L_i = \frac{9.72 * q_u^{0.86} * \cos \alpha_d}{(g * \sin \alpha_d)^{0.43} * h^{0.29}} \quad (33)$$

$$y_i = h * \cos \theta * 0.4034 * \frac{F_i^{0.592}}{\sin \theta^{0.04}} \quad (34)$$

$$F_i = \frac{q_u}{\sqrt{g * \frac{h}{l} * k^3}} \quad (35)$$

Donde;

$L_i$ : distancia desde el inicio de la capa de agua sobre la cresta hasta el punto de inicio de aireación.

$y_i$ : distancia vertical donde se ubica el punto de inicio de aireación.

$\theta$ : ángulo de inclinación del paramento aguas abajo.

$F_i$ : número de Froude en términos de la rugosidad.

$q$ : caudal unitario en  $m^3/s*m$

En estas coordenadas se obtendrá una profundidad promedio de la concentración de aire.

$$\bar{c}_i = 1.2 * 10^{-3} * (240^\circ - \theta) \quad (36)$$

**Profundidad del flujo aireado:** En el punto de inicio de aireación el flujo pasa de ser variado a un flujo uniforme en el paramento aguas abajo. El espesor de esta capa donde se realizará la mezcla se puede obtener mediante la recomendación de (Boes & Minor, 2002).

$$\frac{y_{90}}{h} = 0.50 * (F_h^*)^{0.1 * \tan \theta + 0.5} \quad (37)$$

$$F_h^* = \frac{q}{g * \sin \theta * h^3} \quad (38)$$

Donde;

$g$ : aceleración de la gravedad.

$F_h^*$ : número de Froude basado en la altura del escalón.

$h$ : altura del escalón.

$y_{90}$ : profundidad característica cuando la concentración de aire es 90%.

$q$ : caudal unitario en  $m^3/s*m$

**Concentración de aire:** la concentración de aire en el flujo rasante en un vertedero escalonado es similar a la del flujo auto aireado en un vertedero liso. Se debe tener claro que la concentración de aire en el pseudofondo es relevante para la seguridad contra la cavitación. Por este motivo Boes & Minor (2002), proponen:

$$\bar{c} = 0.068 - 6.21 * 10^{-4} * F_h^* \text{ para } \theta = 30^\circ \quad (39)$$

$$\bar{c} = 0.068 - 6.21 * 10^{-3} * F_h^* \text{ para } \theta = 50^\circ \quad (40)$$

**Flujo rápidamente variado y gradualmente variado:** después del punto de inicio de aireación la lámina libre de agua presenta una deflexión. Según Matos (2001) las líneas de corriente son convexas favoreciendo a la aireación del flujo, posteriormente son cóncavas lo que permite la salida de las burbujas de aire en forma ascendente, esto causa la disminución localizada de la concentración media de aire. El flujo gradualmente variado se caracteriza por la variación de parámetros como: concentración media de aire, velocidad y calado, permitiendo así que se alcancen las condiciones de flujo variado.

Para determinar la zona de flujo rápidamente variado y gradualmente variado Matos (2001), propone:

$$s' = \frac{L - L_i}{y_i} \quad (41)$$

Para rápidamente variado en el rango de  $0 < s' < 30$  y para el caso de gradualmente variado en el rango de  $30 < s' < 100$  .

El flujo uniforme debe presentarse lejos de la cresta de la presa donde sus características principales se mantendrán constantes, es decir: velocidad media, concentración de aire media, altura de agua y energía residual.

Debido a la dificultad de las curvas de carácter asintótico, la siguiente expresión para la presencia de flujo uniforme, esta condición determina la altura mínima que debe tener la presa y de esta manera alcance la formación del flujo uniforme aguas abajo (Hager & Boes, 2000).

$$\frac{H_p}{h_{cr}} \approx 24 * \sin \theta^{2/3} \quad (42)$$

De esta manera Hager & Boes (2000) proponen que se dé esta relación, para que se cumpla con el régimen uniforme:

$$\frac{H_p}{h_{cr}} \approx 20.3 \quad (43)$$

Por otro lado, Matos (2001) plantea la siguiente relación para que se cumpla con el régimen uniforme:

$$\frac{H_p}{h_{cr}} \approx 30 \quad (44)$$

Y además Matos (2001) menciona que la concentración media dependerá únicamente del ángulo de inclinación del paramento aguas abajo:

$$\bar{C} = 0.76 * \sin \theta^{0.82} \quad (45)$$

### 2.2.1.8 *Disipación de energía en el flujo rasante*

Según Yasuda (2001) propone esta expresión para flujo uniforme o no uniforme:

$$\frac{\Delta H}{H_{max}} = 1 - \frac{\left(\frac{y_w}{h_{cr}}\right)^{-2} - 2 * \left(\frac{y_w}{h_{cr}}\right) * \cos \theta}{3 + 2 * \frac{H_p}{h_{cr}}} \quad (46)$$

Mientras que Chanson (1994b) plantea esta expresión para flujo uniforme o cuasi uniforme:



$$\frac{H_{res}}{H_{max}} = 1 - \quad (47)$$

$$\frac{\left(\frac{f_a}{8 \sin \theta}\right)^{1/3} \cos \theta + \frac{1}{2} \left(\frac{f_a}{8 \sin \theta}\right)^{-2/3}}{3 + 2 \frac{H_p}{y_c}}$$

En cuanto a Ghare & Porey (2002) con base en varios estudios para una inclinación del paramento aguas abajo constante proponen:

$$\frac{\Delta H}{H_{max}} = -0.0209 * \ln\left(\frac{h_{cr}}{h}\right) + 0.9055 \quad (48)$$

Finalmente, Boes & Minor (2002) proponen la siguiente expresión para un flujo no uniforme:

$$\frac{\Delta H}{H_{max}} = \exp\left(-0.045 * \left(\frac{k}{D_{h,w}}\right)^{0.1} * \sin \theta^{-0.8}\right) * \quad (49)$$

$\frac{H_p}{h_{cr}}$

Donde;

$\Delta H$ : disipación de energía expresada como  $H_{m\acute{a}x} - H_{res}$

$H_{m\acute{a}x}$ : carga total maxima para calcular la disipaci3n de energía

$H_{res}$ : profundidad residual o energía remanente.

$y_w$ : profundidad del flujo desde el pseudofondo  $y_w = y_i$ .

$h_{cr}$ : profundidad crítica,  $h_{cr} = y_c$ .

$\theta$ : ngulo de inclinaci3n entre la horizontal y el paramento aguas abajo.

$H_p$ : altura de la presa.

$f_a$ : factor de fricci3n para un flujo aireado uniforme.

$D_{h,w}$ : profundidad de flujo desde el pseudofondo en un punto determinado, es posible determinar este valor para cualquier punto relacionando los valores obtenidos con la ecuaci3n (37) y (38) o interpolando.

$k$ : coeficiente de desprendimiento del flujo.

### 2.2.2 Clasificaci3n de las presas vertedero

Para el dimensionamiento hidráulico de los vertederos se debe tomar en cuenta las siguientes condiciones:

1. Condiciones hidráulicas que posibiliten el vertido del caudal de diseño a través del perfil escalonado de la presa;
2. Condiciones constructivas, por ejemplo: cuando el frente del vertedero de la presa este dividido en secciones, generalmente se coloca compuertas metálicas, cuya instalación sobre la cresta del vertedero requiere de inclusión de elementos constructivos complementarios; para el caso del presente estudio se abordará las condiciones constructivas sin presencia de compuertas, es decir, con vertido libre.

Las presas vertedero se pueden clasificar de la siguiente manera:

- En función de la magnitud de la presión hidrodinámica en el contacto de la lámina de agua con el paramento aguas abajo o perfil hidráulico de la presa.

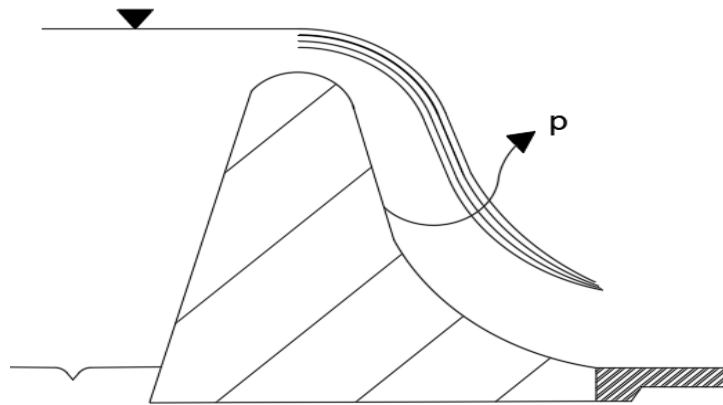


Figura 2-22. Presa vertedero (1)  
Elaborado por: Logacho & Orozco

- ✓ Presas sin vacío: cuando la presión es aproximada a la presión atmosférica.

$$p = p_{atm}$$

- ✓ Presas con vacío: cuando la presión es menor que la presión atmosférica.

$$p < p_{atm}$$

- En función de la forma del enlace del tramo al pie de la presa
  - ✓ Presa con enlace liso

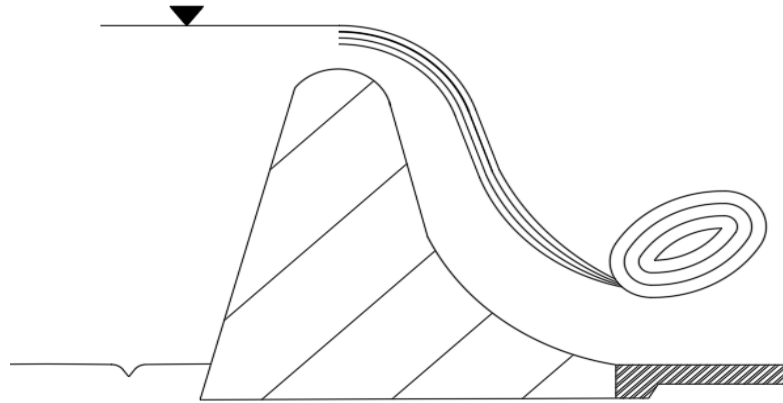


Figura 2-23. Presa vertedero con enlace liso  
Elaborado por: Logacho & Orozco

- ✓ Presa con escalón bajo: la altura del escalón es menor a la profundidad aguas abajo. Este esquema se adopta con frecuencia en el caso de presas pequeñas ubicadas en zonas con temperaturas negativas, ya que durante el invierno se origina la formación de hielo aguas arriba de la presa. En el caso de existir losa de disipación el objetivo del escalón es evitar el golpe de hielo sobre la superficie de la losa, además se debe cumplir que  $a < h_2$

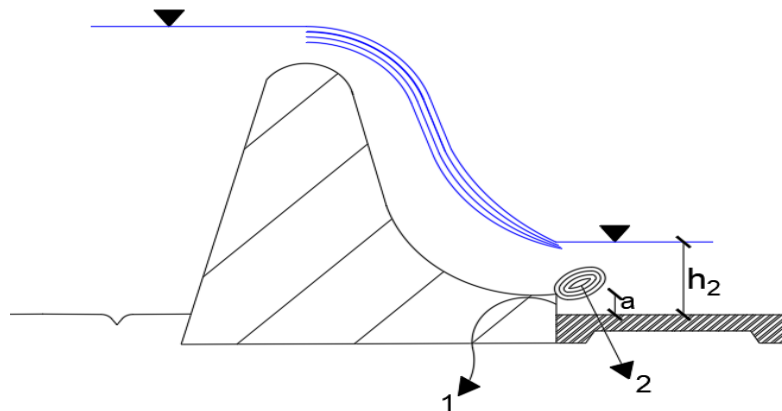


Figura 2-24. Presa vertedero con escalón bajo  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Donde;

1: escalón bajo

2: vórtice

a: altura del escalón bajo

$h_2$ : profundidad aguas abajo

- ✓ Presa con escalón alto o deflector tipo esquí: Este esquema se utiliza con caudales unitarios altos en presas cimentadas en roca, como es el caso del presente trabajo. El objetivo del deflector tipo esquí es permitir el vuelo de la lámina de agua a fin de que el proceso de disipación se produzca a considerable distancia de la presa formando un cono de erosión natural.

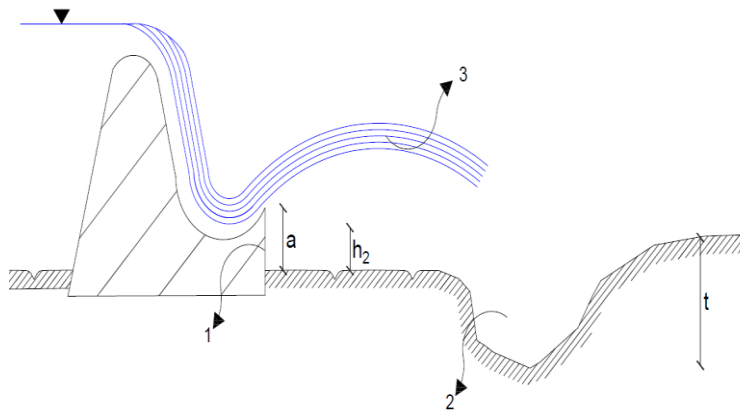


Figura 2-25. Presa vertedero con escalón alto  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Donde;

a: altura del escalón alto o deflector esquí

$h_2$ : profundidad aguas abajo

t: profundidad del cono de erosión

1: escalón alto

2: cono de erosión

3: trayectoria del vuelo de la lámina de agua

### 2.2.3 Dimensionamiento del perfil práctico tipo Creager

El dimensionamiento del perfil práctico tipo Creager debe seguir la siguiente

secuencialidad:

1. A partir de los indicadores de corte del macizo de cimentación, como: ángulo de fricción interna, cohesión y altura de la presa, se determina el perfil teórico triangular.
2. Con la carga que se obtiene a partir del caudal unitario con la ecuación del vertedero, se obtiene el perfil teórico preliminar, este perfil geoméricamente es igual al límite inferior de la lámina de agua a través de un vertedero de pared delgada que opera con la misma carga.

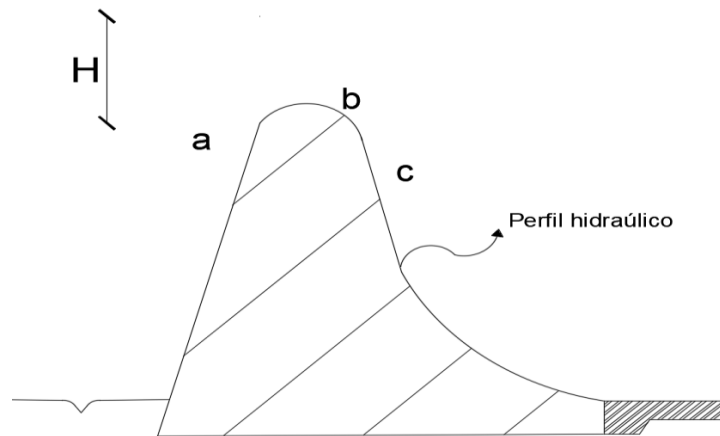


Figura 2-26. Perfil hidráulico tipo Creager  
Elaborado por: Logacho & Orozco

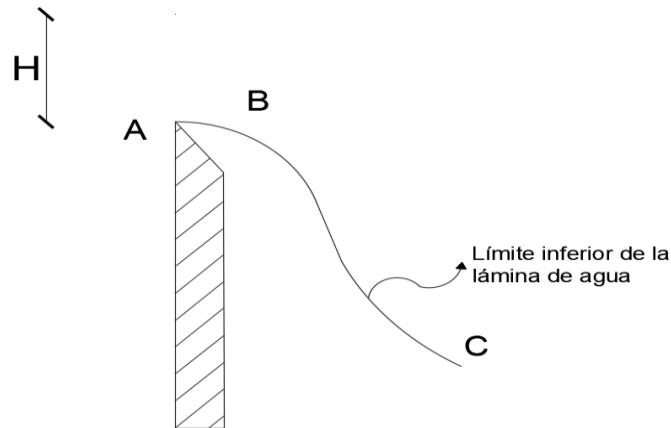


Figura 2-27. Vertedero de pared delgada  
Elaborado por: Logacho y Orozco

$$ABC = abc$$

( 50)

Donde;

abc: perfil de la presa vertedero que tiene la forma de perfil práctico tipo Creager.

ABC: límite inferior de la lámina de agua a través de un vertedero de pared delgada que trabaja con la misma carga (H).

La configuración del vertedero Creager se construye a partir de ecuaciones o tablas disponibles en la bibliografía, entre las están la del vertedero de perfil práctico Creager Offizyerov, que constituyen coordenadas de perfil hidráulico dadas para una carga de un metro ( $H = 1 \text{ m}$ ) ( $x'$ ,  $y'$ ). Para obtener las coordenadas reales  $x$ ,  $y$  se multiplican las coordenadas unitarias por la carga  $H$ .

$$x = x' * H \quad (51)$$

$$y = y' * H \quad (52)$$

*Tabla 2-12.*  
*Coordenadas Offizyerov*

$x/H$ ( $x'$ )	$y/H$ ( $y'$ )
0.00	0.126
0.10	0.036
0.20	0.007
0.30	0.000
0.40	0.006
0.50	0.027
0.60	0.060
0.70	0.100
0.80	0.146
0.90	0.198
1.00	0.256
1.10	0.321
1.20	0.394
1.30	0.475
1.40	0.564
1.50	0.661

---

1.60	0.764
1.70	0.873
1.80	0.987
1.90	1.108
2.00	1.235
2.10	1.369
2.20	1.508
2.30	1.653
2.40	1.847
2.50	1.960
2.60	2.122
2.70	2.289
2.80	2.462
2.90	2.640
3.00	2.824
3.10	3.013
3.20	3.207
3.30	3.405
3.40	3.609
3.50	3.818
3.60	4.031
3.70	4.249
3.80	4.471
3.90	4.698

---

Fuente: (Chugaev, 1988)

Otra manera de efectuar el perfil constructivo es mediante ecuaciones geométricas, así lo propone la USACE:

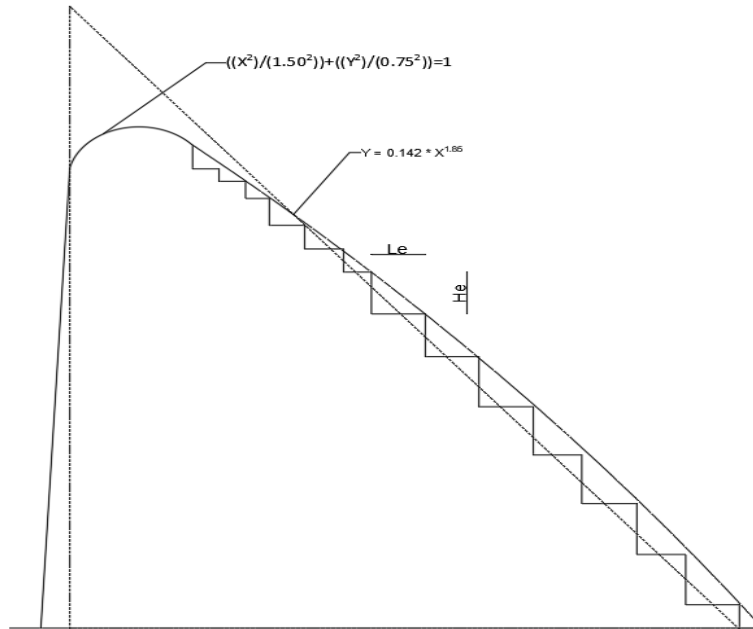


Figura 2-28. Alternativa para formar el perfil según USACE  
Fuente: (USACE, researchgate.net, 1992)

3. Se sobreponen los perfiles, teórico triangular e hidráulico preliminar para obtener el perfil teórico de la presa vertedero.
4. Al perfil teórico de la presa vertedero se añaden los elementos constructivos para obtener el perfil constructivo de la presa.

Al considerar el perfil teórico triangular e hidráulico para la obtención del perfil preliminar de la presa vertedero, es importante tener en cuenta que los elementos deben prevalecer de los dos perfiles referidos:

- Del perfil teórico triangular: ancho de la base (b), pero también en lo posible la ubicación del vértice superior.
- Del perfil hidráulico: su configuración obtenida a través de las coordenadas Creager – Offizyerov.



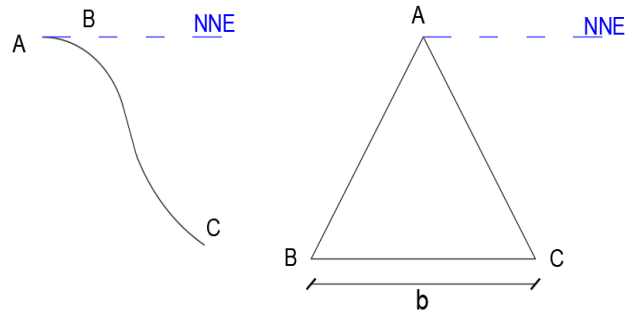


Figura 2-29. Superposición del perfil hidráulico con el perfil teórico triangular  
Elaborado por: Logacho & Orozco

El enlace del perfil Creager ABC con el fondo del cauce se obtiene a través de un segmento recto CD y de una curva circular DE de radio R.

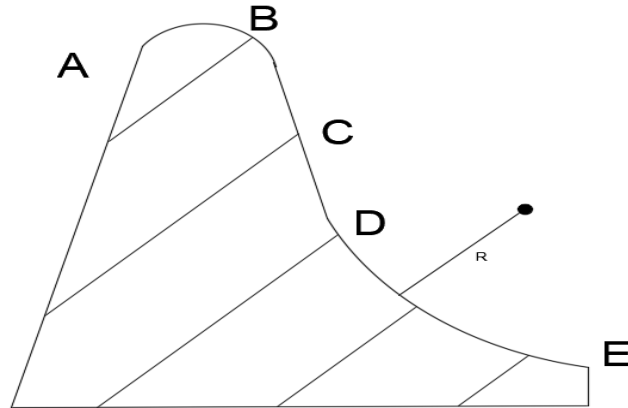


Figura 2-30. Enlace del perfil Creager con el fondo del cauce  
Elaborado por: Logacho & Orozco

La longitud del segmento recto CD depende de la altura de la presa. En casos de presas de altura relativamente pequeña, la longitud de este segmento se reduce considerablemente e inclusive puede ser nula, en cuyo caso el perfil ABC se enlaza directamente con el fondo del cauce a través de la curva circular, C conecta con D.

El radio de enlace R para su diseño preliminar puede asumirse dentro de los siguientes límites:

$$R = (0,50 - 1)(H + z) \text{ para presas pequeñas} \quad (53)$$

$$R = (0,25 - 0,50)(H + z) \text{ para presas grandes} \quad (54)$$

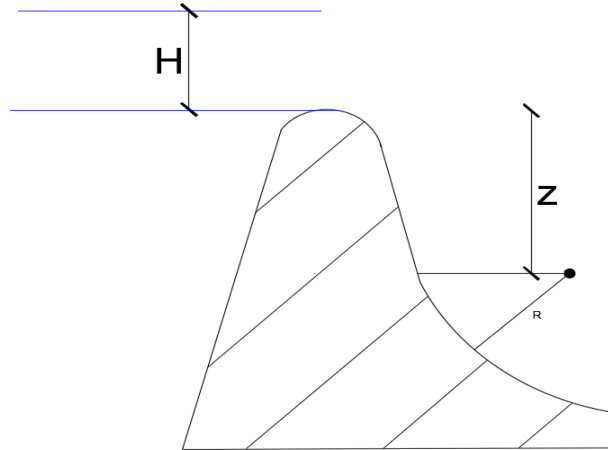


Figura 2-31. Radio de enlace  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Respecto al perfil transversal de la presa vertedero cabe recalcar lo siguiente:

- a. El perfil recomendable es el que tenga un enlace suave o continuo, puesto que permite obtener mejores condiciones hidráulicas con menores riesgos de cavitación y erosión.
- b. El perfil con escalón bajo, origina bajo el escalón vórtices y oscilaciones de la presión hidrodinámica y de la profundidad de flujo con consecuencias de inestabilidad y erosión. Como se ha indicado este perfil resulta útil en sitios con temperaturas negativas, donde en épocas invernales a través del vertedero fluye agua con hielo.
- c. El perfil transversal con escalón alto es recomendable en el caso de presas altas cimentadas en roca y en el caso de presas cimentadas en suelo, cuando la longitud de vuelo de la lámina de agua sea suficientemente grande para evitar socavaciones cerca de la presa.

Para dimensionamiento preliminar se puede asumir los siguientes valores de caudal unitario:

*Tabla 2-13.*  
*Caudal unitario respecto al macizo de cimentación*

Macizo de cimentación	Caudal unitario (m <sup>3</sup> /s*m)
Rocas y semirocas	90 – 120
Suelo	50 – 70
	50 – 60
	10 – 30

Fuente: (Sandoval W. , 2018)

### 2.2.4 Dimensionamiento del perfil escalonado

Este perfil se caracteriza por estar constituido de escalones secuenciales, a través de los cuales desciende el agua hasta el pie del paramento aguas abajo. Los escalones geoméricamente tienen una huella denominada longitud del escalón ( $l$ ) y una contrahuella denominada altura del escalón ( $h$ ), un ángulo ( $\alpha$ ) que se forma entre la huella o longitud del escalón con la línea que une las esquinas de los escalones ( $\lambda$ ), o también se podría mencionar que cuando se presente flujo rasante la longitud ( $\lambda$ ) será el pseudofondo del perfil escalonado.

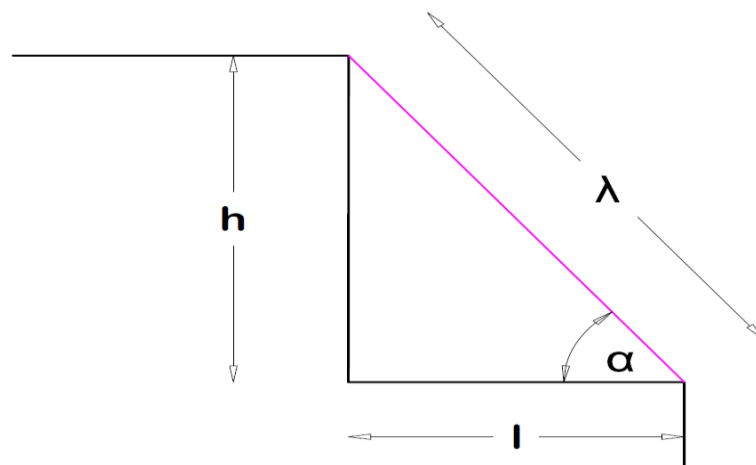


Figura 2-32. Geometría del escalón  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Como ya se conoce existen 3 tipos de flujo a considerarse en un perfil escalonado, estos son:

- Flujo rasante (skimming flow)
- Flujo de transición (transition flow)
- Flujo escalonado (nappe flow)

Al ser el flujo de transición prácticamente indeseable en un perfil escalonado, pero inevitable cuando se presenta un flujo rasante, se origina dos escenarios: el flujo rasante que corresponde a pendientes y caudales unitarios relativamente altos; y el flujo escalonado que corresponde a pendientes bajas y caudales unitarios relativamente pequeños.

Entonces, el objetivo más importante de hacer uso de un perfil escalonado es alcanzar la disipación de la mayor parte de la energía al pie del paramento aguas abajo de la presa de hormigón compactado (HC), por esta razón la altura del escalón es un valor de mucha sensibilidad en el dimensionamiento de los escalones.

La práctica de diseño menciona que la altura del escalón no debe ser mayor que:

$$k_s \geq 0.0764 * q^{\frac{2}{3}} \quad (55)$$

$$k_s = h * \cos(\alpha) \quad (56)$$

Donde;

$k_s$ : rugosidad de forma

$h$ : altura del escalón

$q$ : caudal unitario

$\alpha$ : ángulo del escalón

Con las ecuaciones 55 y 56, Tozzi (1992) concluyó que la disipación de energía comienza a ser igual a pesar de que la altura del escalón aumente; es decir, que se trata de un límite superior del efecto de la disipación de energía en la altura del escalón ( $h$ ), por ende, a partir de este límite

superior se debería comenzar a variar el valor de la contrahuella (l), a fin de lograr una mayor disipación de energía. Por ello Tozzi (1992) propuso alturas óptimas ( $h_{opt}$ ) de escalones basándose en la siguiente expresión:

$$\frac{h_{opt}}{h_{cr}} \geq 0.30 \quad (57)$$

Según Ohtsu *et al.* (2004), con base en sus datos experimentales y los de Chamani & Rajaratnam (1999), Boes (2000) y Yasuda & Chanson (2003) proponen una altura relativa del escalón ( $h/h_{cr}$ ) para la cual el factor de fricción será máximo:

$$f_{m\acute{a}x} \rightarrow \frac{h}{h_{cr}} \geq 0.50 \quad (58)$$

*Tabla 2-14.*  
*Alturas óptimas de escalones en términos de disipación de energía obtenidas de la relación propuesta por (Tozzi, 1992) y (Ohtsu, Yasuda, & Takahashi, 2004).*

<b>q (m<sup>3</sup>/s*m)</b>	<b>h<sub>cr</sub> (m)</b>	<b>h<sub>opt</sub> (m)</b>	<b>h<sub>opt</sub> (m)</b>
		(Ohtsu, Yasuda, & Takahashi, 2004)	(Tozzi, 1992)
5	1,37	0,68	0,41
7,5	1,79	0,90	0,54
10	2,17	1,08	0,65
12,5	2,52	1,26	0,76
15	2,84	1,42	0,85

Fuente: (Amador, 2005)

### **2.2.5 Características geométricas de los escalones**

Las características geométricas de los escalones se deben diseñar con minuciosidad porque a partir de esto se puede determinar la energía remanente ( $H_{res}$ ), es decir, que la geometría del escalón independientemente de otros factores importantes permite disipar gran parte de la energía, a través del perfil escalonado, permitiendo reducir las dimensiones del pozo de disipación al pie del paramento aguas abajo o en algunos casos simplemente eliminarlo.

Las características geométricas de los escalones han sido investigadas por diversos autores, entre ellos Chanson (2001), que relaciona la huella y contrahuella del escalón con el caudal unitario y la profundidad crítica. Otra característica de la geometría de los escalones es que, junto al caudal unitario, influye directamente en el tipo de flujo que atraviesa por el perfil escalonado; sin suprimir el concepto de que la geometría del escalón está directamente asociada con el proceso constructivo del hormigón compactado (HC), teniendo alturas de escalón que sean múltiplos de 0.30 m, debido a las tongadas de compactación.

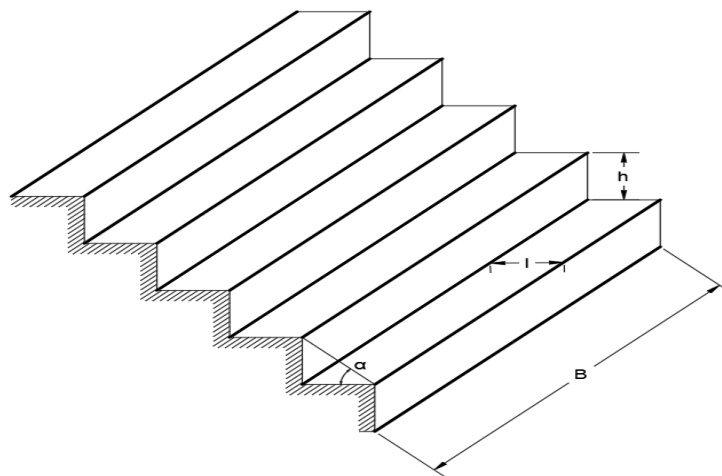


Figura 2-33. Características geométricas de los escalones  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Según Chanson (2001) los escalones actúan como elementos rugosos y, por consiguiente, se genera un aumento de la fricción en el fondo del perfil escalonado y una disminución de la energía residual al pie del paramento aguas abajo. Es por ello que, la teoría de los perfiles escalonados ha sido introducida principalmente en la ingeniería de presas de hormigón compactado (HC). El coeficiente de talud aguas abajo y la geometría del escalón son los parámetros que predominan en el flujo con relación al caudal unitario. Mediante análisis experimental se ha comprobado que un flujo rasante alcanza hasta un 70 % de disipación de energía, mientras que en un flujo escalonado se puede obtener más del 90 % de disipación de energía. Dependiendo del talud del perfil escalonado, la geometría de los escalones suele variar

entre (0,60 - 1,00) m en altura, y la longitud del escalón entre (0,50 – 0,75) m; esto tiene mucho que ver con el proceso constructivo, sin embargo, no es un parámetro limitante siempre y cuando se justifique las dimensiones de los escalones (Rendón, 2011).

En sus estudios experimentales válidos para presas mayores a 25 m de altura Mateos & Elviro (1999) concluyeron que a mayor altura mayor disipación, entonces, cuando se tienen caudales unitarios bajos y alturas de escalón pequeñas, la disipación de energía es prácticamente similar a la de un perfil liso convencional. Determinadas estas deducciones en función de los ensayos realizados en el laboratorio de hidráulica del CEDEX se puede mencionar que cuando se cumple la relación (59), la disipación de energía es prácticamente similar a la de un perfil liso convencional y, por consiguiente, se debe calcular u optar por otro método de disipación de energía.

$$\frac{H_p}{h_{cr}} < 8 \quad (59)$$

Donde;

$H_p$ : altura de la presa

$h_{cr}$ : profundidad crítica

#### **2.2.5.1 *Altura de los escalones***

La construcción de una presa de hormigón compactado (HC) implica el proceso constructivo por medio de tongadas de espesor mínimo 0.30 m que se coloca en superficies realmente extensas, por ello la altura del escalón normalmente suele ser múltiplos de este espesor mínimo, es decir; 0,30 m; 0,60 m; 0,90 m; 1,20 m.

Pero para la selección de la altura del escalón se debe tomar en cuenta aspectos hidráulicos como: el potencial riesgo de cavitación a lo largo del perfil escalonado y la disipación de energía que se va a obtener. La cavitación en la estructura es un tema que aún se encuentra en

investigaciones, sin embargo, según estudios experimentales realizados en el campo de presiones, se indica una velocidad media crítica de 15 m/s en el punto del inicio de la aireación (Amador, 2005). Para el caso en que se presenten velocidades más altas, las fluctuaciones en el campo de presiones sobre los escalones llegarían a valores críticos y, por consiguiente, se daría el inicio a la cavitación. En la comunidad científica aún no existe un consenso respecto a la influencia que tiene la altura del escalón con respecto a la disipación de energía, ya que aún se encuentra en estudios.

### 2.2.6 Construcción del perfil escalonado

La construcción y respectiva inclusión de los escalones se fundamenta en la base teórica presentada por Khatsuria (2002) quien indica valores de los primeros escalones que tendrían contrahuella y huella variable, como se muestra en la siguiente figura: en la zona posterior se ubican los escalones que tienen dimensión similar. Cabe aclarar que prevalece la inclinación del talud aguas abajo, caso contrario el perfil escalonado no coincidiría con el perfil hidráulico tipo Creager.

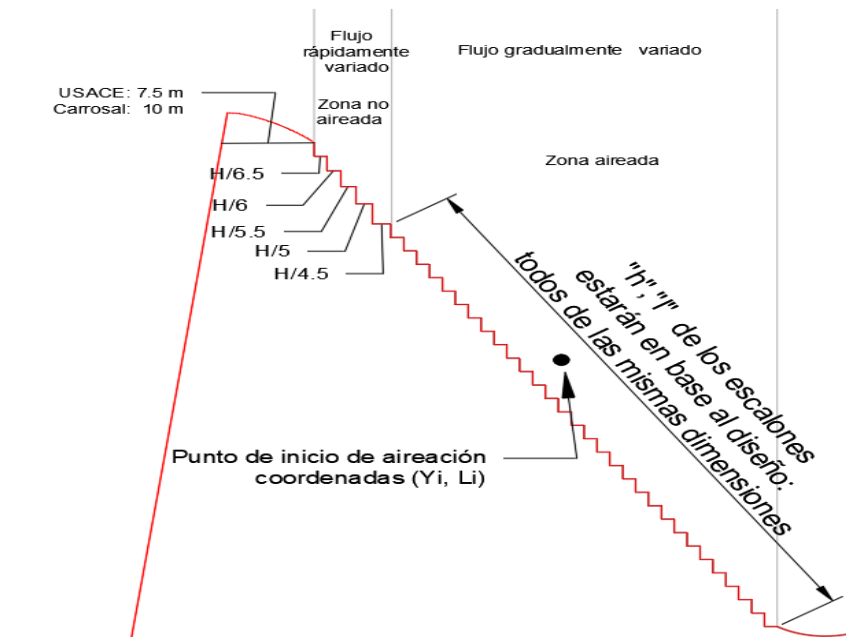


Figura 2-34. Construcción del perfil escalonado en el paramento aguas abajo  
Elaborado por: Logacho & Orozco



### 2.2.7 Deflector tipo esquí

No es suficiente conocer cuál es el porcentaje de energía que se disipa o la altura residual que se obtiene aguas abajo, sino también es importante saber que se va a hacer con esa energía remanente; la práctica de diseño evidencia que cuando el macizo de cimentación es roca lo más factible, recomendado o seleccionado es optar por el deflector tipo esquí, con el fin de ahorrar los costos de construcción de un pozo de disipación. Básicamente consiste en dar un escalón alto al pie del paramento aguas abajo con determinado radio de curvatura que permita evacuar mediante un chorro, que sale disparado al aire, y que por su cuenta debe socavar y provocar una almohada de agua; una parte de la energía se disipa en el aire antes de que el chorro caiga en el macizo para continuar con su cauce a una distancia segura de la presa. Algunos diseñadores recomiendan hacer una excavación equivalente al volumen de socavación del chorro, premisa que se vuelve un requisito cuando el mencionado chorro cae cerca de la presa, lo cual verificaremos en la presente investigación. Además, el deflector tipo esquí consiste en obtener dos resultados, primero conocer cuál es la longitud a la que el chorro golpea nuevamente el macizo para continuar con su cauce normal y determinar cuál es la profundidad de socavación que es causada por el choque del agua con el macizo, por ende, también se calculará el ángulo ( $\beta$ ) que se forma con la horizontal y representa el ángulo con el que se dispara el chorro de agua.

La hidroeléctrica Pirrís, en Costa Rica, tiene un deflector tipo esquí en donde se puede observar la línea parabólica formada por el agua a causa del esquí. Para el correcto diseño del mencionado deflector se debe conocer cuál es la velocidad que tiene el flujo antes y durante el deflector, esta velocidad es calculada en función de la profundidad contraída. Esta alternativa de disipación de energía fue propuesta por primera vez por Andre Coyne, en 1951. En la siguiente figura se puede observar un vertedero tipo esquí típico de la presa L'Aigle, en Francia, la losa del

vertedero es la de la casa de máquinas que está al pie del paramento aguas abajo. En este caso la losa se reforzó para soportar la gran carga que se forma debido a la presión centrífuga del chorro que actúa sobre la punta del vertedero tipo esquí (Chow, 1959).



Figura 2-35. Vertedero tipo esquí Presa L'aigle, Francia.  
Fuente: (Guy, 2010)

### 2.2.7.1 Procedimiento de diseño del deflector tipo esquí

Como ya se mencionó para realizar el cálculo se necesita conocer la velocidad del flujo en el deflector ( $v_{\text{esq}}$ ), dicha velocidad se encuentra en función de la profundidad contraída ( $h_c$ ) y el ángulo ( $\beta$ ) oscila entre  $(25 - 40)^\circ$ . Como se sabe, la profundidad contraída se la puede calcular mediante aproximaciones con la ecuación de Bernoulli o con la ecuación 60 (Sandoval W. , 2018). Según Sandoval (2018) la siguiente secuencia es para diseñar el deflector:

$$h_c = \frac{f * q^2}{\sqrt[3]{8 * g * \sin \alpha}} \quad (60)$$

Donde;

f: coeficiente de fricción para flujo aireado

q: caudal unitario ( $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ )

g: aceleración de la gravedad ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\alpha$ : ángulo de inclinación del paramento aguas abajo

$h_c$ : profundidad contraída

Para presas cimentadas en roca como es el caso de esta investigación se debe calcular el radio de curvatura con la que se une la línea del vertedero con la del deflector tipo esquí, el cálculo se lo realiza con la siguiente ecuación:

$$R \geq 5 * hc \quad (61)$$

$$R = 1,27 * \left(\frac{p_2}{H}\right)^{0,4} \quad (62)$$

Donde;

$p_2$ : altura de la presa – profundidad aguas abajo + 2,5 metros (asumido con el fin de garantizar que el deflector tipo esquí se ubique sobre la profundidad aguas abajo).

H: carga sobre el vertedero.

R: radio de curvatura.

El cálculo de la velocidad en el deflector se lo realiza con la siguiente ecuación que está en función del caudal unitario y de la profundidad contraída.

$$v_{esq} = \frac{q}{hc} \quad (63)$$

Donde:

$v_{esq}$ : velocidad en el deflector (m/s)

$hc$ : profundidad contraída

El número de Froude se debe calcular para poder determinar el coeficiente de aireación de flujo y se lo realiza con la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{v_{esq}}{\sqrt{g * hc}} \quad (64)$$

Los valores del coeficiente de aireación de flujo se los puede obtener en la tabla 2-15. Horení en 1956 creó experimentalmente una ecuación en función del caudal unitario para conocer cuál es la longitud de caída que se requiere para que el chorro este totalmente desintegrado (Sandoval W. , 2018):

$$L = 5.89 * q^{0.319} = 6 * q^{1/3} \quad (65)$$

Donde;

q: caudal unitario (m<sup>3</sup>/s\*m)

De la siguiente manera también es posible obtener L:

$$L = K_a * \frac{v_{esq}^2}{g} * \cos \beta \left( \sin \beta + \sqrt{\sin \beta - \frac{2gz_2}{v_{ski}^2}} \right) \quad (66)$$

Donde z<sub>2</sub> es igual a la distancia vertical entre la profundidad aguas abajo y el eje del chorro:

$$z_2 = - \left( z_s + h_1 \cos \frac{\beta}{2} \right) \quad (67)$$

Siendo;

ka: coeficiente de aireación del flujo que toma los valores mostrados en la siguiente tabla:

*Tabla 2-15.*

*Coefficiente de aireación del flujo*

Numero de Froude	Ka
Fr <sup>2</sup> < 35	1
Fr <sup>2</sup> > 35	0,8 – 0,9

Fuente: (Slisskiy, 1986)

Para calcular la profundidad de socavación (h<sub>soc</sub>), se procede a calcular con la ecuación propuesta por Veronese en 1937 y modificada en el año 1994, la cual se multiplica por el seno del ángulo (β), (Sandoval W. , 2018).

$$h_{soc} = 1.9 * q^{0.54} * z^{0.225} * \text{sen} \beta \quad (68)$$

Donde;

z: diferencia de cotas entre aguas arriba y aguas abajo

En la siguiente tabla se presentan ecuaciones propuestas por diversos autores para determinar la profundidad de socavación:

*Tabla 2-16.*  
*Propuestas para determinar la profundidad de socavación*

Autor	Ecuación	Parámetros
1. Vuizgo M.	$hs = 5.13 * \frac{q^{0.567} * \left(\frac{z}{g}\right)^2}{(0.2 + d_{90\%})^{0.3}}$	k: coeficiente de desprendimiento del flujo (K= 1,0 – 0,4); para los deflectores en vertederos de grandes presas K=0,7 d <sub>90%</sub> : es el diámetro de las partículas en (mm), que corresponde al 90% de la masa del suelo en la zona de impacto del chorro (para roca, se toma el tamaño medio de los bloques)
2. Patrashev A. & Bolshakov (1979)	$hs = 3.9(\sqrt{q})^4 * \sqrt{\frac{z_o}{d_{90\%}}}$ $z_o = z + \frac{v_o^2}{2g}$	d <sub>90%</sub> : es el diámetro en mm, de las partículas correspondientes al 90% de la curva granulométrica
3. VNIIG (1979), caída del chorro sobre roca con grietas y fisuras	$hs = h_1 * Fr * (0.1 + 0.45\sqrt{Fr}) * \sqrt[4]{\frac{h_a}{d}}$	Fr: es el número de Froude a la salida del flujo del esquí calculado con la profundidad h <sub>1</sub> . d: es el diámetro medio, en metros, de los bloques representativos del macizo rocoso en el que impacta el chorro.
4. CNEGP-CICCP (1997)	$hs_{m\acute{a}x} = 0.45 * k_a * z$ $k_a = \sin \alpha + \frac{\cos \alpha}{3}$	k <sub>a</sub> : es el coeficiente de reducción relacionado con el ángulo de ingreso del flujo a la superficie libre aguas abajo

Fuente: (Sandoval W. , 2018)

En la propuesta 3 de VNIIG las dimensiones del pozo de socavación se las establece en forma de trapecio invertido, con un talud inicial de 2,2 en el sentido del flujo; el final 1,5 y; la longitud de la base del fondo de 2,5h<sub>cr</sub> (Sandoval W. , 2018).

En la propuesta 4, ka es planteado por Mijaliov (1971). Finalmente, el ángulo  $\alpha$  de ingreso al flujo en el nivel aguas abajo según Slisskiy (1986) se calcula de la siguiente manera:

$$\tan \alpha = \sqrt{\tan^2 \beta - \frac{2gz_2}{v_1^2 \cos^2 \beta}} \quad (69)$$

### 2.2.7.2 Consideraciones para el diseño de deflectores tipo esquí

Para flujos bajos, el deflector tipo esquí actúa más como un tanque de amortiguación con el agua fluyendo sobre el borde del paramento aguas abajo; la base del deflector necesita estar protegida contra la erosión. Cuando se presenta caudales unitarios altos el flujo aumenta, en este punto, el deflector comienza a operar de manera adecuada con un chorro. La trayectoria del chorro es afectada por la resistencia del aire cuando se presentan velocidades inferiores a 20 m/s. En general, el diseñador debe procurar que la zona de impacto del chorro con el macizo de cimentación sea lo más lejos que se pueda, para proteger a la presa de los agentes erosivos. Alrededor del mundo se han diseñado muchos deflectores con diversas formas, a fin de poder cumplir estas condiciones, evitando que la estructura de disipación falle (Novak, Moffat, & Nalluri, 2001). El pozo de socavación debe tener la apariencia de un trapecio invertido indica Sandoval (2018) al citar a VNIIG P80-79 (1979), para ello los coeficientes de talud del pozo deben ser:  $m_{1p}= 2,2$  y  $m_{2p}= 1,5$  y la base del pozo ( $b_p$ ) tiene que ser igual a:

$$b_p = 2,5 * h_{cr} \quad (70)$$

En la siguiente figura se presenta los parámetros que intervienen en el diseño preliminar de un deflector tipo esquí.

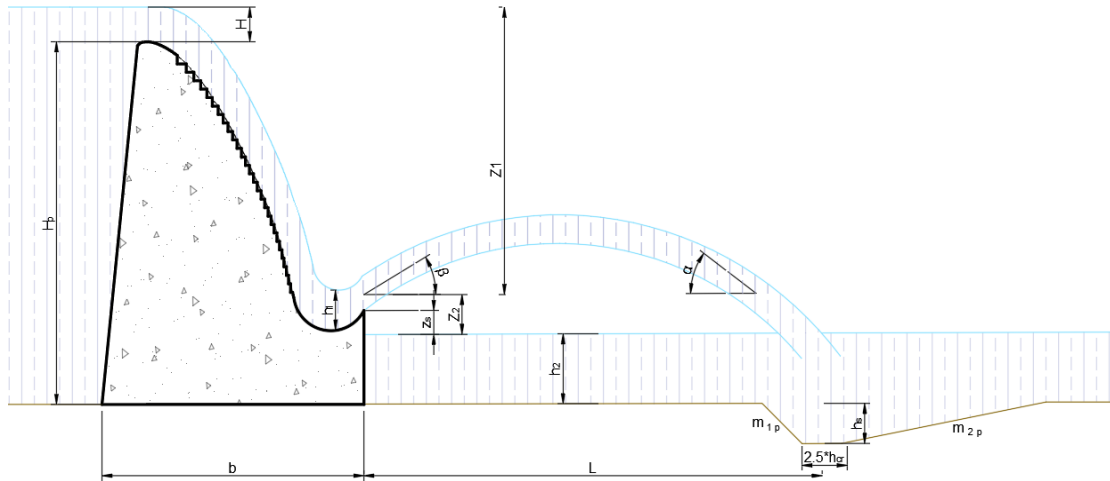


Figura 2-36. Parámetros que intervienen en el diseño del deflector tipo esquí  
Fuente: Logacho & Orozco

## 2.3 Componentes del diseño integral de una presa de hormigón compactado (HC)

### 2.3.1 Características del hormigón compactado (HC)

La mezcla del hormigón compactado (HC) generalmente se efectúa con equipos de mezclado continuo de alta capacidad y entregado mediante camiones o cintas transportadoras, posteriormente se lo extiende con bulldozers por capas para ser compactado con el rodillo vibratorio. El asentamiento del hormigón compactado es nulo con respecto al hormigón convencional, de aquí se deriva la resistencia y durabilidad. De esta manera, en la mezcla el volumen de pasta será suficiente para llenar vacíos generados por los agregados y no exceder el contenido de agua.

Los métodos y objetivos en las proporciones de las mezclas son diferentes a las del hormigón convencional, ya que para el hormigón compactado se debe obtener una mezcla consistente que soporte un rodillo compactador y la circulación de vehículos de transporte de material, lo fundamental en la mezcla será la clasificación del agregado y el contenido de pasta. Las características de los materiales son generalmente específicos del sitio, tomando en cuenta los criterios de rendimiento de la estructura, de diseño y control de calidad, mismos que se basan en

el enfoque del diseñador. Independientemente del método de dosificación y las especificaciones de los materiales, los ensayos de laboratorio son esenciales para controlar la mezcla en fresco y su proceso de endurecimiento.

Dam/ project	Mixture type/ID	Year	NMSA, in. (mm)	Air, %	Water	Cement	Pozzolan	Fine aggregate	Coarse aggregate	Density, lb/ yd <sup>3</sup> (kg/ m <sup>3</sup> )	Air-entrained admixture, oz/yd <sup>3</sup> (cc/m <sup>3</sup> )	Water-reducing admixture, oz/yd <sup>3</sup> (cc/m <sup>3</sup> )
					Quantities, lb/yd <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )							
Al Wehdah	70C60F	2006	2.0 (50)	2.0	211 (25)	118 (70)	101 (60)	1530 (910)	2300 (1365)	4260 (2530)	22 (13)	—
Al Wehdah	60C60F	2006	2.0 (50)	2.0	211 (25)	101 (60)	101 (60)	1530 (910)	2310 (1370)	4255 (2525)	22 (13)	—
Camp Dyer	RCC1	1994	1.5 (37.5)	3.6	151 (90)	139 (82)	137 (81)	1264 (750)	2265 (1344)	3956 (2347)	7 (4)	4 (2)
Concepcion	152C	1990	3 (75)	0.5	157 (93)	152 (90)	0	1371 (813)	2057 (1220)	3737 (2217)	—	—
Cuchillo Negro	130C100P	1991	3 (75)	—	228 (135)	130 (77)	100 (59)	1591 (944)	2045 (1213)	4094 (2429)	—	—
Galesville	RCC1	1985	3 (75)	—	190 (113)	89 (53)	86 (51)	1310 (777)	2560 (1519)	4235 (2513)	—	—
	RCC2	1985	3 (75)	—	190 (113)	110 (65)	115 (68)	1290 (765)	2520 (1495)	4225 (2513)	—	—
Middle Fork	112C	1984	3 (75)	—	160 (95)	112 (66)	0	1152 (683)	2138 (1268)	3562 (2113)	—	—
Santa Cruz	RCCA EA	1989	2 (50)	2.3	170 (101)	128 (76)	127 (75)	1227 (728)	2301 (1365)	3953 (2345)	7 (4)	3 (2)
Siegrist	80C80P	1992	1.5 (37.5)	1	162 (96)	80 (47)	80 (47)	1922 (1140)	2050 (1216)	4294 (2548)	—	—
	90C70P	1992	1.5 (37.5)	1	162 (96)	90 (53)	70 (42)	1923 (1141)	2052 (1217)	4297 (2549)	—	—
	100C70P	1992	1.5 (37.5)	1	162 (96)	100 (59)	70 (42)	1920 (1139)	2048 (1215)	4300 (2551)	—	—
Stacey Spillway	210C105P	1989	1.5 (37.5)	—	259 (154)	210 (125)	105 (62)	3500 (2076)	—	—	—	—
Stagecoach	120C130P	1988	2 (50)	—	233 (138)	120 (71)	130 (77)	156 (686)	2459 (1459)	4098 (2431)	—	—
Upper Stillwater	RCCA85	1985	2 (50)	1.5	159 (94)	134 (79)	291 (173)	1228 (729)	2177 (1292)	3989 (2367)	—	12 (7)
	RCCB85	1985	2 (50)	1.5	150 (89)	159 (94)	349 (207)	1171 (695)	2178 (1292)	4007 (2377)	—	20 (12)
	RCCA	1986	2 (50)	1.5	167 (99)	134 (79)	292 (173)	1149 (682)	2218 (1316)	3960 (2349)	—	16 (9)
	RCCB	1986	2 (50)	1.5	168 (100)	157 (93)	347 (206)	1148 (682)	2131 (1264)	3952 (2345)	—	21 (12)
Urugua-I	101C	1988	3 (75)	—	169 (100)	101 (60)	0	2102 (1247)	2187 (1297)	4559 (2705)	—	—
Victoria	113C112P	1991	2 (50)	—	180 (107)	113 (67)	112 (66)	1365 (810)	2537 (1505)	4307 (2555)	—	—
Willow Creek	175C	1982	3 (75)	1.2	185 (110)	175 (104)	0	1108 (657)	2794 (1958)	4262 (2529)	—	—
	175C80P	1982	3 (75)	1.2	185 (110)	175 (104)	80 (47)	1097 (645)	2739 (1625)	4266 (2531)	—	—
	80C32P	1982	3 (75)	1.2	180 (107)	80 (47)	32 (19)	1123 (666)	2833 (1681)	4248 (2520)	—	—
	315C135P	1982	1.5 (37.5)	1.2	184 (109)	315 (187)	135 (80)	1390 (825)	2086 (1238)	4110 (2438)	—	—
Zintel Canyon	125CA	1992	2.5 (63)	4.5	170 (101)	125 (74)	0	1519 (901)	2288 (1357)	4102 (2434)	18 (11)	18 (11)
	125CNA	1992	2.5 (63)	1.4	188 (112)	125 (74)	0	1586 (941)	2371 (1407)	4270 (2533)	—	18 (11)
	300CA	1992	2.5 (63)	—	171 (101)	300 (178)	0	1348 (800)	2388 (1417)	4207 (2496)	36 (21)	42 (25)

Figura 2-37. Proporción de la mezcla en algunas presas de hormigón compactado (HC)  
Fuente: (ACI 207.5R-11, 2011)

El volumen de pasta es un elemento fundamental en la proporción o dosificación del hormigón compactado (HC), debe llenar en su totalidad los huecos generados por los agregados. También debe ser suficiente para generar una mezcla con adecuada densidad, producir adherencia e impermeabilidad. Una mezcla con poca cantidad de materiales cementicios puede requerir cantidades adicionales de material fino no plástico, para complementar la pasta en el relleno de los vacíos generados por los agregados.

**Materiales:** Se utiliza una amplia gama de materiales en la producción del hormigón compactado HC, en su mayoría provistos por la ACI 207.1R. (Guide to Mass Concrete). Para las estructuras a gravedad las limitaciones de sus materiales son menos exigentes, por lo tanto, son



posibles otras opciones de materiales y rendimiento; todo esto evaluado por el diseñador en condiciones apropiadas para el proyecto específico.

**Cemento Portland:** los tipos de cemento portland básicos sirven para el hormigón compactado (HC), estos pueden ser los que se encuentran en ASTM C150 / C150M, C595 / C595M, C1157 / C1157M, y aplicados a estándares AASHTO u otros estándares internacionales como ASTM. Los cementos C150 / C150M están especificados por químicos y requerimientos físicos. Para aplicación masiva en hormigón compactado es necesario emplear cementos con bajo calor de hidratación para controlar los niveles térmicos. Una menor generación de calor se logra disminuyendo el porcentaje de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) y la relación de silicato tricálcico a silicato dicálcico ( $C_3S$  a  $C_2S$ ). Mientras una mayor generación de calor se logra al reducir el espacio entre juntas para el control de grietas.

**Puzolanas:** La puzolana es definida como un material silicio o aluminio-silicio por la (ASTM C 618, Especificación estándar para Ceniza volante de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para su uso en hormigón, 2019), tiene muy poco contenido o valor de un cementante, pero cuando se humedece reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas normales y es ahí cuando forma propiedades de un cementante; durante la compactación del hormigón compactado (HC) la puzolana también puede proporcionar al hormigón cierta lubricación.

Se deberá basar la selección de la puzolana para el hormigón compactado (HC) de acuerdo a la tabla 2-24.

Funciones de la puzolana en HC:

- Reemplaza parcialmente el cemento para reducir la generación de calor.
- Reemplaza parcialmente el cemento para reducir costos.

- Aditivo para proporcionar finos suplementarios para trabajar la mezcla.
- El porcentaje recomendable para remplazar parcialmente el cemento no puede ser mayor al 80 % de masa.
- Provee de mejores características a la mezcla dándole una adecuada durabilidad e impermeabilidad.

**Agregados:** La selección de los agregados y el control de sus propiedades son factores que influyen en la calidad y uniformidad del hormigón compactado (HC), el mismo que no tiene restricciones en la selección del TMNA del agregado como si ocurre en el caso del hormigón vibrado convencional (HVC). En las mezclas que se han colocado agregados de menor resistencia física para la producción de hormigón compactado (HC) ha dado como resultado una mezcla con velocidades de fluencia, módulos elásticos y capacidad de deformación por tracción satisfactorios. Los agregados de baja calidad se utilizan mejor en el interior de las presas, donde se puedan encapsular con el hormigón de mayor calidad, especialmente en áreas de congelación y descongelación. Los valores recomendados por (USACE, Designing Roller Compacted Concrete Dams, 2000) para el módulo de elasticidad es de  $57.000 * \sqrt[2]{(f'c)}$  aumentado en un 15 % para condiciones de carga sísmica; y reducido en 33 % para condiciones de carga a largo plazo donde los efectos de fluencia son importantes.

El principal objetivo al momento de la dosificación del hormigón compactado (HC) es incorporar la cantidad máxima de agregado y una mínima cantidad de agua, reduciendo así la cantidad de materiales cementicios y cambios en el volumen del hormigón. El riesgo de una posible segregación en la mezcla y la maquinaria utilizada para la compactación también deben ser consideradas al seleccionar el TMNA del agregado.

Sieve size	Willow Creek	Upper Stillwater	Christian Siegrist	Zintel Canyon	Stagecoach	Elk Creek
4 in. (100 mm)	—	—	—	—	—	—
3 in. (75 mm)	100	—	—	—	—	100
2.5 in. (62 mm)	—	—	—	100	—	96
2 in. (50 mm)	90	100	—	98	100	86
1.5 in. (37.5 mm)	80	95	100	91	95	76
1 in. (25 mm)	62	—	99	77	82	64
3/4 in. (19 mm)	54	66	91	70	69	58
3/8 in. (9.5 mm)	42	45	60	50	52	51
No. 4 (4.75 mm)	30	35	49	39	40	41
No. 8 (2.36 mm)	23	26	38	25	32	34
No. 16 (1.18 mm)	17	21	23	18	25	31
No. 30 (0.60 mm)	13	17	14	15	15	21
No. 50 (0.30 mm)	9	10	10	12	10	15
No. 100 (0.15 mm)	7	2	6	11	8	10
No. 200 (75 $\mu$ m)	5	0	5	9	5	7
C + P, lb/yd <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	80 + 32 (47 + 19)	134 + 291 (80 + 173)	100 + 70 (59 + 42)	125 + 0 (74 + 0)	120 + 130 (71 + 77)	118 + 56 (70 + 33)
Total fines*, %	20	21	19	21	—	21
Workability	Poor	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Excellent

Figura 2-38. Combinación de agregados en varios proyectos de USA

\*Finos totales = la mezcla se completa con un tamaño de partícula menor que No. 200 (75  $\mu$ m)

Fuente: (ACI 207.5R-11, 2011)

**Agregado grueso:** La selección del tamaño máximo nominal del agregado (TMNA) debe basarse en la necesidad de reducir el uso de materiales cementicios, control de la segregación, economizar la producción del agregado y facilitar la compactación. La mayoría de los proyectos de hormigón compactado (HC) usa un TMNA entre (37.5 – 75) mm. La Oficina de Recuperación de EE. UU. actualmente limita a 50 mm al TMNA, el mismo que requiere un mínimo de 50 % de agregado triturado en masa de hormigón compactado (HC).

Tabla 2-17.  
Ejemplo #1 según ACI 304R

Designación del tamiz	
No. 8 a 3/8 pulg.	2,36 a 9,5 mm
No. 4 a 1 pulg.	4,75 a 25,4 mm
3/4 a 1-1/2 pulg.	19,00 a 37,5 mm

Elaborado por: Logacho & Orozco

*Tabla 2-18.  
Ejemplo #2 según ACI 304R*

<b>Designación del tamiz</b>	
No. 4 a 3/4 pulg.	4,75 a 19,0 mm
No. 3/4 a 1-1/2 pulg.	19,0 a 37,5 mm
1-1/2 a 3 pulg.	37,5 a 75,0 mm
3 a 6 pulg.	75 a 150 mm

Elaborado por: Logacho & Orozco

El ahorro de costos puede realizarse combinando dos o más rangos de tamaño como recomienda (Standard Specification for Concrete Aggregates ASTM C33, 1999).

*Tabla 2-19.  
Ejemplo #3 según ACI 304R*

<b>Designación del tamiz</b>	
2 pulg. a No. 4	50 a 4.75 mm
1-1/2 pulg. a No. 4	37.5 a 4.75 mm

Elaborado por: Logacho & Orozco

**Agregado fino:** La clasificación del agregado fino influye en los requisitos de la pasta y la compactación del hormigón compactado (HC). También afecta el agua y los materiales cementicios, requisitos necesarios para llenar los huecos generados por el agregado. Para aquellas mezclas con suficientes materiales cementicios, contenido y volumen de pasta, agregado fino, se puede utilizar la calificación ASTM C33 / C33M. Los agregados finos con clasificación ASTM son necesarios si se usa un aditivo incorporador de aire en el hormigón compactado con hormigón compactado (HC).

**Filler (finos):** La función principal de los finos suplementarios (el material que pasa el tamiz No. 200 [75 µm]) es bajar el volumen de huecos generados por el agregado, sin aumentar la demanda de agua de la mezcla de hormigón compactado (HC). Dependiendo del volumen de materiales cementicios y del TMNA, el porcentaje de finos No. 200 (75 µm) puede ser un 10 % del total del agregado en masa. Las características y el contenido de finos afectarán a la

compatibilidad relativa de la mezcla de hormigón compactado (HC), y puede influir en el número de pasadas del rodillo vibratorio. Los finos llenan el espacio vacío generado por el agregado, proporcionan una consistencia compactable, ayuda a controlar la segregación y disminuyen la permeabilidad. Adiciones excesivas de finos después de llenar los vacíos agregados son perjudiciales para la mezcla de hormigón compactado (HC) debido a la disminución de la trabajabilidad, aumento de la demanda de agua y posterior pérdida de resistencia.

**Aditivos:** De la efectividad de los aditivos, la gradación del agregado y tipo de cemento, puede depender la trabajabilidad de la mezcla. Aditivos en el hormigón compactado (HC) se usan comúnmente para: retrasar el tiempo de fraguado, reducir las juntas frías y mejorar la unión entre capas horizontales, (Wenquan, Huizhen, Zhen, & and Yajie, 1997). Los aditivos de uso más común son los presentados en ASTM C494 / C494M. Los aditivos que incorporan aire no se recomiendan para mezclas de hormigón compactado (HC).

**Capacidad de trabajo:** Se necesita suficiente capacidad de trabajo para lograr la compactación o consolidación de la mezcla. La trabajabilidad es la más afectada por la porción de pasta en la mezcla que incluye cemento, puzolana, finos agregados, agua y aire. Cuando hay suficiente pasta para llenar huecos generados por los agregados, la trabajabilidad de las mezclas de hormigón compactado (HC) es normalmente medida en una mesa vibratoria con un aparato Vebe, de acuerdo con la (ASTM C1170, Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table).



Figura 2-39. Consistómetro Vebe  
Fuente: (Utest, 2019)

**Resistencia:** La resistencia del hormigón compactado (HC) depende de la calidad y clasificación del agregado, proporciones de la mezcla y el grado de compactación. Para una consistencia más seca (no todos los vacíos llenos de pasta), la resistencia a la compresión es controlada por relaciones de densidad de humedad. En general, el contenido óptimo de humedad no varía significativamente entre (0.5 – 1) % para una amplia gama de contenidos de cemento. Las mezclas que contienen humedad menor a la óptima son generalmente mal compactadas, con una pérdida resultante de densidad y fuerza, en este caso, la adición de agua a la mezcla produce una mayor resistencia a la compresión, al aumentar el volumen de la pasta y llenar los vacíos.

Para mezclas de hormigón compactado (HC) totalmente consolidadas que exceden la humedad óptima, tiende a producir una fuerza de compresión. Conceptos estadísticos, como el presentado en la (ACI 214 R, Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete, 2011), pueden usarse para este propósito. Por ejemplo: si la resistencia de diseño es de 17.2 MPa a 1 año, y la desviación estándar esperada es 4.1 MPa (con no más de dos de cada 10 pruebas permitidas debajo del diseño fuerza) la fuerza promedio requerida sería igual a la resistencia de diseño más 3.5 MPa. La mezcla de hormigón compactado (HC) debe ser proporcionada para una fuerza de 20.7 MPa a 1 año, similar al hormigón vibrado convencional (HVC), una desviación estándar más baja permitirá una reducción en la fuerza promedio requerida.

**Segregación:** Un objetivo importante en la proporción de la mezcla de hormigón compactado (HC) es producir una mezcla cohesiva mientras se minimiza la tendencia a la segregación durante el transporte, colocación y tendido. Si no se proporciona adecuadamente la mezcla de hormigón compactado (HC) tiende a segregarse más, debido al poco volumen de pasta de la mezcla. Esto se controla mediante la clasificación del agregado, contenido de humedad y

ajuste del contenido de finos en mezclas de bajo contenido de cemento. Mezclas con mayor contenido de pasta son generalmente más cohesivas y menos propensas a segregarse.

**Permeabilidad:** Mezclas que tienen un volumen de pasta con más contenido de finos proporcionará un nivel adecuado de impermeabilidad que es similar a la del hormigón vibrado convencional (HVC). La mayoría de las preocupaciones con respecto a la permeabilidad del hormigón compactado (HC) se dirige a la filtración de las juntas horizontales, en mezclas con mayor contenido de cemento, las juntas horizontales producirán una impermeabilización adecuada; en cambio, en mezclas de bajo contenido de cemento es necesario realizar un tratamiento especial, como el uso de mortero de pega entre capas horizontales.

**Generación del calor de hidratación:** El hormigón compactado (HC) que se utiliza para presas debe considerar la generación de calor del cemento. Para minimizar el calor de hidratación, se debe tener cuidado en la selección del tipo de cemento. En los casos en que se usa puzolana, vale la pena realizar pruebas de calor de hidratación en varios porcentajes de cemento y puzolana para comprobar que el calor de hidratación sea el permisible.

**Durabilidad:** La mezcla de hormigón compactado (HC) debe proporcionar el grado requerido de durabilidad basado en los materiales utilizados, condiciones de exposición y nivel de rendimiento esperado. El hormigón compactado (HC) debe estar libre de efectos dañinos del agregado alcalino, reactividad mediante una adecuada evaluación y selección de materiales. Trabajos recientes indican que algunas mezclas de hormigón compactado (HC) arrastradas por aire puede ser producido con una resistencia adecuada a la congelación y descongelación (McDonald, 2002).

La durabilidad del hormigón compactado (HC) puede reducirse significativamente si en la capa no se encuentra un grado de compactación aceptable. Por tal motivo el grado de compactación debe ser controlado in situ.

### **2.3.2 Características físico – mecánicas del HVC y del HC**

#### **2.3.2.1 Resistencia a la compresión ( $f'c$ )**

Son varias las propiedades que están relacionadas con la resistencia a la compresión. En el diseño de mezclas de HC generalmente se trabaja a edades entre (180 – 360) días, ya que el pasar del tiempo permite el desarrollo de fuerzas a largo plazo. La resistencia a la compresión del hormigón compactado dependerá tanto de la calidad como de la clasificación de los agregados, agua, dosificación de materiales cementicios y dosificación de puzolanas (L. Berga & J.M. Buil, 2003). Es importante aclarar que la resistencia a la compresión del hormigón compactado está en función de la relación agua / cemento (a/c), de la misma forma que el hormigón vibrado convencional. En general la resistencia a compresión también está relacionada con el contenido de cemento y puzolana. La mejor forma de correlacionar este parámetro se basa en la “eficiencia de la mezcla”.

$$\frac{\text{esfuerzo de compresión en Kg/cm}^2}{\text{contenido de cemento} + \text{puzolana en Kg/m}^3}$$

La misma que varía conforme a la edad, la eficiencia de la mezcla será mayor a mayor edad, en el HC se puede obtener resistencias similares al HVC, pero con menor contenido de cemento y con presencia de material puzolánico, estas dosificaciones generan más fuerza debido a que el cemento y la puzolana tienen una buena combinación. La resistencia a la compresión del hormigón compactado (HC) se diseña para ser determinada a los 90, 180 y 365 días del colocado. En experiencias de construcción de presas con hormigón compactado se ha determinado que la resistencia a la compresión es mayor a la requerida y con facilidad alcanza valores entre (20 – 25)



MPa a los 90 días. El esfuerzo que puede enfrentar la presa en zonas próximas al pie del paramento aguas arriba puede ser entre (10 – 12) % de la resistencia a la compresión ( $f'c$ ), (L. Berga & J.M. Buil, 2003). Los valores de resistencia al esfuerzo cortante determinados en laboratorio pueden ser entre (1 - 1.5) MPa según Brian A Forbes BSc. En otras mediciones se ha obtenido de (40 - 65) ° para el ángulo de fricción interna  $\phi$ , y para la cohesión de (0.7 – 3.0) MPa, estos son valores similares a los del hormigón convencional (L. Berga & J.M. Buil, 2003).

### **2.3.2.2 Resistencia a la tracción ( $f't$ )**

La resistencia a la tracción del hormigón compactado se puede medir mediante pruebas de tracción directa y tracción indirecta. La resistencia a la tracción depende del contenido de cemento, calidad del agregado, agua y edad. Para el hormigón vibrado convencional la resistencia a la tracción esta entre (10 – 15) % de la resistencia a compresión. Algo semejante ocurre con el hormigón compactado. Otra relación que se presenta es, la resistencia a la tracción directa, misma que esta entre (55 – 98) % de la tracción indirecta.

### **2.3.2.3 Resistencia al corte ( $\tau_h$ )**

La resistencia al corte del hormigón compactado está directamente relacionada con la unión de sus propiedades, tales como la cohesión y el ángulo de fricción interna. La resistencia mínima está presente en las juntas de elevación y a lo largo de estas. Está claro que al momento de construir una presa con la alternativa de hormigón compactado (HC) se generan juntas de elevación, la resistencia al corte de estas es lo más importante al momento de diseñar, incluso es más relevante que la resistencia al corte de la mezcla principal. Como ya se mencionó, el tratamiento en las juntas será determinante para sus valores de resistencia (limpieza, mortero de pega, lechada y tiempo), ya que si estos factores no están controlados el rendimiento de las juntas no tendrá los resultados esperados, es decir, una adherencia y resistencia al corte adecuadas que ayuden al comportamiento

elástico de la estructura (L. Berga & J.M. Buil, 2003). La resistencia a la tracción directa de la junta de elevación disminuye después de la formación de la capa base entre (50 – 60) % del valor inicial al momento de su fabricación y compactación. La resistencia a la tracción directa en las juntas disminuye conforme al tiempo de exposición. Al formar o producir una junta caliente se está perdiendo capacidad de enlace entre (77 – 86) % de la resistencia a la tracción.

$$\tau = C + \sigma * \tan(\varphi) \quad (71)$$

Donde;

$\tau$  = esfuerzo cortante

C = cohesión

$\sigma$  = esfuerzo normal

$\varphi$  = ángulo de fricción interna

Los ensayos para obtener los valores de la resistencia son:

- Ensayo triaxial.
- Ensayo de corte directo.
- Ensayo de corte directo no confinado.

De la misma forma para determinar la resistencia en las juntas:

- Ensayo de corte directo biaxial – “en laboratorio”
- Ensayo de corte directo biaxial - "in situ"

De esta manera se puede deducir que:

- ✓ Los valores de la cohesión y la fricción en las juntas siempre y cuando estas sean bien tratadas y complementadas con mortero de pega, serán mayores a los que se obtiene en la unión presa - cimentación.
- ✓ Los valores de la cohesión y la fricción de las juntas sin mortero de pega están en el mismo rango de los valores en el contacto presa - cimentación.

- ✓ Los resultados obtenidos mediante estos ensayos demuestran que la resistencia al corte del hormigón compactado (HC) puede ser comparada con la resistencia al corte del hormigón vibrado convencional (HVC) que contenga agregados similares, la cohesión depende del contenido de cemento, y el ángulo de fricción estará afectado por la granulometría de los agregados.

#### **2.3.2.4 Módulo de elasticidad ( $E_H$ )**

El módulo de elasticidad es la capacidad que tiene el hormigón para deformarse en el rango elástico, se obtiene aplicando cargas sobre un cilindro que permite determinar su deformación. El módulo de elasticidad del HC es directamente proporcional a la edad y al contenido de cemento, además es prácticamente similar al del hormigón convencional, siempre y cuando tenga una correcta compactación y buena granulometría de los agregados (L. Berga & J.M. Buil, 2003). Si la mezcla tiene suficiente pasta se incrementa la densidad, por ende, debe aumentar el módulo de elasticidad para un TMNA dado. Si el volumen de la pasta no es el adecuado, la densidad disminuye por la formación de poros de aire y el módulo de elasticidad disminuye.

Los principales factores que afectan los valores del módulo de elasticidad del HC son: relación agua cemento, calidad de la pasta, tipo de agregado y edad. Estos mismos factores también influyen en el módulo de elasticidad del hormigón convencional. Sin embargo, el módulo de elasticidad del hormigón masivo es aproximadamente 6.9 GPa a un día, entre (21 – 38) GPa a 28 días, y entre (30 – 47) GPa a 365 días. Hay casos en los que la utilización de agregados de baja calidad genera una buena mezcla de HC, resultando valores bajos del módulo de elasticidad en todas las edades; además es importante mencionar que un bajo módulo es normalmente beneficioso para reducir las deformaciones y esfuerzos en la presa (L. Berga & J.M. Buil, 2003).

### 2.3.2.5 Permeabilidad ( $k_{HC}$ )

La permeabilidad del hormigón compactado depende en su mayoría del aire atrapado y la porosidad generada por la hidratación del cemento, pero es generalmente controlado en la dosificación de la mezcla, control de calidad y grado de compactación. Para que la mezcla resulte relativamente impermeable será necesario la existencia de finos en la cantidad suficiente y un respectivo control en la distribución de partículas finas, con una completa compactación. Los valores de la permeabilidad del hormigón compactado serán similares a los del hormigón vibrado convencional, siempre y cuando la mezcla para hormigón compactado contenga agregados limpios con cantidad suficiente de finos, un control adecuado de la granulometría. La permeabilidad tomada 'in situ' en las juntas es más importante que la de la mezcla principal. La filtración total es igual a la suma del agua que ha pasado a través del material, más lo que ha pasado entre las juntas y las grietas en la estructura. Cuando la mezcla del HC tiene el mismo coeficiente de permeabilidad que la del HVC, es ideal para presas de gran altura y presas tipo arco. En mezclas donde el contenido de materiales cementicios y finos es alto da como resultado un coeficiente de permeabilidad bajo, y esto aumenta la posibilidad de agrietamiento por efectos térmicos. Para las juntas de construcción la permeabilidad está en el rango de  $(1 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-11})$  m/s y estos son comparables con los coeficientes del hormigón vibrado convencional. Para la mezcla principal de hormigón compactado los coeficientes de permeabilidad están en el rango de  $(1 \times 10^{-6}$  a  $1 \times 10^{-12})$  m/s con un contenido de cemento entre  $(60 - 250)$  Kg/m<sup>3</sup>, mientras que en el HVC con el mismo contenido de cemento se obtienen coeficientes de permeabilidad entre  $(1 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-12})$  m/s (L. Berga & J.M. Buil, 2003).

### 2.3.2.6 Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )

Es la relación de la tensión transversal con la tensión longitudinal, como resultado de la distribución uniforme del esfuerzo axial por debajo del límite proporcional del material, con una apreciación similar con el hormigón convencional se tienen valores en el rango de (0,17 – 0,22).

### 2.3.3 Clasificaciones de las presas de HC dependiendo del contenido de cemento

La fabricación del cemento hasta la actualidad tiene tres generaciones, tiempo en el que trascendió desde sus nombres peculiares hasta características de fondo como desempeño y calidad. En la primera generación, alrededor del año 1940, bastaba con clasificar al cemento según su composición química en la fase del producto final.

*Tabla 2-20.*  
*Tipos de cemento Portland*

<b>Tipo</b>	<b>Uso</b>
I	Uso general
II	Calor de hidratación moderado y resistencia moderada a los sulfatos.
III	Alta resistencia inicial
IV	Bajo calor de hidratación
V	Alta resistencia a los sulfatos

Fuente: (PCA, 2017)

En la segunda generación, entre los años 1967 y 1970, se definieron aquellos componentes que se adicionaron pero que no eran típicos; es decir, se ajustó su calidad y cantidad.

*Tabla 2-21.*  
*Cementos hidráulicos compuestos*

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
IP	Cemento Portland Puzolánico
IS	Cemento portland de escoria de altos hornos
IT	Cemento compuesto ternario

Fuente: (PCA, 2017)

Ya en la tercera generación, por el año de 1990, se clasificó al cemento según su desempeño; lo que dio paso a la fabricación de un cemento que satisfaga las necesidades del diseñador, de acuerdo a su óptica y criterio.

*Tabla 2-22.*  
*Cementos hidráulicos por desempeño*

<b>Tipo</b>	<b>Uso</b>
GU	Uso general
HE	Alta resistencia inicial
HS	Alta resistencia a los sulfatos
MS	Moderada resistencia a los sulfatos
MH	Moderado calor de hidratación
LH	Bajo calor de hidratación

Fuente: (PCA, 2017)

*Tabla 2-23.*  
*Normativa de cementos a lo largo de la historia*

<b>Título norma</b>	<b>Norma nacional</b>	<b>Norma internacional</b>	<b>1ra Publicación</b>	<b>Edad</b>
Cementos Portland. Requisitos	NTE INEN 152	ASTM C150	1940	80 años
Cementos hidráulicos Compuestos. Requisitos	NTE INEN 490	ASTM C595	1967	51 años
Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño	NTE INEN 2380	ASTM C1157	1992	25 años

Fuente: (Holcim Ecuador, 2016)

En los inicios de las mezclas de hormigón compactado (HC) se utilizaba el cemento portland tipo II, que es parte de la primera generación de normativas; este cemento presenta calor de hidratación y resistencia moderados a los sulfatos, pero generaba altos contenidos de CO<sub>2</sub> en su

fabricación; entonces, para la segunda generación se reemplazó una parte del clinker por componentes minerales para alcanzar equivalentes a cementos puros, para este caso en la segunda normativa de cementos hidráulicos compuestos se utilizó cemento tipo IP (cemento portland puzolánico) y cemento tipo IS (cemento portland de escoria de altos hornos), este proceso generó menos contenido de CO<sub>2</sub>, de esta manera se introducen conceptos de durabilidad para el hormigón compactado (HC). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, ahora poseemos nomenclatura moderna para cementos por desempeño, es una prioridad cumplir estos requisitos independientemente de cómo se lo logre.

Actualmente en el Ecuador se utilizan varios tipos de cemento, como: el tipo HE que es aquel que presenta altas resistencias iniciales, con 20 % de puzolana; el tipo GU, de uso general, genera una buena trabajabilidad con 35 % de puzolana; o tipo MH de moderado calor de hidratación con 45 % de puzolana. Los cuales luego de varios estudios de materiales para la determinación de mezclas de hormigón compactado (HC) presentaron resultados favorables.

El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE) coincide en que el cemento comúnmente utilizado en los diseños de mezcla de hormigón compactado (HC) es el tipo II, debido a la baja generación de calor a edades tempranas y a tiempos de fraguado más largos, lo que permite un control eficiente del agrietamiento por temperatura. Generalmente para cementos con bajo calor de hidratación, el desarrollo de la resistencia es más lento que para los cementos portland tipo I y tipo III. Es posible contrarrestar el uso exagerado de cemento en las mezclas de hormigón compactado (HC) añadiendo puzolana, esto le da un efecto de reducción en el calor de hidratación, por ende, reduce los costos; aparte que la puzolana puede ser utilizada como finos de manera suplementaria en la mezcla. Una característica importante de este proceso es que resulta ser amigable con el medio ambiente por las bajas emisiones de CO<sub>2</sub>, así lo refiere el Instituto

Americano del Concreto (ACI 207.5R-11, 2011). La cantidad de puzolana en una mezcla de hormigón compactado (HC) puede variar hasta 25 % en volumen, dependiendo de diversos factores del proyecto.

Existen diferentes formas de agregar la puzolana (ceniza volante), puede ser durante la producción de cemento o directamente a la mezcla de hormigón.

*Tabla 2-24.*  
*Clases de puzolana según ASTM C618 (2019)*

<b>Clase</b>	<b>Descripción</b>
N	Puzolana natural cruda o calcinada
F	Ceniza volante baja en calcio
C	Ceniza volante alta en calcio

Fuente: (ASTM C 618, Especificación estándar para Ceniza volante de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para su uso en hormigón, 2019)

La ceniza volante clase F es la puzolana utilizada tanto en hormigón compactado (HC) como en hormigón vibrado convencional (HVC), la cual le proporciona al hormigón propiedades mejoradas, como una menor permeabilidad y, por consiguiente, un mayor control del agua de filtración, todo depende de las condiciones a las que va a estar expuesto el hormigón compactado (HC); también tiene la capacidad de controlar la generación de calor de manera efectiva, así como le da al hormigón alta resistencia a los sulfatos (Headwaters Resources, 2017).



*Tabla 2-25.*  
*Contenido de los componentes de las mezclas hormigón compactado (HC) en 150 presas*

<b>Contenido de componentes</b>	<b>HC-1</b>	<b>HC-2</b>	<b>HC-3</b>	<b>HC-4</b>
Cemento, Kg/m <sup>3</sup>				
medio:	63	63	83	88
máximo:	95	125	154	96
mínimo:	0	0	46	42
Puzolanas, Kg/m <sup>3</sup>				
medio:	13	57	111	35
máximo:	90	130	225	78
mínimo:	0	0	40	24
Agua, litros/m <sup>3</sup>				
medio:	121	115	101	95
máximo:	168	145	136	110
mínimo:	87	95	73	75
Puzolana/cemento:	0,17	0,48	0,57	0,28
Agua/cemento:	1,59	0,96	0,52	0,77
HC 1: con bajo contenido (65-99) kg/m <sup>3</sup> ;				
HC 2: moderadamente plásticas con mediano contenido de cementante (100-149) kg/m <sup>3</sup> ;				
HC 3: plásticas, con alto contenido de cemento (150-300) kg/m <sup>3</sup> ;				
HC 4: con contenido de cementante 120-130 kg/m <sup>3</sup> , pero con mayor contenido de cemento y menor contenido de puzolana y por ello con mayor resistencia a la compresión que los HC 1, HC 2 y HC 3.				

Fuente: (PCA, 2017)

*Tabla 2-26.*  
*Características del hormigón compactado*

<b>PARÁMETROS</b>	<b>HC-1</b>	<b>HC-2</b>	<b>HC-3</b>	<b>HC-4</b>
Resistencia a la compresión, MPa:	11,60	15,20	20,70	17,30
Resistencia a la tracción, MPa:	0,35	0,70	1,35	1,30
Cohesión en la junta, MPa:	0,70	0,90	1,90	2,40
Módulo de deformación GPa:	10-20	15-25	20-25	20-25
Permeabilidad, m/s:	10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-8</sup> -10 <sup>-9</sup>

Fuente: (PCA, 2017)

Actualmente en el mundo existen diversos tipos de dosificaciones de mezclas para hormigón compactado (HC), estos métodos dependen de parámetros generales como: el nivel de importancia de la presa, la ubicación del proyecto, los requisitos del diseño de la estructura, las condiciones climáticas, disponibilidad de los materiales y su cercanía al sitio del proyecto, limitaciones y alcance de los equipos para la transportación y colocación del hormigón compactado (HC).

La filosofía de los métodos para la elaboración de mezclas se basa en dos criterios generales:

1. Relación agua cemento A/C, normalmente en HC esta relación oscila entre (0,5 – 0,7);
2. Relación cemento – agregado C/AGG, donde la proporción de la mezcla está determinada por el volumen de sólidos o por la relación humedad – densidad.

Con ambos enfoques se garantiza la fabricación de un hormigón compactado (HC) de buena calidad, competente para la construcción de presas. A continuación, se presenta de manera general los métodos que se pueden usar para el diseño de mezclas de hormigón compactado (HC) dependiendo del contenido de cemento.

#### ***2.3.3.1 Método de con bajo contenido de cemento***

La aplicación de este método sigue vigente en la construcción de presas alrededor del mundo, para ello se efectúa un proceso que se resume en 5 pasos:

1. Se debe realizar la granulometría de los agregados;
2. Se debe probar con diferentes cantidades de cemento para la mezcla máximo 140Kg/m<sup>3</sup>;
3. Conocer a qué edad se necesita que el hormigón compactado alcance su máxima resistencia a la compresión (f'c);

4. El contenido de agua para los ensayos en el laboratorio se calcula de manera visual en función de la consistencia que va alcanzando la mezcla, obviamente, se debe variar el contenido de agua sin alterar el desempeño de la mezcla, es decir, sin afectar su  $f'c$ .
5. En el diseño de las mezclas de hormigón compactado el uso del cemento por metro cubico puede variar entre (60 – 140)  $\text{Kg/m}^3$ , excepto para cuando se diseña mezclas especiales. Cuando en el diseño de la mezcla se añade puzolana es necesario tomar otra muestra de cilindros para realizar un análisis de resultados entre los especímenes con y sin puzolana. El porcentaje de puzolana puede variar entre (25 - 60) %, en el plan de calidad del laboratorio se debe tener al menos 2 cilindros para ensayos a 3, 7, 14, 28, 90, 180 y 365 días. Cuando se realiza este estudio en laboratorio, se puede obtener una gráfica que representa el contenido de cemento y la resistencia a compresión en diferentes edades.

#### **2.3.3.2 Método del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (USACE)**

Este método para dosificación de mezclas de hormigón compactado (HC) se fundamenta en la relación entre la resistencia a compresión ( $f'c$ ) con la relación agua – cemento (A/C), es muy similar a la proporción de mezclas de hormigones convencionales, en donde se calculan las cantidades de la mezcla a partir de determinaciones del volumen de sólidos. La cantidad de agua necesaria depende del tamaño máximo nominal del agregado (TMNA) y es modificada por el resultado del tiempo del ensayo VeBe; se recomienda un contenido de agregado fino como porcentaje del volumen total de agregado. Las proporciones de la relación agua – cemento y contenido de cemento equivalente son establecidos en las siguientes figuras:

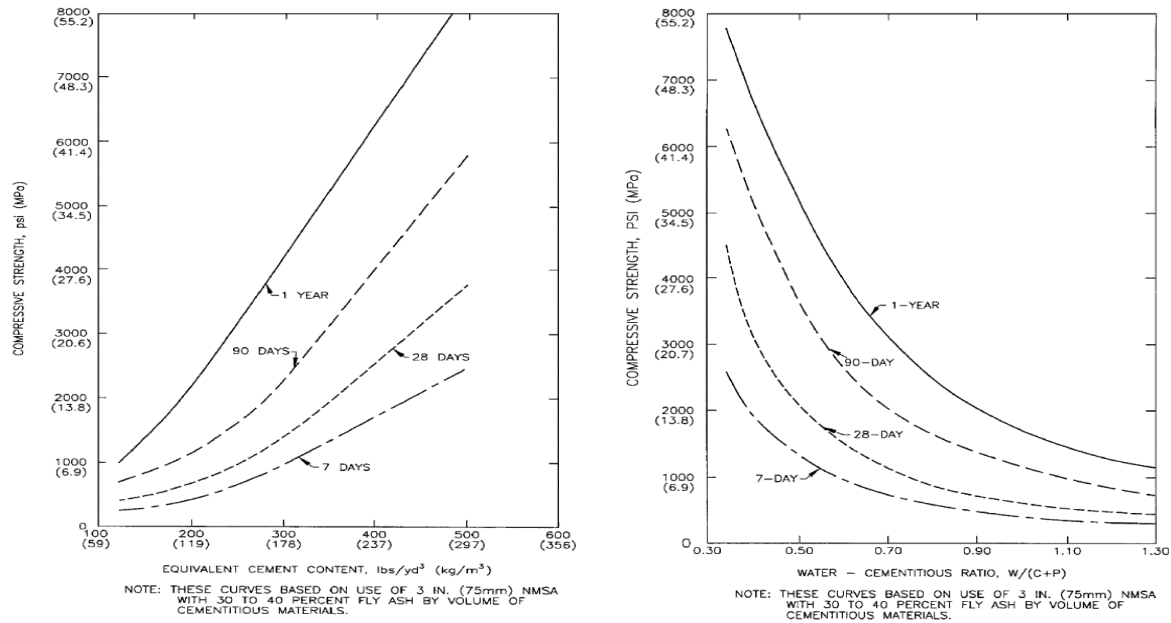


Figura 2-40. Contenido de cemento equivalente versus resistencia a la compresión  
Fuente: (USACE, researchgate.net, 1992)

El método propuesto por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos para diseñar mezclas de hormigón compactado (HC) se sintetiza en los siguientes puntos:

1. Se debe conocer todos los requisitos de los estudios realizados para el proyecto relacionados con la mezcla del hormigón compactado (HC); por ejemplo: resistencia de diseño, edad (normalmente es a 1 año), condiciones climáticas y el tiempo al que va a estar expuesto el hormigón compactado (HC), limitaciones y disponibilidad de los materiales en especial del cemento, aditivos que se van a utilizar y el TMNA.
2. Se debe determinar las propiedades características de los materiales, para ello es necesario tener los materiales para generar una prueba de al menos  $0,5 \text{ m}^3$  de hormigón compactado (HC), también se debe conocer la cantidad de puzolana o cemento para generar una mezcla correcta.
3. De la tabla 2-27, en función del tamaño máximo del agregado se puede aproximar la proporción de agua y el contenido de aire atrapado en los poros.

Tabla 2-27.  
 Cantidades de agua y contenido de aire atrapado para el tamaño máximo nominal de los agregados

Componentes	Tamaño máximo nominal del agregado					
	19 mm		50 mm		75 mm	
	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango
<b>Contenido de agua<sup>b</sup>, Kg/m<sup>3</sup></b>						
VeBe < 30 seg	150	133-181	122	107-140	107	85-128
VeBe > 30 seg	134	110-154	119	104-125	100	97-112
<b>Contenido de arena, % del volumen total del agregado</b>						
Agregado anguloso	55	49-59	43	32-49	34	29-35
Agregado redondeado	43	38-45	41	35-45	31	27-34
<b>Contenido de mortero, % del volumen total del agregado:</b>						
Agregado anguloso	70	63-73	55	43-67	45	39-50
Agregado redondeado	55	53-57	51	47-59	43	39-48
<b>Pasta:</b> relación de mortero, Vp/Vm por volumen.	0,41	0,27-0,55	0,41	0,31-0,56	0,44	0,33-0,59
<b>Contenido de aire atrapado</b> sobre la fracción menor a 37,5 mm	1,5	0,1-0,42	1,1	0,2-4,1	1,1	0,5-3,3

a: cantidades para uso estimado en agua, arena, mortero y contenido de aire atrapado para pruebas de mezclas de hormigón compactado (HC).

b: el rango bajo de valores deberá ser usado para agregados naturales redondeados y mezclas con bajo contenido de cemento o contenido de agregado fino.

Fuente: (Padua Fernández, 2017)

- Se debe determinar la masa equivalente de cemento que se necesita en función de la siguiente gráfica que relaciona: en el eje de las ordenadas a la resistencia a compresión del hormigón compactado (HC); en el eje de las abscisas al contenido de cemento equivalente en kilogramos por metro cúbico (mostrado en la figura 2-41).

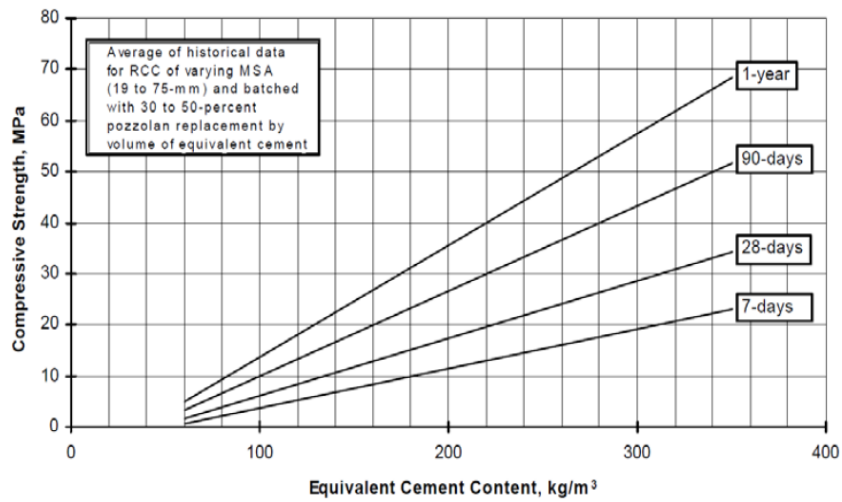


Figura 2-41. Contenido de cemento vs resistencia a compresión; datos promedios para HC con puzolana  
Fuente: (USACE, Designing Roller Compacted Concrete Dams, 2000)

Si la puzolana está considerada en el diseño se utilizará la figura 2-42, la cantidad de puzolana se calculará en porcentaje respecto a la masa total del cemento.

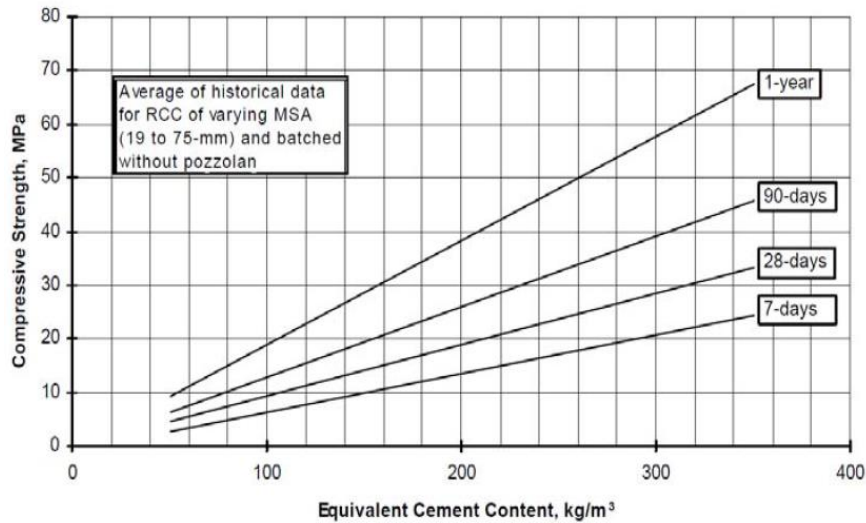


Figura 2-42. Contenido de cemento vs resistencia a compresión; datos promedios para HC sin puzolana  
Fuente: (USACE, Designing Roller Compacted Concrete Dams, 2000)

5. Se presenta una tabla de referencia para obtener la gradación ideal que debe tener el agregado grueso.

*Tabla 2-28.*  
*Granulometría ideal del agregado grueso*

Tamaño de la malla	Porcentaje acumulado que pasa		
	(4,75 – 75) mm (No. 4 – No. 3) in	(4,75 – 50) mm (No. 4 – No. 2) in	(4,75 – 19) mm (No. 4 – No. 3/4) in
75 mm (3 in)	100		
63 mm (2 ½ in)	88		
50 mm (2 in)	76	100	
37,5 mm (1 ½ in)	61	81	
25 mm (1 in)	44	58	
19 mm (3/4 in)	33	44	100
12,5 mm (1/2 in)	21	28	63
9,5 mm (3/8 in)	14	18	41
4,75 mm (No. 4)	--	--	

Fuente: (Padua Fernández, 2017)

6. Se debe realizar una comparación entre las gradaciones del agregado grueso y fino que se muestra en la tabla 2-29. En el caso de que el agregado fino carezca de finos menores a 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), se puede usar puzolana como ayuda al conglomerante suplementario.

*Tabla 2-29.*  
*Límites de gradación del agregado fino*

Tamaño de malla	Porcentaje acumulado que pasa
9,5 mm (3/8)	100
4,75 mm (No. 4)	95 – 100
2,36 mm (No. 8)	75 – 95
1,18 mm (No. 16)	55 – 80
600 $\mu\text{m}$ (No. 30)	35 – 60
300 $\mu\text{m}$ (No. 50)	24 – 40
150 $\mu\text{m}$ (No. 100)	12 – 28
75 $\mu\text{m}$ (No. 200)	6 – 18
Módulo de finura	2,10 – 2,75

Fuente: (Padua Fernández, 2017)

7. Con toda la información obtenida se puede calcular los siguientes parámetros:
- Volumen absoluto
  - Peso de cada material ingrediente

8. Con ayuda de la tabla 2-27 se puede conocer el contenido de mortero. Cabe resaltar que el volumen de mortero abarca: el volumen de los agregados menores que 4.75 mm (No. 4), cemento + puzolana, agua y aire atrapado.
9. Se debe calcular la relación  $V_p/V_m$ . La pasta incluye: el volumen de todos los agregados más finos que 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), cemento + puzolana, agua y aire atrapado. La USACE recomienda que el valor mínimo de  $V_p/V_m$  sea 0,42 y si es mayor es mejor; de esta manera se está asegurando que todos los poros estén llenos de pasta, pero, hay casos en que esta relación alcanza valores de 0,30 lo que significa que todos los poros no están llenos de pasta; esto causa varios efectos no deseados en la mezcla, por ejemplo: resistencia a la compresión baja, aire atrapado alto, material fácilmente permeable y sobre todo un hormigón sin trabajabilidad.

### ***2.3.3.3 Método de alto contenido de cemento***

El método de alto contenido de cemento se desarrolló para el diseño de la presa Upper Stillwater, por La Oficina de Recuperación de los Estados Unidos, (USBR) por sus siglas en inglés, una agencia federal que supervisa la gestión de los recursos hídricos.

La particularidad de este método es que calcula la correlación entre: agua – cemento (A/C) con la relación ceniza volante – cemento, imponiéndose un valor requerido de la resistencia a compresión ( $f'c$ ) de la mezcla. La cantidad adecuada de agua y de los agregados tanto fino como grueso son determinados mediante ensayos normados, en donde se valora la consistencia en un rango de tiempo del ensayo VeBe (10 – 30) seg. Luego se procede a calcular los volúmenes necesarios del cemento, puzolana, agua y aire. El objetivo de este método es dar una adherencia más fuerte a las juntas horizontales, por ello se consiguió que las juntas tengan un mejor desempeño frente a las sollicitaciones de las presiones de corte.



#### 2.3.3.4 *Método japonés*

El método japonés fue elaborado por ingenieros de Japón y utilizado en esa misma nación. Tiene las bases teóricas prácticamente iguales a las del hormigón vibrado convencional (HVC) como se explica en (ACI 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete ) con la particularidad de que para determinar la consistencia de la mezcla se utiliza un dispositivo que tiene una dimensión de un metro. Este dispositivo es igual al equipo del ensayo VeBe, en donde la mezcla es colocada en un contenedor y se vibra hasta que el mortero salga a la superficie. Además, este aparato es significativamente grande para no despreciar los tamaños máximos nominales de los agregados que alcanzan hasta los 150 mm.

Este método calcula la relación entre la consistencia, valor de vibraciones de compactación (VC), contenido de H<sub>2</sub>O, la relación entre el agregado fino y grueso, peso unitario o volumétrico del mortero y resistencia a compresión de la mezcla ( $f'c$ ). En síntesis, se llega a la mezcla adecuada de hormigón compactado (HC) cuando se cumplen los parámetros estimados, tras combinar adecuadamente en proporciones correctas los materiales. Este método no es muy difundido alrededor del mundo porque los equipos para prueba de consistencia tienen otros requerimientos, calibraciones, etc. Además, existe diferencias que radican en la naturaleza del diseño de una mezcla de hormigón compactado (HC).

Se puede mencionar algunas recomendaciones generales para el método japonés:

- El contenido de cemento debe ser lo más bajo posible, sin alterar los requisitos de diseño del proyecto;
- El objetivo de añadir puzolana debe disminuir el calor de hidratación, a fin de cumplir con las especificaciones o requisitos técnicos del proyecto.

- Para que el rodillo vibratorio compacte bien al hormigón además de reducir el indicio de segregación se debe optar por diseñar relaciones agua – cemento con valores entre (0,5 – 0,7).

Como se ha indicado el contenido de cemento depende de la zonificación de la presa y de la resistencia de diseño del hormigón, cuando se añade puzolana es para obtener la resistencia especificada a los 90 días. La práctica de diseño evidencia que si se necesita un hormigón compactado (HC) con resistencia a la compresión de 20 MPa se debe colocar un contenido de cemento entre (120 – 130) Kg/cm<sup>3</sup>, donde la puzolana ocupa un (20 – 30) %.

Respecto al contenido del agua, este cálculo se lo debe realizar luego de que los análisis en el laboratorio hayan fijado el peso específico del mortero, resistencia a la compresión con varios contenidos de agua y los valores de vibraciones de compactación (VC) con distintos contenidos de agua. Para el efecto se debe hacer uso de la siguiente gráfica, que en el eje de las abscisas se tiene el contenido de agua en kilogramos por metro cúbico y en el eje de las ordenadas se ubica la resistencia a la compresión en kilogramos por metro.

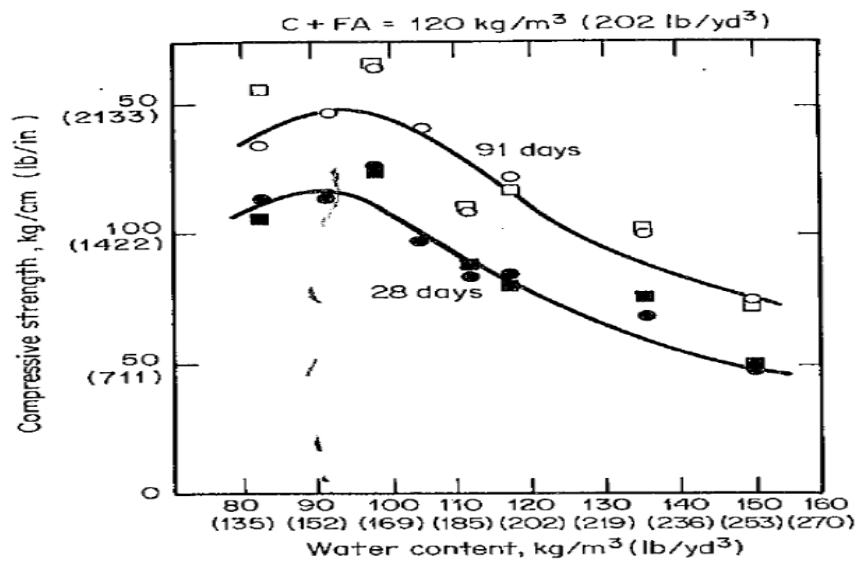


Figura 2-43. Relación entre el contenido de agua y la resistencia a la compresión de HC  
Fuente: (Padua Fernández, 2017)

#### **2.3.4 Aplicabilidad de las presas de HC en diferentes condiciones climáticas**

El hormigón compactado (HC) por lo general se aplica en regiones con una variación climática extrema. En Chile, la presa Ralco, registró un promedio anual de lluvia de 3.000 mm, con temperaturas entre (12 – 39) °C. La consistencia de la mezcla marcó un tiempo de (15 – 18) seg y en periodos más húmedos alcanzó de (20 – 25) seg, eliminando cantidades pequeñas de agua del mortero de pega soportó lluvias de 3 mm/h, en los periodos fríos el agua se calentó a 60 °C con el apoyo de mantas aislantes extra gruesas. El río Bio Bio que llena el embalse presenta un caudal mínimo de 90 m<sup>3</sup>/s y un máximo de 3.390 m<sup>3</sup>/s (Moreno, 2003). La presa de Jahgin, en Irán, de 78 m de altura, fue construida en hormigón compactado (HC) en la época de verano con una temperatura de 50 °C, por este motivo la producción se limitó. La temperatura máxima permitida para el hormigón compactado (HC) es 23 °C, (Azari, 2003). La presa Ghatghar, la primera en la India, durante su construcción registró temperaturas elevadas como 40 °C, con la presencia de clima monzónico o subecuatorial que duró de (4 – 5) meses menciona Shelke en (L. Berga & J.M. Buil, 2003).

La temperatura máxima que se acepta para la colocación de hormigón compactado (HC) es 30 °C con presencia de aditivos súper plastificantes en una dosificación de (3 - 4) % en peso de cemento, el periodo de interrupción disminuye en los caso que se han paralizado los trabajos por motivos de la temperatura, la función será reducir las pérdidas de agua y aumentar la trabajabilidad, con un efecto positivo en la resistencia y densidad, como resultado de la presencia de aditivos súper plastificantes se ha obtenido una resistencia de 20 MPa a los 90 días con 90 Kg/m<sup>3</sup> de cemento, está claro que añadir este aditivo aumenta el costo de la mezcla pero se compensa con el tiempo de interrupción en caso de no usarlo (L. Berga & J.M. Buil, 2003). Para simplificar el trabajo en climas cálidos se puede reducir la generación de calor de hidratación

disminuyendo la cantidad de cemento en la mezcla que será dispuesta en el cuerpo de la presa, dejando únicamente la cantidad que se requiere para soportar esfuerzos mecánicos y elásticos. Una capa con espesor de 0.30 m alcanza una mejor compactación y un mejor enfriamiento en los niveles.

Varias propiedades del hormigón compactado (HC) deben ser tratadas de diferente forma dependiendo de las condiciones climáticas, añadir aditivos mejoran la trabajabilidad y el retardo para mantener el hormigón vivo y prevenir las juntas frías, esto sucede cuando la zona es cálida. Cuando se coloca el hormigón compactado en épocas calurosas, la superficie absorbe el calor generado por el sol, aumentando la temperatura de la mezcla, por tal motivo la velocidad para la hidratación aumenta, a más superficie expuesta más energía solar absorbida; de esta manera la colocación rápida reducirá temperaturas internas altas.

Cuando se coloca el hormigón compactado (HC) en épocas frescas, se necesita que el proyecto culmine antes que empiece el verano. Se utilizan materiales pre-enfriados naturalmente y como resultado se obtienen temperaturas de colocado más bajas, incluso se podrá disipar calor a la atmósfera naturalmente, ya que no se deberá realizar un proceso de colocación rápida. La mezcla, transporte, vertido, tendido y la compactación debe realizarse en el menor tiempo posible, debe ser menor que el tiempo de fraguado inicial de la mezcla; por ejemplo: en mezclas con poca o ninguna cantidad de puzolanas el tiempo máximo establecido es 45 minutos, pero se recomienda que no pase de 30 minutos, esto es aplicable para temperaturas de 21 °C y que no tengan aditivos que retarden el fraguado (L. Berga & J.M. Buil, 2003).

En el caso de climas más fríos y mezclas que contengan puzolana el tiempo permisible se extiende, mientras que en climas más cálidos se reduce. Al presentarse valores de humedad baja, alta ocurrencia de viento y manipulaciones innecesarias en los procesos es probable que disminuya

la trabajabilidad y se reduzca el tiempo permisible, alcanzando la compactación en menos de los 45 minutos, cabe mencionar que la compactación debe realizarse inmediatamente después del vertido y tendido, especialmente en climas cálidos. Generalmente la compactación se completa dentro de los primeros 15 minutos a partir del vertido y 45 minutos desde el momento en el que se realizó la mezcla, si el compactado es realizado entre (30 - 45) minutos y con temperaturas altas la resistencia del hormigón compactado se reduce en valores sustanciales.

Para el curado y la protección del hormigón compactado (HC) el proceso es similar al hormigón convencional, la superficie debe mantenerse húmeda o de alguna manera protegerla para no perder humedad, en conjunto, se debe cuidar los cambios de temperatura ambiente. En caso de presentarse lluvias que superen (2 – 3) mm/h se deben detener las actividades de trabajo, puesto que las llantas de la maquinaria que transporta el hormigón dejan el material dañado y blando; las tareas se reanudarán una vez que termine la lluvia y se haya perdido el exceso de humedad. En el caso de que el vertido sea mediante cintas transportadoras, la construcción puede continuar en presencia de lluvias leves, requiriendo menos cantidad de agua en la dosificación para un mejor drenaje y así acelerar la reanudación de la construcción; se recomienda una mínima inclinación del rodillo con pendiente negativa hacia aguas abajo. (L. Berga & J.M. Buil, 2003)

La colocación continua del material y su posterior compactación genera calor de hidratación que favorece la colocación de la mezcla en climas fríos, incluso cuando las condiciones climáticas ambientales generan una temperatura bajo el punto de congelación, siempre y cuando la superficie mantenga una temperatura de 1 °C por encima del punto de congelación, hasta que quede cubierto por la subsiguiente capa.

En el clima helado la alternativa de hormigón compactado (HC) se ve obstaculizada ya que congelará las líneas de agua, bombas, válvulas y otros equipos que también formen parte de la

planta. Las jornadas de colocación típicamente están entre (20 – 24) horas/día, el control de calidad se encarga de identificar problemas que podrían ocurrir o que ya ocurren, pero se determina lo suficientemente temprano para poderlos corregir. El hormigón compactado (HC) posee propiedades frescas, estas varían de acuerdo a la cantidad diaria, semanal, o por la fluctuación estacional de las condiciones climáticas, viéndose afectada la cantidad de agua requerida para la mezcla, las características de la compactación y la calidad del hormigón.

Un proyecto se puede ejecutar durante todo el año en diferentes tipos de clima frío, húmedo, cálido y seco, en cualquiera de estos se debe garantizar una correcta humedad, de tal manera que la mezcla sea la correcta para cada tipo de clima.

### **2.3.5 Resistencia al corte ( $\tau_h$ ) y calidad de las juntas de construcción en las presas de HC**

Para el diseño de la presa es trascendental conocer los valores de resistencia al corte y a la tracción en las juntas de construcción, ya que por diferentes motivos los intervalos de tiempo de colocado del hormigón pueden tardar en menor o mayor magnitud, ocasionando juntas frías lo que causaría problemas de filtraciones, agrietamientos en el hormigón compactado (HC), entre otros, cuando la presa ya esté en operación.

En zonas sísmicas bajas y moderadas normalmente se logra una junta de elevación adecuada que resiste al corte con el simple uso de un mortero de pega y, por consiguiente, una adecuada resistencia a tracción, sin embargo, los problemas surgen cuando las condiciones climáticas presentan temperaturas altas, dicho de otra manera, cuando la ubicación de la presa está en un clima cálido. Una alternativa para construir en estas condiciones es el uso de un aditivo que retarde el fraguado de la mezcla, para que la junta de construcción pueda tener un adecuado desarrollo que alcance valores de resistencia al corte y tracción lo suficientemente confiables.

En una presa de hormigón compactado (HC), las juntas horizontales son las zonas más críticas porque en comparación con las juntas verticales son débiles, por lo tanto, la resistencia a corte y tracción en estos puntos amerita un estudio minucioso. Además, se sabe que la resistencia a la tracción en las juntas horizontales es menor que la resistencia a tracción en el hormigón compactado (HC) no unido y, por consiguiente, la resistencia a la tracción en las juntas horizontales es un componente integral para el diseño.

En la siguiente tabla se puede observar que para el caso de la presa Olivenhaim, en EE.UU., la resistencia a tracción en las juntas es igual a 6.43 % de la resistencia a compresión, en el caso de la presa Upper Stillwater es igual a 5.02 % de la resistencia a compresión

*Tabla 2-30.  
Resistencia a tracción y porcentaje de fuerza de unión de la junta*

Presa	Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	Puzolana (Kg/m <sup>3</sup> )	A/C	TMNA (mm)	Tipo de junta	Edad (días)	Resist. a la compresión (MPa)	Resist. a la tracción (MPa)	% unión de junta	Tipo de prueba
<b>Olivenhaim</b>	74	121	0.63	50	NB	90	14	0.9	95	TD
<b>Upper Stillwater</b>	89	195	0.35	50	P	5000	31.9	1.6	90	TD

P: Hormigón primario  
NB: Sin lecho o base de mortero u hormigón  
TD: Tracción directa

Fuente: (USACE, Designing Roller Compacted Concrete Dams, 2000)

La resistencia al corte de las juntas horizontales es la suma de la cohesión y la fricción interna de las juntas de horizontales intactas y unidas. Se puede describir mediante el uso de la ecuación de Coulomb, que se muestra a continuación. (USACE, Designing Roller Compacted Concrete Dams, 2000)

$$\tau_{junta} = C_{junta} + \sigma_{junta} * \tan (\varphi_{junta}) \quad ( 72)$$

Donde;

$\tau_{\text{junta}}$ : esfuerzo cortante en la junta

$C_{\text{junta}}$ : cohesión en la junta

$\sigma_{\text{junta}}$ : esfuerzo normal en la junta

$\phi_{\text{junta}}$ : ángulo de fricción interna de la junta

La prueba de resistencia al corte se puede desarrollar a partir de muestras de cilindros hechos en el laboratorio o de núcleos perforados de una presa de hormigón compactado (HC) terminada. La resistencia al corte del hormigón compactado (HC) suele ser similar a la del hormigón vibrado convencional (HVC), la cohesión en esta prueba varía con el contenido de cemento, pasta y edad; mientras que el ángulo de fricción se ve afectado por el tipo de agregado (USACE, Designing Roller Compacted Concrete Dams, 2000).

*Tabla 2-31.*  
*Resistencia al corte en núcleos perforados en presas de HC*

Presa	Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	Puzolana (Kg/m <sup>3</sup> )	A/C	TMNA (mm)	Tipo de junta	Edad (días)	Resistencia a la compresión (MPa)	Cohesión máxima (KPa)	$\phi$ (grados)	Cohesión residual de corte (KPa)	Corte residual $\phi$ (grados)
<b>Galesville</b>	51	51	1.09	75	NB	415	14	758	67	552	40
<b>Upper Stillwater</b>	79	173	0.37	50	P	120	27	2068	55	207	42
<b>Victoria</b>	67	66	0.80	50	B	365	18	1586	69	69	44
<b>Zintel Canyon</b>	74	0	1.50	63	NB	345	10	586	56	69	40

P: Hormigón primario

NB: Sin lecho o base de mortero u hormigón

B: Con lecho o base de mortero u hormigón

Fuente: (ACI 207.5R-11, 2011)

### **2.3.5.1 Calidad de las juntas horizontales**

La calidad de las juntas horizontales depende de diversos factores como la permeabilidad que se controla mediante el grado de compactación, el método de colocación, la dosificación de la mezcla y el uso de mortero de pega en las superficies de las capas horizontales. Debido al método constructivo la filtración puede ocurrir en las juntas horizontales y juntas verticales a través de



grietas que conducen a una reducción de la resistencia a la tracción y al corte (USACE, Designing Roller Compacted Concrete Dams, 2000).

Los resultados que se obtienen del análisis de estabilidad al deslizamiento y verificación de resistencias de la presa brindan un panorama más claro para proporcionar una correcta calidad de las juntas horizontales. Los dos estudios se los debe realizar a los puntos más débiles de la presa, la estructura por su peso propio debe garantizar la estabilidad. Además, en el presente estudio se propone asegurar que el esfuerzo mínimo sea igual al 20 % de la presión hidrostática con el objetivo de que las juntas de construcción no se abran. Para un diseño preliminar se puede adoptar la cohesión inicial igual al 5 % de la resistencia a la compresión del hormigón compactado, si las juntas fueron unidas con mortero de pega, caso contrario la cohesión será cero; también se puede asumir que el ángulo de fricción interna es  $45^\circ$ , pero puede variar entre  $(40 - 60)^\circ$ . Para poder verificar si los valores asumidos son aceptables, las pruebas se realizan en muestras preparadas en el laboratorio y en núcleos perforados desde la etapa de diseño. Los resultados de las pruebas dan una idea de si la resistencia al corte de la junta horizontal cumple o excede los requisitos de diseño. Cuando se tiene capas de grandes espesores, no se garantiza un aumento de la resistencia al corte en las juntas horizontales. Las capas con espesores de 0.30 m se han convertido en una dimensión estándar en todo el mundo, sin embargo, tanto los diseñadores como los contratistas han investigado el uso de capas horizontales con un espesor de hasta 0.60 m.

#### ***2.3.5.2 Controles a implementar para garantizar la calidad de las juntas horizontales***

El mejor control para garantizar la calidad de las juntas horizontales es: instalar juntas de contracción en ubicaciones estratégicas transversales al eje de la presa, instalar topes de agua en las juntas de contracción transversal y, usar mortero de pega entre las juntas horizontales dentro

de una zona en la cara aguas arriba de la presa. También se ha encontrado que la filtración a través de presas de hormigón compactado (HC) disminuye gradualmente con el tiempo a medida que las juntas horizontales se llenan por sedimentación.

### **2.3.6 Parámetros que intervienen en los indicadores en las juntas del HC**

Se puede realizar la unión de dos capas mediante procesos químicos (los que realizan la unión con la ayuda de materiales cementicios) y mecánicos (los que realizan la unión con la ayuda de penetración de agregados) (ICOLD, 2001). Para esta unión de capas se tomará en cuenta los siguientes factores y procesos:

- La superficie debe estar húmeda para continuar con un correcto proceso de hidratación. Estudios realizados por Tayabji, Okamoto y DeGroot en 1987, demuestran que el curado húmedo mejora la unión y eso se puede evidenciar en el hormigón a edades posteriores; mientras que, el exceso de agua o humedad aumenta la relación agua / cemento, por lo tanto, disminuye la resistencia.
- La superficie de la capa debe estar limpia y evitar que agentes nocivos u otros mecanismos la alteren.
- Factores como el ambiente, condiciones de curado y el diseño de la mezcla también tienen incidencia en la correlación de la resistencia de la junta de elevación y el tiempo entre colocación. Una junta procesada en los tiempos previstos en su diseño se denomina junta caliente; una junta que ha sobrepasado los tiempos previstos en su diseño se denomina junta fría, esta perderá resistencia y aumentará su permeabilidad generalmente producida entre (4 – 6) horas, y en tan solo 2 horas con temperatura ambiente de 32 °C (ACI 207.5R-11, 2011). El método más usado para determinar el

tiempo de fraguado es mediante ultrasonidos, pruebas de ondas de energía en muestras frescas según el Ph.D Germán Hermida (L. Berga & J.M. Buil, 2003).

- Otro factor a determinar es la madurez de la junta. El contenido de materiales cementicios y la trabajabilidad puesto que un alto o bajo contenido de cemento determinará su alta o baja trabajabilidad o consistencia, y esta puede ser medida mediante el aparato VeBe. El mortero de pega comúnmente utilizado es el conformado por arena y cemento -entre (235 – 355) Kg/m<sup>3</sup>- y con aditivos; el espesor de la capa del mortero de liga está entre (1.3 - 1.9) cm, la diferencia entre el mortero de pega y hormigón de pega es que contiene un cierto porcentaje de agregado grueso y alcanza espesores entre (1.9 – 2.2) cm (Schrader E. , 1999).
- La compactación incide en la resistencia de las juntas de elevación, y debe ser uniforme con un esfuerzo adecuado. Lograr una compactación adecuada depende de las mismas variables que la trabajabilidad, la segregación, el número de pasadas del rodillo, y el tiempo entre la mezcla y el inicio de la compactación; un número de pasadas insuficiente o en exceso debilitará la junta de elevación, incluso afectando a la parte inferior de la junta. Como una forma de controlar la compactación se debe realizar pruebas de densímetro nuclear acompañado de un medidor de compactación incorporado en el rodillo, finalmente es importante resaltar que con la presencia de agrietamientos en la superficie y vacíos generados por los transportes que forman parte del proceso constructivo se debilita la resistencia tanto de la junta como de la capa principal (Schrader E. , 1999).

Las pautas de diseño más usadas se basan en:

- USACE EM 1110-2-2006, Hormigón compactado por rodillos;

- USACE EP 1110-2-12, Disposiciones de diseño sísmico para presas de hormigón compactado con rodillos; y
- ACI 207.5, Concreto en masa compactado con rodillos.

**Resistencia a la compresión en la junta:** el ensayo de resistencia a la compresión es la base para realizar comparaciones y verificar las mezclas o dosificaciones, las pruebas mínimas a realizar son las que menciona (ASTM C 39 Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto) y la (ASTM C 40, Método de ensayo normalizado para la detección de impurezas orgánicas en agregados finos para concreto ). Los cilindros serán tomados de acuerdo a lo dispuesto en la (ASTM C 617, Práctica normalizada para refrentar las probetas cilíndricas de hormigón), el valor de la resistencia proporcionado por este ensayo puede promediarse de (10 – 25) % más bajo que la equivalente en su edad.

**Resistencia al corte en la junta:** con cilindros de laboratorio, núcleos perforados o bloques aserrados, se puede simular a las juntas de elevación (Schrader E. , 1999). El ensayo de compresión puede arrojar resultados no conservadores por el contenido de cemento, trabajabilidad y el tamaño de la muestra, esta se puede realizar con base en la prueba de corte directo siguiendo la norma (ASTM D 5607, Resistencia al corte directo Pruebas de especímenes de roca bajo fuerza normal constante) o, la (USACE CRD C 90, prueba de corte transversal Fuerza confinada, plano simple o doble plano).

**Resistencia a la tracción en la junta:** para juntas de elevación se puede aplicar núcleos perforados o bloques aserrados de acuerdo con la norma (ASTM D 2936, Resistencia a la tracción directa de muestras de núcleo de roca intacta ) o, la (USACE CRD C 164, resistencia a la tracción directa de Especímenes cilíndricos de hormigón o mortero).

Los núcleos perforados verticalmente dan como resultado una resistencia a la tracción en 20% menor a las perforadas horizontalmente, según la USACE (2000); si se considera que la resistencia a la tracción es un factor crítico en el diseño es preferible analizar las muestras de acuerdo a USACE EM 1110-2-2006 y EP1110-2-12. Para la resistencia a la tracción indirecta o rotura se sigue el procedimiento establecido en la norma ASTM C496, estos valores con un factor de correlación de 0.75 dará la tracción a la compresión directa; en USACE EM 1110-2-2006 se proporcionan valores límite de la resistencia a la tracción de la junta de elevación, basados en la prueba de tracción de la mezcla original de hormigón compactado.

**Permeabilidad en la junta:** La permeabilidad de las juntas de elevación se puede determinar conforme a la norma (ASTM D 4630, Método de prueba estándar para determinar la transmisividad y coeficiente de almacenamiento de rocas de baja permeabilidad por mediciones in situ utilizando la cabeza constante Prueba de inyección.). Una alternativa de impermeabilización son las geo-membranas, estas interceptan cualquier tipo de filtración ya que cubren todo el paramento y las juntas expuestas, de esta manera también se reduce potencialmente el agrietamiento que puede ocurrir a corto o largo plazo. Para decidir sobre qué método, alternativa o técnica se aplicará para lograr la unión de las juntas con la mezcla, se debe determinar: primero, los valores de la resistencia de la junta de elevación; luego, tomar en cuenta que no todas las juntas de elevación requieren de procesos de unión; y finalmente, dejar claro que las propiedades de resistencia de las juntas dependerán también de varios factores o variables que intervengan del sitio del proyecto (L. Berga & J.M. Buil, 2003).

**Juntas verticales y/o de contracción:** Su principal función son aliviar esfuerzos térmicos y el control de la filtración. En presas de cresta pequeña estas juntas obstaculizan una puesta de hormigón compactado rápida, para el control de la filtración. Las juntas de contracción son las de

orientación vertical estas permiten trabajar independientemente cada bloque, además son las encargadas de controlar el agrietamiento debido a los fenómenos térmicos, ya que estas grietas generan filtración, y esa fuga puede llegar hasta las juntas de elevación afectando a la estabilidad de la estructura; una alternativa para reducir este efecto, es drenar la presión desde el interior mediante perforaciones, la contracción por secado se presentará únicamente en la superficie externa, más no en el cuerpo de la presa. Para controlar la filtración en las juntas de contracción ACI menciona: el control de superficie para la junta con tope de agua, control de superficie para la junta con tope de agua y lechada, membrana colocada aguas arriba, caras de hormigón convencional colocadas después del hormigón compactado.

La junta se ha conformado a través de inductores de grietas en el hormigón suelto sea este compactado o aun no compactado, una secuencia para la colocación o instalación de la placa inductora es la siguiente (L. Berga & J.M. Buil, 2003):

- Alinear y extender el hormigón compactado en el sentido de la junta de contracción.
- Colocar sobre la junta la placa en forma vertical con arriostramiento mínimo para mantener la posición.
- La propagación del hormigón compactado sobre el lado contrario de la placa vertical que ya tiene el plástico colocado, se retira la placa metálica dejando insertado el plástico.



Figura 2-44. Insertado de junta, presa Miel I, Colombia.  
Fuente: (USACE, researchgate.net, 1992)

**Juntas horizontales y/o de elevación:** A diferencia de las juntas verticales estas permanecen a una distancia de 0.30 m, este será el espesor de la capa; un tratamiento superficial para estas capas es necesario y es un tema en discusión aun, es aquí donde se clasifican en: juntas calientes, juntas preparadas y juntas frías. Por lo general, las juntas calientes no necesitan tratamiento, las juntas frías si lo necesitan. Cada presa es diferente y por lo tanto tiene un MF que es el parámetro para medir la madurez de las juntas; MF es un producto de la temperatura media del aire en °C y el tiempo en horas transcurrido entre las capas consecutivas (L. Berga & J.M. Buil, 2003). Las juntas menores a las 24 horas se denominan juntas calientes, para tratar estas juntas se deberá retirar el agua en exceso en la superficie, esto puede ser con la ayuda de camiones aspiradores. No es necesario realizar ningún tratamiento especial, solo se puede limpiar la superficie y mantenerla húmeda. Mientras que, las juntas preparadas, aquellas que están entre (24 – 48) horas y en buenas condiciones climáticas hasta 72 horas, es suficiente rastrillar la superficie con un cepillo metálico y retirar los excesos mediante un camión equipado con aspiradora.

Las juntas mayores a 72 horas, que en malas condiciones climáticas lleguen hasta 48 horas, se denominan juntas frías. Se deben tratar con chorros de arena y agua a presión, además es suficiente rastrillar la superficie con un cepillo metálico y retirar los excesos mediante un camión equipado con aspiradora. Para juntas frías el tratamiento es similar al tratamiento del hormigón convencional, con chorros de aire y agua a presión, barrer y succionar siempre dejando una ligera capa de mortero (L. Berga & J.M. Buil, 2003).

**Desarrollo de la junta de elevación:** Para un buen desempeño de la estabilidad al deslizamiento, resistencia al corte y estanqueidad del agua, la superficie debe estar limpia y fresca con capacidad de adherencia; se puede extender una o varias capas antes de su compactación, de igual manera se puede compactar individualmente o en conjunto con todas las capas extendidas

para la formación de la misma. El arenado entre (24 - 72) horas después de colocar las juntas reduce la adherencia según Dolen y Tayabji. Si la junta de elevación no está cubierta de hormigón compactado antes de llegar a su fraguado inicial, se genera una junta fría, generalmente ocurre cuando el tiempo ha excedido o vencido, es decir, el promedio entre la temperatura ambiente y el tiempo de exposición, la madurez se mide en grados – horas (L. Berga & J.M. Buil, 2003).

**Tratamiento en juntas de elevación:** Siempre deben estar protegidas del secado o la congelación. Antes de colocar la siguiente capa la superficie debe estar limpia y con humedad óptima, esto facilitará observar un cambio de color (de oscuro a más claro), limpiar la superficie con aire a presión no afecta la calidad de la junta, incluso algunas pruebas demuestran mejorar las condiciones de resistencia de las juntas de elevación (L. Berga & J.M. Buil, 2003).

- Una buena práctica es conservar la superficie humedecida, no con acumulación de agua, antes de colocar la siguiente capa de hormigón compactado.
- Una superficie con un rango de (24 – 48) horas ya estará lo suficientemente endurecida, de esta manera se recomienda el lavado con agua a presión en caso de que el aire a presión no logre limpiar la superficie.
- Lavar la superficie con agua únicamente es recomendable cuando ya este endurecida.
- Es innecesario usar chorros de arena.
- Mezclas de hormigón compactado con una correcta dosificación generalmente no expulsan agua o lejía en la superficie.
- Limpieza de juntas de elevación con hormigón convencional, no es necesario.

Mezclas expuestas a temperaturas de 21 °C se encuentran entre (150 - 450) °Ch de edad, no será necesario su tratamiento siempre y cuando la superficie se mantenga limpia y húmeda en todo el transcurso. La temperatura para la colocación de las juntas de elevación está en los 21 °C



con base en la cantidad y características de los materiales cementicios, así como del contenido de aditivos y la efectividad del fraguado, a pesar de la singularidad de cada situación (L. Berga & J.M. Buil, 2003).



Figura 2-45. Tratamiento de una junta de elevación, presa Miel I, Colombia.  
Fuente: (USACE, researchgate.net, 1992)

### 2.3.7 Elementos constructivos de una presa de hormigón compactado (HC)

Los principales elementos constructivos de una presa son: cresta o corona de la presa, galerías longitudinales, galerías transversales, juntas de deformación, entre otros.

1. **Cresta o corona de la presa:** la cresta de una presa de hormigón compactado (HC) está ubicada sobre el vértice superior del perfil teórico triangular; permite elevar la altura de la presa hasta una cota ubicada sobre el nivel forzado de embalse considerando la altura de la ola de diseño. Cabe anotar que el borde libre de la cresta de la presa respecto al NNE debe ser determinado para un periodo de retorno del viento de diseño mayor al periodo de retorno para el borde libre respecto al NFE. Por ejemplo: para el primer caso se puede optar por tomar un periodo de retorno referencial de 200 años, en tanto que para el segundo caso se podría tomar un periodo de retorno de 100 años; finalmente se adopta la mayor de las dos cotas de la cresta de la presa.

La corona de la presa debe enlazarse con el paramento aguas abajo a través de una curva suave de un determinado radio. El radio de enlace para el diseño preliminar puede

asumirse dentro de los siguientes límites, tomando en cuenta que el enlace debe ser suave.

$$R = (0.5 - 1) * (H + z); \text{ para presas pequeñas} \quad (73)$$

$$R = (0.25 - 0.50) * (H + z); \text{ para presas grandes} \quad (74)$$

El ancho de la cresta de la presa debe corresponder al nivel de importancia de la vía ubicada sobre la cresta. En caso de que no esté prevista la construcción de una vía sobre la cresta de la presa, el ancho  $b_0$  se determina considerando las dimensiones de los equipos electromecánicos e hidromecánicos instalados sobre la presa. En ningún caso el ancho  $b_0$  debe ser menor a 2 m. La inclusión de la corona o cresta de la presa puede requerir modificaciones al perfil transversal de la presa.

- ✓ El punto de quiebre del paramento aguas arriba (PUNTO A), originaría concentración de esfuerzos o distribución indeterminada de estos, por lo que cabe tomar una medida constructiva que excluya estos problemas, esta medida consiste en dar al paramento aguas arriba la configuración continua CD.

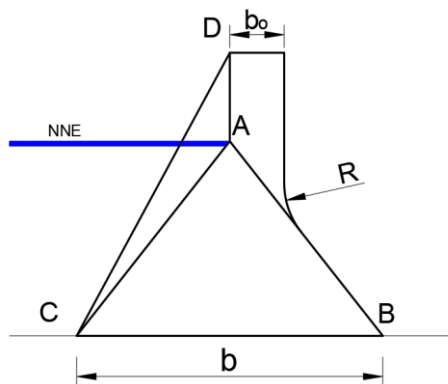


Figura 2-46. Elementos constructivos de una presa de HC  
Elaborado por: Logacho & Orozco

- ✓ En algunos casos particularmente cuando se trata de presas pequeñas, el peso de la corona de la presa puede dar lugar a que a partir de determinada cota hacia

abajo surjan esfuerzos de tracción en la sección transversal como se ilustra en el siguiente gráfico:

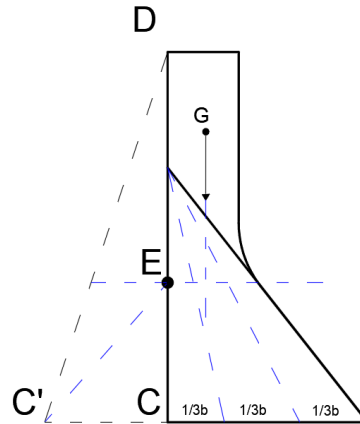


Figura 2-47. Elementos constructivos de una presa de HC  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Donde;

E: punto a partir del cual pueden existir esfuerzos de tracción

C': paramento final

Ante esto, es necesario modificar la configuración del paramento aguas arriba dándole una inclinación que permita que la resultante de las fuerzas normales no salga del tercio medio. Esta modificación a su vez origina un quiebre en el punto E que, por razones anteriormente indicadas no es recomendable. El paramento final es C'D.

**2. Galerías longitudinales:** Las galerías longitudinales están junto al paramento aguas arriba, atraviesan longitudinalmente la presa y se ubican cada (15 – 20) m, estas galerías cumplen las siguientes funciones:

- a. Sirven como espacio para la instalación de equipos de monitoreo de deformaciones, filtración y esfuerzos;

- b. Sirven como espacio de trabajo para realizar inyecciones de cementación que periódicamente recuperen la densidad del hormigón, ubicadas junto al paramento aguas arriba;
- c. Comunican los dos márgenes en diferentes niveles;
- d. Receptan el agua de filtración desde los tubos de drenaje del cuerpo de la presa, además la galería longitudinal inferior recepta el agua de drenaje de la roca de cimentación proveniente de los tubos de drenaje vertical de la base de cimentación.

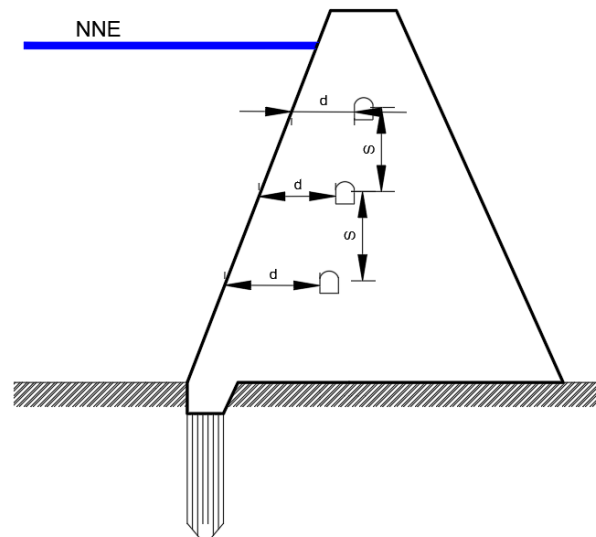


Figura 2-48. Galerías longitudinales  
Elaborado por: Logacho y Orozco

Es importante mencionar algunas características de las galerías longitudinales:

- La dimensión mínima de una galería es 1,25 m de ancho por 2,00 m de alto.
- Cuando este previsto el desplazamiento motorizado a lo largo de la galería, la dimensión mínima es de 2,50 m x 3,00 m.
- Cuando este previsto inyecciones de cementación por las galerías la dimensión mínima es 3,50 m x 4,00 m.

Las galerías longitudinales incluyen cunetas triangulares, a lo largo de las cuales fluye el agua de filtración que receipta la galería; para el efecto la cuneta longitudinal tendrá una pendiente de:

$$i = \frac{1}{50}$$

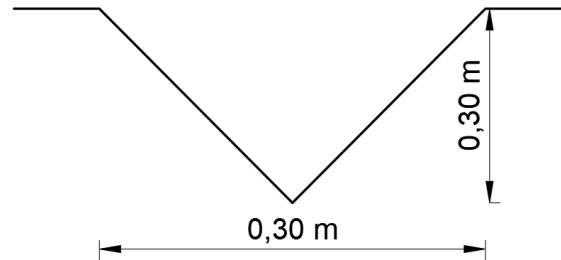


Figura 2-49. Geometría de la cuneta  
Elaborado por: Logacho & Orozco

- 3. Galerías transversales:** Sirven para evacuar el agua de filtración desde las galerías longitudinales hacia aguas abajo, pero también para monitorear el paramento aguas abajo de la presa. En el caso de presas pequeñas y medianas se dispone de al menos una galería transversal, sirve además como espacio para la instalación de una estación de piezómetros entre (5 – 8), los mismos que permiten medir la subpresión en la base de la presa.
- 4. Juntas de deformación:** Longitudinalmente la presa de hormigón está dividida en bloques por juntas de deformación que atraviesan verticalmente desde la corona hasta la cota de cimentación, el objetivo de estas juntas es evitar la concentración de esfuerzos, sean estos de origen térmico o por deformaciones. El espesor de estas juntas generalmente está entre (0,5 – 1) cm.

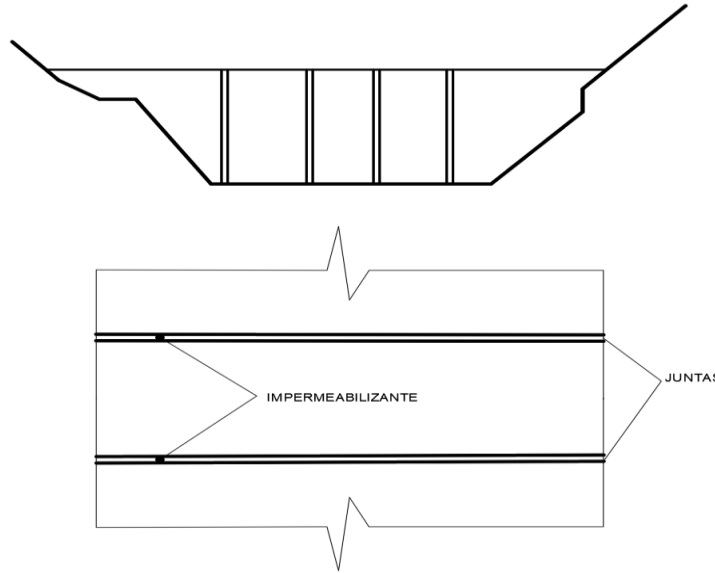


Figura 2-50. Espesor y sellado de las juntas de deformación  
Elaborado por: Logacho & Orozco

- 5. Vertedero de una presa de hormigón compactado:** la sección vertedora de una presa de hormigón compactado (HC) se la diseña normalmente con la ecuación del vertedero:

$$Q = m * \varepsilon * b * \sqrt{2g} * (H_o)^{\frac{3}{2}} \quad (75)$$

Donde;

m: coeficiente de descarga que normalmente se adopta un valor de (0,49 – 0,50);

b: sección o frente del vertedero, en metros;

g: aceleración de la gravedad, en  $m/s^2$

ε: coeficiente de contracción lateral, se adopta un valor entre (0,95 – 0,97) para fines prácticos y de diseño preliminar.

Actualmente incluir el vertedero en la presa resulta ventajoso desde diversas perspectivas, sobre todo por economía, donde la carga se estima a partir del caudal unitario con la ecuación del vertedero.

- 6. Elementos constructivos complementarios:** en la zona del vertedero existen obras complementarias como: aireadores, pilas, pilares, muro lateral, puentes, entre otros.

A manera general se menciona que el ancho de una pila puede oscilar entre (0,2 – 0,3) veces la longitud del vano que separan las pilas en el vertedero, dependiendo de la función que cumpla la presa; el frente del vano entre pilas puede variar entre (2 – 20) m o incluso más, mientras que la altura depende del tipo de compuerta metálica que se instale, para compuertas que son planas y de forma circular, la altura puede estar entre (0,5 – 0,75) veces la longitud del vano, anteriormente mencionado. Por su lado la altura de la compuerta dependerá específicamente de la carga sobre el vertedero añadiéndole un borde libre entre (5 – 20) cm (Sandoval Erazo, 2018). Y la altura de los muros deben ser lo suficientemente altos para contener al flujo que atraviesa el paramento aguas abajo a través del perfil escalonado, tomando en cuenta una altura libre por seguridad, normalmente el cálculo de esta altura de agua se realiza con programas computacionales o a través de relaciones empíricas que presentan varios autores. Un borde libre no menor a 0,30 m, para evitar que el agua (flujo supercrítico) salpique fuera de los muros. Finalmente, para flujos que superen velocidades de 25 m/s se recomienda tomar medidas de aireación artificial; pero se debe tener en cuenta que mientras haya aireación natural será más beneficioso para objetivos de disipación de energía y así controlar la cavitación en los escalones y en la cresta del vertedero (Sandoval Erazo, 2018).

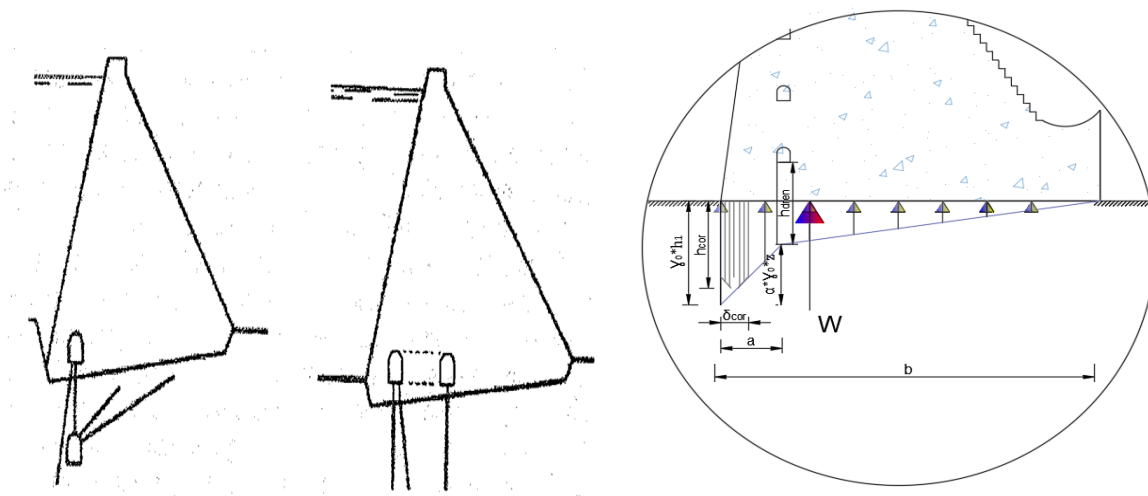
## **2.3.8 Mecanismos para incrementar la estabilidad de la presa de HC**

### ***2.3.8.1 Contacto de la presa con la roca de cimentación***

Está claro que intervienen en el contacto de la presa con la roca de cimentación, tanto la cortina de impermeabilización como el drenaje vertical, siempre y cuando estos elementos estén previstos. Con el fin de evitar incrementos sustanciales del volumen de la presa de hormigón compactado (HC) asegurando su estabilidad se puede optar como mecanismos de estabilidad las siguientes medidas constructivas recomendadas por los autores del presente trabajo:

1. La suma de los coeficientes de talud de los paramentos aguas arriba ( $m_1$ ) y aguas abajo ( $m_2$ ) igual a 0,80 cuando el macizo de cimentación es una roca de mala calidad, considerando que dichos coeficientes deben ser casi iguales.
2. Manteniendo la suma de los coeficientes de talud de los paramentos  $m_1$  y  $m_2$  entre (0,70 - 0,75) cuando el macizo de cimentación es una roca de buena calidad, considerando que el coeficiente de talud aguas arriba puede acercarse a cero y el coeficiente de talud aguas abajo puede acercarse a 0,75.
3. Otro mecanismo importante para incrementar la estabilidad al deslizamiento puede ser la instalación de drenaje bajo la base de la presa con ayuda de dos galerías de drenaje, que sería mucho más efectiva que una sola galería. En la gráfica 2-51 se visualiza el diagrama de subpresión en el que se evidencia cuando el drenaje está funcional (caso óptimo) y cuando el drenaje no está funcional (caso crítico).

Es notorio que cuando el drenaje y la cortina de impermeabilización están funcionando se tiene un diagrama de subpresión reducido, sucede lo contrario si el drenaje y la cortina no están instaladas en la presa.





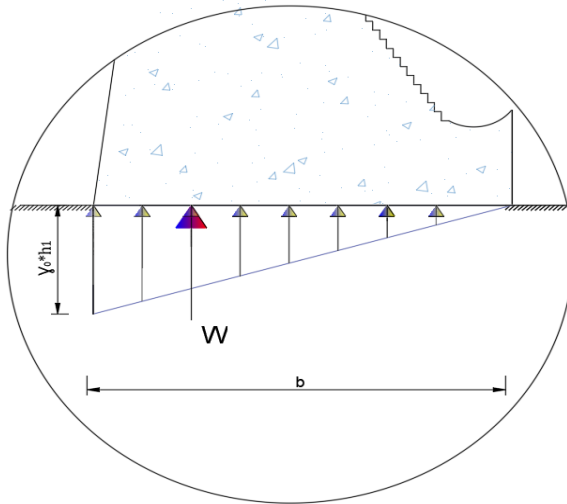


Figura 2-51. Drenaje en la base de la presa y diagrama de subpresión  
Fuente: (USACE, Designing Roller Compacted Concrete Dams, 2000)

A fin de mejorar los indicadores geomecánicos de las bases de cimentación y de la estabilidad de la presa, existen dos tipos de tratamiento:

- a. Tratamiento de consolidación: que permite mejorar los indicadores de deformabilidad y dureza y, por consiguiente, de resistencia.
- b. Tratamiento de impermeabilización: que permite disminuir la permeabilidad de la roca de cimentación cuando esto es necesario.

Los tratamientos para mejorar los indicadores geomecánicos de las bases de cimentación de otras obras civiles se diferencian de las presas de hormigón compactado (HC), pues para las presas los tratamientos se ejecutan sin alterar la estructura original del macizo natural, esto significa que, generalmente los tratamientos de consolidación e impermeabilización se realizan a través de perforaciones, con ayuda de inyecciones de diferentes soluciones, siendo la más difundida la de cemento.

### 2.3.8.2 *Tratamiento de consolidación*

Permite mejorar los indicadores de ‘deformabilidad – dureza – resistencia’ en la capa activa del macizo de cimentación, es decir, en la capa donde los esfuerzos originados por las

solicitaciones externas son suficientes para originar deformaciones. En consecuencia, el tratamiento de consolidación tiene alcance superficial puesto que comprende la superficie de cimentación de las obras, en esta superficie se distribuyen perforaciones verticales, a través de las cuales se procede a la inyección de la solución adoptada. Por ejemplo: solución de cemento.

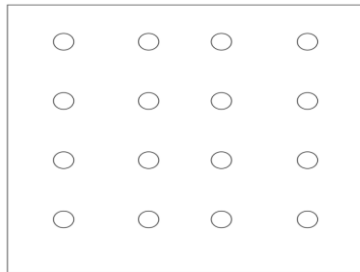


Figura 2-52. Tratamiento de consolidación  
Elaborado por: Logacho & Orozco

La distribución superficial de las perforaciones se asemeja a un tablero de ajedrez, donde la distancia entre las perforaciones generalmente es entre (4 – 5) m.

Las perforaciones para inyecciones de consolidación son poco profundas, para presas pequeñas y medianas generalmente son entre (5 – 10) m de profundidad.

### **2.3.8.3 Tratamiento de impermeabilización**

Consiste en la construcción de una cortina de impermeabilización a través de perforaciones profundas; la profundidad de las perforaciones y, por consiguiente, de la cortina de impermeabilización debe llegar hasta cotas en donde la permeabilidad sea aceptable. Para presas pequeñas y medianas se considera aceptable una permeabilidad (q) entre (0,03 – 0,05) l/min\*m, en tanto que para presas altas la permeabilidad (q) está entre (0,01 – 0,03) l/min\*m.

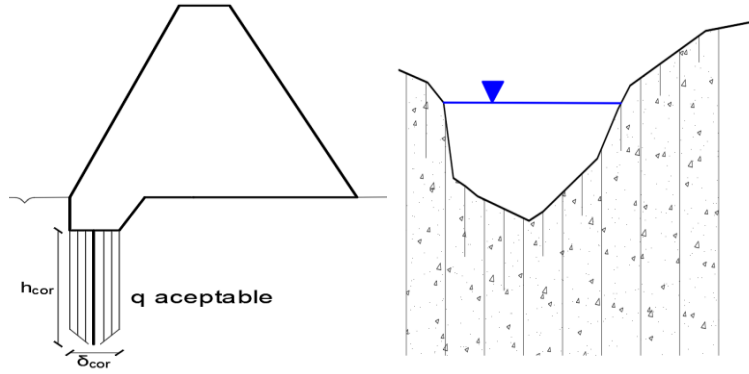


Figura 2-53. Tratamiento de impermeabilización, sección transversal y frontal.  
Elaborado por: Logacho & Orozco

El espesor de la cortina se determina a partir de la gradiente permisible del flujo de filtración a través de la cortina. Esta gradiente depende de la calidad de la roca y, generalmente, fluctúa entre (10 – 20).

$$J = \frac{H}{\delta_c} \rightarrow \delta_c = \frac{H}{J_{permisible}} \quad (76)$$

Las cortinas de impermeabilización se construyen a través de las perforaciones distribuidas en ejes longitudinales (filas) paralelos al eje de la presa. Las cortinas pueden ser de una o más filas dependiendo de las condiciones concretas, esto significa que si con una fila de inyecciones no es posible lograr la permeabilidad deseada se requerirá de una segunda fila y así sucesivamente. Generalmente el número máximo de filas es 3.

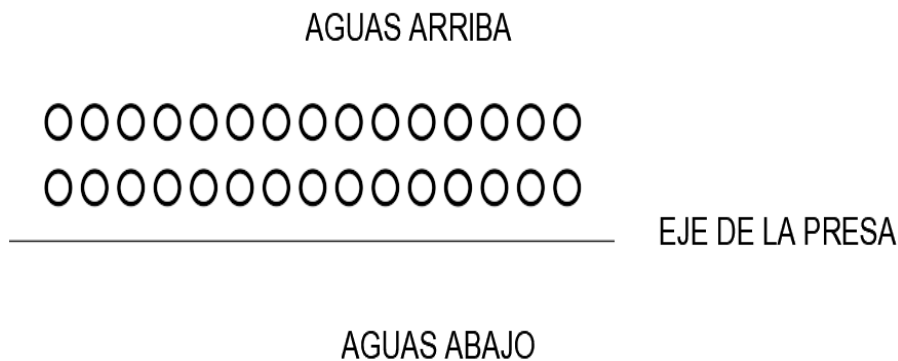


Figura 2-54. Perforaciones para construir la cortina de impermeabilización  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Cada fila de perforaciones se ejecuta por etapas, esto significa que, si una vez ejecutada la primera etapa no se obtienen los resultados deseados de permeabilidad, se pasa a la segunda y así sucesivamente. Generalmente el número máximo de etapas es (3 – 4), que corresponde a una distancia mínima entre perforaciones de alrededor de 1,5 m. La distancia entre las perforaciones de la primera etapa es entre (10 – 16) m. En caso de perforaciones poco profundas, las inyecciones se ejecutan en toda la longitud de la operación. En las perforaciones con profundidad mayor a (7 – 8) m, las inyecciones se ejecutan por tramos, los cuales pueden ser de forma ascendente o descendente. Hasta la fecha se utilizan diversos mecanismos para la estabilidad de una presa de hormigón compactado (HC) en algunos casos exitosos y en otros con menos resultados; las primeras presas de hormigón compactado (HC) resultaron con bastante porcentaje de filtración, tanto en juntas de construcción horizontales y/o juntas verticales, por lo tanto, se incorporaron mejores sistemas de revestimiento en el paramento aguas arriba buscando obtener mejores resultados, estos mejoramientos pueden ser de hormigón vibrado convencional (HVC), hormigón prefabricado, geomembranas o combinaciones entre estos mejoramientos. Para el revestimiento del paramento aguas abajo también se puede colocar: hormigón vibrado convencional (HVC) simultáneamente con hormigón compactado (HC) o después de la colocación de hormigón compactado (HC).

La superficie expuesta de la cara aguas abajo se configura comúnmente para tener una pendiente continua o una superficie escalonada. Los componentes que intervienen para la selección de uno u otro sistema de revestimiento de una presa son: características del sitio de proyecto, factores económicos, tipo y uso de la presa, preferencias y criterios del diseñador, operación y criterios de desempeño de los materiales, condiciones térmicas, condiciones pluviométricas, altura de la presa, facilidad de colocación, durabilidad, costo, etc.; sin embargo, todos los sistemas de

revestimiento aceptados para presas de hormigón compactado (HC) tienen una característica en común que es impedir los altos porcentajes de filtración, estos criterios generales de selección deberán diferir entre los paramentos aguas arriba y aguas abajo de la presa.

### 2.3.9 Mecanismos para disminuir los esfuerzos en la presa de HC

A más de la condición de estabilidad al deslizamiento, en varios países se adopta también la condición de no admitir esfuerzos de tracción en el paramento aguas arriba de presa de hormigón compactado (HC), tomando en cuenta que la subpresión en las juntas es igual a la presión hidrostática en condiciones de operación normal. Esta condición para las presas de hormigón compactado (HC) debe considerarse extraordinaria por su vulnerabilidad frente a la presencia de esfuerzos de tracción en las superficies horizontales de las juntas, además que el área de las superficies de las juntas de construcción de las presas de hormigón compactado es hasta 10 veces mayor al área de las juntas de las presas de hormigón convencional. Por esta razón, para un diseño preliminar de presas de hormigón compactado (HC) debe sustentarse la magnitud de la inclinación de los paramentos, ya que constituye un mecanismo para incrementar la estabilidad al deslizamiento con el fin de disminuir la magnitud de esfuerzos de tracción.

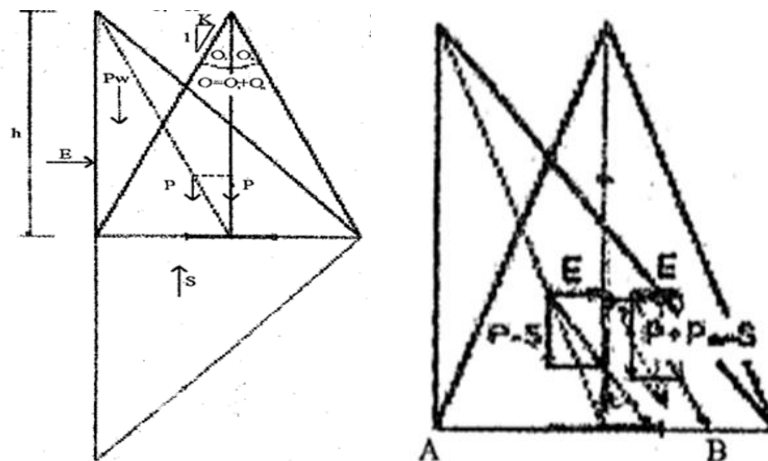


Figura 2-55. Mecanismos para disminuir los esfuerzos en una presa de HC  
Fuente: (Chugaev, 1988)

Al comparar la figura 2-55, en donde se observan dos alternativas de igual volumen de una presa de hormigón compactado (HC) es decir, con la misma suma de los coeficientes de talud, por ejemplo:  $m_1 + m_2 = (0.73 - 0.80)$ ; una imagen con dirección vertical del paramento aguas arriba y la segunda con dirección inclinada, casi simétrica, con la posibilidad de que, en este caso, la resultante de todas las fuerzas salga del tercio medio en la sección de contacto con la roca, originando que al pie del paramento aguas arriba (punto A) y en todos los puntos del mismo puedan surgir esfuerzos de tracción o, en el mejor de los casos, disminuir la magnitud de los esfuerzos de compresión en el proyecto de la presa de HC con paramento aguas arriba inclinado. Por lo tanto, el incremento de la estabilidad al deslizamiento es un mecanismo que no actúa frente a la posibilidad de que surjan esfuerzos de tracción en el paramento aguas arriba, principalmente en las juntas con la presencia de subpresión. En la presente investigación se propone limitar a la suma de  $m_1 + m_2$  a los rangos de  $(0.73 - 0.80)$  esto con el fin de dar una inclinación a los paramentos; se inicia con paramentos simétricos para posteriormente ir dando una inclinación cercana a lo vertical al paramento aguas arriba hasta lograr que cumpla con las condiciones de resistencia ( $20\% \cdot \gamma_o \cdot H_p$ ) y estabilidad ( $FSD \geq FSD_{per}$ ). Para que un paramento se acerque a lo vertical se propone que el valor de su inclinación ( $m_x$ ) sea dividido para la suma de las dos inclinaciones ( $m_1 + m_2$ ), partiendo de la premisa que  $m_1 + m_2$  debe estar entre  $(0.73 - 0.80)$ , cabe mencionar que este rango es inversamente proporcional a la calidad de la roca; propuesta que se deduce en la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{m_x}{m_1 + m_2} \quad (77)$$

Donde;

$m_x$ : Coeficiente de talud para el paramento al cual se le quiere llevar a la verticalidad

$m_1$ : coeficiente de talud aguas arriba

$m_2$ : coeficiente de talud aguas abajo

$\eta$ : factor que se podrá aplicar con el mismo criterio para formular el perfil teórico triangular utilizando las relaciones  $\eta*b$  y  $(1-\eta)*b$ .

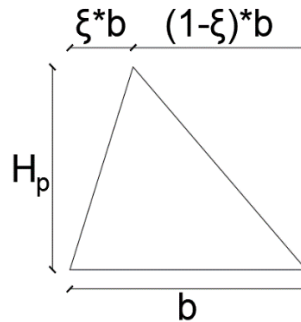


Figura 2-56. Perfil teórico triangular  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Tomando el ejemplo de la figura 2-57 de una presa de perfil simétrico con proyección horizontal de los dos paramentos iguales  $m_1=m_2=0,40$ , el factor de estabilidad al deslizamiento (FSD) es igual a 2.30, mientras que, para un perfil con paramento aguas arriba cercano a lo vertical ( $m_1=0.10$ ,  $m_2=0,70$ ) el FSD es igual a 2.06, manteniendo la condición de  $m_1+m_2$  entre (0.73 - 0.80). De acuerdo al ejemplo se evidencia que el FSD para un perfil simétrico se incrementa en 10.5 % esto es considerando una roca de buena calidad con cohesión de 400 KPa y  $f=0.80$ ; por otro lado, al hacer el análisis para una roca de mala calidad con cohesión de 100 KPa y  $f=0.65$  también se obtiene un incremento, en este caso del 12.5 %.

	PARAMENTO CERCANO A LO VERTICAL: PTT 1	PARAMENTOS INTERMEDIO ENTRE VERTICAL Y SEIMETRICO: PTT 2	PARAMENTOS SIMETRICOS: PTT 3	METODO PARA OBTENER EL PERFIL TEORICO TRIANGULAR PARA PRESAS DE HORMIGON COMPACTADO: $\sigma_y' = 20\% ?*H_p$					
	HC	HC	HC	ANALISIS PTT 1		ANALISIS PTT 2		ANALISIS PTT 3	
$m_1=$	0.1	0.2	0.4	$P_v=$	5000.0 KN/m	$P_v=$	10000.0 KN/m	$P_v=$	20000.0 KN/m
$m_2=$	0.7	0.6	0.4	$G_1=$	12000.0 KN/m	$G_1=$	24000.0 KN/m	$G_1=$	48000.0 KN/m
$m_1+m_2=$	0.8	0.8	0.8	$G_2=$	84000.0 KN/m	$G_2=$	72000.0 KN/m	$G_2=$	48000.0 KN/m
$H_p=$	100 m	100 m	100 m	$W$	-12000.0 KN/m	$W$	-12000.0 KN/m	$W$	-12000.0 KN/m
$b =$	80 m	80 m	80 m	$PH=$	50000.0 KN/m	$PH=$	50000.0 KN/m	$PH=$	50000.0 KN/m
$b =$	80 m	80 m	80 m	$\Sigma N=$	89000.0 KN/m	$\Sigma N=$	94000.0 KN/m	$\Sigma N=$	104000.0 KN/m
$\eta=$	0.13	0.25	0.50	$\Sigma M=$	683333.3 KN/m * m	$\Sigma M=$	853333.3 KN/m * m	$\Sigma M=$	1293333.3 KN/m * m
$1-\eta=$	0.88	0.75	0.50	$e=$	7.68	$e=$	9.08	$e=$	12.44
$n*b=$	10.00 m	20.00 m	40.00 m	$\sigma_y''=$	1753.13 KN/m <sup>2</sup>	$\sigma_y''=$	1975.00 KN/m <sup>2</sup>	$\sigma_y''=$	2512.50 KN/m <sup>2</sup>
$(1-\eta)*b=$	70.00 m	60.00 m	40.00 m	$\sigma_y' =$	471.88 KN/m <sup>2</sup>	$\sigma_y' =$	375.00 KN/m <sup>2</sup>	$\sigma_y' =$	87.50 KN/m <sup>2</sup>
$?o=$	10 KN/m <sup>3</sup>	10 KN/m <sup>3</sup>	10 KN/m <sup>3</sup>	$20\%=$	200.00 KN/m <sup>2</sup>	$20\%=$	200.00 KN/m <sup>2</sup>	$20\%=$	200.00 KN/m <sup>2</sup>
$?h=$	24 KN/m <sup>3</sup>	24 KN/m <sup>3</sup>	24 KN/m <sup>3</sup>	FSD=	2.06	FSD=	2.14	FSD=	2.30
$f=$	0.8	0.8	0.8						
$c=$	400 KPa	400 KPa	400 KPa						
$\alpha=$	0.8	0.8	0.8						

Figura 2-57. Resultados obtenidos de la propuesta de perfil con paramentos simétricos y perfil con paramentos cercano a lo vertical.

Fuente: Logacho & Orozco

De esta manera, una evaluación aproximada evidencia que una presa de hormigón compactado (HC) con perfil simétrico tiene una mayor estabilidad al deslizamiento (10 - 20) % en la base, en comparación con la presa del mismo volumen con paramento vertical aguas arriba; por su parte, los esfuerzos máximos en la presa con paramentos simétricos son (15-30) % mayores que los de la presa con paramento cercano a lo vertical, y los esfuerzos mínimos en la presa con paramentos simétricos son menores que los de la presa con paramento cercano a lo vertical, las dos alternativas no presentan esfuerzos de tracción, sin embargo, para la presa con paramentos simétricos el esfuerzo mínimo no cumple la condición impuesta para esta investigación del 20% de la presión hidrostática. Mientras que en la presa con paramento cercano a lo vertical el esfuerzo mínimo duplica al 20 % de la presión hidrostática, que, para lo propuesto en esta investigación, sirve de punto de partida para realizar todos los ajustes necesarios en el desarrollo de este tema.

Es importante aclarar que esta evaluación es de carácter preliminar, por lo tanto, debe ser verificada en detalle para varios casos concretos como: combinación de fuerzas básica B1 y especiales (E1 y E2). Se plantea que el parámetro “ $\eta$ ” será el que permitirá cumplir con mejor aproximación la condición de esfuerzo mínimo ( $20\% \cdot \gamma_o \cdot H_p$ ) para una presa de hormigón compactado (HC).

En el capítulo III se presenta a más detalle el análisis para el universo de alternativas incluyendo la condición de variar el parámetro “ $\eta$ ” hasta cumplir las condiciones propuestas para hormigón compactado (HC). Con el fin de proporcionar un material estable y con propiedades ‘in situ’, más importantes que las de laboratorio, para obtener resultados que satisfagan a los diseños requeridos en torno a: resistencia, permeabilidad y durabilidad se debe realizar una selección y proporción correcta de los materiales. La estabilidad de la estructura estará determinada por su trabajo mecánico conjunto.



El hormigón compactado (HC), en la mayoría de los casos al no tener refuerzo, su resistencia es a la compresión; generalmente los esfuerzos de corte y esfuerzos de tensión son generados por las variaciones de temperatura, como ocurre en el hormigón convencional. Para el HC una mezcla bien compactada disminuye la relación agua / cemento y aumenta la resistencia. Los esfuerzos de tracción en la presa de hormigón compactado disminuyen cuando la carga muerta de la presa y la presión de agua del embalse son consideradas en sus análisis de diseño.

Un proceso para prevenir fugas mediante el cuerpo de la presa es realizar una barrera impermeabilizante con una lechada enriquecida de cemento, este mecanismo genera un efecto que mejora la resistencia a la tracción del hormigón compactado en las juntas. De la misma manera, se coloca un mortero en la cara aguas arriba de la presa en cada junta horizontal y cada capa, con un espesor de 10 mm; en la unión de la cimentación (roca) con el cuerpo de la presa también se debe colocar el mortero con un espesor de 10 mm, para mejorar el comportamiento en el contacto roca – hormigón compactado. Las grietas térmicas se generan cuando la construcción de la presa en hormigón compactado es en verano, con la inyección de la lechada enriquecida se puede realizar los tratamientos para las grietas, el contenido de agua de la mezcla de hormigón compactado se varia hasta alcanzar la densidad máxima aceptable, la cual es 2400 Kg / m<sup>3</sup>; estas características se requieren para obtener una máxima disipación de esfuerzos de tracción mediante propiedades elásticas y de fluencia, cuando la velocidad de evaporación es mayor a la de exudación se generan las grietas superficiales y esto produce el agrietamiento por retracción.

$$\textit{Exudación} < \textit{Evaporación} \quad (\textit{contracción por secado})$$

Cuando el estado del hormigón compactado sea entre el límite plástico y el final del fraguado inicial se denomina contracción plástica, esto se da lugar en un tiempo estimado de 3 horas; por ello, se debe tener en cuenta el tipo de curado que se va a realizar a la mezcla.

Ya sea por retracción o contracción el agrietamiento es una de las causas de los cambios volumétricos y a la que se asocia las fisuras, a estos cambios volumétricos se los denomina contracción o retracción de fraguado. El mecanismo de impermeabilización ayuda en la reducción de esfuerzos que generalmente van a ser causados por la filtración y por factores de la cimentación.

A continuación, se presentan diversos mecanismos de impermeabilización:

1. Cloruro de polivinilo (PVC)
2. Polietileno de alta densidad (HDPE)
3. Polietileno clorosulfonado (CSPE)
4. Polietileno clorado (CPE) – comúnmente llamado Hypalon
5. Butilo (caucho)
6. Polipropileno (PE)
7. Geomembranas bituminosas

### **2.3.10 Optimización del perfil transversal de las presas de HC**

Con base en las siguientes consideraciones se obtiene un diseño óptimo del perfil transversal de la presa de hormigón compactado (HC).

- La resistencia al corte en las presas de hormigón compactado (HC) no solo debe cumplirse en el contacto presa- macizo de cimentación, sino además en cualquier otra superficie;
- En el paramento aguas arriba, en caso de combinación básica debe haber compresión a fin de que no se abran las juntas del hormigón compactado (HC) (que tienen menor resistencia a la tracción que el hormigón vibrado) surgiendo en ellas subpresión;
- Los esfuerzos de compresión en el macizo de cimentación no deben superar valores a partir de los cuales pueden surgir deformaciones que determinen deslizamientos inadmisibles entre los bloques de hormigón compactado (HC).

### 2.3.10.1 Procedimiento para el diseño óptimo de una presa de hormigón compactado (HC)

Para el diseño óptimo de una presa de hormigón compactado (HC) se debe tener en cuenta el siguiente procedimiento:

Obtener un perfil teórico preliminar de la presa, el mismo que debe cumplir con las condiciones de estabilidad, resistencia y económicas, para el efecto se consideran las principales fuerzas actuantes: peso propio de la estructura, fuerza de presión hidrostática y fuerza de subpresión, asumiendo que el esquema tiene cortina de impermeabilización o cortina de impermeabilización con drenaje, prescindiendo de elementos constructivos y en este caso también del perfil escalonado.

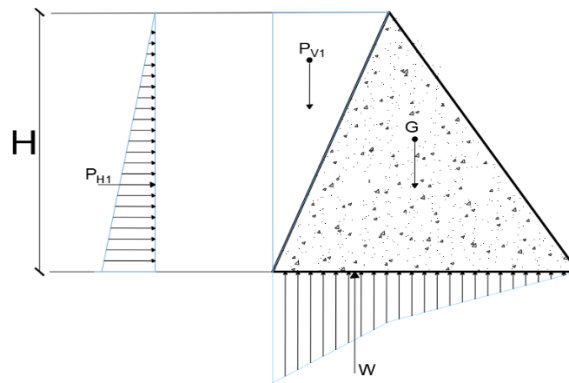


Figura 2-58. Fuerzas actuantes en el perfil teórico triangular  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Con el fin de cumplir las condiciones de estabilidad y resistencia, para el caso del hormigón compactado (HC) se plantea aumentar un 20 % los esfuerzos en la base del paramento aguas arriba, ya que por la posible presencia de esfuerzos de tracción generados en las juntas esta medida ayudará a contrarrestar dicha presencia; estas condiciones deberán evidenciar un grado de satisfacción alto.

A partir del perfil teórico triangular que se plantea más adelante para presas de hormigón compactado (HC) con base en las ecuaciones propuestas, se determina el ancho de la base del

perfil teórico triangular y la posición del vértice superior a través del parámetro “ $\eta$ ”. El análisis del perfil teórico triangular (PTT) que se propone en esta investigación tiene el fin de obtener un perfil constructivo que cumpla las condiciones presentadas, aparte de poder comparar dos casos de PTT, el uno de hormigón compactado (HC) y otro de hormigón vibrado convencional (HVC); desde este punto se inicia con el diseño y análisis completo que permite realizar una comparación técnica - económica entre las dos. Posteriormente se debe configurar el perfil tipo Creager con base en el capítulo 2.2.3; el diseño del perfil constructivo en el que ya se incorporan elementos para la operatividad de la obra, se obtiene tras sobreponer el perfil hidráulico tipo Creager al perfil teórico triangular.

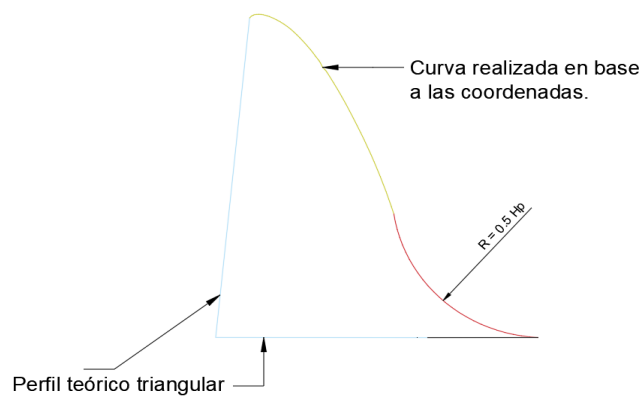


Figura 2-59. Superposición del perfil teórico triangular con la curva para obtener el perfil constructivo  
Elaborado por: Logacho & Orozco

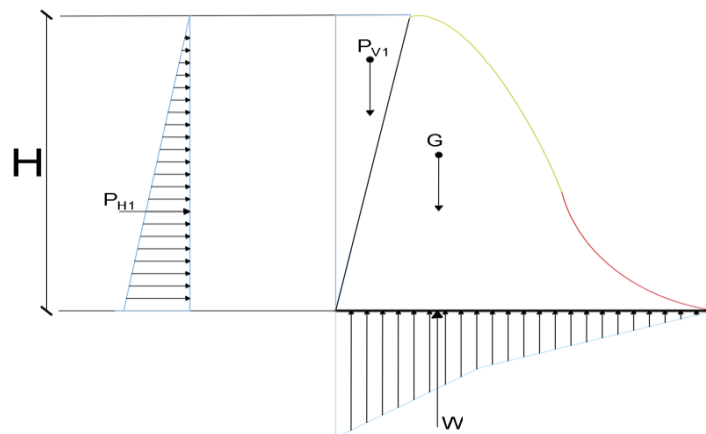


Figura 2-60. Fuerzas actuantes en una presa vertedero de HC  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Ya obtenido el perfil definitivo se procede hacer un nuevo análisis de estabilidad al deslizamiento y verificación de resistencias, con la presencia de todas las fuerzas ya sean para combinación básica B1 o para combinación especial E1 y E2. Está claro que por ser hormigón compactado (HC) se tendrán diferentes secciones transversales, por lo tanto, el análisis de estabilidad al deslizamiento se debe realizar en diferentes niveles horizontales, particularmente donde se pueden presentar cargas puntuales.

	PERFIL CONSTRUCTIVO	VERIFICACION DEL PERFIL CONSTRUCTIVO PARA COMBINACION BASICA	
	HC	ANALISIS PERFIL CONSTRUCTIVO	
V: aguas arriba	0.1	G1=	12000.0 KN/m
H: aguas abajo	1	G2=	90000.0 KN/m
V: aguas abajo	0.7	W	-12000.0 KN/m
m1=	0.1	PH=	50000.0 KN/m
m2=	0.7	ΣN=	79639.2 KN/m
m1+m2=	0.8	ΣM=	778140.2 KN/m * m
Hp=	100 m	e=	9.77
b =	80 m	σy''=	1725.00 KN/m <sup>2</sup>
b opt=	80 m	σy' =	265.98 KN/m <sup>2</sup>
n=	0.13	20%=	200.00 KN/m <sup>2</sup>
1-n=	0.88	FSD=	1.91
n*b=	10.00 m	Pv2=	1928.8 KN/m
(1-n)*b=	70.00 m	Pvs=	672.0 KN/m
?o=	10 KN/m <sup>3</sup>	PH2=	1922.8 KN/m
?h=	24 KN/m <sup>3</sup>	PHs=	6720.0 KN/m
f=	0.8	PLamina=	5406.8 KN/m
c=	400 KPa	Wh2=	-15688.0 KN/m
α=	0.8		

Figura 2-61. Verificación del perfil constructivo para combinación básica.  
Elaborado por: Logacho & Orozco

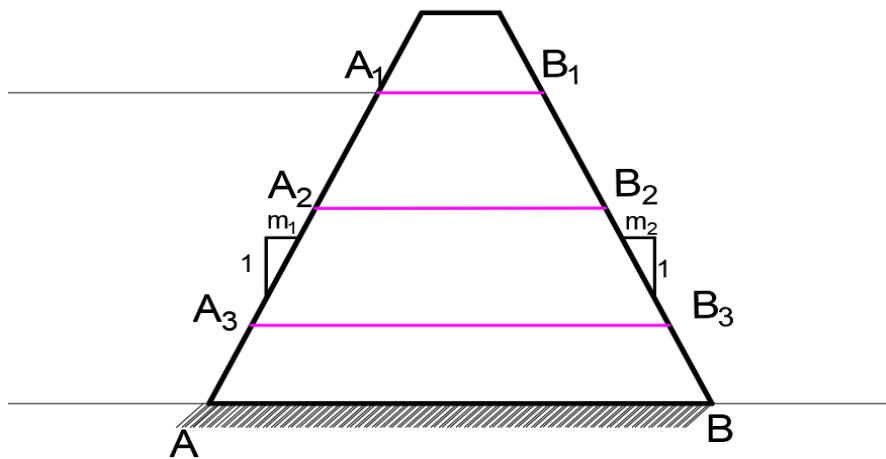


Figura 2-62. Esfuerzos a diferentes cotas de la presa  
Elaborado por: Logacho & Orozco

	HP	HP/2	HP/3	VERIFICACION DE LAS CONDICIONES PARA DIFERENTES ALTURAS DE LA PRESA					
	HC			ANALISIS (HP)		ANALISIS (HP/2)		ANALISIS (HP/3)	
m1=	0.1	0.1	0.1	Pv=	5000.0 KN/m	Pv=	1250.0 KN/m	Pv=	555.6 KN/m
m2=	0.7	0.7	0.7	G1=	12000.0 KN/m	G1=	3000.0 KN/m	G1=	1333.3 KN/m
m1+m2=	0.8	0.8	0.8	G2=	84000.0 KN/m	G2=	21000.0 KN/m	G2=	9333.3 KN/m
Hp=	100 m	50 m	33 m	W	-12000.0 KN/m	W	-2875.0 KN/m	W	-1277.8 KN/m
b =	80 m	40 m	27 m	PH=	50000.0 KN/m	PH=	12500.0 KN/m	PH=	5555.6 KN/m
b opt=	80 m	40 m	27 m	ΣN=	89000.0 KN/m	ΣN=	22375.0 KN/m	ΣN=	9944.4 KN/m
n=	0.13	0.13	0.13	ΣM=	683333.3 KN/m * m	ΣM=	84583.3 KN/m * m	ΣM=	25061.7 KN/m * m
1-n=	0.88	0.88	0.88	e=	7.68	e=	3.78	e=	2.52
n*b=	10.00 m	5.00 m	3.33 m	σ <sub>y</sub> '=	1753.13 KN/m <sup>2</sup>	σ <sub>y</sub> '=	876.56 KN/m <sup>2</sup>	σ <sub>y</sub> '=	584.38 KN/m <sup>2</sup>
(1-n)*b=	70.00 m	35.00 m	23.33 m	σ <sub>y</sub> '=	471.88 KN/m <sup>2</sup>	σ <sub>y</sub> '=	242.19 KN/m <sup>2</sup>	σ <sub>y</sub> '=	161.46 KN/m <sup>2</sup>
ρ <sub>o</sub> =	10 KN/m <sup>3</sup>	10 KN/m <sup>3</sup>	10 KN/m <sup>3</sup>	20%=	200.00 KN/m <sup>2</sup>	20%=	100.00 KN/m <sup>2</sup>	20%=	66.67 KN/m <sup>2</sup>
ρ <sub>h</sub> =	24 KN/m <sup>3</sup>	24 KN/m <sup>3</sup>	24 KN/m <sup>3</sup>	FSD=	2.06	FSD=	2.71	FSD=	3.35
f=	0.8	0.8	0.8						
c=	400 KPa	400 KPa	400 KPa						
α=	0.8	0.8	0.8						

Figura 2-63. Análisis a diferentes alturas tomadas desde la cresta hacia abajo.  
Elaborado por: Logacho & Orozco

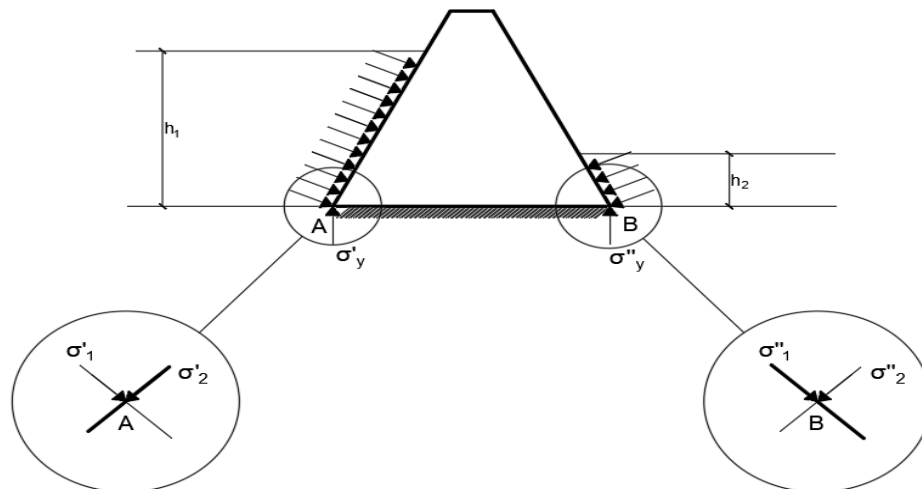


Figura 2-64. Esfuerzos actuantes al pie de los paramentos de la presa  
Elaborado por: Logacho & Orozco

### 2.3.11 Zonificación del HC en el cuerpo de la presa a gravedad

Ya que las presas de hormigón compactado (HC) requieren grandes volúmenes de material, desde el punto de vista técnico - económico resulta importante zonificar las mezclas de acuerdo a su contenido de cemento en el cuerpo de la presa, para lo cual se consideran áreas internas y externas. En las áreas externas se debe colocar un hormigón con mayor contenido de cemento debido a los esfuerzos que actúan en ellas. Para las áreas internas se deben emplear mezclas con menor contenido de cemento. Así también hay que tener en cuenta los recubrimientos de las caras

expuestas al flujo, tanto aguas arriba como aguas abajo. En el caso de aguas arriba se puede complementar con impermeabilizantes, como: geomembranas, pantalla de hormigón armado o incluso hormigón vibrado convencional; mientras que para el paramento aguas abajo las experiencias de construcción recomiendan un recubrimiento de hormigón vibrado convencional.

Basado en los análisis de estabilidad y verificación de resistencias se puede recomendar el tipo de mezcla que se debe colocar en cada parte del cuerpo de la presa, ya que dichos resultados se los puede obtener a cualquier nivel de la sección transversal y así determinar que sección o zona es más vulnerable, y según las necesidades se coloquen mezclas de mejor calidad para no subutilizar la capacidad de cada tipo de mezcla.

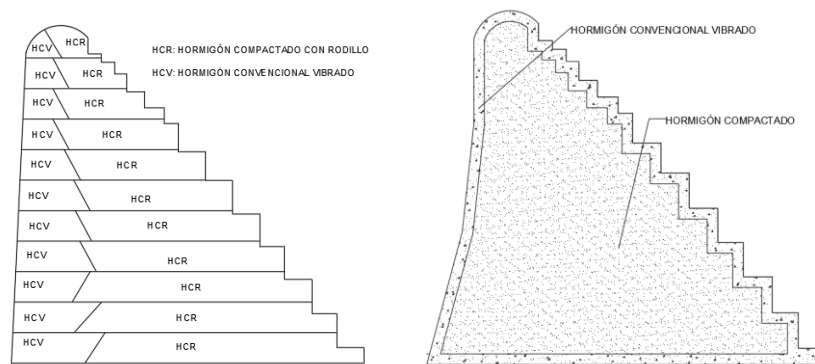


Figura 2-65. Zonificación del hormigón compactado en el cuerpo de la presa a gravedad (a)  
Elaborado por: Logacho & Orozco

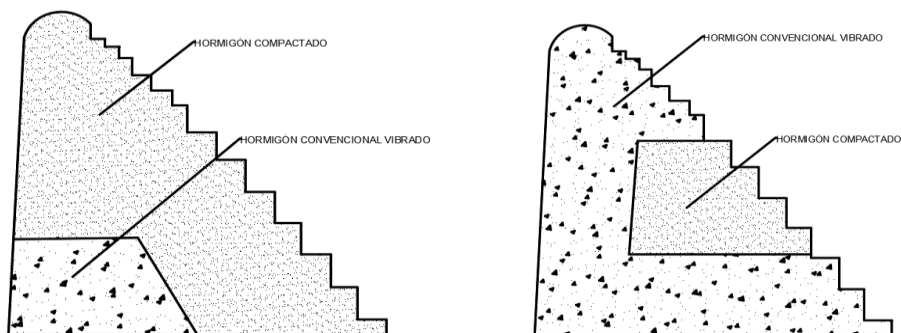


Figura 2-66. Zonificación del hormigón compactado en el cuerpo de la presa a gravedad (b)  
Elaborado por: Logacho & Orozco

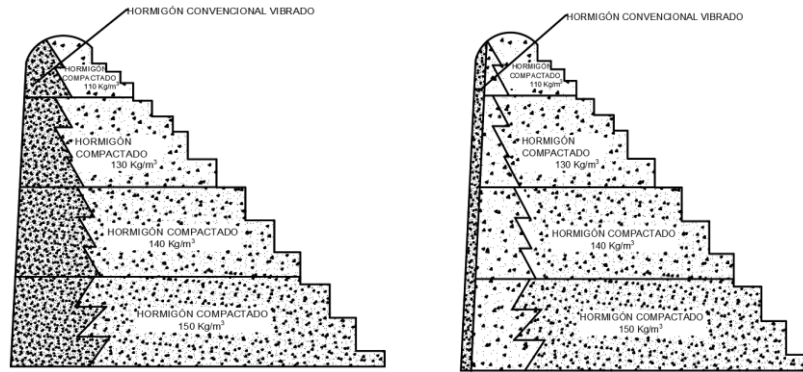


Figura 2-67. Zonificación del hormigón compactado en el cuerpo de la presa a gravedad (c)  
Elaborado por: Logacho & Orozco

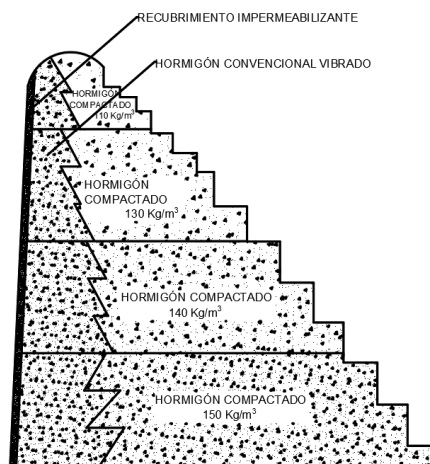


Figura 2-68. Zonificación del hormigón compactado en el cuerpo de la presa a gravedad (d)  
Elaborado por: Logacho & Orozco

### 2.3.12 Particularidades del fisuramiento o agrietamiento del HC

El agrietamiento es producto de cambios en el volumen de la masa del hormigón compactado (HC) como resultado de un enfriamiento a largo plazo de la estructura, o del enfriamiento a un corto plazo de las superficies de las juntas horizontales; otras grietas pueden resultar de cambios abruptos en el grado de compactación y de altos esfuerzos generados por las esquinas entrantes de elementos estructurales incrustados en el hormigón compactado (HC); incluso se pueden generar grietas a pesar de las medidas preventivas que se tomen en el proyecto. El fisuramiento es un parámetro importante en la respuesta del hormigón compactado (HC) a las cargas, tanto en tracción como en compresión. El hormigón está fuertemente asociado a la



formación de micro fisuras, es decir, fisuras que se forman en los bordes de los agregados grueso (fisuras de adherencia) y se propagan a través del mortero circundante (fisuras en el mortero) (ACI 224R-01, 2001). Las propiedades del hormigón compactado (HC) son más amplias que las del hormigón vibrado convencional (HVC), esto se debe a: la gama de calidades de agregado usados en el hormigón compactado (HC), al uso de contenidos de cemento más bajos y al uso de cantidades significativas de puzolana. El rápido tiempo de construcción de las estructuras de hormigón compactado (HC) y la práctica general de usar una resistencia de diseño a los 365 días de edad, puede llevar a que una estructura se cargue antes de que el hormigón compactado (HC) alcance la resistencia de diseño requerida. Una particularidad para el análisis de las fisuras o agrietamiento en el hormigón compactado (HC) es asumir que el módulo de elasticidad a tracción ( $E_t$ ) es igual al módulo de elasticidad a compresión ( $E_c$ ) (USACE, Designing Roller Compacted Concrete Dams, 2000). Para estructuras que se encuentran en zonas sísmicas altas este supuesto debe estudiarse con más minuciosidad, ya que la relación entre la tensión y deformación se vuelve no lineal después de que las tensiones del hormigón alcanzan aproximadamente el 60 % de la tensión máxima (Raphael, 1984). Mientras que, en la compresión esto no causa inconvenientes porque, en general, las tensiones de compresión del hormigón son bastante bajas con respecto a la tensión máxima o la capacidad final, incluso durante un terremoto importante. En tensión, es un asunto diferente ya que los esfuerzos de tensión pueden aproximarse y exceder la capacidad máxima del hormigón compactado (HC) y, por consiguiente, se producirán grietas. Para proyectos ubicados en zonas sísmicas altas, el módulo estático y dinámico debe determinarse mediante pruebas, utilizando el rango de materiales y mezclas que se espera emplear. Para una carga de velocidad de deformación rápida, el módulo de elasticidad dinámico puede ser 15 % más alto que el módulo estático (Bruhwiler 1990, Hess 1992).

Tabla 2-32.  
Propiedades térmicas de algunas mezclas de hormigón compactado (HC)

Presa	Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	Puzolana (Kg/m <sup>3</sup> )	Tipo de agregado	Calor específico (J/Kg °C)	Difusividad (m <sup>2</sup> /hr)	Conductividad (W/m °K)	Coeficiente de expansión (millonésimas/°C)	Aumento de la temperatura adiabática				Comentario
								Inicial	Cambio en °C			
								°C	3 días	7 días	28 días	
Concepción	90	0	Ignimbrita	1.047	0,003	1,9	3,4	19,4	11,7	13,3	13,9	--
Coolidge	74	74	Volcánica/aluvial	--	--	--	--	17,2	12,8	15,6	19,4	--
	67	17	Basalto/arenisca	--	--	--	--	5,0	6,1	7,8	11,1	--
Elk Creek	70	33	Basalto/arenisca	754	--	--	--	6,2	9,4	11,7	13,3	--
	56	23	Basalto/arenisca	754	0,003	1,7	2,2	6,7	7,2	8,9	11,1	--
Middle Fork	71	--	Piedra marga	--	--	--	--	15,6	9,4	12,2	15,0	--
Milltown Hill	66	66	Andesita/basalto	1.047	0,005	3,3	1,8	16,7	9,4	12,2	16,7	--
Santa Cruz	66	66	Granito aluvial	1.089	0,004	2,9	1,7	16,1	13,9	16,1	18,3	--
	108	125	Cuarcita/arenisca	--	0,006	--	2,7	15,6	13,9	18,9	25,6	--
Upper Stillwater	72	160	Cuarcita/arenisca	--	0,006	--	2,2	8,3	8,3	14,4	18,3	--
	77	170	Cuarcita/arenisca	--	--	--	--	7,2	2,2	11,1	18,9	--
	77	170	Cuarcita/arenisca	--	0,006	--	2,7	9,4	8,9	15,6	20,6	--
	93	204	Cuarcita/arenisca	--	--	--	--	12,2	13,3	20,0	26,7	--
Willow Creek	104	0	Basalto	921	0,003	1,8	2,2	12,7	12,8	16,1	20,0	--
	104	47	Basalto	921	0,003	1,8	2,2	11,1	12,8	16,1	20,0	--
	47	19	Basalto	921	0,003	1,8	2,2	11,7	7,2	--	12,2	--
Zintel Canyon	187	80	Basalto	921	0,003	1,8	2,2	11,7	17,2	20	29,4	--
	59	0	Basalto/grava	963	0,003	1,9	2,3	--	7,8	8,9	10,6	--
	119	0	Basalto/grava	963	0,003	1,8	2,4	--	7,8	8,9	10,6	--

Fuente: (USACE, Designing Roller Compacted Concrete Dams, 2000)

### **2.3.13 Control del agrietamiento**

Se debe anular la posibilidad de grietas térmicas basándose en restricciones y anticipándose en el diseño, incorporando: juntas de contracción, galerías y galerías con drenaje, siempre y cuando sea necesario. Las consecuencias de tales grietas pueden variar desde la desestabilización de la presa hasta problemas operativos y de mantenimiento, que generan largos periodos de tiempo en rehabilitación y sobre todo altos costos. La relación entre el TSC y el coeficiente de expansión térmica es un indicador aproximado de la caída de temperatura requerida para producir el agrietamiento y puede usarse para comparar la capacidad de varias combinaciones de materiales, en especial de los agregados para resistir el agrietamiento térmico.

## **2.4 Tecnología moderna en la construcción de presas de HC**

La tecnología moderna en la construcción de presas de hormigón compactado (HC) es notoria, pues mejoró la velocidad de transportación del HC hasta el sitio de colocación en la presa, en la actualidad existen varios mecanismos de transporte para que su colocación sea rápida y efectiva, aumentando los volúmenes de colocado.

### **2.4.1 Topografía del proyecto con laderas con pendientes bajas y medias**

La maquinaria empleada para construir presas de hormigón compactado (HC) en laderas con pendientes bajas es similar a la utilizada en presas de material de lugar (presas de tierra), estas son:

- Bulldozer que se utiliza para extender el hormigón compactado (HC) a cierto espesor, dependiendo de las características del diseño.
- Camión con tambor mezclador o camión volquete que es usado para transportar la mezcla de hormigón compactado (HC) hasta el sitio de la presa, y
- Rodillo vibratorio para compactar el HC.



Figura 2-69. Maquinaria utilizada para la construcción de la presa Batu Hampar, Malasia.  
Fuente: (Zulkifli & Hamid & Arshad & Ahmad, 2015)

El proyecto debe tener un sistema de transportación integral para la colocación del hormigón compactado, independientemente de que las laderas tengan pendientes altas o bajas; sin embargo, esto se vuelve un problema grave en países donde la tecnología no está disponible por mala gestión de sus gobiernos (costos o falta de política pública).

Un camión puede trasladar en promedio  $15 \text{ m}^3/\text{viaje}$  al estar la planta móvil de hormigón ubicada muy cerca de la presa, pero cuando las pendientes son bajas - medias, el tiempo de viaje se reduce notablemente.

#### **2.4.2 Topografía del proyecto con laderas con pendientes altas**

Cuando se tienen laderas con pendientes altas la transportación del hormigón compactado (HC) se torna más complicada debido a que los camiones pueden volcarse y causar accidentes dentro del proyecto, lo que generaría grandes pérdidas económicas y sobre todo humanas.

La maquinaria para la extensión y compactación es la misma que se utiliza en pendientes bajas y medias, lo que cambia es el mecanismo para la transportación. Se instalan sistemas de cintas transportadoras desde los mezcladores centrales de la planta móvil de hormigón generando más volumen colocado y rapidez, ya que es un proceso continuo y lineal que no tiene interferencias, ni paralizaciones en el proceso; por ello, el sistema de cintas transportadoras

requiere de una planeación detallada de su diseño y ángulos de inclinación adecuados para evitar que el material se riegue, lo que desembocaría en la avería del sistema con grandes costos indirectos. En el sistema de cintas transportadoras (bandas) se debe tener especial cuidado en la logística, mantenimiento de equipos y abastecimiento de agregados y cemento. Finalmente, cabe resaltar que la capacidad de producción de la planta móvil de hormigón tiene gran influencia sobre: el porcentaje de colocación de hormigón compactado (HC), comportamiento térmico de la presa y capacidad de adherencia entre capas horizontales.

La fabricación del hormigón compactado (HC) es pilar fundamental para que los tiempos de transportación sean menores y los volúmenes de colocado sean los mayores posibles, ya que el hormigón compactado (HC) se dosifica y mezcla de igual manera que el hormigón vibrado convencional (HVC), pero con menores cantidades de cemento y agua. Existen plantas móviles de hormigón que tienen diversa capacidad de producción dependiendo de las características técnicas de los equipos que la conforman, produciendo por ejemplo 60m<sup>3</sup>/hora o 75 m<sup>3</sup>/hora.

Una planta “rapid mix 600C” puede llegar a producir hasta 220 m<sup>3</sup>/hora como fue el caso de la presa Bicentenario en Sonora, México; en el mismo país hay otro caso en el que la producción de hormigón compactado fue mayor, se trata de la presa El Realito, para su construcción la planta móvil de hormigón se conformó con 4 mezcladores centrales (cada uno con capacidad de 8 m<sup>3</sup>) repartidos en tres bachadas de 2,67 m<sup>3</sup>, de esta manera se llegó a producir 600 m<sup>3</sup>/hora; el hormigón compactado (HC) se trasladó por medio de cintas transportadoras a camiones mixer o volquetes, en otros casos, para hacerlo más rápido la misma cinta transportadora llegó hasta tolvas con capacidad de 35 m<sup>3</sup>, y posteriormente se entregó a otra banda llamada “metering” siguiendo un caudal uniforme, regulado mediante una compuerta (planta pug mill).



Figura 2-70. Planta móvil de concreto utilizada en la construcción de la presa El Realito, Guanajuato, México.

Fuente: (Marulanda A., 2002)

### **2.4.3 Tecnología para el almacenamiento y producción de los agregados**

El almacenamiento de los agregados y la localización de la planta de agregados también resulta un mecanismo a optimizar para una mayor colocación de hormigón compactado (HC), además, es mucho más importante que para un hormigón vibrado convencional (HVC). Casi siempre, grandes montículos de agregados están disponibles antes de comenzar con la colocación del hormigón compactado (HC), esto ayuda a realizar un control de temperatura; en la época invernal se realiza la producción de agregados para que puedan apilarse y estar en temperatura baja para su uso.

El manejo operativo, disposición y localización de los apilamientos de agregados debe ser diseñado y coordinado con la ubicación de la planta móvil de hormigón; así también debe existir una planificación en torno al abastecimiento de las tolvas para la producción del hormigón compactado (HC), con el fin de impedir la segregación y variabilidad en el estado de los materiales que afecten la calidad del hormigón compactado (HC). El jefe de la planta móvil de hormigón deberá realizar la correcta distribución de equipos dependiendo de la complejidad y necesidad del proyecto (Padua Fernández, 2017).

#### 2.4.4 Control de producción del hormigón compactado (HC)

El control de producción es más drástico cuando se construyen presas de hormigón compactado (HC), debido a la velocidad con la que se coloca el material. Una planta móvil de hormigón debe estar equipada con tecnología moderna y además cumplir algunos requerimientos indispensables para ser calificada como “apta”:

- Satisfacer suficiente hormigón compactado (HC) para altas velocidades de colocación.
- Garantizar su funcionamiento durante largas jornadas de trabajo dependiendo de la complejidad del proyecto, existen obras en donde se trabaja en jornadas 24/7.
- Garantizar que el mezclador o mezcladores centrales combinen todos los materiales de manera homogénea.

*Tabla 2-33.*

*Producción de HC horaria por tipo de proyecto*

<b>Tipo de proyecto</b>	<b>Producción de HC (m<sup>3</sup>/h)</b>
Pequeños	76 – 180
Medios	190 – 380
Grandes	570 – 760

Fuente: (Padua Fernández, 2017)

#### 2.4.5 Tecnología del transporte de hormigón compactado (HC)

La implementación de nuevas tecnologías en el transporte radica en la rapidez con la que se moviliza el hormigón compactado (HC), debido a que es un material con poca fluidez (prácticamente seco) es necesario implementar sistemas especiales de transporte para que el material no se segregue y se produzcan beneficios económicos al proyecto, sobre todo en presas grandes. En la implementación de tecnología en el transporte se deben analizar parámetros como:

- Ubicación de los equipos
- Área de colocación
- Acceso al área de colocación

- Disponibilidad de equipos para alquilar
- Parámetros de diseño del proyecto
- Tamaño máximo nominal del agregado de la mezcla
- Tendencia de la mezcla a la segregación

Cuando se tienen proyectos que requieren la colocación de cantidades superiores a 10.000 m<sup>3</sup>/día se aplican métodos de transporte de hormigón compactado (HC) masivo, por ejemplo, un sistema integrado de cintas transportadoras porque proporciona ventajas de rapidez, continuidad y flexibilidad. Dependiendo del diseño, material, entre otras características, las cintas transportadoras alcanzan una velocidad entre (6 – 9) m/s. Para proteger la mezcla de agentes atmosféricos que afecten sus propiedades físico - mecánicas se puede cubrir el sistema completo con una cubierta metálica. Si no hay un sistema de cintas transportadoras la productividad decrece notoriamente.

#### ***2.4.5.1 Consideraciones de movimiento para el transporte del hormigón compactado (HC) en camiones***

Los equipos que no tienen ningún tipo de movimiento mecánico resultan ser los más adecuados para el transporte del hormigón compactado (HC), porque además sirven para el traslado de agregados, movimiento de tierras y la industria minera. Esta maquinaria está diseñada para descargar al volteo, lo cual resulta una excelente alternativa al momento de fundir proyectos que requieren hormigón compactado (HC) masivo, como es el caso de las presas.

#### ***2.4.5.2 Transporte de hormigón compactado (HC) mediante el sistema de cintas transportadoras***

El transporte mediante un sistema de cintas transportadoras es el método más aplicable y por esta razón genera resultados muy satisfactorios. Este sistema tiene la particularidad de entregar



directamente el hormigón compactado (HC) en el lugar preciso del colocado, además evita el acarreo de materiales contaminados como ocurre cuando se utilizan camiones; aunque el sistema de cintas transportadoras resulta costoso, cuando el proyecto es relativamente grande su utilización permite ahorrar y por ende se lo utiliza con más frecuencia. Este sistema se diseña mediante estribos y la pendiente se controla de acuerdo a la topografía del sitio, esta resultaría ser la banda principal para el transporte de hormigón compactado (HC) que llegaría hasta el crawler/placer que a su vez coloca directamente el hormigón compactado (HC). Una de las ventajas de utilizar cintas es que no se requiere camiones, ni otros medios de transporte, aumentando así los volúmenes de colocado.

#### 2.4.5.3 *Transporte de HC mediante tubería*

El transporte por tubería necesita de un estribo con una inclinación recomendada de 1V:0.5H, o incluso mayor. El hormigón compactado (HC) se carga en la parte superior de la tubería normalmente desembocada del sistema de cintas transportadoras; este método se utilizó en Grecia, en la presa Platanovryssi, alcanzó una altura de 95 m con un volumen de 420.000 m<sup>3</sup>, el hormigón compactado (HC) caía desde la tubería ubicada a una altura aproximada de 100 m. Es recomendable que el hormigón compactado (HC) sea cohesivo para que este mecanismo de transporte resulte eficiente.

*Tabla 2-34.  
Mecanismo de transporte utilizados y volumen de hormigón compactado (HC) colocados en diferentes proyectos*

<b>Presa</b>	<b>País</b>	<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>Mecanismo de transporte</b>	<b>Cantidad (m<sup>3</sup>)</b>
La Miel I	Colombia	188	Cintas transportadoras y camiones de volteo	160.000
Gibe III		246	Cintas transportadoras	6'114.000
Grand Ethipioan Renaissancen	Etiopía	145	--	11'000.000
El Realito	México	90	Cintas transportadoras Crawler Place	430.000

Elaborado por: Logacho & Orozco

## 2.5 Conclusiones sobre las bases teóricas disponibles

- Al ser un material suelto el hormigón compactado reduce significativamente los tiempos de construcción de una obra hidráulica, ya que permite colocar grandes cantidades de material para que a la postre sea compactado por los rodillos lisos, o en algunos casos estos rodillos tienen incorporado vibradores que le dan un comportamiento dinámico a la compactación; a diferencia del hormigón vibrado convencional que en ocasiones pone trabas para el colocado y vibrado para que el material alcance su máxima compacidad. Por estos motivos en la actualidad las presas de hormigón compactado son más empleadas.
- La permeabilidad es un parámetro que a como dé lugar se debe tener en cuenta en el diseño del hormigón compactado, por ello mientras más se aumenta el contenido de finos menores a 74 micras se obtiene valores de permeabilidad entre  $(10^{-11} - 10^{-12})$  m/s.
- La historia de la construcción de presas con esta metodología concluye que el hormigón compactado es un material que se puede aplicar a distintos tipos de presas en varias condiciones climáticas, con diferentes tipos de soluciones dependiendo de la complejidad del proyecto, llegando a ser comparable con una presa de hormigón vibrado convencional bajo ciertos requisitos de seguridad abordados en la presente investigación como condiciones de estabilidad y resistencia.
- A nivel mundial en la última década la construcción de presas de hormigón compactado ha crecido en un 18,29 % desde el año 2010 hasta el año 2018 dando a conocer esta metodología como una de las mejores siempre y cuando se tomen en cuenta las condiciones de seguridad debido a que se trata de un material suelto.

- Las capas horizontales o tongadas de hormigón compactado tienen un espesor mínimo de 0.30 m, lo que significa que son entre (6 – 7) veces más grande que una presa de hormigón convencional.
- Los indicadores de corte del macizo de cimentación mientras más bajos sean, los paramentos aguas arriba y aguas abajo más inclinados resultan, esto significa, que se asegura las condiciones de estabilidad de la presa, dicho de otro modo, se garantiza el buen comportamiento mecánico entre la roca y la presa.
- El espesor de la cortina se ve afectado directamente por la gradiente permisible del flujo de filtración la misma que depende de la calidad de la roca y también se puede tomar una gradiente promedio igual a 12,50.
- El coeficiente de fricción y la cohesión son parámetros fundamentales para controlar que el FSD no sea menor que el permisible.
- En el diseño de los escalones se puede presentar un escenario que, aunque la huella del escalón aumente la disipación de energía es más considerable; sin embargo, este escenario no es coherente debido a que si la huella aumenta la base de la presa aumenta, causando un sobredimensionamiento de la misma.
- La temperatura para la puesta en obra de la mezcla para hormigón compactado esta entre (12-40) °C, con el uso de aditivos en cantidad de (3 – 4) % del contenido de cemento se ha obtenido una resistencia de 20 MPa a los 90 días con 90 Kg de OCP (cemento portland ordinario) que es el contenido de cemento promedio mencionado en este trabajo de investigación.
- Por lo general la resistencia que se obtiene a los 90 días se considera como la mínima ya que entre los (180 – 360) días este alcanza su máxima resistencia.

- Con respecto a las condiciones pluviométricas con precipitaciones de 3 mm/h, la puesta en obra debe detenerse ya que el exceso de agua altera la mezcla y por sus procesos construidos esta se verá afectada, la compactación que se completa dentro de los primeros 15 minutos después del vertido si esta se realiza entre (15-45) minutos las propiedades del hormigón compactado disminuirán.
- Una presa de hormigón compactado con paramentos inclinados simétricamente aumenta notablemente sus factores de resistencia al deslizamiento sobre el 15% y una base de mayor dimensión, en presa de hormigón compactado con paramento aguas arriba más cercano a lo vertical mantiene aceptable sus factores de resistencia al deslizamiento y una base de menor dimensión, en el caso de esfuerzos, los de tracción no debería existir pero al ser una presa de hormigón compactado HC existe la posibilidad de que estos se presenten, para contrarrestar esto se implementan mecanismos de impermeabilización, principalmente del paramento aguas arriba y el contacto de la cimentación ya que estos se presentan entre (10-20) %.
- En base a las investigaciones realizadas por Chanson, Yasuda, Chinasari, existen ecuaciones propuestas para determinar el tipo de flujo, de estas mismas ecuaciones resulta la gráfica superior la cual muestra resultados conservadores y principalmente es muy entendible para su aplicabilidad, de esta manera se determina el comportamiento del flujo con las relaciones  $hcr/h$  y  $h/l$ , en base a lo anterior se concluye que el flujo rasante se presentará en la mayoría de casos de presas de hormigón compactado HC.
- Para determinar la disipación de energía intervienen principalmente parámetros tales como geometría de los escalones, cuya inclinación debe estar lo más cercana a la de la inclinación del paramento aguas abajo, la profundidad del flujo deberá ser menor que la

profundidad crítica  $h_{cr}$ , y el factor de fricción hidráulica que en base estudios realizados por Rajaratnam, Chanson y Matos, estando dentro de los valores propuestos se opta por usar los valores entre (0.11 - 0.22).

## **2.6 Recomendaciones sobre las bases teóricas disponibles**

- El hormigón compactado se debe fabricar muy cerca del sitio del proyecto dicho de otro modo en un sitio estratégico, para ello es necesario realizar un estudio de alta confiabilidad acerca de la disponibilidad de los materiales específicamente de los agregados, ya que de esto depende la calidad del hormigón compactado y sobre todo que alcance sus características físico - mecánicas una vez que comienza la compactación.
- Se recomienda añadir hasta un 10 % de material fino menor de 74 micras para que se pueda mejorar el coeficiente de permeabilidad, esto es significa que se reduce los escenarios de debilidad ante los esfuerzos en el paramento aguas arriba, a fin de evitar que las juntas se abran debido a la filtración.
- Se recomienda ampliar la investigación respecto al hormigón compactado sobre todo en resultados importantes como los ensayos VeBe, la consistencia, permeabilidad, entre otras características, ya que a lo largo de la historia en la comunidad latinoamericana no se han realizado minuciosas investigaciones y no podemos asemejar las normas europeas o norteamericanas cuando se sabe que las características topográficas y climáticas de Sudamérica son distintas.
- Desde el punto de vista geométrico se recomienda reducir al máximo la construcción de galerías longitudinales porque se interfiere en el proceso constructivo, así como también

si los criterios de diseño creen conveniente construir galerías se deben hacer en forma cuadrada y ya no en arco como en presas de hormigón vibrado.

- Se recomienda que siempre se adopten espesores de las capas horizontales que sean múltiplos de 0.30 m, por ejemplo: 0,60 m; 0.90 m, 1.00 m, 1.20 m.
- Se recomienda que antes de implantar un proyecto para fase de factibilidad se cuente con informes geológico – geotécnicos que tengan alta confiabilidad de resultados.
- Se recomienda que cuando se tenga rocas prácticamente impermeables se adopte drenaje intenso.
- Se recomienda que para calcular los esfuerzos a diferentes alturas se debe tomar en cuenta que la distancia entre la cara del paramento aguas arriba hasta el drenaje vertical no es la misma calculada en un inicio, sino que va variando a partir de la cota que se desea calcular el esfuerzo, pero esta distancia puede ser  $0,07 \cdot H_p$  y nunca será menor que 2.50 m.
- Se recomienda para estudios posteriores tomar en cuenta la posibilidad de un vertido con compuerta para verificar cuando es el comportamiento del flujo al abrir o cerrar la compuerta, así como también los esfuerzos que se presentan en la cresta del perfil Creager.
- Se recomienda que, para no sobredimensionar la presa a causa de longitudes de huella excesivas, la variable a aumentar con el fin de obtener una disipación de energía más considerable es el peralte del escalón, siempre y cuando se verifique los límites de flujo según Chanson (2002) y Boes (2000).
- Es recomendable que la puesta en obra sea bajo temperaturas de  $35^{\circ}\text{C}$ , por seguridad con presencia de aditivos en un (3-4) % del contenido de cemento ordinario portland

OCP. La compactación se la deberá realizar dentro de los primeros 15 minutos para obtener las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla, en caso de presentarse lluvias detener la puesta en obra cuando la precipitación sea de 2 mm/h.

- Hacer uso de los dos modelos presentados para llegar a la configuración del perfil teórico triangular que resulte más óptima para las condiciones de: estabilidad, resistencia, reacción de la cimentación y económica.
- Para el paramento aguas arriba, la cresta y el paramento aguas abajo, a parte de un hormigón de mejor calidad se debe optar por mecanismos de impermeabilización así que para el hormigón compactado HC de manera que se va acercando al núcleo de la presa su calidad en cuanto al contenido de cemento va ir disminuyendo.
- Para el diseño preliminar de presas de hormigón compactado se recomienda usar valores del factor de fricción para flujo aireado entre (0.11 - 0.22) ya que es un rango aceptable y está dentro de los valores de varios investigadores, aplicar las condiciones de flujo escalón a escalón en presas de hormigón compactado para caudales menores a  $10 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ , para caudales mayores será flujo rasante y el flujo de transición se considera únicamente con fines de verificación en el diseño, para el caso de la disipación de energía se considera aceptable cuando una vez cumplidas las tres condiciones mencionadas en la ecuación 55, 57 y 59, también se considere la diferencia positiva entre  $h_2$  y  $h''$  que representara un resalto hidráulico sumergido, en caso de ser negativa optar por el salto de esquí que es una medida de disipación más difundida en cimentaciones rocosas.

## CAPITULO III

### ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO PARA DISTINTOS ESCENARIOS DE CARGA

#### 3.1 Criterios generales

La formulación de los componentes para el diseño integral de una presa vertedero se lo realizará con base en los criterios de diseño mencionados en el capítulo II, los cuales tienen relación con el manual EM 1110-2-2006 del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE). Estos criterios son: geométricos, geomecánicos, hidráulicos, hidromecánicos y económicos. Se adoptarán rangos de caudales unitarios entre  $(40 - 120) \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$  y alturas de presa entre  $(50 - 120) \text{ m}$ , para realizar un análisis técnico que abarque los criterios antes mencionados.

En este estudio se seleccionará una presa, la cual se someterá a un análisis técnico – económico para identificar la alternativa más viable y económica entre el uso de hormigón compactado (HC) y hormigón vibrado convencional (HVC), ambas con características físicas de implantación similares.

##### 3.1.1 Criterios geométricos

Para adoptar una geometría óptima de la sección transversal de una presa maciza de hormigón a gravedad cimentada en roca se deberá obtener el perfil teórico triangular, el mismo que debe satisfacer condiciones de estabilidad y resistencia, así como, una condición económica favorable cuando se tratan de proyectos de gran envergadura. Para obtener dicho perfil se tomarán en cuenta solamente las principales fuerzas actuantes (fuerzas que ejerce la estructura por peso propio, fuerza de presión hidrostática, fuerza de subpresión), previo a la obtención del perfil teórico triangular se deberá realizar el chequeo de la relación de esbeltez con base en la tabla 3-1, en donde se menciona que la estructura debería tener una relación de esbeltez entre  $(0,60 - 1,00)$ . Para el



efecto, se calculará la relación de esbeltez únicamente para obtener rangos de bases de presa, que sirvan como guía de un diseño preliminar. Cabe aclarar que para cálculos definitivos se adoptará la base obtenida mediante el cálculo del perfil teórico triangular.

$$\beta = \frac{b}{H_p} \quad (78)$$

*Tabla 3-1.  
Relación de esbeltez para un rango de alturas de presa adoptadas*

<b><math>\beta_{\text{mín}}</math></b>	<b><math>\beta_{\text{máx}}</math></b>	<b><math>H_p</math> (m)</b>	<b><math>b_{\text{mín}}</math> (m)</b>	<b><math>b_{\text{máx}}</math> (m)</b>
0.60	1.00	50.00	30.00	50.00
0.60	1.00	55.00	33.00	55.00
0.60	1.00	60.00	36.00	60.00
0.60	1.00	65.00	39.00	65.00
0.60	1.00	70.00	42.00	70.00
0.60	1.00	75.00	45.00	75.00
0.60	1.00	80.00	48.00	80.00
0.60	1.00	85.00	51.00	85.00
0.60	1.00	90.00	54.00	90.00
0.60	1.00	95.00	57.00	95.00
<b>0.60</b>	<b>1.00</b>	<b>100.00</b>	<b>60.00</b>	<b>100.00</b>
0.60	1.00	105.00	63.00	105.00
0.60	1.00	110.00	66.00	110.00
0.60	1.00	115.00	69.00	115.00
0.60	1.00	120.00	72.00	120.00

Fuente: Logacho & Orozco

Respecto a las inclinaciones de los paramentos aguas arriba y aguas abajo que utilizan para este tipo de presas, y obviamente dependiendo de la calidad de la roca, se presentan los siguientes valores (tabla 3-2). En la elaboración de la siguiente tabla se toman en cuenta tres tipos de roca: mala, media y buena calidad.

*Tabla 3-2.  
Coeficientes de talud típicos en función de la altura de la presa y calidad de la roca*

<b>Altura de presa (m)</b>	<b>Calidad de la roca</b>	<b>Coefficiente de talud aguas arriba (m<sub>1</sub>)</b>	<b>Coefficiente de talud aguas abajo (m<sub>2</sub>)</b>
50 – 70	Buena	0.03 – 0.06	0.69 – 0.72
	Media	0.12 – 0.29	0.56 – 0.65
	Mala	0.29 – 0.31	0.49 – 0.52
70 – 90	Buena	0.06 – 0.07	0.67 – 0.69
	Media	0.14 – 0.23	0.54 – 0.62
	Mala	0.31 – 0.32	0.48 – 0.49
90 – 120	Buena	0.07 – 0.08	0.65 – 0.67
	Media	0.15 – 0.24	0.53 – 0.60
	Mala	0.32 – 0.33	0.47 – 0.48

Fuente: Logacho & Orozco

La forma geométrica del perfil teórico preliminar es de forma triangular, al que posteriormente se añadirán los elementos constructivos complementarios.

### **3.1.2 Criterios geomecánicos**

De acuerdo a los objetivos de la presente investigación, respecto a los criterios geomecánicos se desea conocer el comportamiento de la estructura en función de distintas calidades de roca, por ejemplo: cuál será su influencia en el valor de los coeficientes de talud, base de la presa y cómo cambia su comportamiento a medida que aumenta la altura de la presa; además de comparar el valor del esfuerzo principal mayor con la resistencia a compresión permisible de la roca y verificar que no se presenten esfuerzos de tracción al pie del paramento aguas arriba.

*Tabla 3-3.  
Rangos adoptados para análisis geomecánico preliminar*

<b>Altura de presa (m)</b>	<b>Factor de fricción (f)</b>	<b>Cohesión (KPa)</b>
50 – 120	0.65	100
50 – 120	0.70	150
50 – 120	0.75	250
50 – 120	0.80	400

Fuente: Logacho & Orozco

### 3.1.3 Criterios hidráulicos

Para el aspecto hidráulico se deberá abordar lo siguiente:

- ✓ Rango de caudales unitarios
- ✓ Rango de alturas de presa
- ✓ Dimensionamiento del perfil práctico tipo Creager
- ✓ Carga sobre el vertedero
- ✓ Dimensionamiento y ubicación de los escalones
- ✓ Disipación de energía
- ✓ Obra de disipación
- ✓ Rango de velocidades al pie de la presa

#### Rango de caudales unitarios (q) y alturas de presa (Hp)

Tabla 3-4.

*Rangos adoptados para análisis hidráulico preliminar*

Caudal unitario (m <sup>3</sup> /s*m)	Altura de presa (m)
40 – 120	50
40 – 120	60
40 – 120	70
40 – 120	80
40 – 120	90
40 – 120	100
40 – 120	110
40 – 120	120

Fuente: Logacho & Orozco

#### Perfil Creager

El perfil Creager se obtendrá mediante las coordenadas OffizyeroV descritas en la tabla 2-

12.

### **Carga sobre el vertedero**

La carga se obtiene a partir del caudal unitario con la ecuación del vertedero presentada a continuación:

$$H_o = \left( \frac{q}{m * \varepsilon * \sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (79)$$

Donde;

$H_o$ = Carga sobre el vertedero incluida la velocidad (m)

$q$ = caudal unitario ( $m^3/s*m$ )

$m$ = coeficiente de descarga

$\varepsilon$ = coeficiente de contracción

$g$ = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

Para los coeficientes de descarga se adoptarán valores asumidos para diseño preliminar según bibliografía especializada, sin necesidad de lograr altos grados de aproximación de estos coeficientes; se optará por asumir  $m= 0.503$  y  $\varepsilon= 0.98$ , al no ser un proyecto concreto con información básica validada.

### **Dimensionamiento y ubicación de los escalones**

Para el dimensionamiento de los escalones se seguirá el proceso mencionado en el capítulo 2.2.4 y 2.2.5.

### **Disipación de energía**

La disipación de energía se produce por la combinación de los diferentes fenómenos tales como: aireación de flujo, cambio brusco de direcciones de flujo, formación de resalto hidráulico, entre otros. El objetivo de la disipación de energía será pasar de un régimen de flujo supercrítico a un régimen de flujo subcrítico, mediante la construcción de una obra de disipación que resulte económicamente viable para el proyecto.

#### **3.1.4 Criterio hidromecánico**

Con base en el análisis de estabilidad, se deberá chequear con la ecuación 12 que el factor de seguridad al deslizamiento sea mayor que el factor de seguridad al deslizamiento permisible, de tal manera que, se asegure la estabilidad del sistema macizo de cimentación – estructura. Por su parte, en el análisis de verificación de resistencias se deberá chequear con las ecuaciones de la tabla 2-10 que no se presenten esfuerzos de tracción en la base de la presa ni a lo largo del paramento aguas arriba, permitiendo una buena adherencia entre juntas horizontales y/o verticales; lo que dará como resultado una permeabilidad nula salvaguardando el fallo de la estructura, de esta manera se garantizará su correcto funcionamiento.

#### **3.1.5 Criterio económico**

El éxito de un proyecto está en optimizar todos sus recursos, desde los naturales hasta los humanos. Tras realizar los respectivos análisis técnicos, se procederá con el criterio económico a fin de desembocar en una opción eficiente que represente un ahorro sustancial, fundamentalmente en el uso de hormigón compactado (HC) frente al uso del hormigón vibrado convencional (HVC). Por lo tanto, para verificar el criterio económico será de gran utilidad optimizar el perfil teórico triangular.

Las alternativas analizadas serán:

- a) Presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC)
- b) Presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC)

### **3.2 Presentación de las alternativas**

#### **3.2.1 Presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC)**

Una presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC) es una presa a gravedad que está construida con los mismos materiales de una presa de hormigón convencional, la

diferencia está en: su consistencia y distribución de agregados, es decir, la presa de HC tiene más contenido de finos y bajo contenido de cemento. Además, para su construcción se utiliza la misma maquinaria que para presas de materiales sueltos. En concordancia con los objetivos de la presente investigación se adopta un rango de alturas de presa entre (50 – 120) m, además se asignó el nivel de importancia I, que es el nivel máximo de seguridad para una presa de hormigón, como se puede evidenciar en la tabla 2-11, y esta medida tiene relevancia en los valores del factor de seguridad al deslizamiento permisible. Además, se debe chequear que el esfuerzo mínimo al pie del paramento aguas arriba sea el 20% de la presión hidrostática, para asegurar que la unión entre juntas horizontales tenga una buena adherencia y no se abra, dándole una adecuada permeabilidad a lo largo del paramento aguas arriba.

#### ***3.2.1.1 Condiciones de diseño para una presa vertedero de HC***

A diferencia de la presa vertedero de hormigón convencional (HVC) que está diseñada para estados límite, la presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC) se diseña asegurando un 20% de la presión hidrostática al pie del paramento aguas arriba, con el fin de que las juntas horizontales no se abran a causa de las presiones de corte, así también, con la premisa de no sobredimensionar la presa, de tal manera que resulte económica y segura. Cuando se cumplen las condiciones de estabilidad mediante la sumatoria de coeficientes de talud, se asume un valor para el parámetro ( $\eta$ ) que determina la ubicación del vértice superior del perfil teórico preliminar, a su vez que este vértice será considerado el nivel normal de operación (NNE). Una vez obtenido dicho parámetro ( $\eta$ ) el programa de cálculo automáticamente presenta una nueva base óptima, que cumpla con los criterios de estabilidad y resistencia impuesto para una presa de hormigón compactado (HC).

Parámetro	Condición	Ángulos de inclinación			Perfil teórico triangular		Perfil teórico triangular definitivo				
$\epsilon_1$	0.37	CORTINA Y DRENAJE	Aguas arriba	$\alpha$	87.42 °	n*B	4.51 m	n*B	7.60 m	$\alpha$	85.66 °
a/b	0.1		Aguas abajo	$\beta$	54.73 °	(1-n)*B	70.72 m	(1-n)*B	66.17 m	$\beta$	56.51 °
$\alpha$	0.8	CORTINA Y DRENAJE	Angulo complementario AAR	$\psi$	2.58 °	a <sub>1</sub>	4.51 m	a <sub>1</sub>	7.60 m	$\psi$	4.34 °
C	400.00 KPa	Cohesión				a <sub>3</sub>	1.81 m	a <sub>3</sub>	3.04 m		
1era corrida						a <sub>(C,D)</sub>	8.00 m	a <sub>(C,D)</sub>	8.00 m		
PTT ÓPTIMO											
DATOS											
VERIFICACIÓN DEL PERFIL TEORICO TRIANGULAR											
Hp (m)	FSDper	f	$\gamma_s$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_r$ (KN/m <sup>3</sup> )	m1	m2	m1 + m2	n	b (m)	b/H	
100.00 m	1.3	0.8	10	24	0.05	0.71	0.75	0.060	75.23	0.752	
					0.08	0.66	0.74	0.103	b (m)	b/H	
									73.76	0.738	
N (KN)		X (m)	W (KN)		X (m)	T (KN)		X (m)	M (KN*m)		e
G1	5416.67	34.61	W1	3200	34.95	PH	50000.00	33.33	M <sub>G1</sub>	-187451.77	9.07
G2	84861.11	-9.53	W2	6770.83	7.21				M <sub>G2</sub>	-808668.767	
Pv	2256.94	36.11	W3	1600.00	33.62				M <sub>Pv</sub>	-81500.77	
$\Sigma N$	92534.72		$\Sigma W$	11570.83		$\Sigma PH$	50000.00		M <sub>W</sub>	145081.82	
									M <sub>PH</sub>	1666666.67	
									$\Sigma M$	734127.18	
N (KN)		X (m)	W (KN)		X (m)	T (KN)		X (m)	M (KN*m)		e
G1	9117.11	31.82	W1	3200	34.21	PH	50000.00	33.33	M <sub>G1</sub>	-290074.28	10.05
G2	79398.55	-7.23	W2	6638.67	6.96				M <sub>G2</sub>	-573954.547	
Pv	3798.80	34.35	W3	1600.00	32.88				M <sub>Pv</sub>	-130484.86	
$\Sigma N$	92314.46		$\Sigma W$	11438.67		$\Sigma PH$	50000.00		M <sub>W</sub>	140625.25	
									M <sub>PH</sub>	1666666.67	
									$\Sigma M$	812778.23	
PERFIL TEÓRICO DEFINITIVO		ESFUERZOS (1era corrida)			CONDICIÓN	FSD	ESFUERZOS ÓPTIMOS		FSD		
N	M	e	$\sigma_{y'}$	$\sigma_{y''}$	20%* $\gamma_s$ *H		$\sigma_{y'}$	$\sigma_{y''}$			
80875.78	812778.23	10.05	297.94	1854.45	200.00	1.90	200.14	1992.71	1.88		

Figura 3-1. Programa de cálculo para obtener el PTT de una presa de HC

Fuente: Logacho & Orozco

El rango de caudales unitarios se los representa en la tabla 3-4, asumiendo que la presa será construida en macizo de cimentación roca de buena calidad. La carga se obtiene a partir del caudal unitario con la ecuación del vertedero (79), con este valor se puede construir el perfil hidráulico del vertedero tipo Creager, tal y como se muestra en la tabla 2-12. Como resultado de lo anteriormente mencionado se obtiene el perfil constructivo de la presa siguiendo el procedimiento del capítulo 2.2.3. Al perfil constructivo se añaden los elementos constructivos complementarios como galerías, drenaje, etc.; además se realiza el análisis de estabilidad y verificación de resistencias, en cada uno debe incluir todas las fuerzas actuantes que se presentan para una combinación básica y especial como lo menciona el capítulo 2.1.4.2. Para la estabilidad al deslizamiento se debe utilizar la ecuación 12, que es la relación entre el coeficiente de fricción multiplicado por la suma de las fuerzas normales a la superficie de deslizamiento, sumadas a la cohesión específica entre el hormigón y la roca multiplicados por el ancho o base, con la suma de las fuerzas deslizantes.

Como resultado se obtiene el factor de seguridad al deslizamiento que debe ser mayor que el factor de seguridad al deslizamiento permisible, el cual depende del nivel de importancia de la obra hidráulica y la combinación de fuerzas para la que se calculó. En la verificación de resistencias se determinan los esfuerzos máximos y mínimos a los que está sometida la presa, en el caso de una presa de hormigón compactado (HC) al estar diseñada con la particularidad de asegurar el 20% de la presión hidrostática al pie del paramento aguas arriba, se debe chequear que esto se cumpla; en el caso de que esto no se dé, la solución integral sería modificar el coeficiente de talud aguas arriba hasta que satisfagan dichas condiciones. Para realizar el cálculo para una combinación especial (E2), únicamente se debe añadir el efecto de las fuerzas sísmicas que actúan sobre el embalse, así como también sobre el cuerpo de la presa y los sedimentos, tomando en cuenta que el coeficiente sísmico no es otra cosa que, la relación entre la aceleración sísmica y la aceleración de la gravedad.

### ***3.2.1.2 Análisis geométrico, geomecánico e hidromecánico para presas de hormigón compactado (HC)***

Respecto al perfil transversal de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC) se asegura la estabilidad asumiendo que la suma de los coeficientes de talud aguas arriba y aguas abajo sean igual a un valor entre (0,73 - 0,80), esto depende de la calidad de la roca. Esta decisión se valida en la obtención del perfil teórico triangular y se puede evidenciar en las siguientes tablas:



Tabla 3-5.  
 Coeficientes de talud  $m_1$ ,  $m_2$  de una presa de HC para  $f=0.80$  y  $C=400$  KPa

Hp (m)	f	C (KPa)	H	$m_1$	$m_2$	$m_1 + m_2$
120	0.8	400	0.112	0.08	0.65	0.73
115	0.8	400	0.110	0.08	0.65	0.74
110	0.8	400	0.108	0.08	0.66	0.74
105	0.8	400	0.105	0.08	0.66	0.74
100	0.8	400	0.103	0.08	0.66	0.74
95	0.8	400	0.100	0.07	0.66	0.74
90	0.8	400	0.096	0.07	0.67	0.74
85	0.8	400	0.093	0.07	0.67	0.74
80	0.8	400	0.089	0.07	0.68	0.74
75	0.8	400	0.084	0.06	0.68	0.74
70	0.8	400	0.079	0.06	0.69	0.75
65	0.8	400	0.073	0.05	0.69	0.75
60	0.8	400	0.065	0.05	0.70	0.75
55	0.8	400	0.056	0.04	0.71	0.75
50	0.8	400	0.046	0.03	0.72	0.76

Fuente: Logacho & Orozco

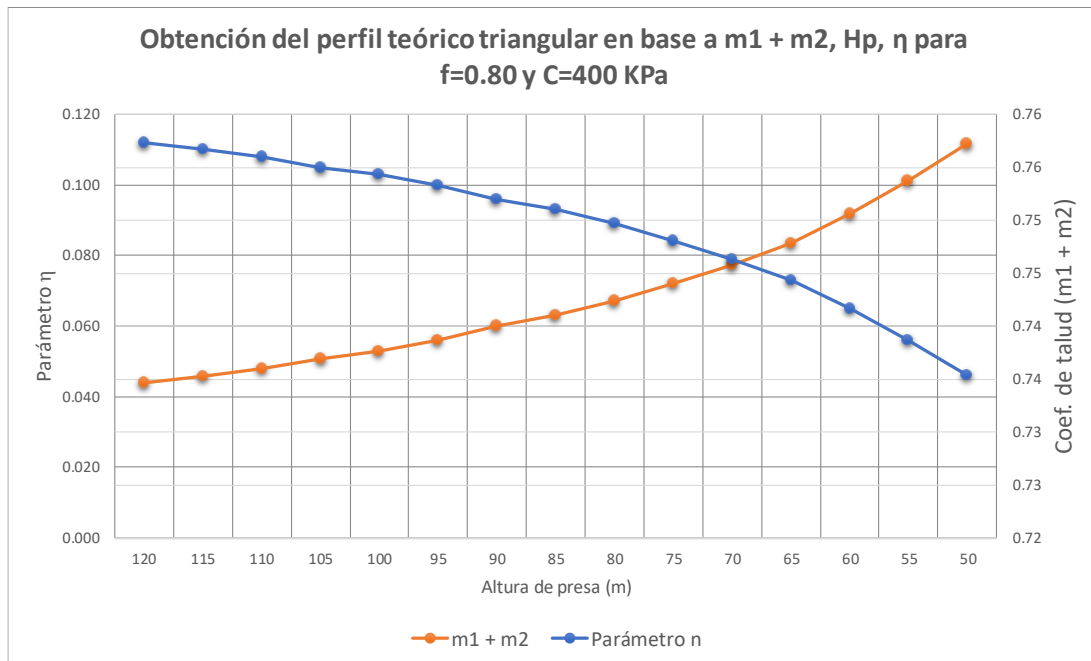


Figura 3-2. PTT de una presa de HC en base a  $m_1 + m_2$ ,  $H_p$ ,  $\eta$  para  $f=0.80$  y  $C=400$  KPa  
 Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-6.  
 Coeficientes de talud  $m_1$  y  $m_2$  de una presa de HC para  $f=0.75$  y  $C= 250$  KPa

Hp (m)	f	C (KPa)	H	m1	m2	m1 + m2
120	0.75	250	0.213	0.16	0.59	0.75
115	0.75	250	0.212	0.16	0.59	0.75
110	0.75	250	0.209	0.16	0.59	0.75
105	0.75	250	0.207	0.16	0.60	0.75
100	0.75	250	0.205	0.15	0.60	0.75
95	0.75	250	0.202	0.15	0.60	0.75
90	0.75	250	0.199	0.15	0.60	0.75
85	0.75	250	0.195	0.15	0.61	0.76
80	0.75	250	0.191	0.14	0.61	0.76
75	0.75	250	0.187	0.14	0.62	0.76
70	0.75	250	0.182	0.14	0.62	0.76
65	0.75	250	0.176	0.13	0.63	0.76
60	0.75	250	0.169	0.13	0.63	0.76
55	0.75	250	0.161	0.12	0.64	0.77
50	0.75	250	0.150	0.12	0.65	0.77

Fuente: Logacho & Orozco

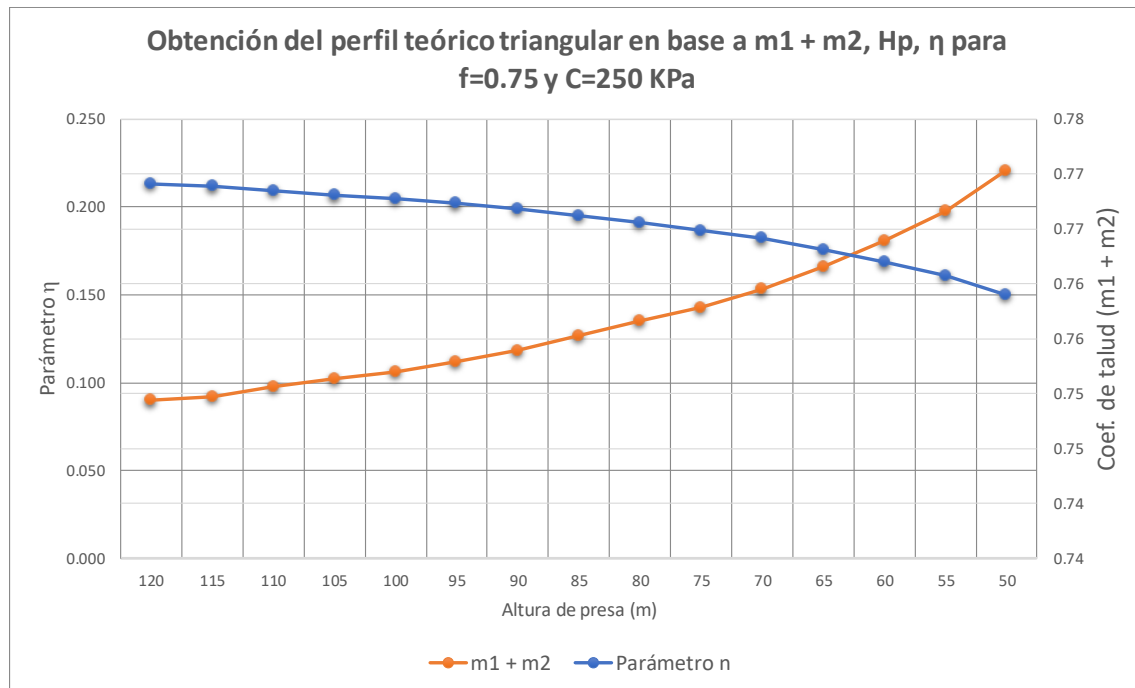


Figura 3-3. PTT de una presa de HC en base a  $m_1+m_2$ ,  $H_p$ ,  $n$  para  $f=0.75$  y  $C=250$  KPa

Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-7.  
 Coeficientes de talud  $m_1$ ,  $m_2$  de una presa de HC para  $f=0.70$  y  $C=150$  KPa

Hp (m)	f	C (KPa)	H	$m_1$	$m_2$	$m_1 + m_2$
120	0.7	150	0.315	0.24	0.53	0.77
115	0.7	150	0.313	0.24	0.53	0.77
110	0.7	150	0.311	0.24	0.53	0.77
105	0.7	150	0.309	0.24	0.53	0.77
100	0.7	150	0.305	0.24	0.54	0.77
95	0.7	150	0.303	0.23	0.54	0.77
90	0.7	150	0.300	0.23	0.54	0.77
85	0.7	150	0.297	0.23	0.54	0.77
80	0.7	150	0.293	0.23	0.55	0.78
75	0.7	150	0.289	0.22	0.55	0.78
70	0.7	150	0.285	0.22	0.56	0.78
65	0.7	150	0.278	0.22	0.56	0.78
60	0.7	150	0.272	0.21	0.57	0.78
55	0.7	150	0.265	0.21	0.58	0.79
50	0.7	150	0.255	0.20	0.59	0.79

Fuente: Logacho & Orozco

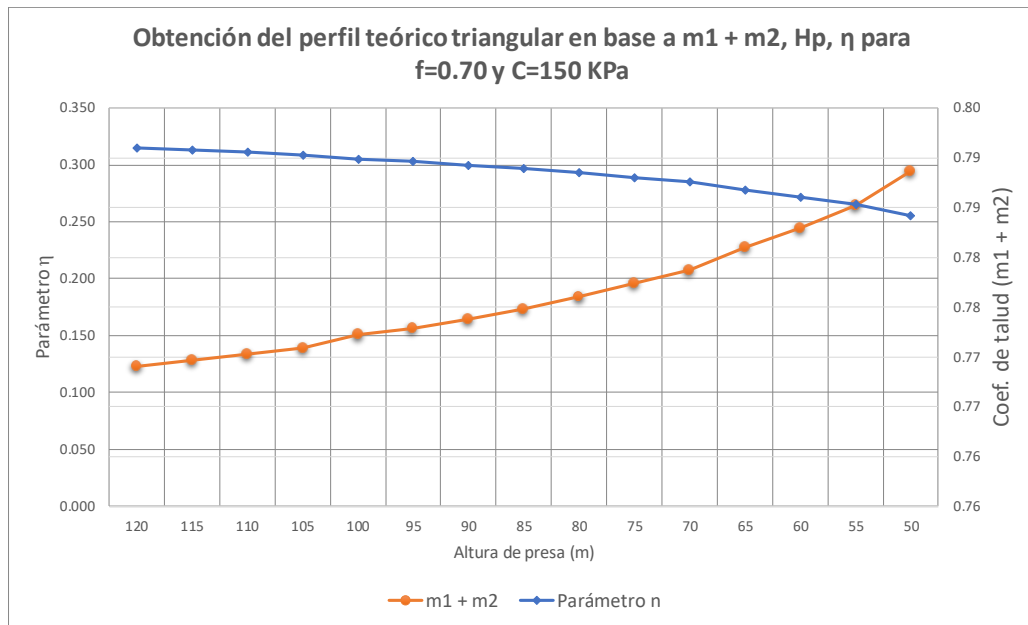


Figura 3-4. PTT de una presa de HC en base a  $m_1+m_2$ ,  $H_p$ ,  $n$  para  $f=0.70$  y  $C=150$  KPa

Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-8.  
Coeficiente de talud  $m_1$ ,  $m_2$  de una presa de HC para  $f=0.65$  y  $C=100$  KPa

Hp (m)	f	C	H	$m_1$	$m_2$	$m_1 + m_2$
120	0.65	100	0.414	0.33	0.47	0.80
115	0.65	100	0.413	0.33	0.47	0.80
110	0.65	100	0.411	0.33	0.47	0.80
105	0.65	100	0.409	0.33	0.47	0.80
100	0.65	100	0.406	0.32	0.47	0.80
95	0.65	100	0.404	0.32	0.48	0.80
90	0.65	100	0.401	0.32	0.48	0.80
85	0.65	100	0.398	0.32	0.48	0.80
80	0.65	100	0.395	0.32	0.48	0.80
75	0.65	100	0.391	0.31	0.49	0.80
70	0.65	100	0.386	0.31	0.49	0.80
65	0.65	100	0.380	0.31	0.50	0.81
60	0.65	100	0.374	0.30	0.51	0.81
55	0.65	100	0.367	0.30	0.51	0.81
50	0.65	100	0.359	0.29	0.52	0.81

Fuente: Logacho & Orozco

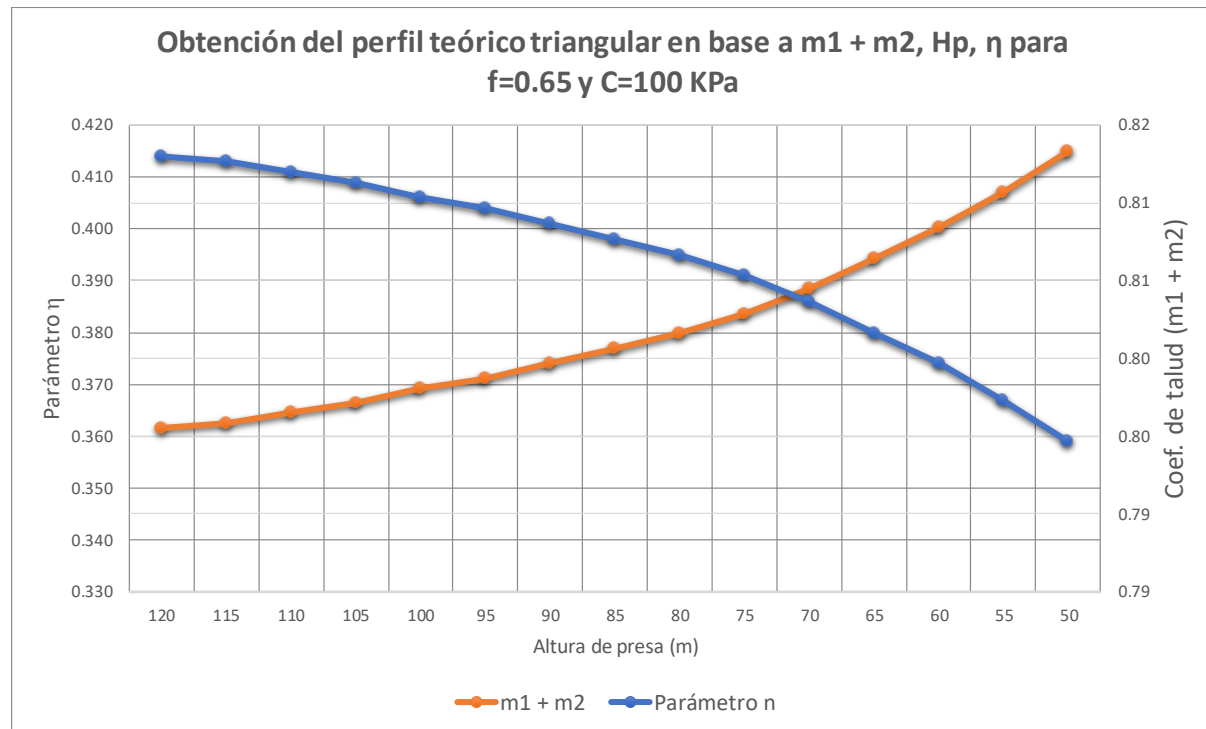


Figura 3-5. PTT de una presa de HC en base a  $m_1+m_2$ ,  $H_p$ ,  $\eta$  para  $f=0.65$  y  $C=100$  KPa  
Fuente: Logacho & Orozco

De la misma manera se realiza el análisis de estabilidad, verificando que el factor de seguridad al deslizamiento permisible sea menor que el factor de seguridad al deslizamiento calculado con la ecuación 12. También se realiza el análisis de verificación de resistencias, tomando en cuenta que al ser una presa de hormigón compactado (HC) debe ser diseñada con la particularidad de que el esfuerzo mínimo sea igual al 20% de la presión hidrostática, lo que se puede apreciar en la siguiente tabla:

*Tabla 3-9.*  
*Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para presas de HC, asegurando un esfuerzo mínimo igual al 20% de la presión hidrostática*

Hp (m)	f	C (KPa)	FSDper	FSD	FSD > FSDperm	$\sigma_y'$ (MPa)	$\sigma_y''$ (MPa)	20%* $\gamma_o$ *H
120	0.8	400	1.3	1.83	Sí cumple	0.24	2.43	0.24
115	0.8	400	1.3	1.85	Sí cumple	0.23	2.32	0.23
110	0.8	400	1.3	1.87	Sí cumple	0.22	2.21	0.22
105	0.8	400	1.3	1.89	Sí cumple	0.21	2.10	0.21
100	0.8	400	1.3	1.89	Sí cumple	0.20	1.99	0.20
95	0.8	400	1.3	1.95	Sí cumple	0.19	1.88	0.19
90	0.8	400	1.3	1.98	Sí cumple	0.18	1.77	0.18
85	0.8	400	1.3	2.01	Sí cumple	0.17	1.67	0.17
80	0.8	400	1.3	2.05	Sí cumple	0.16	1.56	0.16
75	0.8	400	1.3	2.10	Sí cumple	0.15	1.45	0.15
70	0.8	400	1.3	2.15	Sí cumple	0.14	1.34	0.14
65	0.8	400	1.3	2.21	Sí cumple	0.13	1.23	0.13
60	0.8	400	1.3	2.28	Sí cumple	0.12	1.12	0.12
55	0.8	400	1.3	2.36	Sí cumple	0.11	1.01	0.11
50	0.8	400	1.3	2.46	Sí cumple	0.10	0.91	0.10
120	0.75	250	1.3	1.65	Sí cumple	0.24	2.55	0.24
115	0.75	250	1.3	1.66	Sí cumple	0.23	2.44	0.23
110	0.75	250	1.3	1.67	Sí cumple	0.22	2.32	0.22
105	0.75	250	1.3	1.69	Sí cumple	0.21	2.21	0.21
100	0.75	250	1.3	1.70	Sí cumple	0.20	2.10	0.20
95	0.75	250	1.3	1.72	Sí cumple	0.19	1.98	0.19
90	0.75	250	1.3	1.74	Sí cumple	0.18	1.87	0.18
85	0.75	250	1.3	1.76	Sí cumple	0.17	1.75	0.17
80	0.75	250	1.3	1.78	Sí cumple	0.16	1.64	0.16

75	0.75	250	1.3	1.81	Sí cumple	0.15	1.53	0.15
70	0.75	250	1.3	1.84	Sí cumple	0.14	1.41	0.14
65	0.75	250	1.3	1.88	Sí cumple	0.13	1.30	0.13
60	0.75	250	1.3	1.92	Sí cumple	0.12	1.19	0.12
55	0.75	250	1.3	1.97	Sí cumple	0.11	1.07	0.11
50	0.75	250	1.3	2.03	Sí cumple	0.10	0.96	0.10
120	0.7	150	1.3	1.51	Sí cumple	0.24	2.68	0.24
115	0.7	150	1.3	1.52	Sí cumple	0.23	2.56	0.23
110	0.7	150	1.3	1.52	Sí cumple	0.22	2.44	0.22
105	0.7	150	1.3	1.53	Sí cumple	0.21	2.32	0.21
100	0.7	150	1.3	1.54	Sí cumple	0.20	2.20	0.20
95	0.7	150	1.3	1.55	Sí cumple	0.19	2.08	0.19
90	0.7	150	1.3	1.56	Sí cumple	0.18	1.96	0.18
85	0.7	150	1.3	1.57	Sí cumple	0.17	1.84	0.17
80	0.7	150	1.3	1.58	Sí cumple	0.16	1.73	0.16
75	0.7	150	1.3	1.60	Sí cumple	0.15	1.61	0.15
70	0.7	150	1.3	1.61	Sí cumple	0.14	1.49	0.14
65	0.7	150	1.3	1.63	Sí cumple	0.13	1.37	0.13
60	0.7	150	1.3	1.65	Sí cumple	0.12	1.25	0.12
55	0.7	150	1.3	1.68	Sí cumple	0.11	1.13	0.11
50	0.7	150	1.3	1.71	Sí cumple	0.10	1.02	0.10
120	0.65	100	1.30	1.44	Sí cumple	0.24	2.80	0.24
115	0.65	100	1.30	1.45	Sí cumple	0.23	2.68	0.23
110	0.65	100	1.30	1.45	Sí cumple	0.22	2.55	0.22
105	0.65	100	1.30	1.46	Sí cumple	0.21	2.43	0.21
100	0.65	100	1.30	1.46	Sí cumple	0.20	2.30	0.20
95	0.65	100	1.30	1.47	Sí cumple	0.19	2.18	0.19
90	0.65	100	1.30	1.47	Sí cumple	0.18	2.06	0.18
85	0.65	100	1.30	1.48	Sí cumple	0.17	1.93	0.17
80	0.65	100	1.30	1.48	Sí cumple	0.16	1.81	0.16
75	0.65	100	1.30	1.49	Sí cumple	0.15	1.69	0.15
70	0.65	100	1.30	1.50	Sí cumple	0.14	1.56	0.14
65	0.65	100	1.30	1.51	Sí cumple	0.13	1.44	0.13
60	0.65	100	1.30	1.53	Sí cumple	0.12	1.32	0.12
55	0.65	100	1.30	1.54	Sí cumple	0.11	1.19	0.11
50	0.65	100	1.30	1.56	Sí cumple	0.10	1.07	0.10

Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-10.

Cuadro resumen de PTT para presas de HC de altura entre (50 - 120) m

Hp (m)	f	C (KPa)	FSDper	FSD	FSD > FSDperm	H	b (m)	$\sigma_y'$ (MPa)	$\sigma_y''$ (MPa)	20%* $\gamma_o$ *H (MPa)	m1	m2	m1 + m2
120	0.8	400	1.3	1.83	Sí cumple	0.112	88.16	0.24	2.43	0.24	0.08	0.65	0.73
115	0.8	400	1.3	1.85	Sí cumple	0.110	84.56	0.23	2.32	0.23	0.08	0.65	0.74
110	0.8	400	1.3	1.87	Sí cumple	0.108	80.96	0.22	2.21	0.22	0.08	0.66	0.74
105	0.8	400	1.3	1.89	Sí cumple	0.105	77.38	0.21	2.10	0.21	0.08	0.66	0.74
100	0.8	400	1.3	1.89	Sí cumple	0.103	73.76	0.20	1.99	0.20	0.08	0.66	0.74
95	0.8	400	1.3	1.95	Sí cumple	0.100	70.17	0.19	1.88	0.19	0.07	0.66	0.74
90	0.8	400	1.3	1.98	Sí cumple	0.096	66.60	0.18	1.77	0.18	0.07	0.67	0.74
85	0.8	400	1.3	2.01	Sí cumple	0.093	62.98	0.17	1.67	0.17	0.07	0.67	0.74
80	0.8	400	1.3	2.05	Sí cumple	0.089	59.39	0.16	1.56	0.16	0.07	0.68	0.74
75	0.8	400	1.3	2.10	Sí cumple	0.084	55.80	0.15	1.45	0.15	0.06	0.68	0.74
70	0.8	400	1.3	2.15	Sí cumple	0.079	52.20	0.14	1.34	0.14	0.06	0.69	0.75
65	0.8	400	1.3	2.21	Sí cumple	0.073	48.61	0.13	1.23	0.13	0.05	0.69	0.75
60	0.8	400	1.3	2.28	Sí cumple	0.065	45.03	0.12	1.12	0.12	0.05	0.70	0.75
55	0.8	400	1.3	2.36	Sí cumple	0.056	41.45	0.11	1.01	0.11	0.04	0.71	0.75
50	0.8	400	1.3	2.46	Sí cumple	0.046	37.86	0.10	0.91	0.10	0.03	0.72	0.76
120	0.75	250	1.3	1.65	Sí cumple	0.213	89.93	0.24	2.55	0.24	0.16	0.59	0.75
115	0.75	250	1.3	1.66	Sí cumple	0.212	86.22	0.23	2.44	0.23	0.16	0.59	0.75
110	0.75	250	1.3	1.67	Sí cumple	0.209	82.58	0.22	2.32	0.22	0.16	0.59	0.75
105	0.75	250	1.3	1.69	Sí cumple	0.207	78.89	0.21	2.21	0.21	0.16	0.60	0.75
100	0.75	250	1.3	1.70	Sí cumple	0.205	75.20	0.20	2.10	0.20	0.15	0.60	0.75
95	0.75	250	1.3	1.72	Sí cumple	0.202	71.53	0.19	1.98	0.19	0.15	0.60	0.75
90	0.75	250	1.3	1.74	Sí cumple	0.199	67.86	0.18	1.87	0.18	0.15	0.60	0.75
85	0.75	250	1.3	1.76	Sí cumple	0.195	64.20	0.17	1.75	0.17	0.15	0.61	0.76
80	0.75	250	1.3	1.78	Sí cumple	0.191	60.53	0.16	1.64	0.16	0.14	0.61	0.76
75	0.75	250	1.3	1.81	Sí cumple	0.187	56.84	0.15	1.53	0.15	0.14	0.62	0.76
70	0.75	250	1.3	1.84	Sí cumple	0.182	53.17	0.14	1.41	0.14	0.14	0.62	0.76
65	0.75	250	1.3	1.88	Sí cumple	0.176	49.50	0.13	1.30	0.13	0.13	0.63	0.76
60	0.75	250	1.3	1.92	Sí cumple	0.169	45.84	0.12	1.19	0.12	0.13	0.63	0.76
55	0.75	250	1.3	1.97	Sí cumple	0.161	42.16	0.11	1.07	0.11	0.12	0.64	0.77
50	0.75	250	1.3	2.03	Sí cumple	0.150	38.52	0.10	0.96	0.10	0.12	0.65	0.77
120	0.7	150	1.3	1.51	Sí cumple	0.315	92.28	0.24	2.68	0.24	0.24	0.53	0.77
115	0.7	150	1.3	1.52	Sí cumple	0.313	88.51	0.23	2.56	0.23	0.24	0.53	0.77
110	0.7	150	1.3	1.52	Sí cumple	0.311	84.73	0.22	2.44	0.22	0.24	0.53	0.77
105	0.7	150	1.3	1.53	Sí cumple	0.309	80.95	0.21	2.32	0.21	0.24	0.53	0.77
100	0.7	150	1.3	1.54	Sí cumple	0.305	77.22	0.20	2.20	0.20	0.24	0.54	0.77

95	0.7	150	1.3	1.55	Sí cumple	0.303	73.42	0.19	2.08	0.19	0.23	0.54	0.77
90	0.7	150	1.3	1.56	Sí cumple	0.300	69.64	0.18	1.96	0.18	0.23	0.54	0.77
85	0.7	150	1.3	1.57	Sí cumple	0.297	65.86	0.17	1.84	0.17	0.23	0.54	0.77
80	0.7	150	1.3	1.58	Sí cumple	0.293	62.09	0.16	1.73	0.16	0.23	0.55	0.78
75	0.7	150	1.3	1.60	Sí cumple	0.289	58.30	0.15	1.61	0.15	0.22	0.55	0.78
70	0.7	150	1.3	1.61	Sí cumple	0.285	54.51	0.14	1.49	0.14	0.22	0.56	0.78
65	0.7	150	1.3	1.63	Sí cumple	0.278	50.76	0.13	1.37	0.13	0.22	0.56	0.78
60	0.7	150	1.3	1.65	Sí cumple	0.272	46.98	0.12	1.25	0.12	0.21	0.57	0.78
55	0.7	150	1.3	1.68	Sí cumple	0.265	43.19	0.11	1.13	0.11	0.21	0.58	0.79
50	0.7	150	1.3	1.71	Sí cumple	0.255	39.43	0.10	1.02	0.10	0.20	0.59	0.79
120	0.65	100	1.30	1.44	Sí cumple	0.414	95.47	0.24	2.80	0.24	0.33	0.47	0.80
115	0.65	100	1.30	1.45	Sí cumple	0.413	91.52	0.23	2.68	0.23	0.33	0.47	0.80
110	0.65	100	1.30	1.45	Sí cumple	0.411	87.61	0.22	2.55	0.22	0.33	0.47	0.80
105	0.65	100	1.30	1.46	Sí cumple	0.409	83.70	0.21	2.43	0.21	0.33	0.47	0.80
100	0.65	100	1.30	1.46	Sí cumple	0.406	79.81	0.20	2.30	0.20	0.32	0.47	0.80
95	0.65	100	1.30	1.47	Sí cumple	0.404	75.88	0.19	2.18	0.19	0.32	0.48	0.80
90	0.65	100	1.30	1.47	Sí cumple	0.401	71.97	0.18	2.06	0.18	0.32	0.48	0.80
85	0.65	100	1.30	1.48	Sí cumple	0.398	68.05	0.17	1.93	0.17	0.32	0.48	0.80
80	0.65	100	1.30	1.48	Sí cumple	0.395	64.13	0.16	1.81	0.16	0.32	0.48	0.80
75	0.65	100	1.30	1.49	Sí cumple	0.391	60.22	0.15	1.69	0.15	0.31	0.49	0.80
70	0.65	100	1.30	1.50	Sí cumple	0.386	56.32	0.14	1.56	0.14	0.31	0.49	0.80
65	0.65	100	1.30	1.51	Sí cumple	0.380	52.42	0.13	1.44	0.13	0.31	0.50	0.81
60	0.65	100	1.30	1.53	Sí cumple	0.374	48.50	0.12	1.32	0.12	0.30	0.51	0.81
55	0.65	100	1.30	1.54	Sí cumple	0.367	44.59	0.11	1.19	0.11	0.30	0.51	0.81
50	0.65	100	1.30	1.56	Sí cumple	0.359	40.67	0.10	1.07	0.10	0.29	0.52	0.81

Fuente: Logacho & Orozco



En la tabla 3-10 se constata que la inclinación de los taludes depende directamente de la calidad del macizo de cimentación. Por ejemplo:

Si la roca es de mala calidad ( $f=0.65$ ), la suma de los coeficientes de talud ( $m_1 + m_2$ ) deben tomar valores entre (0,80 – 0,81), lo que según la figura 3-5 se obtienen paramentos prácticamente simétricos.

Si el macizo de cimentación es de calidad media ( $f=0.70 - 0.75$ ), la suma de los coeficientes de talud ( $m_1 + m_2$ ) deben tomar valores entre (0,75 – 0,79), lo que según la figura 3-3 y 3-4 se obtiene un paramento aguas arriba entre vertical e inclinado.

Si el macizo de cimentación es de buena calidad ( $f=0.80$ ), la suma de los coeficientes de talud ( $m_1 + m_2$ ) deben tomar valores entre (0,73 – 0,76), lo que según la figura 3-2 se obtiene un paramento aguas arriba prácticamente vertical.

Para el perfil constructivo se verifica lo descrito en el capítulo 3.2.1.1.

**ANÁLISIS DEL PERFIL CONSTRUCTIVO PARA UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO PARA COMBINACIÓN BÁSICA (B1)**

Tabla 3-11.

Análisis del perfil constructivo para una presa de HC de Hp=50 m cimentada en ROCA BUENA para combinación B1

ANÁLISIS DEL PERFIL CONSTRUCTIVO PARA PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO CIMENTADA EN ROCA																							
m1	0.03	bPTT	37.50	α °	88.28	h <sub>dent</sub>	5	J <sub>perm</sub>	12.5	h <sub>dren</sub>	10	ξ <sub>sed=</sub>	0.66	Ψ	1.72	a <sub>s</sub>	0.60	a	10.5	f	0.8		
m2	0.72	bPCO	40.13	θ °	54.25	h <sub>cor</sub>	20	δ <sub>cor</sub>	8	m1+m2	0.75	γ <sub>o=</sub>	10	h <sub>s</sub>	20	γ <sub>ssed=</sub>	10.00	η	0.037	C	400		
Hp	q	h <sub>cr</sub>	h <sub>esc</sub>	Área	G	x	PH1	y	P <sub>v1</sub>	x	P <sub>Hs</sub>	y	P <sub>vs</sub>	x	W	x	ΣN	ΣT	ΣM	FSD	e	σ' <sub>y</sub>	σ'' <sub>y</sub>
50	40	5.46	1.50	1093.61	26246.57	5.48			375.00	19.56			39.84	19.86	4631.25	6.69	22030.16	13828.07	96171.95	2.435	4.37	0.191	0.907
50	42	5.64	1.80	1095.11	26282.70	5.48			375.12	19.57			39.86	19.87	4631.90	6.69	22065.63	13828.07	96034.55	2.438	4.35	0.192	0.907
50	44	5.82	1.80	1096.62	26318.88	5.48			375.24	19.58			39.87	19.88	4632.56	6.69	22101.16	13828.07	95897.00	2.440	4.34	0.194	0.907
50	46	6.00	1.80	1098.13	26355.11	5.48			375.37	19.58			39.88	19.88	4633.21	6.69	22136.73	13828.07	95759.30	2.443	4.33	0.195	0.907
50	48	6.17	1.80	1099.64	26391.39	5.47			375.49	19.59			39.89	19.89	4633.87	6.70	22172.36	13828.07	95621.45	2.445	4.31	0.196	0.907
50	50	6.34	1.80	1101.15	26427.72	5.47			375.61	19.59			39.91	19.90	4634.52	6.70	22208.03	13828.07	95483.44	2.447	4.30	0.198	0.907
50	52	6.51	2.10	1102.67	26464.09	5.47			375.73	19.60			39.92	19.90	4635.18	6.70	22243.76	13828.07	95345.28	2.450	4.29	0.199	0.907
50	54	6.67	2.10	1104.19	26500.52	5.47			375.86	19.61			39.93	19.91	4635.84	6.70	22279.53	13828.07	95206.96	2.452	4.27	0.201	0.907
50	56	6.84	2.10	1105.71	26537.00	5.47			375.98	19.61			39.95	19.91	4636.49	6.70	22315.36	13828.07	95068.49	2.455	4.26	0.202	0.907
50	58	7.00	2.10	1107.23	26573.53	5.47			376.10	19.62			39.96	19.92	4637.15	6.71	22351.23	13828.07	94929.87	2.457	4.25	0.204	0.907
50	60	7.16	2.10	1108.75	26610.12	5.46			376.23	19.63			39.97	19.93	4637.80	6.71	22387.15	13828.07	94791.09	2.460	4.23	0.205	0.907
50	62	7.32	2.10	1110.28	26646.75	5.46			376.35	19.63			39.99	19.93	4638.46	6.71	22423.13	13828.07	94652.16	2.462	4.22	0.207	0.907
50	64	7.47	2.10	1111.81	26683.43	5.46			376.35	19.63			40.00	19.93	4638.46	6.71	22459.81	13828.07	94498.51	2.464	4.21	0.208	0.907
50	66	7.63	2.40	1111.98	26687.41	5.46			376.30	19.63			40.00	19.93	4638.19	6.71	22464.07	13828.07	94470.65	2.464	4.21	0.208	0.908
50	68	7.78	2.40	1112.46	26699.08	5.46			376.24	19.63			39.99	19.93	4637.91	6.71	22476.01	13828.07	94512.25	2.465	4.21	0.208	0.908
50	70	7.93	2.40	1112.95	26710.75	5.45			376.19	19.62			39.99	19.93	4637.63	6.71	22487.96	13828.07	94553.83	2.465	4.20	0.209	0.909
50	72	8.08	2.40	1113.43	26722.43	5.45			376.14	19.62			39.98	19.92	4637.36	6.71	22499.91	13828.07	94595.40	2.466	4.20	0.209	0.909
50	74	8.23	2.40	1113.92	26734.11	5.44			376.09	19.62			39.98	19.92	4637.08	6.71	22511.87	13828.07	94636.96	2.466	4.20	0.209	0.910
50	76	8.38	2.40	1114.41	26745.80	5.44			376.04	19.62			39.97	19.92	4636.81	6.71	22523.84	13828.07	94678.50	2.467	4.20	0.209	0.911
50	78	8.53	2.70	1114.90	26757.49	5.44			375.99	19.61			39.97	19.92	4636.53	6.71	22535.80	13828.07	94720.02	2.468	4.20	0.209	0.911
50	80	8.67	2.70	1115.38	26769.19	5.43	12500	16.67	375.94	19.61	1328.07	6.67	39.96	19.91	4636.26	6.70	22547.78	13828.07	94761.53	2.468	4.20	0.209	0.912
50	82	8.82	2.70	1115.87	26780.90	5.43			375.88	19.61			39.95	19.91	4635.98	6.70	22559.76	13828.07	94803.03	2.469	4.20	0.209	0.913
50	84	8.96	2.70	1116.36	26792.61	5.42			375.83	19.61			39.95	19.91	4635.71	6.70	22571.74	13828.07	94844.52	2.469	4.20	0.209	0.913
50	86	9.10	2.70	1116.85	26804.32	5.42			375.78	19.60			39.94	19.90	4635.43	6.70	22583.73	13828.07	94885.99	2.470	4.20	0.210	0.914
50	88	9.24	2.70	1117.33	26816.04	5.41			375.73	19.60			39.94	19.90	4635.16	6.70	22595.72	13828.07	94927.44	2.470	4.20	0.210	0.914
50	90	9.38	2.70	1117.82	26827.76	5.41			375.73	19.60			39.93	19.90	4635.16	6.70	22607.45	13828.07	94974.98	2.471	4.20	0.210	0.915
50	92	9.52	3.00	1117.84	26828.16	5.41			375.72	19.60			39.93	19.90	4635.10	6.70	22607.91	13828.07	94971.51	2.471	4.20	0.210	0.915
50	94	9.66	3.00	1118.48	26843.43	5.41			375.71	19.60			39.93	19.90	4635.04	6.70	22623.23	13828.07	94970.98	2.472	4.20	0.210	0.915
50	96	9.79	3.00	1119.11	26858.70	5.40			375.70	19.60			39.93	19.90	4634.98	6.70	22638.57	13828.07	94970.46	2.473	4.20	0.211	0.916
50	98	9.93	3.00	1119.75	26873.99	5.40			375.69	19.60			39.93	19.90	4634.92	6.70	22653.91	13828.07	94969.94	2.473	4.19	0.211	0.916
50	100	10.06	3.00	1120.39	26889.28	5.40			375.68	19.60			39.93	19.90	4634.86	6.70	22669.26	13828.07	94969.41	2.474	4.19	0.211	0.917
50	102	10.20	3.00	1121.02	26904.58	5.39			375.66	19.60			39.93	19.90	4634.81	6.70	22684.62	13828.07	94968.89	2.475	4.19	0.212	0.917
50	104	10.33	3.00	1121.66	26919.89	5.39			375.65	19.60			39.93	19.90	4634.75	6.70	22699.99	13828.07	94968.36	2.476	4.18	0.212	0.917
50	106	10.46	3.00	1122.30	26935.21	5.39			375.64	19.60			39.92	19.90	4634.69	6.70	22715.36	13828.07	94967.84	2.477	4.18	0.212	0.918
50	108	10.59	3.30	1122.94	26950.54	5.39			375.63	19.60			39.92	19.90	4634.63	6.70	22730.75	13828.07	94967.32	2.478	4.18	0.213	0.918
50	110	10.72	3.30	1123.58	26965.87	5.38			375.62	19.59			39.92	19.90	4634.57	6.70	22746.15	13828.07	94966.79	2.479	4.18	0.213	0.919
50	112	10.85	3.30	1124.22	26981.22	5.38			375.61	19.59			39.92	19.90	4634.51	6.70	22761.55	13828.07	94966.27	2.479	4.17	0.214	0.919
50	114	10.98	3.30	1124.86	26996.57	5.38			375.60	19.59			39.92	19.89	4634.45	6.70	22776.96	13828.07	94965.75	2.480	4.17	0.214	0.920
50	116	11.11	3.30	1125.50	27011.93	5.37			375.59	19.59			39.92	19.89	4634.40	6.70	22792.38	13828.07	94965.23	2.481	4.17	0.214	0.920
50	118	11.24	3.30	1126.14	27027.31	5.37			375.59	19.59			39.92	19.89	4634.42	6.70	22807.73	13828.07	94966.45	2.482	4.16	0.215	0.920
50	120	11.36	3.30	1126.17	27028.11	5.37			375.60	19.59			39.92	19.89	4634.44	6.70	22808.51	13828.07	94962.59	2.482	4.16	0.215	0.920

Fuente: Logacho & Orozco

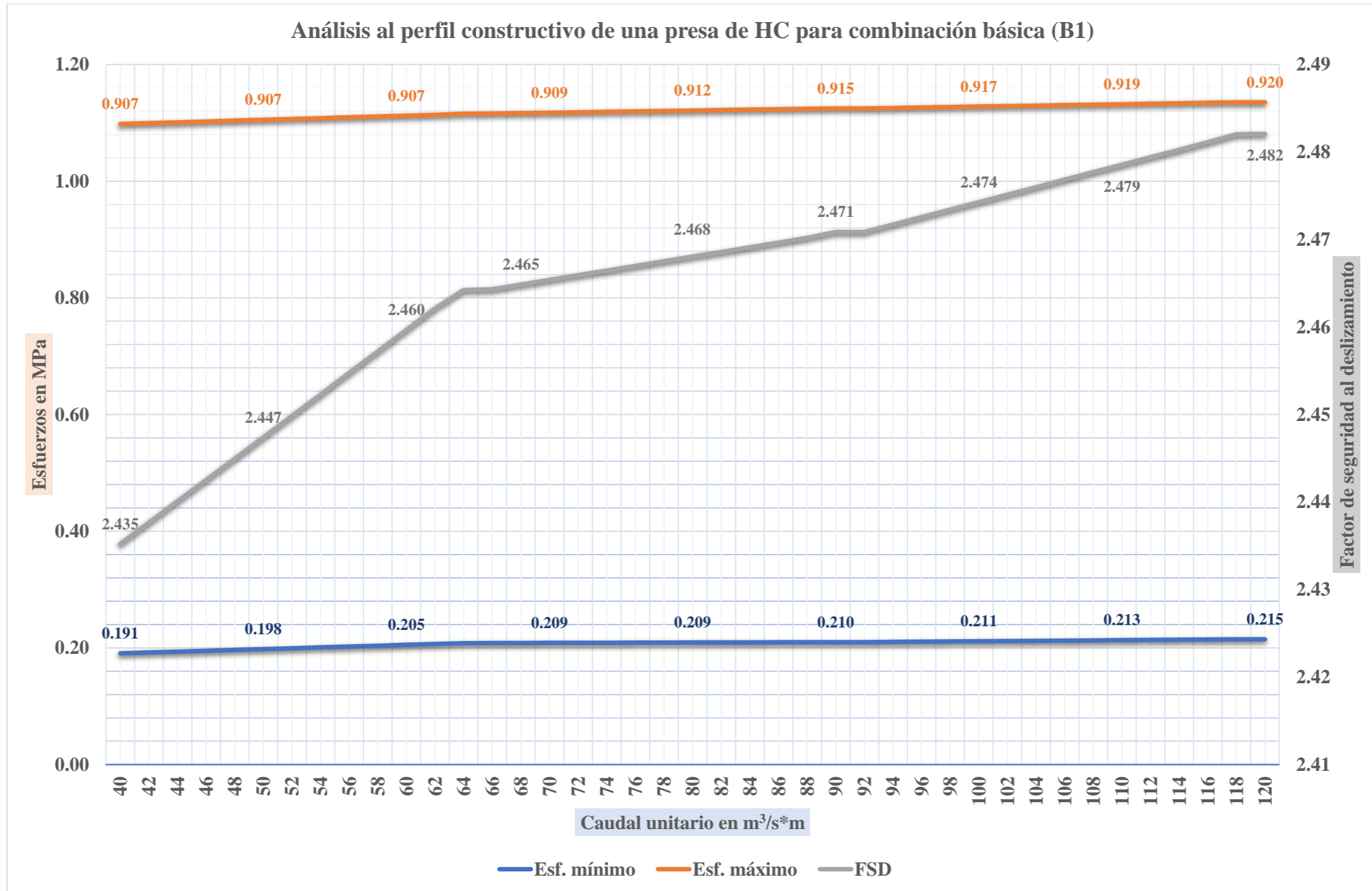


Figura 3-6. Perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de Hp= 50m  
Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-12.

Análisis del perfil constructivo para una presa de HC de Hp=60 m cimentada en ROCA BUENA para combinación B1

ANÁLISIS DEL PERFIL CONSTRUCTIVO PARA PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO CIMENTADA EN ROCA																							
m1	0.05	bPTT	45.00	α °	87.14	hdent	6	Jperm	12.5	hdren	12	ξsed=	0.67	Ψ	2.86	a3	1.20	a	10.5	f	0.8		
m2	0.70	bPCO	48.15	θ °	55.01	hcor	24	δcor	8	m1+m2	0.75	γo=	10	hs	24	γssed=	10.00	η	0.062	C	400		
Hp	q	hcr	hesc	Área	G	x	PH1	y	Pv1	x	PHs	y	Pvs	x	W	x	ΣN	ΣT	ΣM	FSD	e	σ'y	σ''y
60	40	5.46	1.50	1574.79	37795.05	6.58	18000	20.00	900.00	23.08	1928.09	8.00	96.40	23.68	6039.00	8.03	32752.46	19928.09	152248.77	2.281	4.65	0.286	1.074
60	42	5.64	1.80	1576.96	37847.08	6.58			900.29	23.08			96.44	23.68	6039.94	8.03	32803.54	19928.09	152009.70	2.284	4.63	0.288	1.074
60	44	5.82	1.80	1579.13	37899.18	6.57			900.59	23.09			96.47	23.69	6040.89	8.03	32854.70	19928.09	151770.37	2.286	4.62	0.290	1.074
60	46	6.00	1.80	1581.31	37951.35	6.57			900.88	23.10			96.50	23.70	6041.83	8.03	32905.93	19928.09	151530.77	2.288	4.60	0.291	1.074
60	48	6.17	1.80	1583.48	38003.59	6.57			901.17	23.11			96.53	23.71	6042.77	8.04	32957.23	19928.09	151290.90	2.291	4.59	0.293	1.074
60	50	6.34	1.80	1585.66	38055.91	6.57			901.47	23.11			96.56	23.71	6043.72	8.04	33008.60	19928.09	151050.77	2.293	4.58	0.295	1.074
60	52	6.51	2.10	1587.85	38108.30	6.56			901.76	23.12			96.59	23.72	6044.66	8.04	33060.04	19928.09	150810.38	2.296	4.56	0.296	1.074
60	54	6.67	2.10	1590.03	38160.76	6.56			902.06	23.13			96.62	23.73	6045.60	8.04	33111.56	19928.09	150569.72	2.298	4.55	0.298	1.074
60	56	6.84	2.10	1592.22	38213.29	6.56			902.35	23.14			96.66	23.74	6046.55	8.05	33163.14	19928.09	150328.79	2.300	4.53	0.300	1.074
60	58	7.00	2.10	1594.41	38265.89	6.56			902.65	23.14			96.69	23.75	6047.49	8.05	33214.80	19928.09	150087.59	2.303	4.52	0.302	1.074
60	60	7.16	2.10	1596.61	38318.57	6.56			902.94	23.15			96.72	23.75	6048.44	8.05	33266.53	19928.09	149846.13	2.305	4.50	0.303	1.074
60	62	7.32	2.10	1598.80	38371.31	6.55			903.23	23.16			96.75	23.76	6049.38	8.05	33318.34	19928.09	149604.41	2.307	4.49	0.305	1.074
60	64	7.47	2.10	1601.01	38424.14	6.55			903.23	23.16			96.78	23.76	6049.38	8.05	33371.16	19928.09	149338.90	2.310	4.48	0.307	1.074
60	66	7.63	2.40	1601.24	38429.87	6.55			903.11	23.15			96.78	23.76	6048.99	8.05	33377.29	19928.09	149291.45	2.310	4.47	0.307	1.075
60	68	7.78	2.40	1601.94	38446.67	6.55			902.99	23.15			96.77	23.75	6048.59	8.05	33394.49	19928.09	149364.02	2.310	4.47	0.307	1.075
60	70	7.93	2.40	1602.65	38463.48	6.54			902.86	23.15			96.76	23.75	6048.19	8.05	33411.69	19928.09	149436.57	2.311	4.47	0.307	1.076
60	72	8.08	2.40	1603.35	38480.30	6.54			902.74	23.15			96.74	23.75	6047.80	8.05	33428.91	19928.09	149509.10	2.311	4.47	0.308	1.077
60	74	8.23	2.40	1604.05	38497.12	6.53			902.62	23.14			96.73	23.75	6047.40	8.05	33446.13	19928.09	149581.60	2.312	4.47	0.308	1.077
60	76	8.38	2.40	1604.75	38513.95	6.53			902.49	23.14			96.72	23.74	6047.00	8.05	33463.35	19928.09	149654.08	2.313	4.47	0.308	1.078
60	78	8.53	2.70	1605.45	38530.79	6.52			902.37	23.14			96.70	23.74	6046.61	8.05	33480.59	19928.09	149726.53	2.313	4.47	0.308	1.079
60	80	8.67	2.70	1606.15	38547.64	6.52			902.25	23.13			96.69	23.74	6046.21	8.05	33497.83	19928.09	149798.95	2.314	4.47	0.308	1.080
60	82	8.82	2.70	1606.85	38564.49	6.51			902.12	23.13			96.68	23.73	6045.81	8.04	33515.08	19928.09	149871.36	2.314	4.47	0.308	1.080
60	84	8.96	2.70	1607.56	38581.35	6.51			902.00	23.13			96.66	23.73	6045.42	8.04	33532.34	19928.09	149943.73	2.315	4.47	0.309	1.081
60	86	9.10	2.70	1608.26	38598.22	6.50			901.88	23.12			96.65	23.73	6045.02	8.04	33549.60	19928.09	150016.09	2.315	4.47	0.309	1.082
60	88	9.24	2.70	1608.96	38615.09	6.50			901.75	23.12			96.64	23.72	6044.63	8.04	33566.87	19928.09	150088.41	2.316	4.47	0.309	1.083
60	90	9.38	2.70	1609.67	38631.98	6.49			901.75	23.12			96.62	23.72	6044.63	8.04	33583.76	19928.09	150170.55	2.317	4.47	0.309	1.083
60	92	9.52	3.00	1609.69	38632.56	6.49			901.73	23.12			96.62	23.72	6044.54	8.04	33584.42	19928.09	150164.71	2.317	4.47	0.309	1.083
60	94	9.66	3.00	1610.61	38654.54	6.49			901.70	23.12			96.62	23.72	6044.46	8.04	33606.49	19928.09	150163.95	2.317	4.47	0.309	1.084
60	96	9.79	3.00	1611.52	38676.53	6.48			901.67	23.12			96.62	23.72	6044.37	8.04	33628.57	19928.09	150163.19	2.318	4.47	0.310	1.084
60	98	9.93	3.00	1612.44	38698.54	6.48			901.65	23.12			96.62	23.72	6044.29	8.04	33650.66	19928.09	150162.43	2.319	4.46	0.310	1.085
60	100	10.06	3.00	1613.36	38720.56	6.48	901.62	23.12	96.61	23.72	6044.20	8.04	33672.76	19928.09	150161.68	2.320	4.46	0.311	1.085				
60	102	10.20	3.00	1614.27	38742.60	6.47	901.59	23.12	96.61	23.72	6044.12	8.04	33694.88	19928.09	150160.92	2.321	4.46	0.311	1.086				
60	104	10.33	3.00	1615.19	38764.64	6.47	901.57	23.12	96.61	23.72	6044.04	8.04	33717.01	19928.09	150160.16	2.322	4.45	0.312	1.086				
60	106	10.46	3.00	1616.11	38786.70	6.47	901.54	23.11	96.60	23.72	6043.95	8.04	33739.16	19928.09	150159.41	2.323	4.45	0.312	1.087				
60	108	10.59	3.30	1617.03	38808.77	6.46	901.52	23.11	96.60	23.72	6043.87	8.04	33761.31	19928.09	150158.65	2.323	4.45	0.313	1.087				
60	110	10.72	3.30	1617.95	38830.86	6.46	901.49	23.11	96.60	23.71	6043.78	8.04	33783.48	19928.09	150157.89	2.324	4.44	0.313	1.088				
60	112	10.85	3.30	1618.87	38852.95	6.46	901.46	23.11	96.60	23.71	6043.70	8.04	33805.66	19928.09	150157.14	2.325	4.44	0.314	1.088				
60	114	10.98	3.30	1619.79	38875.06	6.45	901.44	23.11	96.59	23.71	6043.61	8.04	33827.85	19928.09	150156.38	2.326	4.44	0.314	1.089				
60	116	11.11	3.30	1620.72	38897.19	6.45	901.41	23.11	96.59	23.71	6043.53	8.04	33850.06	19928.09	150155.63	2.327	4.44	0.315	1.089				
60	118	11.24	3.30	1621.64	38919.32	6.44	901.42	23.11	96.59	23.71	6043.56	8.04	33872.17	19928.09	150157.68	2.328	4.43	0.315	1.090				
60	120	11.36	3.30	1621.69	38920.47	6.44	901.43	23.11	96.59	23.71	6043.59	8.04	33873.29	19928.09	150150.98	2.328	4.43	0.315	1.090				

Fuente: Logacho & Orozco

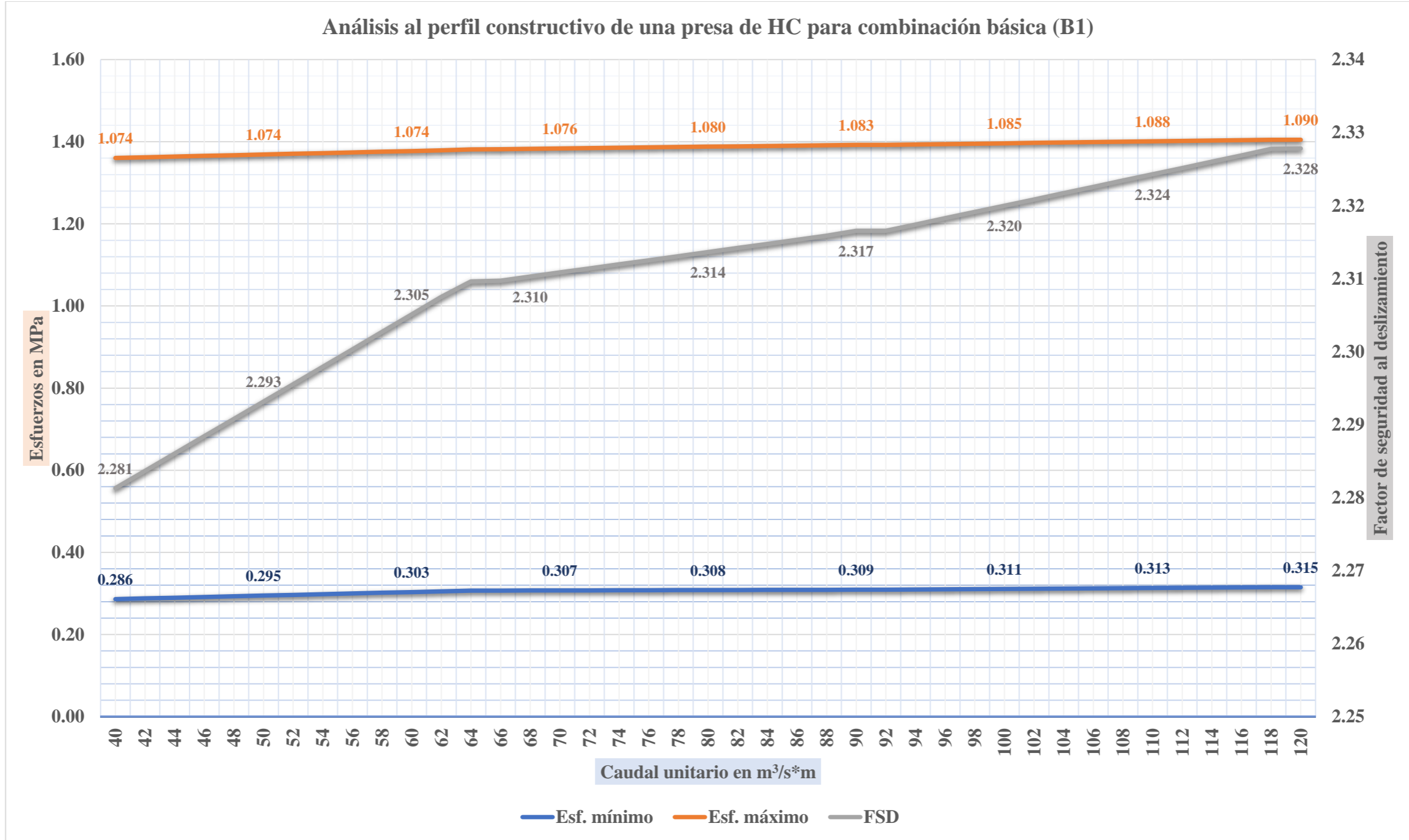


Figura 3-7. Perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de Hp= 60m  
Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-13.

Análisis del perfil constructivo para una presa de HC de Hp=70 m cimentada en ROCA BUENA para combinación (B1)

ANÁLISIS DEL PERFIL CONSTRUCTIVO PARA PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO CIMENTADA EN ROCA																							
m1	0.06	bPTT	52.50	α °	86.57	hdent	7	Jperm	12.5	hdren	14	ξsed=	0.67	Ψ	3.43	a3	1.68	a	10.5	f	0.8		
m2	0.69	bPCO	56.18	θ °	55.39	hcor	28	δcor	8	m1+m2	0.75	γo=	10	hs	28	γssed=	10.00	η	0.075	C	400		
Hp	q	hcr	hesc	Área	G	x	PH1	y	Pv1	x	PHs	y	Pvs	x	W	x	ΣN	ΣT	ΣM	FSD	e	σ'y	σ''y
70	40	5.46	1.50	2143.47	51443.27	7.67			1470.00	26.69			158.09	27.53	7607.25	9.36	45464.11	27134.89	229149.17	2.168	5.04	0.374	1.245
70	42	5.64	1.80	2146.42	51514.08	7.67			1470.48	26.70			158.15	27.54	7608.53	9.37	45533.64	27134.89	228767.66	2.171	5.02	0.376	1.245
70	44	5.82	1.80	2149.37	51585.00	7.67			1470.96	26.70			158.20	27.55	7609.82	9.37	45603.27	27134.89	228385.74	2.173	5.01	0.378	1.245
70	46	6.00	1.80	2152.33	51656.01	7.67			1471.44	26.71			158.25	27.55	7611.10	9.37	45673.00	27134.89	228003.39	2.175	4.99	0.380	1.245
70	48	6.17	1.80	2155.30	51727.12	7.66			1471.92	26.72			158.30	27.56	7612.38	9.37	45742.83	27134.89	227620.62	2.178	4.98	0.382	1.245
70	50	6.34	1.80	2158.26	51798.32	7.66			1472.40	26.73			158.35	27.57	7613.67	9.38	45812.75	27134.89	227237.43	2.180	4.96	0.384	1.245
70	52	6.51	2.10	2161.23	51869.63	7.66			1472.88	26.74			158.40	27.58	7614.95	9.38	45882.77	27134.89	226853.82	2.182	4.94	0.386	1.245
70	54	6.67	2.10	2164.21	51941.03	7.66			1473.36	26.75			158.45	27.59	7616.24	9.38	45952.88	27134.89	226469.78	2.185	4.93	0.388	1.245
70	56	6.84	2.10	2167.19	52012.53	7.65			1473.84	26.76			158.51	27.60	7617.52	9.39	46023.10	27134.89	226085.32	2.187	4.91	0.390	1.245
70	58	7.00	2.10	2170.17	52084.13	7.65			1474.32	26.77			158.56	27.61	7618.81	9.39	46093.41	27134.89	225700.44	2.189	4.90	0.392	1.245
70	60	7.16	2.10	2173.16	52155.83	7.65			1474.80	26.77			158.61	27.62	7620.10	9.39	46163.82	27134.89	225315.14	2.192	4.88	0.393	1.245
70	62	7.32	2.10	2176.15	52227.62	7.65			1475.28	26.78			158.66	27.63	7621.38	9.40	46234.33	27134.89	224929.40	2.194	4.86	0.395	1.245
70	64	7.47	2.10	2179.15	52299.52	7.64			1475.28	26.78			158.71	27.63	7621.38	9.40	46306.23	27134.89	224507.79	2.196	4.85	0.398	1.245
70	66	7.63	2.40	2179.47	52307.33	7.64			1475.08	26.78			158.71	27.62	7620.84	9.39	46314.58	27134.89	224433.22	2.196	4.85	0.398	1.245
70	68	7.78	2.40	2180.42	52330.20	7.64			1474.88	26.78			158.69	27.62	7620.30	9.39	46337.99	27134.89	224549.26	2.197	4.85	0.398	1.246
70	70	7.93	2.40	2181.38	52353.07	7.63			1474.68	26.77			158.67	27.62	7619.76	9.39	46361.40	27134.89	224665.25	2.198	4.85	0.398	1.247
70	72	8.08	2.40	2182.33	52375.96	7.63			1474.48	26.77			158.65	27.61	7619.22	9.39	46384.83	27134.89	224781.21	2.198	4.85	0.398	1.248
70	74	8.23	2.40	2183.29	52398.86	7.62			1474.27	26.77			158.63	27.61	7618.68	9.39	46408.27	27134.89	224897.12	2.199	4.85	0.399	1.249
70	76	8.38	2.40	2184.24	52421.77	7.61			1474.07	26.76			158.61	27.61	7618.14	9.39	46431.72	27134.89	225013.00	2.199	4.85	0.399	1.250
70	78	8.53	2.70	2185.20	52444.69	7.61			1473.87	26.76			158.58	27.60	7617.60	9.39	46455.18	27134.89	225128.84	2.200	4.85	0.399	1.251
70	80	8.67	2.70	2186.15	52467.62	7.60	24500	23.33	1473.67	26.75	2634.89	9.33	158.56	27.60	7617.06	9.39	46478.65	27134.89	225244.64	2.200	4.85	0.399	1.251
70	82	8.82	2.70	2187.11	52490.56	7.60			1473.47	26.75			158.54	27.59	7616.53	9.38	46502.13	27134.89	225360.40	2.201	4.85	0.399	1.252
70	84	8.96	2.70	2188.06	52513.51	7.59			1473.27	26.75			158.52	27.59	7615.99	9.38	46525.61	27134.89	225476.11	2.202	4.85	0.400	1.253
70	86	9.10	2.70	2189.02	52536.47	7.59			1473.06	26.74			158.50	27.59	7615.45	9.38	46549.11	27134.89	225591.79	2.202	4.85	0.400	1.254
70	88	9.24	2.70	2189.98	52559.43	7.58			1472.86	26.74			158.47	27.58	7614.91	9.38	46572.62	27134.89	225707.43	2.203	4.85	0.400	1.255
70	90	9.38	2.70	2190.93	52582.41	7.57			1472.86	26.74			158.45	27.58	7614.91	9.38	46595.60	27134.89	225837.87	2.203	4.85	0.400	1.256
70	92	9.52	3.00	2190.97	52583.20	7.57			1472.82	26.74			158.45	27.58	7614.79	9.38	46596.50	27134.89	225828.75	2.203	4.85	0.400	1.256
70	94	9.66	3.00	2192.21	52613.12	7.57			1472.78	26.74			158.45	27.58	7614.68	9.38	46626.54	27134.89	225827.71	2.204	4.84	0.401	1.256
70	96	9.79	3.00	2193.46	52643.06	7.57			1472.73	26.74			158.44	27.58	7614.56	9.38	46656.59	27134.89	225826.68	2.205	4.84	0.401	1.257
70	98	9.93	3.00	2194.71	52673.02	7.56			1472.69	26.74			158.44	27.58	7614.45	9.38	46686.66	27134.89	225825.65	2.206	4.84	0.402	1.257
70	100	10.06	3.00	2195.96	52702.99	7.56			1472.65	26.74			158.43	27.58	7614.33	9.38	46716.75	27134.89	225824.61	2.207	4.83	0.402	1.258
70	102	10.20	3.00	2197.21	52732.98	7.55			1472.61	26.73			158.43	27.58	7614.22	9.38	46746.86	27134.89	225823.58	2.208	4.83	0.403	1.259
70	104	10.33	3.00	2198.46	52762.99	7.55			1472.56	26.73			158.43	27.58	7614.10	9.38	46776.98	27134.89	225822.54	2.209	4.83	0.403	1.259
70	106	10.46	3.00	2199.71	52793.01	7.54			1472.52	26.73			158.42	27.58	7613.99	9.38	46807.12	27134.89	225821.51	2.209	4.82	0.404	1.260
70	108	10.59	3.30	2200.96	52823.05	7.54			1472.48	26.73			158.42	27.57	7613.87	9.38	46837.27	27134.89	225820.47	2.210	4.82	0.404	1.260
70	110	10.72	3.30	2202.21	52853.11	7.54			1472.43	26.73			158.41	27.57	7613.76	9.38	46867.45	27134.89	225819.44	2.211	4.82	0.405	1.261
70	112	10.85	3.30	2203.47	52883.19	7.53			1472.39	26.73			158.41	27.57	7613.64	9.38	46897.64	27134.89	225818.41	2.212	4.82	0.406	1.261
70	114	10.98	3.30	2204.72	52913.28	7.53			1472.35	26.73			158.40	27.57	7613.53	9.38	46927.85	27134.89	225817.37	2.213	4.81	0.406	1.262
70	116	11.11	3.30	2205.97	52943.39	7.52			1472.30	26.73			158.40	27.57	7613.41	9.38	46958.07	27134.89	225816.34	2.214	4.81	0.407	1.263
70	118	11.24	3.30	2207.23	52973.52	7.52			1472.32	26.73			158.39	27.57	7613.45	9.38	46988.16	27134.89	225819.55	2.215	4.81	0.407	1.263
70	120	11.36	3.30	2207.30	52975.09	7.52			1472.33	26.73			158.39	27.57	7613.49	9.38	46989.69	27134.89	225808.84	2.215	4.81	0.407	1.263

Fuente: Logacho & Orozco

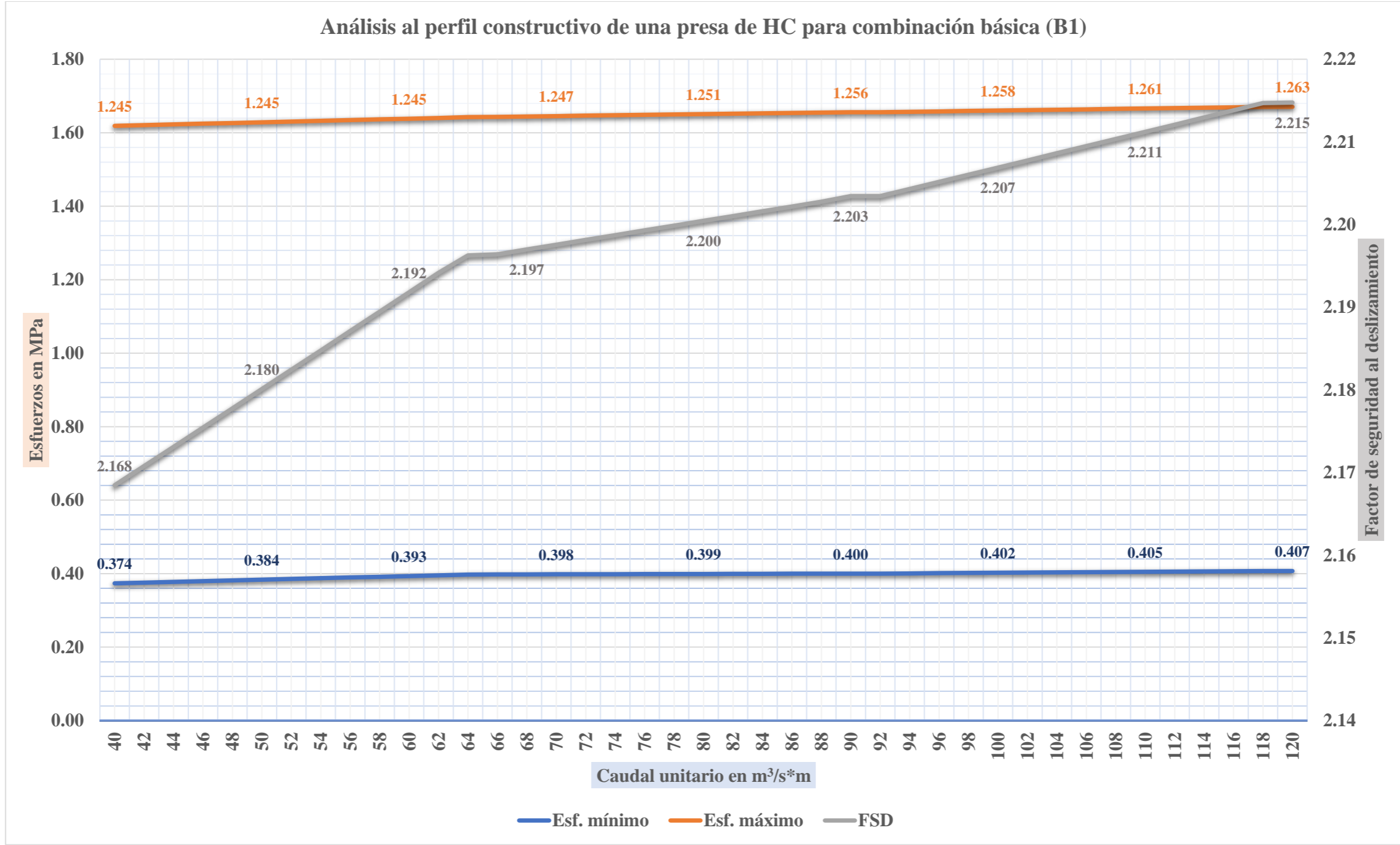


Figura 3-8. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de Hp= 70m  
Fuente: Logacho & Orozco



Tabla 3-14.

Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de Hp=80 m cimentada en ROCA BUENA para combinación básica (B1)

ANÁLISIS DEL PERFIL CONSTRUCTIVO PARA PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO CIMENTADA EN ROCA																							
m1	0.07	bPTT	60.00	α °	86.00	hdent	8	Jperm	12.5	hdren	16	ξsed=	0.67	Ψ	4.00	a3	2.24	a	10.5	f	0.8		
m2	0.68	bPCO	64.20	θ °	55.78	hcor	32	δcor	8	m1+m2	0.75	γo=	10	hs	32	γssed=	10.00	η	0.087	C	400		
Hp	q	hcr	hesc	Área	G	x	PHI	y	Pv1	x	PHs	y	Pvs	x	W	x	ΣN	ΣT	ΣM	FSD	e	σ'y	σ''y
80	40	5.46	1.50	2799.63	67191.21	8.77	32000	26.67	2240.00	30.23	3455.18	10.67	241.86	31.35	9336.00	10.70	60337.07	35455.18	325529.88	2.086	5.40	0.466	1.414
80	42	5.64	1.80	2803.49	67283.70	8.77			2240.73	30.24			241.94	31.36	9337.68	10.70	60427.89	35455.18	324958.31	2.088	5.38	0.468	1.414
80	44	5.82	1.80	2807.35	67376.32	8.76			2241.46	30.25			242.02	31.37	9339.35	10.71	60518.83	35455.18	324386.11	2.090	5.36	0.470	1.414
80	46	6.00	1.80	2811.21	67469.07	8.76			2242.19	30.26			242.10	31.38	9341.03	10.71	60609.91	35455.18	323813.28	2.093	5.34	0.473	1.414
80	48	6.17	1.80	2815.08	67561.95	8.76			2242.92	30.27			242.18	31.40	9342.70	10.71	60701.10	35455.18	323239.83	2.095	5.33	0.475	1.414
80	50	6.34	1.80	2818.96	67654.95	8.76			2243.66	30.28			242.26	31.41	9344.38	10.72	60792.43	35455.18	322665.74	2.097	5.31	0.477	1.414
80	52	6.51	2.10	2822.84	67748.08	8.75			2244.39	30.29			242.34	31.42	9346.06	10.72	60883.89	35455.18	322091.02	2.099	5.29	0.479	1.414
80	54	6.67	2.10	2826.72	67841.34	8.75			2245.12	30.30			242.42	31.43	9347.74	10.72	60975.47	35455.18	321515.66	2.102	5.27	0.482	1.414
80	56	6.84	2.10	2830.61	67934.73	8.75			2245.85	30.31			242.49	31.44	9349.42	10.73	61067.18	35455.18	320939.68	2.104	5.26	0.484	1.413
80	58	7.00	2.10	2834.51	68028.25	8.74			2246.58	30.32			242.57	31.45	9351.10	10.73	61159.01	35455.18	320363.06	2.106	5.24	0.486	1.413
80	60	7.16	2.10	2838.41	68121.90	8.74			2247.32	30.33			242.65	31.46	9352.78	10.73	61250.98	35455.18	319785.81	2.109	5.22	0.488	1.413
80	62	7.32	2.10	2842.32	68215.67	8.74			2248.05	30.34			242.73	31.47	9354.46	10.74	61343.07	35455.18	319207.92	2.111	5.20	0.491	1.413
80	64	7.47	2.10	2846.23	68309.57	8.74			2248.05	30.34			242.81	31.47	9354.46	10.74	61436.98	35455.18	318578.57	2.113	5.19	0.493	1.414
80	66	7.63	2.40	2846.66	68319.77	8.74			2247.74	30.34			242.81	31.46	9353.75	10.74	61447.88	35455.18	318468.15	2.113	5.18	0.493	1.414
80	68	7.78	2.40	2847.90	68349.64	8.73			2247.44	30.33			242.78	31.46	9353.05	10.74	61478.46	35455.18	318642.24	2.114	5.18	0.494	1.415
80	70	7.93	2.40	2849.15	68379.53	8.72			2247.13	30.33			242.74	31.46	9352.34	10.73	61509.05	35455.18	318816.26	2.114	5.18	0.494	1.416
80	72	8.08	2.40	2850.39	68409.42	8.72			2246.82	30.33			242.71	31.45	9351.64	10.73	61539.65	35455.18	318990.23	2.115	5.18	0.494	1.417
80	74	8.23	2.40	2851.64	68439.33	8.71			2246.51	30.32			242.68	31.45	9350.93	10.73	61570.26	35455.18	319164.14	2.116	5.18	0.494	1.418
80	76	8.38	2.40	2852.89	68469.25	8.70			2246.21	30.32			242.65	31.44	9350.23	10.73	61600.89	35455.18	319337.99	2.116	5.18	0.495	1.419
80	78	8.53	2.70	2854.13	68499.19	8.70			2245.90	30.31			242.61	31.44	9349.52	10.73	61631.53	35455.18	319511.79	2.117	5.18	0.495	1.420
80	80	8.67	2.70	2855.38	68529.13	8.69			2245.59	30.31			242.58	31.43	9348.82	10.73	61662.18	35455.18	319685.52	2.117	5.18	0.495	1.421
80	82	8.82	2.70	2856.63	68559.10	8.68			2245.28	30.30			242.55	31.43	9348.11	10.73	61692.84	35455.18	319859.20	2.118	5.18	0.495	1.422
80	84	8.96	2.70	2857.88	68589.07	8.68			2244.98	30.30			242.51	31.42	9347.41	10.72	61723.52	35455.18	320032.81	2.119	5.18	0.495	1.423
80	86	9.10	2.70	2859.13	68619.06	8.67			2244.67	30.30			242.48	31.42	9346.71	10.72	61754.21	35455.18	320206.37	2.119	5.19	0.496	1.424
80	88	9.24	2.70	2860.38	68649.06	8.66			2244.36	30.29			242.45	31.42	9346.00	10.72	61784.92	35455.18	320379.87	2.120	5.19	0.496	1.425
80	90	9.38	2.70	2861.63	68679.07	8.66			2244.36	30.29			242.41	31.42	9346.00	10.72	61814.93	35455.18	320574.57	2.120	5.19	0.496	1.426
80	92	9.52	3.00	2861.67	68680.10	8.66			2244.30	30.29			242.41	31.41	9345.85	10.72	61816.11	35455.18	320561.14	2.120	5.19	0.496	1.426
80	94	9.66	3.00	2863.30	68719.18	8.65			2244.23	30.29			242.41	31.41	9345.70	10.72	61855.34	35455.18	320559.79	2.121	5.18	0.497	1.427
80	96	9.79	3.00	2864.93	68758.28	8.65			2244.17	30.29			242.40	31.41	9345.55	10.72	61894.60	35455.18	320558.43	2.122	5.18	0.497	1.427
80	98	9.93	3.00	2866.56	68797.41	8.64			2244.10	30.29			242.39	31.41	9345.40	10.72	61933.87	35455.18	320557.07	2.123	5.18	0.498	1.428
80	100	10.06	3.00	2868.19	68836.56	8.64			2244.03	30.29			242.38	31.41	9345.25	10.72	61973.17	35455.18	320555.72	2.124	5.17	0.499	1.429
80	102	10.20	3.00	2869.82	68875.73	8.63			2243.97	30.29			242.38	31.41	9345.10	10.72	62012.49	35455.18	320554.36	2.125	5.17	0.499	1.429
80	104	10.33	3.00	2871.46	68914.92	8.63	2243.90	30.29	242.37	31.41	9344.95	10.72	62051.83	35455.18	320553.00	2.126	5.17	0.500	1.430				
80	106	10.46	3.00	2873.09	68954.14	8.62	2243.84	30.29	242.36	31.41	9344.80	10.72	62091.20	35455.18	320551.65	2.127	5.16	0.500	1.431				
80	108	10.59	3.30	2874.72	68993.38	8.62	2243.77	30.28	242.36	31.41	9344.65	10.72	62130.59	35455.18	320550.29	2.127	5.16	0.501	1.431				
80	110	10.72	3.30	2876.36	69032.64	8.61	2243.71	30.28	242.35	31.41	9344.50	10.72	62170.00	35455.18	320548.94	2.128	5.16	0.502	1.432				
80	112	10.85	3.30	2878.00	69071.92	8.61	2243.64	30.28	242.34	31.41	9344.35	10.72	62209.43	35455.18	320547.58	2.129	5.15	0.502	1.433				
80	114	10.98	3.30	2879.63	69111.22	8.60	2243.58	30.28	242.34	31.40	9344.20	10.72	62248.89	35455.18	320546.23	2.130	5.15	0.503	1.433				
80	116	11.11	3.30	2881.27	69150.55	8.60	2243.51	30.28	242.33	31.40	9344.05	10.72	62288.36	35455.18	320544.87	2.131	5.15	0.504	1.434				
80	118	11.24	3.30	2882.91	69189.90	8.59	2243.53	30.28	242.32	31.40	9344.10	10.72	62327.66	35455.18	320549.60	2.132	5.14	0.504	1.434				
80	120	11.36	3.30	2883.00	69191.95	8.59	2243.56	30.28	242.32	31.40	9344.15	10.72	62329.66	35455.18	320533.55	2.132	5.14	0.504	1.434				

Fuente: Logacho & Orozco



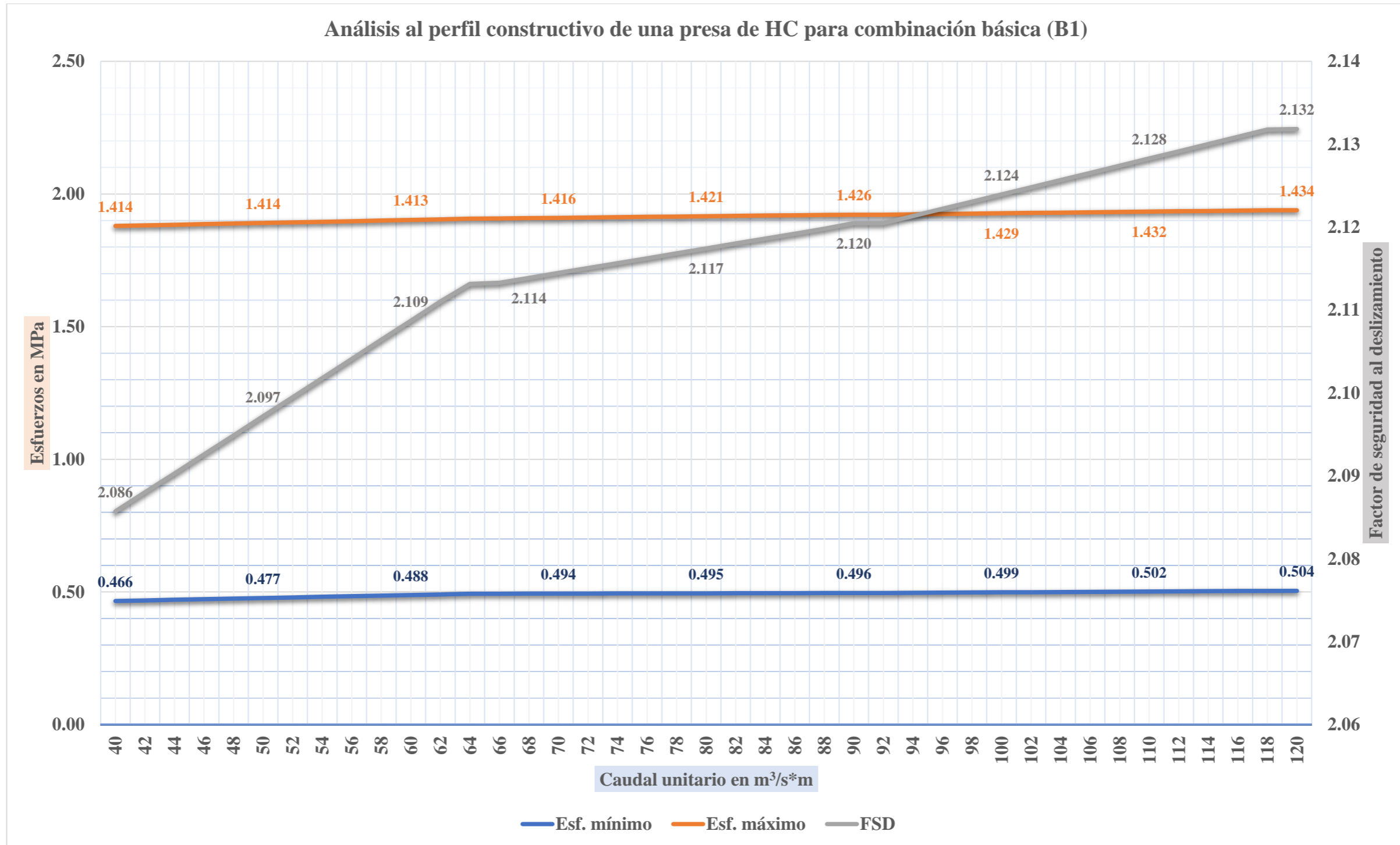


Figura 3-9. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de Hp= 80m  
Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-15.

Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de Hp=90 m cimentada en ROCA BUENA para combinación básica (B1)

ANÁLISIS DEL PERFIL CONSTRUCTIVO PARA PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO CIMENTADA EN ROCA																							
m1	0.07	bPTT	66.60	α °	86.00	hdent	9	Jperm	12.5	hdren	18	ξsed=	0.67	Ψ	4.00	a3	2.52	a	10.5	f	0.8		
m2	0.67	bPCO	71.26	θ °	56.18	hcor	36	δcor	8	m1+m2	0.74	γo=	10	hs	36	γssed=	10.00	η	0.088	C	400		
Hp	q	hcr	hesc	Área	G	x	PHI	y	Pv1	x	PHs	y	Pvs	x	W	x	ΣN	ΣT	ΣM	FSD	e	σ'y	σ''y
90	40	5.46	1.50	3496.04	83905.02	9.73			2835.00	33.53			306.11	34.79	11138.58	11.88	75907.55	44872.97	477294.23	1.989	6.29	0.501	1.629
90	42	5.64	1.80	3500.86	84020.52	9.73			2835.92	33.54			306.21	34.80	11140.67	11.88	76020.96	44872.97	476499.95	1.991	6.27	0.504	1.629
90	44	5.82	1.80	3505.67	84136.18	9.73			2836.85	33.55			306.31	34.81	11142.76	11.88	76134.52	44872.97	475704.80	1.993	6.25	0.506	1.629
90	46	6.00	1.80	3510.50	84252.00	9.73			2837.78	33.56			306.41	34.83	11144.86	11.89	76248.25	44872.97	474908.78	1.995	6.23	0.509	1.629
90	48	6.17	1.80	3515.33	84367.98	9.72			2838.70	33.57			306.51	34.84	11146.95	11.89	76362.14	44872.97	474111.89	1.997	6.21	0.511	1.629
90	50	6.34	1.80	3520.17	84484.12	9.72			2839.63	33.59			306.61	34.85	11149.05	11.90	76476.18	44872.97	473314.12	2.000	6.19	0.514	1.629
90	52	6.51	2.10	3525.02	84600.42	9.72			2840.55	33.60			306.71	34.86	11151.14	11.90	76590.38	44872.97	472515.48	2.002	6.17	0.517	1.629
90	54	6.67	2.10	3529.87	84716.88	9.71			2841.48	33.61			306.81	34.87	11153.24	11.90	76704.75	44872.97	471715.95	2.004	6.15	0.519	1.629
90	56	6.84	2.10	3534.73	84833.50	9.71			2842.41	33.62			306.91	34.88	11155.34	11.91	76819.27	44872.97	470915.56	2.006	6.13	0.522	1.629
90	58	7.00	2.10	3539.59	84950.28	9.71			2843.33	33.63			307.01	34.90	11157.43	11.91	76933.95	44872.97	470114.28	2.009	6.11	0.524	1.629
90	60	7.16	2.10	3544.47	85067.22	9.70			2844.26	33.64			307.11	34.91	11159.53	11.92	77048.79	44872.97	469312.12	2.011	6.09	0.527	1.629
90	62	7.32	2.10	3549.35	85184.32	9.70			2845.19	33.65			307.21	34.92	11161.63	11.92	77163.80	44872.97	468509.08	2.013	6.07	0.529	1.629
90	64	7.47	2.10	3554.23	85301.58	9.70			2845.19	33.65			307.31	34.92	11161.63	11.92	77281.06	44872.97	467636.73	2.015	6.05	0.532	1.629
90	66	7.63	2.40	3554.76	85314.32	9.70			2844.80	33.65			307.31	34.91	11160.75	11.92	77294.67	44872.97	467484.53	2.015	6.05	0.532	1.629
90	68	7.78	2.40	3556.32	85351.62	9.69			2844.41	33.64			307.27	34.91	11159.87	11.92	77332.86	44872.97	467726.68	2.016	6.05	0.533	1.631
90	70	7.93	2.40	3557.87	85388.93	9.68			2844.02	33.64			307.22	34.90	11158.99	11.91	77371.05	44872.97	467968.75	2.017	6.05	0.533	1.632
90	72	8.08	2.40	3559.43	85426.27	9.67			2843.63	33.63			307.18	34.90	11158.11	11.91	77409.26	44872.97	468210.74	2.017	6.05	0.533	1.633
90	74	8.23	2.40	3560.98	85463.61	9.67			2843.24	33.63			307.14	34.89	11157.23	11.91	77447.49	44872.97	468452.64	2.018	6.05	0.533	1.634
90	76	8.38	2.40	3562.54	85500.98	9.66			2842.85	33.62			307.10	34.89	11156.35	11.91	77485.74	44872.97	468694.47	2.018	6.05	0.534	1.635
90	78	8.53	2.70	3564.10	85538.36	9.65			2842.47	33.62			307.06	34.88	11155.47	11.91	77524.00	44872.97	468936.21	2.019	6.05	0.534	1.636
90	80	8.67	2.70	3565.66	85575.76	9.65	40500	30.00	2842.08	33.61	4372.97	12.00	307.01	34.88	11154.59	11.91	77562.28	44872.97	469177.87	2.020	6.05	0.534	1.637
90	82	8.82	2.70	3567.22	85613.17	9.64			2841.69	33.61			306.97	34.88	11153.71	11.91	77600.57	44872.97	469419.45	2.020	6.05	0.534	1.638
90	84	8.96	2.70	3568.78	85650.60	9.63			2841.30	33.61			306.93	34.87	11152.83	11.90	77638.88	44872.97	469660.95	2.021	6.05	0.535	1.640
90	86	9.10	2.70	3570.34	85688.05	9.62			2840.91	33.60			306.89	34.87	11151.95	11.90	77677.21	44872.97	469902.37	2.021	6.05	0.535	1.641
90	88	9.24	2.70	3571.90	85725.51	9.62			2840.52	33.60			306.85	34.86	11151.07	11.90	77715.55	44872.97	470143.70	2.022	6.05	0.535	1.642
90	90	9.38	2.70	3573.46	85762.99	9.61			2840.52	33.60			306.80	34.86	11151.07	11.90	77753.03	44872.97	470413.58	2.023	6.05	0.535	1.643
90	92	9.52	3.00	3573.51	85764.27	9.61			2840.44	33.60			306.80	34.86	11150.88	11.90	77754.50	44872.97	470395.15	2.023	6.05	0.535	1.643
90	94	9.66	3.00	3575.54	85813.08	9.60			2840.36	33.59			306.79	34.86	11150.70	11.90	77803.49	44872.97	470393.45	2.024	6.05	0.536	1.643
90	96	9.79	3.00	3577.58	85861.91	9.60			2840.27	33.59			306.79	34.86	11150.51	11.90	77852.51	44872.97	470391.75	2.024	6.04	0.537	1.644
90	98	9.93	3.00	3579.62	85910.77	9.59			2840.19	33.59			306.78	34.86	11150.32	11.90	77901.55	44872.97	470390.05	2.025	6.04	0.537	1.645
90	100	10.06	3.00	3581.65	85959.65	9.59			2840.11	33.59			306.77	34.86	11150.13	11.90	77950.63	44872.97	470388.35	2.026	6.03	0.538	1.646
90	102	10.20	3.00	3583.69	86008.57	9.58			2840.02	33.59			306.76	34.85	11149.95	11.90	77999.73	44872.97	470386.65	2.027	6.03	0.539	1.646
90	104	10.33	3.00	3585.73	86057.51	9.58			2839.94	33.59			306.75	34.85	11149.76	11.90	78048.86	44872.97	470384.95	2.028	6.03	0.540	1.647
90	106	10.46	3.00	3587.77	86106.48	9.57			2839.86	33.59			306.74	34.85	11149.57	11.90	78098.02	44872.97	470383.25	2.029	6.02	0.540	1.648
90	108	10.59	3.30	3589.81	86155.48	9.56			2839.78	33.59			306.73	34.85	11149.38	11.90	78147.20	44872.97	470381.55	2.030	6.02	0.541	1.649
90	110	10.72	3.30	3591.85	86204.51	9.56			2839.69	33.59			306.72	34.85	11149.20	11.90	78196.42	44872.97	470379.85	2.030	6.02	0.542	1.649
90	112	10.85	3.30	3593.90	86253.56	9.55			2839.61	33.59			306.71	34.85	11149.01	11.90	78245.66	44872.97	470378.16	2.031	6.01	0.542	1.650
90	114	10.98	3.30	3595.94	86302.64	9.55			2839.53	33.58			306.71	34.85	11148.82	11.90	78294.93	44872.97	470376.46	2.032	6.01	0.543	1.651
90	116	11.11	3.30	3597.99	86351.75	9.54			2839.44	33.58			306.70	34.85	11148.63	11.90	78344.22	44872.97	470374.76	2.033	6.00	0.544	1.652
90	118	11.24	3.30	3600.04	86400.89	9.54			2839.47	33.58			306.69	34.85	11148.70	11.90	78393.30	44872.97	470381.25	2.034	6.00	0.544	1.652
90	120	11.36	3.30	3600.14	86403.45	9.54			2839.50	33.58			306.69	34.85	11148.76	11.90	78395.79	44872.97	470358.95	2.034	6.00	0.544	1.652

Fuente: Logacho & Orozco

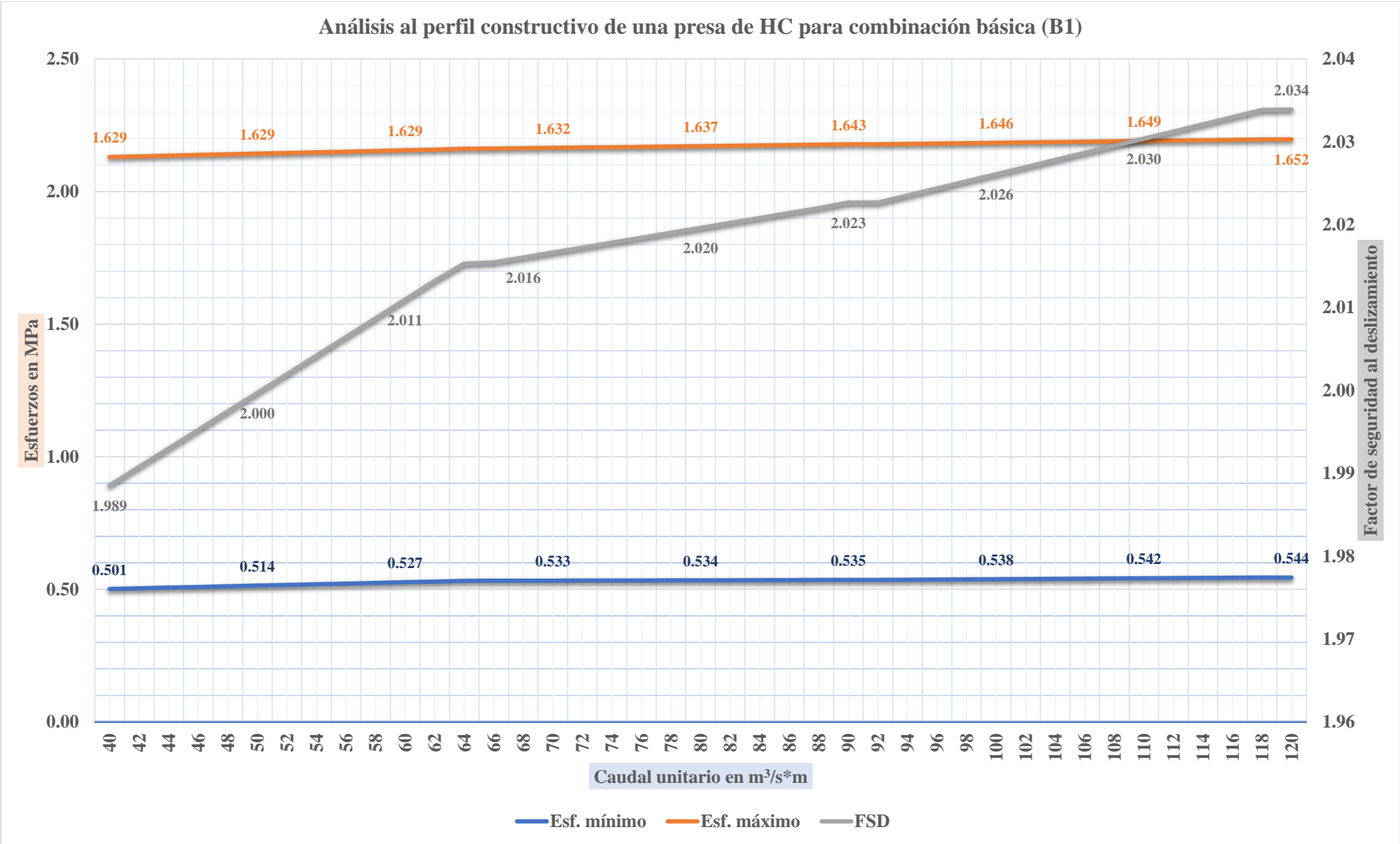


Figura 3-10. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de Hp= 90m  
 Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-16.

Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de Hp=100 m cimentada en ROCA BUENA para combinación básica (B1)

ANÁLISIS DEL PERFIL CONSTRUCTIVO PARA PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO CIMENTADA EN ROCA																							
m <sub>1</sub>	0.025	b <sub>PTT</sub>	68.50	α °	88.57	hdent	10	J <sub>perm</sub>	12.5	hdren	20	ξ <sub>sed=</sub>	0.66	Ψ	1.43	a <sub>3</sub>	1.00	a	10.5	f	0.8		
m <sub>2</sub>	0.66	b <sub>PCO</sub>	73.30	θ °	56.58	hcor	40	δcor	8	m <sub>1+m<sub>2</sub></sub>	0.69	γ <sub>o=</sub>	10	hs	40	γ <sub>ssed=</sub>	10.00	η	0.034	C	400		
Hp	q	hcr	h <sub>esc</sub>	Área	G	x	PH1	y	Pv1	x	P <sub>Hs</sub>	y	P <sub>vs</sub>	x	W	x	ΣN	ΣT	ΣM	FSD	e	σ' <sub>y</sub>	σ'' <sub>y</sub>
100	40	5.46	1.50	3995.31	95887.45	10.01			1250.00	35.81			132.53	36.31	12579.50	12.22	84690.48	55301.33	881405.18	1.755	10.41	0.171	2.140
100	42	5.64	1.80	4000.81	96019.45	10.01			1250.41	35.83			132.58	36.33	12581.89	12.22	84820.09	55301.33	880470.98	1.757	10.38	0.174	2.140
100	44	5.82	1.80	4006.32	96151.63	10.01			1250.82	35.84			132.62	36.34	12584.28	12.22	84949.88	55301.33	879535.76	1.759	10.35	0.177	2.139
100	46	6.00	1.80	4011.83	96283.99	10.00			1251.22	35.85			132.66	36.35	12586.68	12.23	85079.84	55301.33	878599.51	1.761	10.33	0.180	2.139
100	48	6.17	1.80	4017.36	96416.53	10.00			1251.63	35.86			132.71	36.36	12589.07	12.23	85209.99	55301.33	877662.23	1.764	10.30	0.183	2.139
100	50	6.34	1.80	4022.89	96549.25	10.00			1252.04	35.87			132.75	36.37	12591.46	12.24	85340.32	55301.33	876723.93	1.766	10.27	0.186	2.138
100	52	6.51	2.10	4028.42	96682.16	9.99			1252.45	35.88			132.79	36.39	12593.86	12.24	85470.84	55301.33	875784.59	1.768	10.25	0.190	2.138
100	54	6.67	2.10	4033.97	96815.25	9.99			1252.86	35.90			132.84	36.40	12596.25	12.24	85601.53	55301.33	874844.23	1.770	10.22	0.193	2.138
100	56	6.84	2.10	4039.52	96948.52	9.99			1253.27	35.91			132.88	36.41	12598.65	12.25	85732.41	55301.33	873902.83	1.772	10.19	0.196	2.138
100	58	7.00	2.10	4045.08	97081.98	9.98			1253.67	35.92			132.92	36.42	12601.05	12.25	85863.47	55301.33	872960.40	1.774	10.17	0.199	2.137
100	60	7.16	2.10	4050.65	97215.62	9.98			1254.08	35.93			132.97	36.43	12603.44	12.26	85994.71	55301.33	872016.94	1.776	10.14	0.202	2.137
100	62	7.32	2.10	4056.23	97349.45	9.98			1254.49	35.94			133.01	36.45	12605.84	12.26	86126.14	55301.33	871072.44	1.778	10.11	0.205	2.137
100	64	7.47	2.10	4061.81	97483.46	9.97			1254.49	35.94			133.05	36.45	12605.84	12.26	86260.15	55301.33	870047.06	1.780	10.09	0.208	2.137
100	66	7.63	2.40	4062.42	97498.01	9.97			1254.32	35.94			133.05	36.44	12604.84	12.26	86275.71	55301.33	869868.41	1.780	10.08	0.208	2.138
100	68	7.78	2.40	4064.19	97540.64	9.97			1254.15	35.93			133.03	36.44	12603.83	12.26	86319.34	55301.33	870153.29	1.781	10.08	0.208	2.139
100	70	7.93	2.40	4065.97	97583.28	9.96			1253.98	35.93			133.02	36.43	12602.82	12.25	86362.99	55301.33	870438.08	1.781	10.08	0.209	2.141
100	72	8.08	2.40	4067.75	97625.95	9.95			1253.81	35.92			133.00	36.43	12601.82	12.25	86406.66	55301.33	870722.76	1.782	10.08	0.209	2.142
100	74	8.23	2.40	4069.53	97668.63	9.94			1253.63	35.92			132.98	36.42	12600.81	12.25	86450.35	55301.33	871007.35	1.782	10.08	0.209	2.143
100	76	8.38	2.40	4071.31	97711.33	9.94			1253.46	35.91			132.96	36.42	12599.81	12.25	86494.06	55301.33	871291.85	1.783	10.07	0.209	2.145
100	78	8.53	2.70	4073.09	97754.05	9.93			1253.29	35.91			132.94	36.41	12598.80	12.25	86537.78	55301.33	871576.25	1.783	10.07	0.209	2.146
100	80	8.67	2.70	4074.87	97796.79	9.92	50000	33.33	1253.12	35.90	5301.33	13.33	132.93	36.41	12597.79	12.25	86581.52	55301.33	871860.55	1.784	10.07	0.209	2.147
100	82	8.82	2.70	4076.65	97839.54	9.91			1252.95	35.90			132.91	36.40	12596.79	12.24	86625.29	55301.33	872144.76	1.785	10.07	0.210	2.149
100	84	8.96	2.70	4078.43	97882.32	9.91			1252.78	35.89			132.89	36.40	12595.78	12.24	86669.07	55301.33	872428.87	1.785	10.07	0.210	2.150
100	86	9.10	2.70	4080.21	97925.11	9.90			1252.61	35.89			132.87	36.39	12594.78	12.24	86712.87	55301.33	872712.88	1.786	10.06	0.210	2.151
100	88	9.24	2.70	4082.00	97967.93	9.89			1252.43	35.88			132.85	36.39	12593.77	12.24	86756.69	55301.33	872996.80	1.786	10.06	0.210	2.153
100	90	9.38	2.70	4083.78	98010.76	9.88			1252.43	35.88			132.83	36.39	12593.77	12.24	86799.52	55301.33	873314.01	1.787	10.06	0.210	2.154
100	92	9.52	3.00	4083.84	98012.22	9.88			1252.40	35.88			132.83	36.38	12593.56	12.24	86801.20	55301.33	873292.41	1.787	10.06	0.210	2.154
100	94	9.66	3.00	4086.17	98068.00	9.88			1252.36	35.88			132.83	36.38	12593.35	12.24	86857.18	55301.33	873290.47	1.788	10.05	0.211	2.154
100	96	9.79	3.00	4088.49	98123.80	9.87			1252.32	35.88			132.83	36.38	12593.13	12.24	86913.20	55301.33	873288.52	1.788	10.05	0.212	2.155
100	98	9.93	3.00	4090.82	98179.64	9.87			1252.29	35.88			132.82	36.38	12592.92	12.24	86969.25	55301.33	873286.57	1.789	10.04	0.213	2.156
100	100	10.06	3.00	4093.15	98235.51	9.86			1252.25	35.88			132.82	36.38	12592.70	12.24	87025.34	55301.33	873284.63	1.790	10.03	0.213	2.157
100	102	10.20	3.00	4095.48	98291.41	9.85			1252.22	35.88			132.82	36.38	12592.49	12.24	87081.45	55301.33	873282.69	1.791	10.03	0.214	2.158
100	104	10.33	3.00	4097.81	98347.34	9.85			1252.18	35.88			132.81	36.38	12592.27	12.24	87137.60	55301.33	873280.74	1.792	10.02	0.215	2.159
100	106	10.46	3.00	4100.14	98403.30	9.84			1252.14	35.88			132.81	36.38	12592.06	12.24	87193.78	55301.33	873278.80	1.792	10.02	0.216	2.160
100	108	10.59	3.30	4102.47	98459.30	9.84			1252.11	35.87			132.80	36.38	12591.85	12.24	87249.98	55301.33	873276.85	1.793	10.01	0.216	2.160
100	110	10.72	3.30	4104.81	98515.33	9.83			1252.07	35.87			132.80	36.37	12591.63	12.24	87306.23	55301.33	873274.91	1.794	10.00	0.217	2.161
100	112	10.85	3.30	4107.14	98571.38	9.83			1252.03	35.87			132.80	36.37	12591.42	12.24	87362.50	55301.33	873272.97	1.795	10.00	0.218	2.162
100	114	10.98	3.30	4109.48	98627.48	9.82			1252.00	35.87			132.79	36.37	12591.20	12.24	87418.81	55301.33	873271.03	1.796	9.99	0.219	2.163
100	116	11.11	3.30	4111.82	98683.60	9.81			1251.96	35.87			132.79	36.37	12590.99	12.23	87475.14	55301.33	873269.08	1.796	9.98	0.219	2.164
100	118	11.24	3.30	4114.16	98739.75	9.81			1251.97	35.87			132.78	36.37	12591.06	12.24	87531.22	55301.33	873276.69	1.797	9.98	0.220	2.165
100	120	11.36	3.30	4114.28	98742.68	9.81			1251.98	35.87			132.79	36.37	12591.14	12.24	87534.07	55301.33	873250.46	1.797	9.98	0.220	2.165

Fuente: Logacho & Orozco

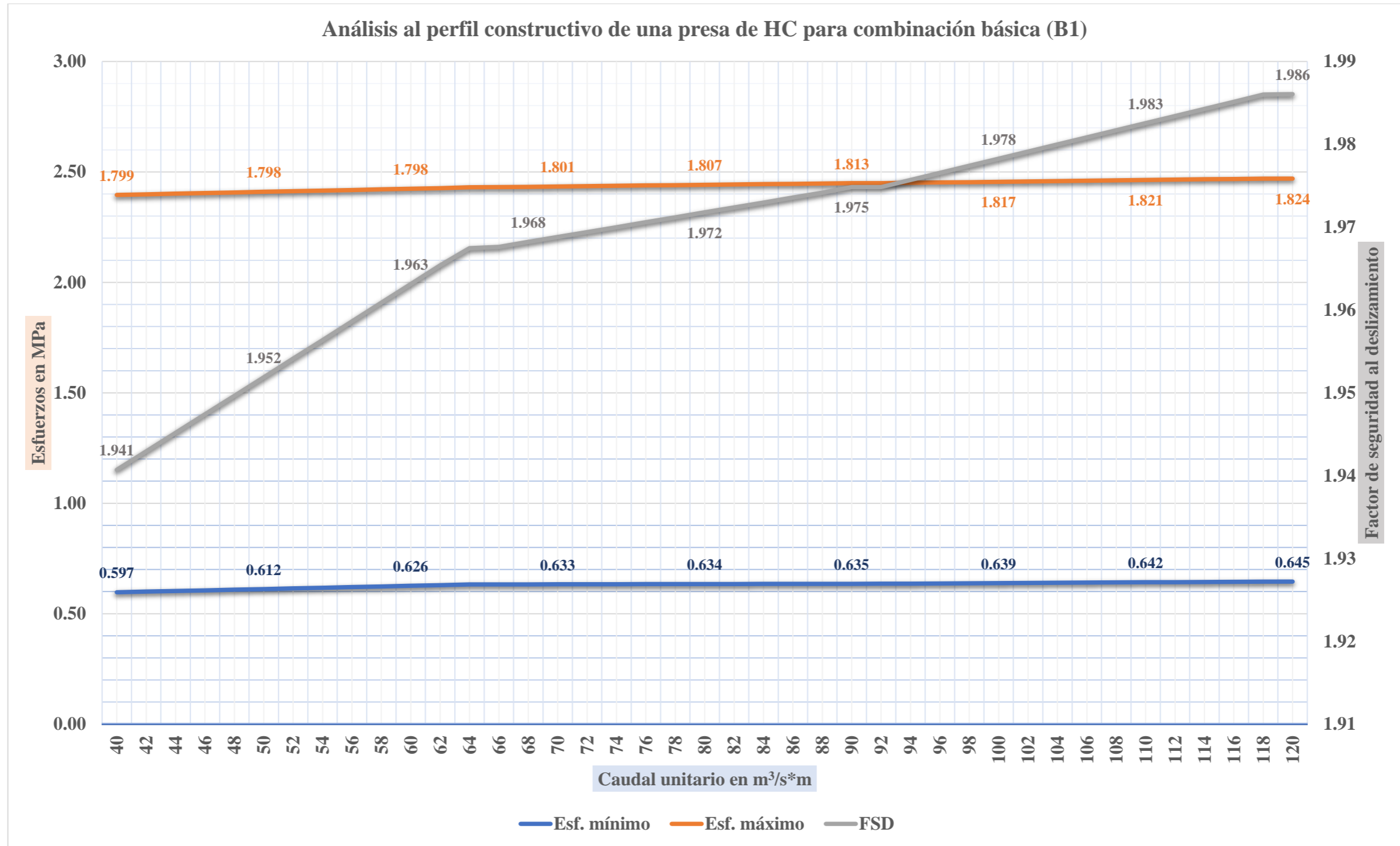


Figura 3-11. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de Hp= 100m  
 Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-17.

Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de Hp=110 m cimentada en ROCA BUENA para combinación básica (B1)

ANÁLISIS DEL PERFIL CONSTRUCTIVO PARA PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO CIMENTADA EN ROCA																							
m1	0.08	bPTT	81.40	α °	85.43	hdent	11	Jperm	12.5	hdren	22	ξsed=	0.68	Ψ	4.57	a3	3.52	a	10.5	f	0.8		
m2	0.66	bPCO	87.10	θ °	56.58	hcor	44	δcor	8	m1+m2	0.74	y0=	10	hs	44	Ysed=	10.00	η	0.101	C	400		
Hp	q	hcr	hesc	Área	G	x	PH1	y	Pv1	x	PHs	y	Pvs	x	W	x	ΣN	ΣT	ΣM	FSD	e	σ'y	σ''y
110	40	5.46	1.50	5222.48	125339.60	11.90			4840.00	40.62			524.65	42.38	15355.78	14.52	115348.47	67058.16	827378.24	1.896	7.17	0.670	1.979
110	42	5.64	1.80	5229.67	125512.14	11.89			4841.58	40.63			524.82	42.39	15358.91	14.52	115517.88	67058.16	825921.98	1.898	7.15	0.673	1.979
110	44	5.82	1.80	5236.87	125684.91	11.89			4843.16	40.64			525.00	42.40	15362.03	14.53	115687.53	67058.16	824464.13	1.900	7.13	0.676	1.979
110	46	6.00	1.80	5244.08	125857.93	11.89			4844.74	40.66			525.17	42.42	15365.16	14.53	115857.42	67058.16	823004.69	1.902	7.10	0.679	1.979
110	48	6.17	1.80	5251.30	126031.18	11.88			4846.32	40.67			525.34	42.43	15368.29	14.54	116027.55	67058.16	821543.64	1.904	7.08	0.682	1.978
110	50	6.34	1.80	5258.53	126204.67	11.88			4847.90	40.68			525.51	42.45	15371.42	14.54	116197.91	67058.16	820081.00	1.907	7.06	0.685	1.978
110	52	6.51	2.10	5265.77	126378.40	11.87			4849.48	40.70			525.68	42.46	15374.55	14.54	116368.51	67058.16	818616.76	1.909	7.03	0.689	1.978
110	54	6.67	2.10	5273.02	126552.37	11.87			4851.06	40.71			525.85	42.48	15377.68	14.55	116539.35	67058.16	817150.91	1.911	7.01	0.692	1.978
110	56	6.84	2.10	5280.27	126726.58	11.87			4852.65	40.72			526.02	42.49	15380.81	14.55	116710.42	67058.16	815683.46	1.913	6.99	0.695	1.978
110	58	7.00	2.10	5287.54	126901.03	11.86			4854.23	40.74			526.20	42.50	15383.94	14.56	116881.74	67058.16	814214.41	1.915	6.97	0.698	1.978
110	60	7.16	2.10	5294.82	127075.72	11.86			4855.81	40.75			526.37	42.52	15387.08	14.56	117053.29	67058.16	812743.74	1.918	6.94	0.701	1.978
110	62	7.32	2.10	5302.11	127250.65	11.86			4857.40	40.76			526.54	42.53	15390.21	14.57	117225.09	67058.16	811271.47	1.920	6.92	0.704	1.978
110	64	7.47	2.10	5309.41	127425.82	11.85			4857.40	40.76			526.71	42.53	15390.21	14.57	117400.26	67058.16	809678.74	1.922	6.90	0.707	1.979
110	66	7.63	2.40	5310.20	127444.84	11.85			4856.73	40.76			526.71	42.53	15388.90	14.57	117420.60	67058.16	809403.40	1.922	6.89	0.708	1.979
110	68	7.78	2.40	5312.52	127500.56	11.84			4856.07	40.75			526.64	42.52	15387.58	14.56	117477.63	67058.16	809848.08	1.923	6.89	0.708	1.981
110	70	7.93	2.40	5314.85	127556.31	11.83			4855.40	40.74			526.57	42.51	15386.27	14.56	117534.69	67058.16	810292.61	1.923	6.89	0.708	1.982
110	72	8.08	2.40	5317.17	127612.08	11.82			4854.74	40.74			526.49	42.51	15384.95	14.56	117591.78	67058.16	810736.98	1.924	6.89	0.709	1.983
110	74	8.23	2.40	5319.49	127667.87	11.82			4854.07	40.73			526.42	42.50	15383.64	14.56	117648.88	67058.16	811181.21	1.925	6.89	0.709	1.985
110	76	8.38	2.40	5321.82	127723.68	11.81			4853.41	40.73			526.35	42.50	15382.32	14.56	117706.01	67058.16	811625.29	1.925	6.90	0.709	1.986
110	78	8.53	2.70	5324.15	127779.52	11.80			4852.74	40.72			526.28	42.49	15381.01	14.55	117763.17	67058.16	812069.22	1.926	6.90	0.710	1.987
110	80	8.67	2.70	5326.47	127835.39	11.79	60500	36.67	4852.08	40.72	6558.16	14.67	526.21	42.48	15379.69	14.55	117820.35	67058.16	812512.99	1.926	6.90	0.710	1.989
110	82	8.82	2.70	5328.80	127891.28	11.78			4851.42	40.71			526.13	42.48	15378.38	14.55	117877.55	67058.16	812956.62	1.927	6.90	0.710	1.990
110	84	8.96	2.70	5331.13	127947.19	11.77			4850.75	40.71			526.06	42.47	15377.07	14.55	117934.78	67058.16	813400.10	1.928	6.90	0.711	1.992
110	86	9.10	2.70	5333.46	128003.13	11.76			4850.09	40.70			525.99	42.47	15375.75	14.55	117992.03	67058.16	813843.43	1.928	6.90	0.711	1.993
110	88	9.24	2.70	5335.80	128059.10	11.75			4849.43	40.69			525.92	42.46	15374.44	14.54	118049.31	67058.16	814286.61	1.929	6.90	0.711	1.994
110	90	9.38	2.70	5338.13	128115.08	11.74			4849.43	40.69			525.85	42.46	15374.44	14.54	118105.30	67058.16	814779.35	1.930	6.90	0.711	1.995
110	92	9.52	3.00	5338.21	128117.00	11.74			4849.28	40.69			525.85	42.46	15374.16	14.54	118107.49	67058.16	814746.25	1.930	6.90	0.711	1.995
110	94	9.66	3.00	5341.25	128189.90	11.74			4849.14	40.69			525.83	42.46	15373.88	14.54	118180.68	67058.16	814743.69	1.930	6.89	0.712	1.996
110	96	9.79	3.00	5344.29	128262.85	11.73			4849.00	40.69			525.82	42.46	15373.60	14.54	118253.90	67058.16	814741.13	1.931	6.89	0.713	1.997
110	98	9.93	3.00	5347.33	128335.84	11.72			4848.86	40.69			525.80	42.46	15373.32	14.54	118327.17	67058.16	814738.57	1.932	6.89	0.714	1.998
110	100	10.06	3.00	5350.37	128408.86	11.72			4848.72	40.69			525.78	42.45	15373.04	14.54	118400.48	67058.16	814736.01	1.933	6.88	0.715	1.999
110	102	10.20	3.00	5353.41	128481.93	11.71			4848.58	40.69			525.77	42.45	15372.76	14.54	118473.83	67058.16	814733.45	1.934	6.88	0.716	2.000
110	104	10.33	3.00	5356.46	128555.05	11.70			4848.44	40.69			525.75	42.45	15372.48	14.54	118547.22	67058.16	814730.89	1.935	6.87	0.717	2.001
110	106	10.46	3.00	5359.51	128628.20	11.70			4848.29	40.69			525.74	42.45	15372.20	14.54	118620.65	67058.16	814728.33	1.936	6.87	0.717	2.002
110	108	10.59	3.30	5362.56	128701.39	11.69			4848.15	40.68			525.72	42.45	15371.92	14.54	118694.13	67058.16	814725.78	1.936	6.86	0.718	2.003
110	110	10.72	3.30	5365.61	128774.63	11.68			4848.01	40.68			525.71	42.45	15371.64	14.54	118767.65	67058.16	814723.22	1.937	6.86	0.719	2.004
110	112	10.85	3.30	5368.66	128847.91	11.68			4847.87	40.68			525.69	42.45	15371.36	14.54	118841.20	67058.16	814720.66	1.938	6.86	0.720	2.005
110	114	10.98	3.30	5371.72	128921.23	11.67			4847.73	40.68			525.68	42.45	15371.08	14.54	118914.80	67058.16	814718.11	1.939	6.85	0.721	2.005
110	116	11.11	3.30	5374.77	128994.59	11.66			4847.59	40.68			525.66	42.44	15370.80	14.54	118988.44	67058.16	814715.55	1.940	6.85	0.722	2.006
110	118	11.24	3.30	5377.83	129067.99	11.66			4847.64	40.68			525.65	42.44	15370.90	14.54	119061.75	67058.16	814727.21	1.941	6.84	0.722	2.007
110	120	11.36	3.30	5377.99	129071.81	11.66			4847.68	40.68			525.65	42.44	15370.99	14.54	119065.48	67058.16	814686.31	1.941	6.84	0.723	2.007

Fuente: Logacho & Orozco



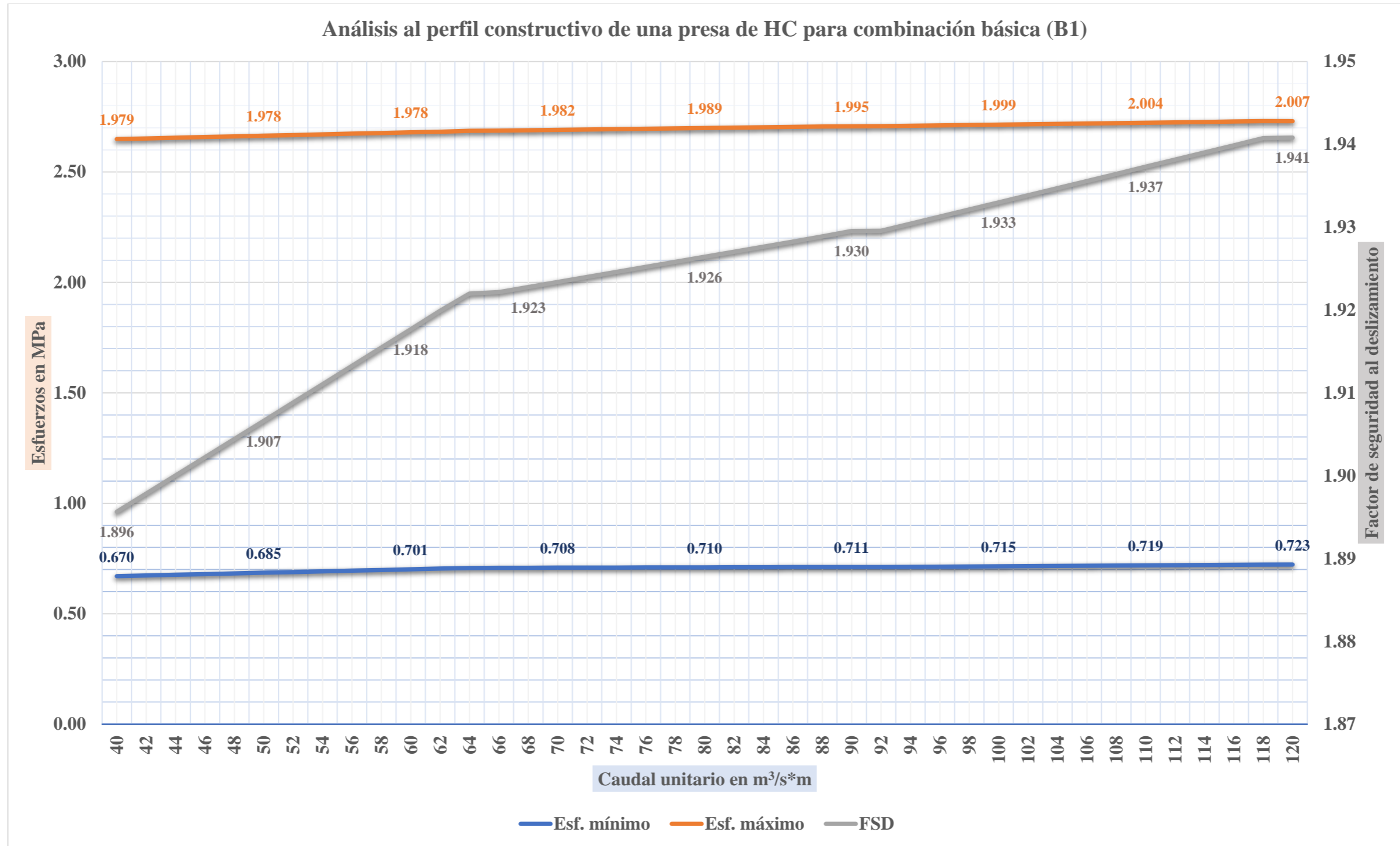


Figura 3-12. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de Hp= 110m  
 Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-18.

Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de Hp=120 m cimentada en ROCA BUENA para combinación básica (B1)

ANÁLISIS DEL PERFIL CONSTRUCTIVO PARA PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO CIMENTADA EN ROCA																							
m <sub>1</sub>	0.08	b <sub>PTT</sub>	87.60	α °	85.43	hdent	12	J <sub>perm</sub>	12.5	hdren	24	ξ <sub>sed</sub> =	0.68	Ψ	4.57	a <sub>3</sub>	3.84	a	10.5	f	0.8		
m <sub>2</sub>	0.65	b <sub>PCO</sub>	93.73	θ °	56.98	hcor	48	δ <sub>cor</sub>	8	m <sub>1</sub> +m <sub>2</sub>	0.73	γ <sub>o</sub> =	10	hs	48	γ <sub>ssed</sub> =	10.00	η	0.102	C	400		
Hp	q	hcr	hesc	Área	G	x	PH1	y	Pv1	x	P <sub>Hs</sub>	y	P <sub>vs</sub>	x	W	x	ΣN	ΣT	ΣM	FSD	e	σ' <sub>y</sub>	σ'' <sub>y</sub>
120	40	5.46	1.50	6131.20	147148.74	12.80			5760.00	43.67			624.38	45.59	17547.84	15.62	135985.28	79804.75	1114967.47	1.833	8.20	0.689	2.212
120	42	5.64	1.80	6139.64	147351.30	12.80			5761.88	43.68			624.58	45.60	17551.51	15.63	136184.17	79804.75	1113125.17	1.835	8.17	0.693	2.212
120	44	5.82	1.80	6148.09	147554.14	12.80			5763.76	43.69			624.79	45.62	17555.18	15.63	136383.34	79804.75	1111280.84	1.837	8.15	0.696	2.212
120	46	6.00	1.80	6156.55	147757.26	12.79			5765.64	43.71			624.99	45.63	17558.85	15.64	136582.79	79804.75	1109434.50	1.839	8.12	0.700	2.212
120	48	6.17	1.80	6165.03	147960.66	12.79			5767.52	43.72			625.20	45.65	17562.52	15.64	136782.52	79804.75	1107586.14	1.842	8.10	0.703	2.212
120	50	6.34	1.80	6173.51	148164.34	12.78			5769.40	43.74			625.40	45.66	17566.20	15.65	136982.52	79804.75	1105735.76	1.844	8.07	0.706	2.212
120	52	6.51	2.10	6182.01	148368.30	12.78			5771.28	43.75			625.60	45.68	17569.87	15.65	137182.81	79804.75	1103883.36	1.846	8.05	0.710	2.212
120	54	6.67	2.10	6190.52	148572.54	12.78			5773.17	43.77			625.81	45.69	17573.55	15.66	137383.37	79804.75	1102028.93	1.848	8.02	0.713	2.212
120	56	6.84	2.10	6199.04	148777.06	12.77			5775.05	43.78			626.01	45.71	17577.23	15.66	137584.22	79804.75	1100172.47	1.850	8.00	0.717	2.211
120	58	7.00	2.10	6207.58	148981.87	12.77			5776.93	43.79			626.22	45.72	17580.90	15.67	137785.34	79804.75	1098313.98	1.852	7.97	0.720	2.211
120	60	7.16	2.10	6216.12	149186.95	12.76			5778.82	43.81			626.42	45.74	17584.58	15.67	137986.75	79804.75	1096453.46	1.855	7.95	0.723	2.211
120	62	7.32	2.10	6224.68	149392.32	12.76			5780.70	43.82			626.62	45.75	17588.27	15.68	138188.43	79804.75	1094590.91	1.857	7.92	0.727	2.211
120	64	7.47	2.10	6233.25	149597.97	12.75			5780.70	43.82			626.83	45.75	17588.27	15.68	138394.08	79804.75	1092578.62	1.859	7.89	0.730	2.212
120	66	7.63	2.40	6234.18	149620.30	12.75			5779.91	43.82			626.83	45.75	17586.72	15.68	138417.96	79804.75	1092231.78	1.859	7.89	0.731	2.212
120	68	7.78	2.40	6236.90	149685.72	12.74			5779.12	43.81			626.74	45.74	17585.18	15.67	138484.92	79804.75	1092794.63	1.860	7.89	0.731	2.214
120	70	7.93	2.40	6239.63	149751.16	12.74			5778.33	43.80			626.66	45.74	17583.63	15.67	138551.91	79804.75	1093357.28	1.860	7.89	0.732	2.215
120	72	8.08	2.40	6242.36	149816.63	12.73			5777.54	43.80			626.57	45.73	17582.09	15.67	138618.92	79804.75	1093919.74	1.861	7.89	0.732	2.217
120	74	8.23	2.40	6245.09	149882.13	12.72			5776.75	43.79			626.49	45.72	17580.54	15.67	138685.97	79804.75	1094482.02	1.861	7.89	0.732	2.218
120	76	8.38	2.40	6247.82	149947.66	12.71			5775.96	43.79			626.40	45.72	17579.00	15.67	138753.04	79804.75	1095044.10	1.862	7.89	0.733	2.220
120	78	8.53	2.70	6250.55	150013.22	12.70			5775.17	43.78			626.31	45.71	17577.46	15.66	138820.14	79804.75	1095606.00	1.863	7.89	0.733	2.221
120	80	8.67	2.70	6253.28	150078.81	12.69	72000	40.00	5774.38	43.77	7804.75	16.00	626.23	45.70	17575.91	15.66	138887.27	79804.75	1096167.71	1.863	7.89	0.733	2.223
120	82	8.82	2.70	6256.02	150144.42	12.68			5773.59	43.77			626.14	45.70	17574.37	15.66	138954.43	79804.75	1096729.23	1.864	7.89	0.734	2.224
120	84	8.96	2.70	6258.75	150210.06	12.67			5772.80	43.76			626.06	45.69	17572.83	15.66	139021.61	79804.75	1097290.56	1.864	7.89	0.734	2.226
120	86	9.10	2.70	6261.49	150275.74	12.66			5772.01	43.76			625.97	45.68	17571.29	15.65	139088.83	79804.75	1097851.70	1.865	7.89	0.734	2.227
120	88	9.24	2.70	6264.23	150341.44	12.65			5771.22	43.75			625.89	45.68	17569.74	15.65	139156.07	79804.75	1098412.65	1.866	7.89	0.735	2.229
120	90	9.38	2.70	6266.97	150407.17	12.64			5771.22	43.75			625.80	45.68	17569.74	15.65	139221.80	79804.75	1099035.18	1.866	7.89	0.735	2.230
120	92	9.52	3.00	6267.06	150409.41	12.64			5771.05	43.75			625.80	45.68	17569.42	15.65	139224.38	79804.75	1098993.58	1.866	7.89	0.735	2.230
120	94	9.66	3.00	6270.63	150495.00	12.63			5770.88	43.75			625.78	45.67	17569.09	15.65	139310.30	79804.75	1098990.56	1.867	7.89	0.736	2.231
120	96	9.79	3.00	6274.19	150580.64	12.62			5770.71	43.75			625.76	45.67	17568.76	15.65	139396.26	79804.75	1098987.55	1.868	7.88	0.737	2.232
120	98	9.93	3.00	6277.76	150666.33	12.62			5770.54	43.75			625.75	45.67	17568.43	15.65	139482.28	79804.75	1098984.53	1.869	7.88	0.738	2.233
120	100	10.06	3.00	6281.34	150752.06	12.61			5770.38	43.74			625.73	45.67	17568.10	15.65	139568.34	79804.75	1098981.52	1.870	7.87	0.739	2.234
120	102	10.20	3.00	6284.91	150837.85	12.60			5770.21	43.74			625.71	45.67	17567.77	15.65	139654.46	79804.75	1098978.50	1.871	7.87	0.739	2.235
120	104	10.33	3.00	6288.49	150923.68	12.59			5770.04	43.74			625.69	45.67	17567.44	15.65	139740.62	79804.75	1098975.49	1.871	7.86	0.740	2.236
120	106	10.46	3.00	6292.07	151009.56	12.59			5769.87	43.74			625.67	45.67	17567.12	15.65	139826.83	79804.75	1098972.48	1.872	7.86	0.741	2.237
120	108	10.59	3.30	6295.65	151095.49	12.58			5769.70	43.74			625.65	45.66	17566.79	15.65	139913.09	79804.75	1098969.46	1.873	7.85	0.742	2.238
120	110	10.72	3.30	6299.23	151181.47	12.57			5769.53	43.74			625.64	45.66	17566.46	15.65	139999.40	79804.75	1098966.45	1.874	7.85	0.743	2.239
120	112	10.85	3.30	6302.81	151267.50	12.57			5769.37	43.74			625.62	45.66	17566.13	15.65	140085.75	79804.75	1098963.44	1.875	7.84	0.744	2.240
120	114	10.98	3.30	6306.40	151353.58	12.56			5769.20	43.74			625.60	45.66	17565.80	15.65	140172.16	79804.75	1098960.43	1.876	7.84	0.745	2.241
120	116	11.11	3.30	6309.99	151439.71	12.55			5769.03	43.73			625.58	45.66	17565.47	15.65	140258.61	79804.75	1098957.42	1.877	7.84	0.746	2.242
120	118	11.24	3.30	6313.58	151525.88	12.54			5769.09	43.73			625.56	45.66	17565.59	15.65	140344.68	79804.75	1098954.08	1.877	7.83	0.747	2.243
120	120	11.36	3.30	6313.77	151530.37	12.54			5769.15	43.74			625.57	45.66	17565.70	15.65	140349.05	79804.75	1098950.32	1.877	7.83	0.747	2.243

Fuente: Logacho & Orozco



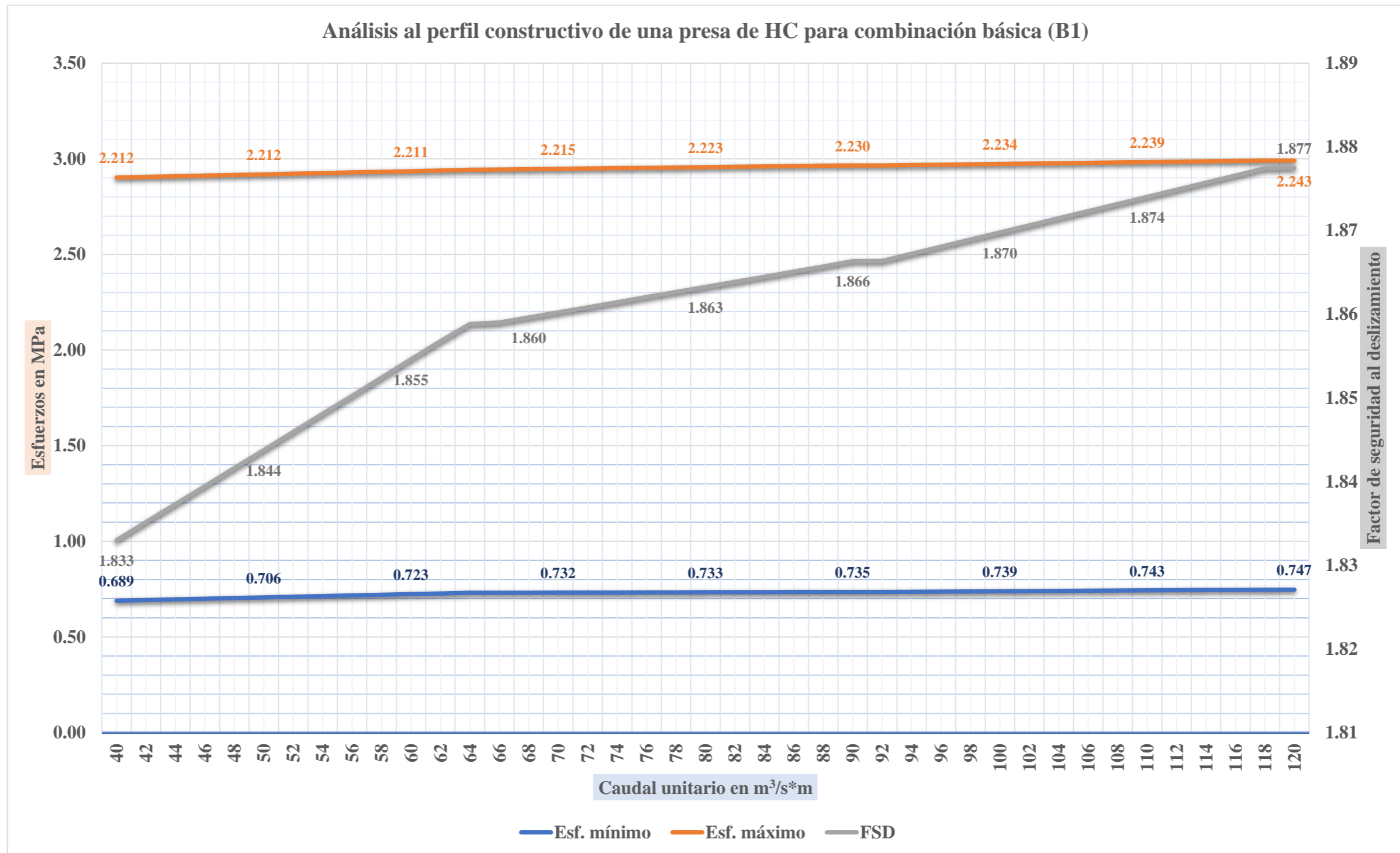


Figura 3-13. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación B1 de Hp= 120m  
 Fuente: Logacho & Orozco



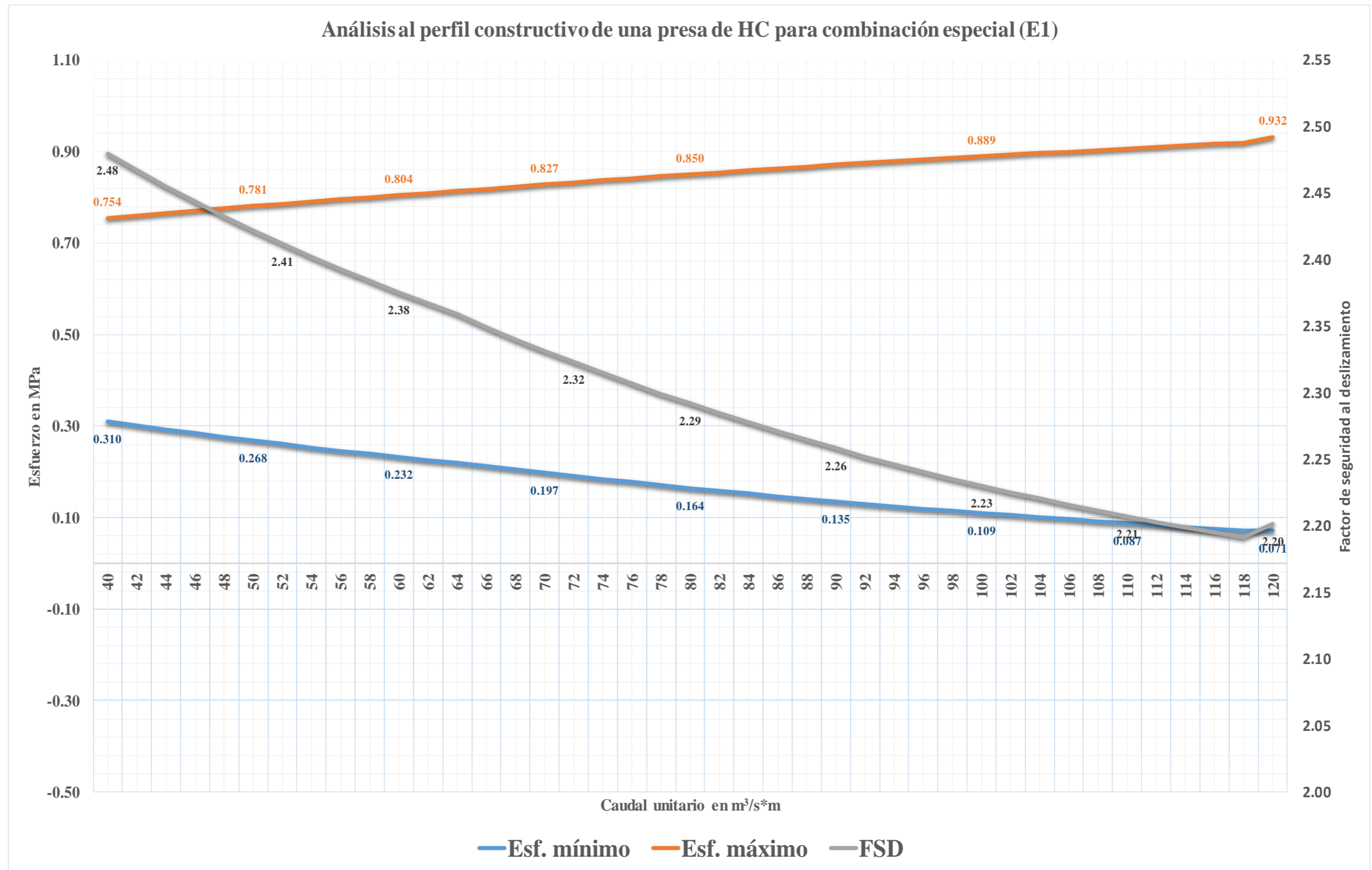


Figura 3-14. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de Hp= 50m  
 Fuente: Logacho & Orozco

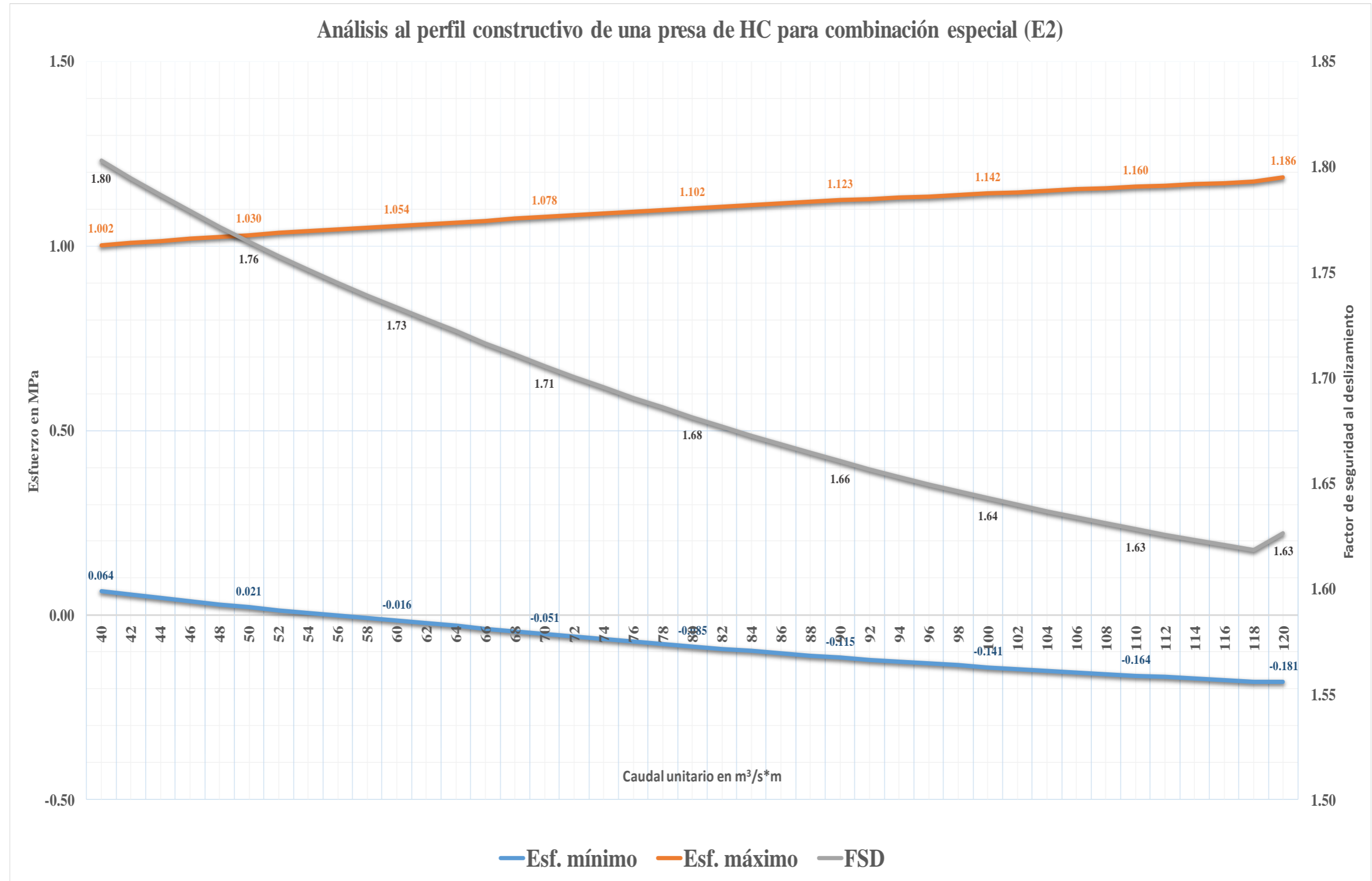


Figura 3-15. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de Hp= 50m  
Fuente: Logacho & Orozco



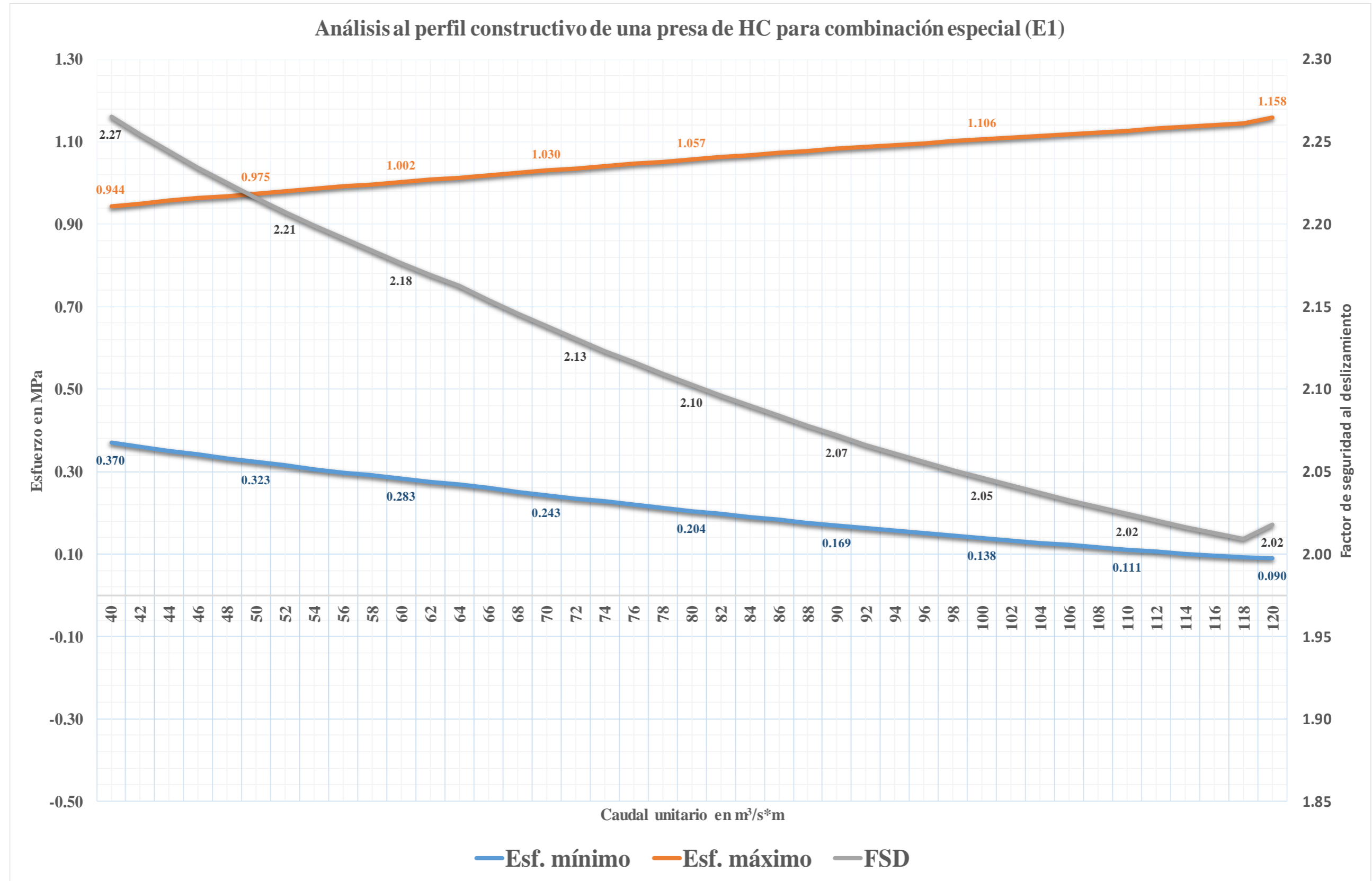


Figura 3-16. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de Hp= 60m  
Fuente: Logacho & Orozco

### Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación especial (E2)

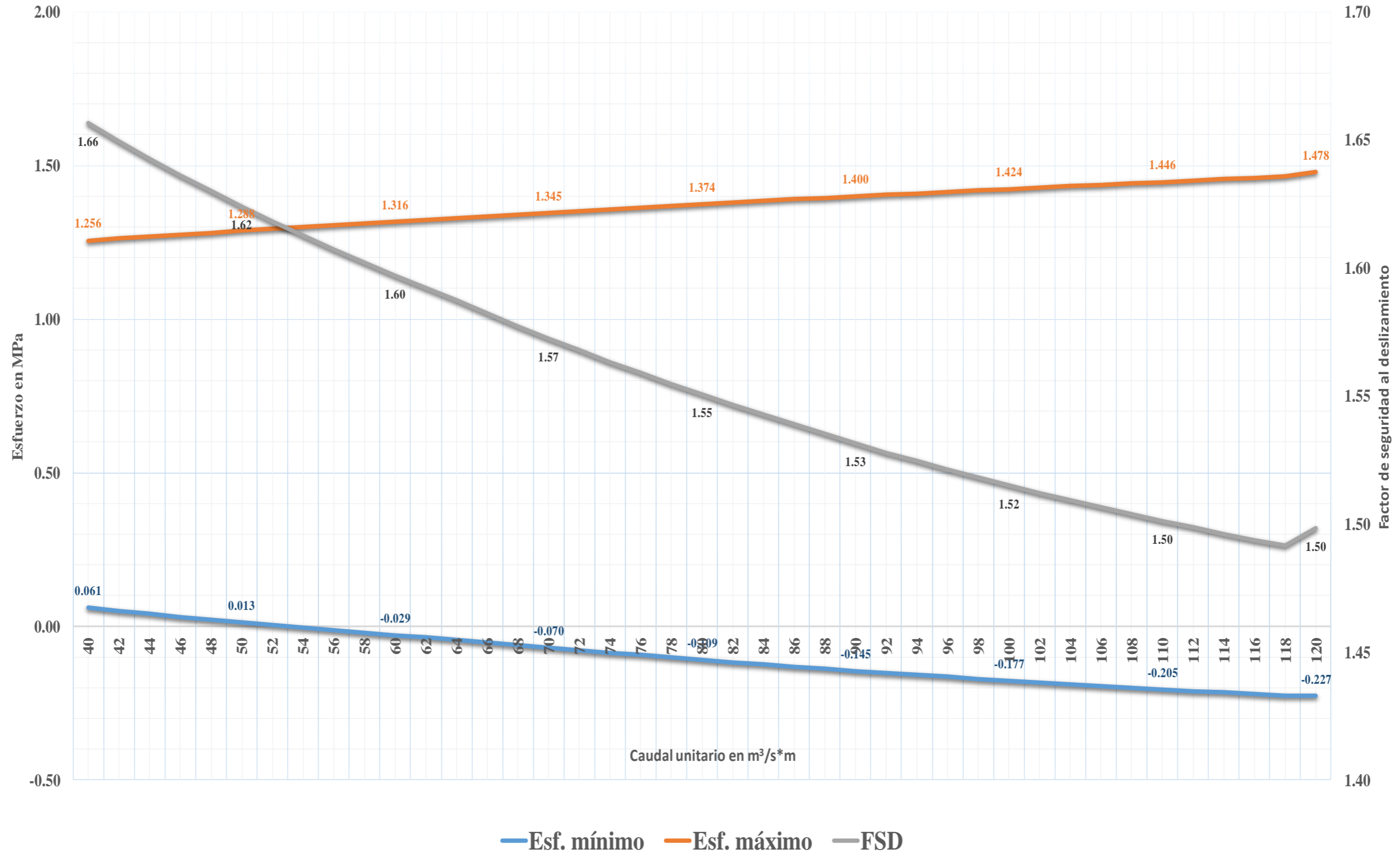


Figura 3-17. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de Hp= 60m  
Fuente: Logacho & Orozco







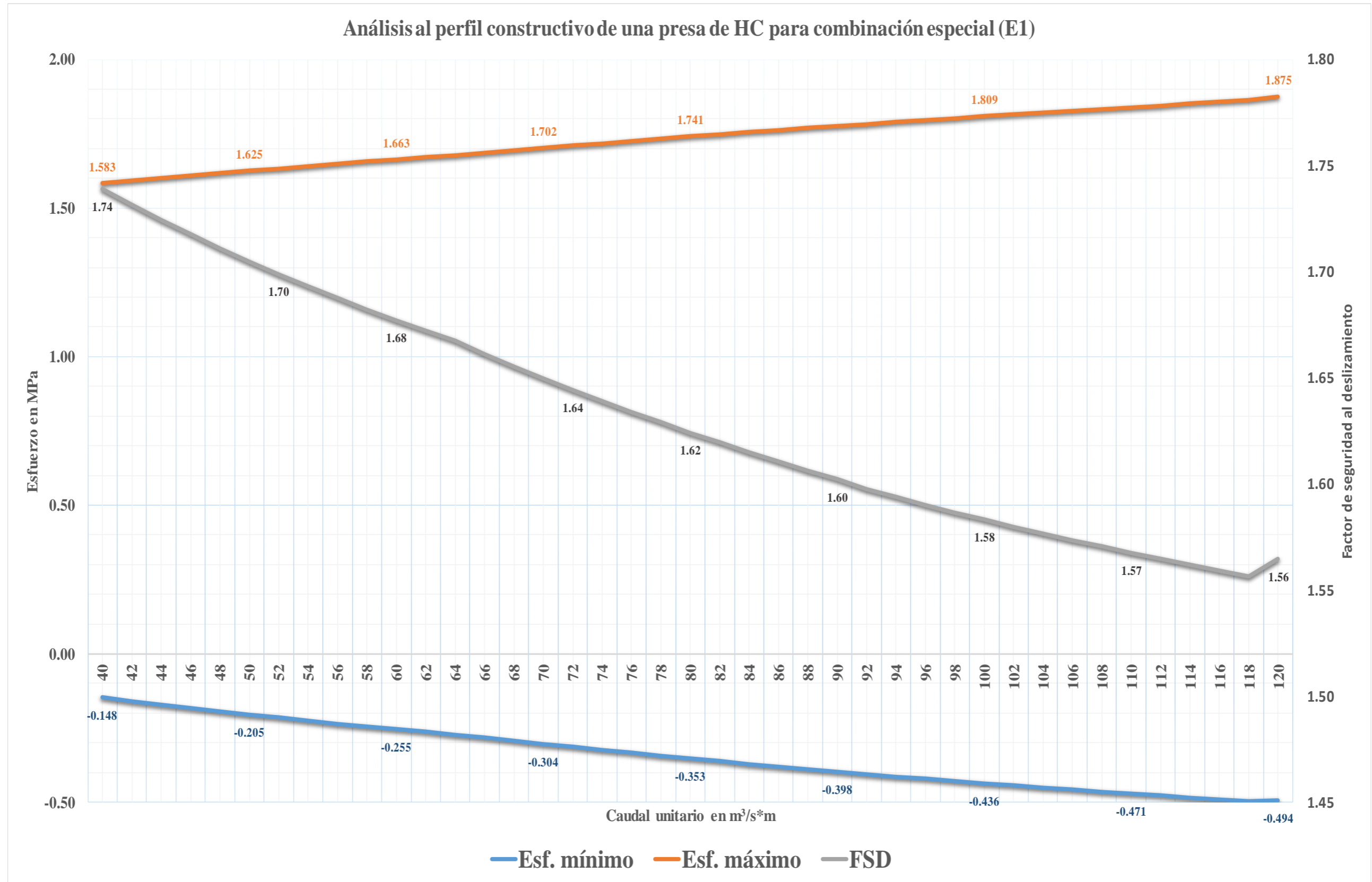


Figura 3-18. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de Hp= 70m  
Fuente: Logacho & Orozco

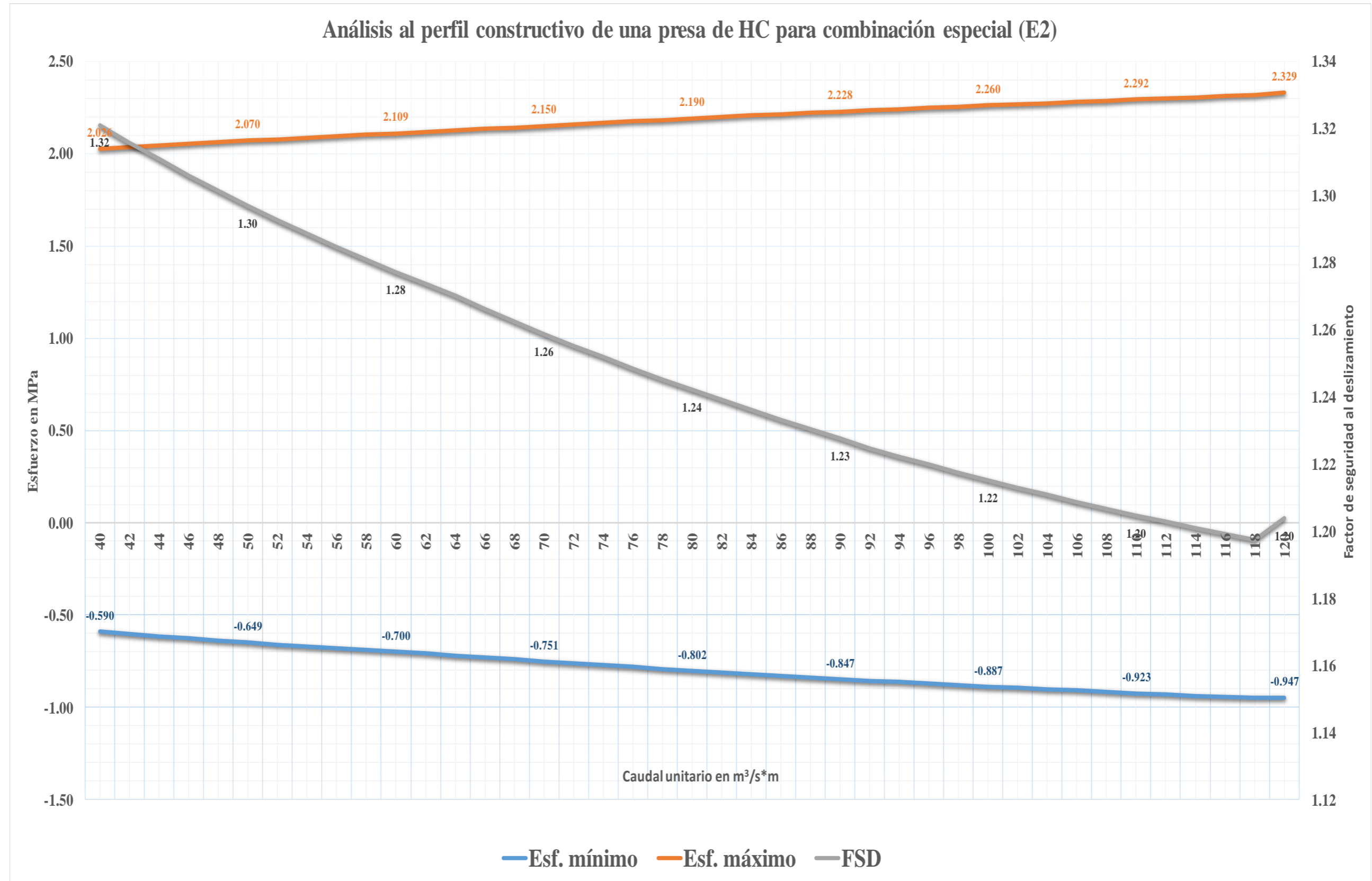


Figura 3-19. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de Hp= 70m.  
Fuente: Logacho & Orozco



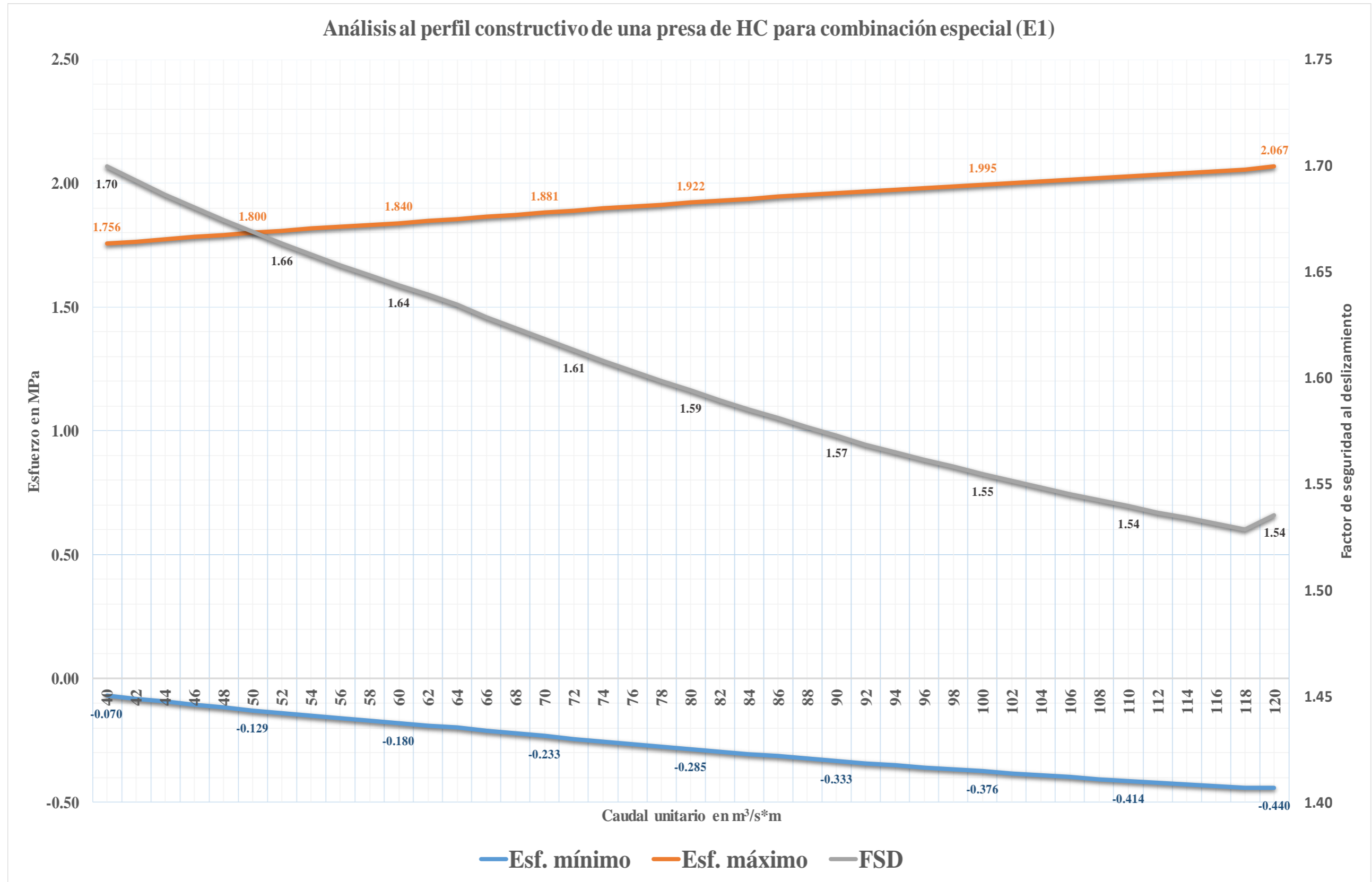


Figura 3-20. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de Hp= 80m.  
Fuente: Logacho & Orozco

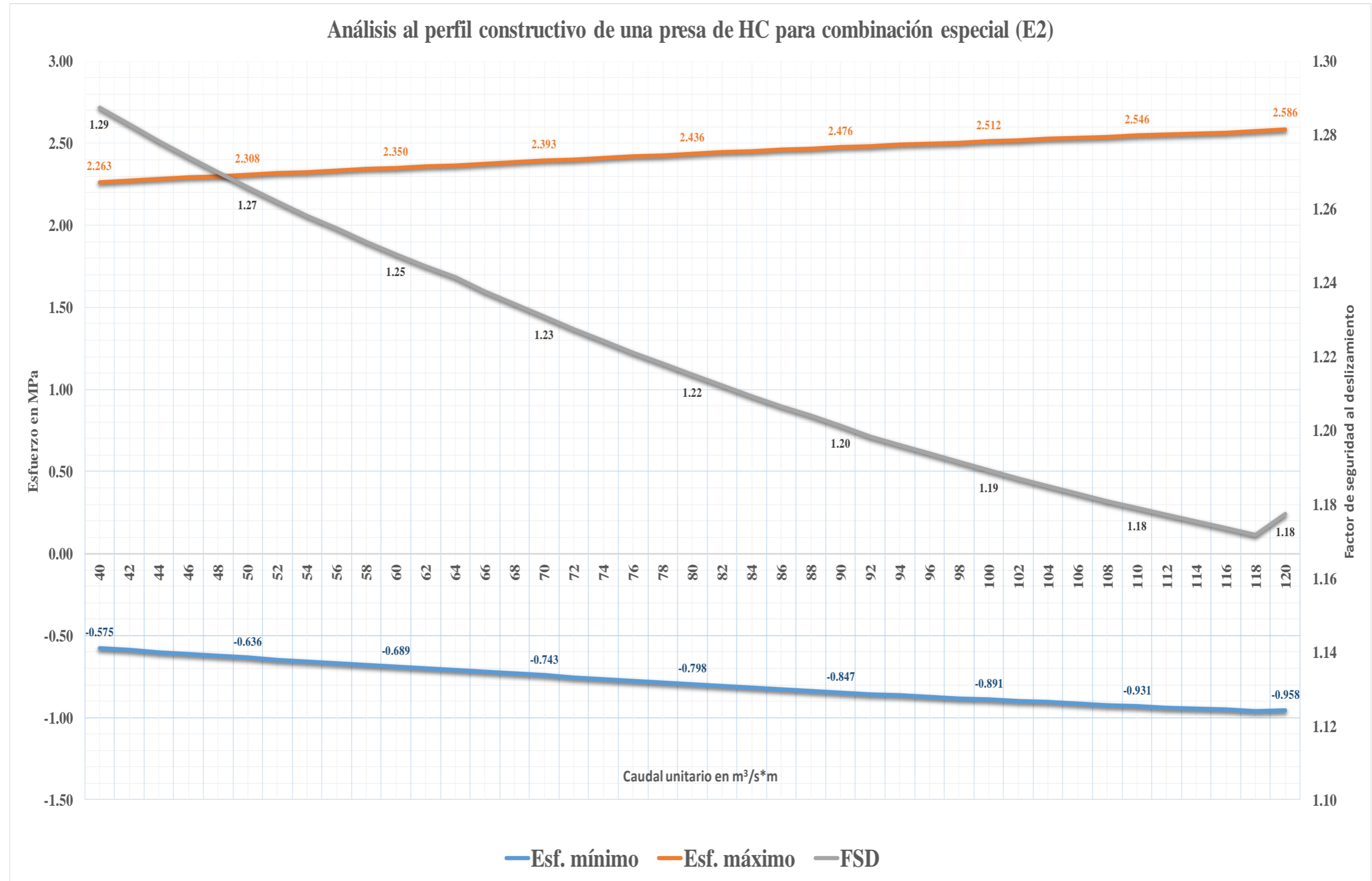


Figura 3-21. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de Hp= 80m.  
Fuente: Logacho & Orozco





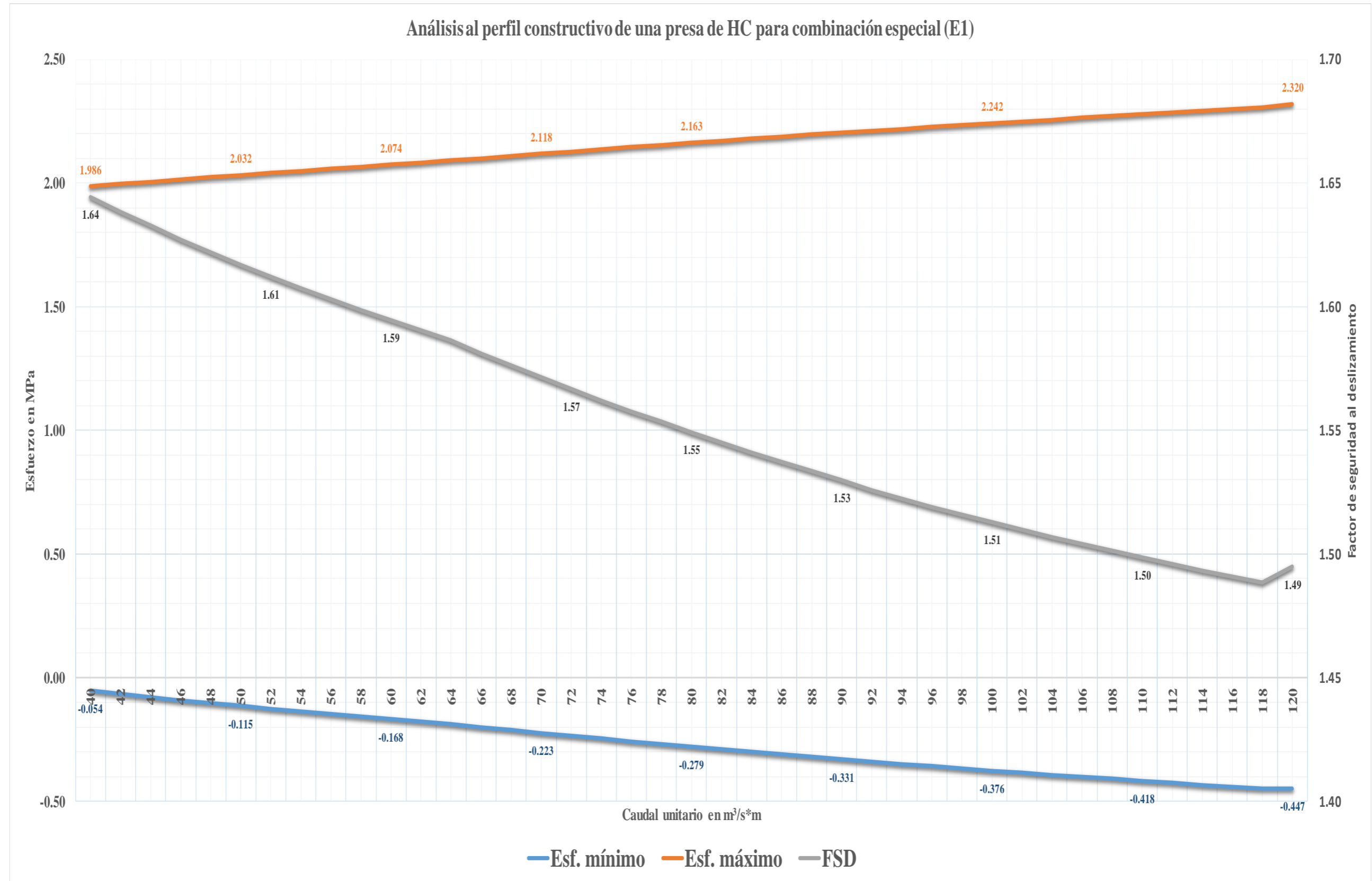


Figura 3-22. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de Hp= 90m.  
Fuente: Logacho & Orozco

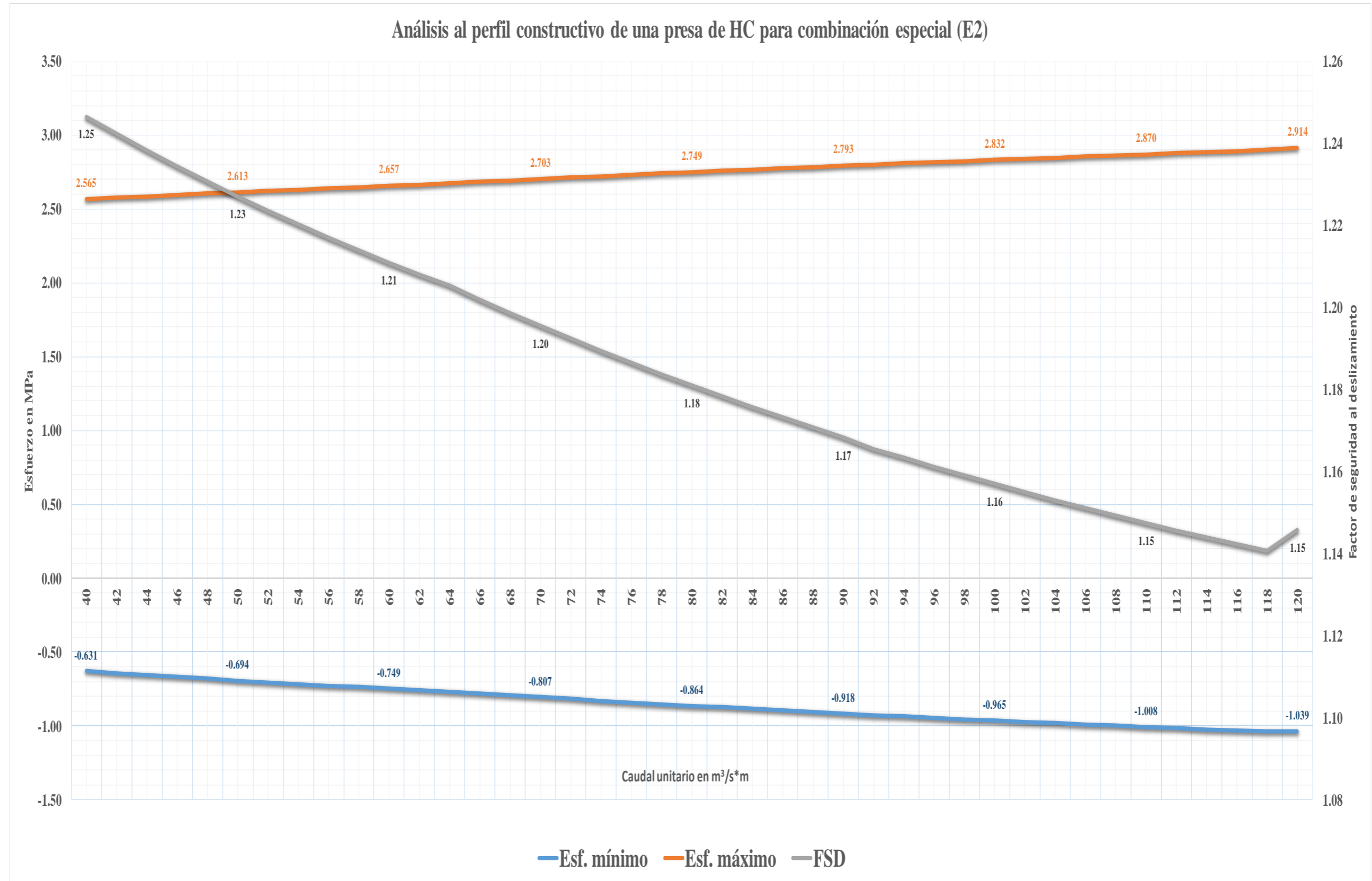


Figura 3-23. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de Hp= 90m.  
Fuente: Logacho & Orozco





### Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación especial (E1)

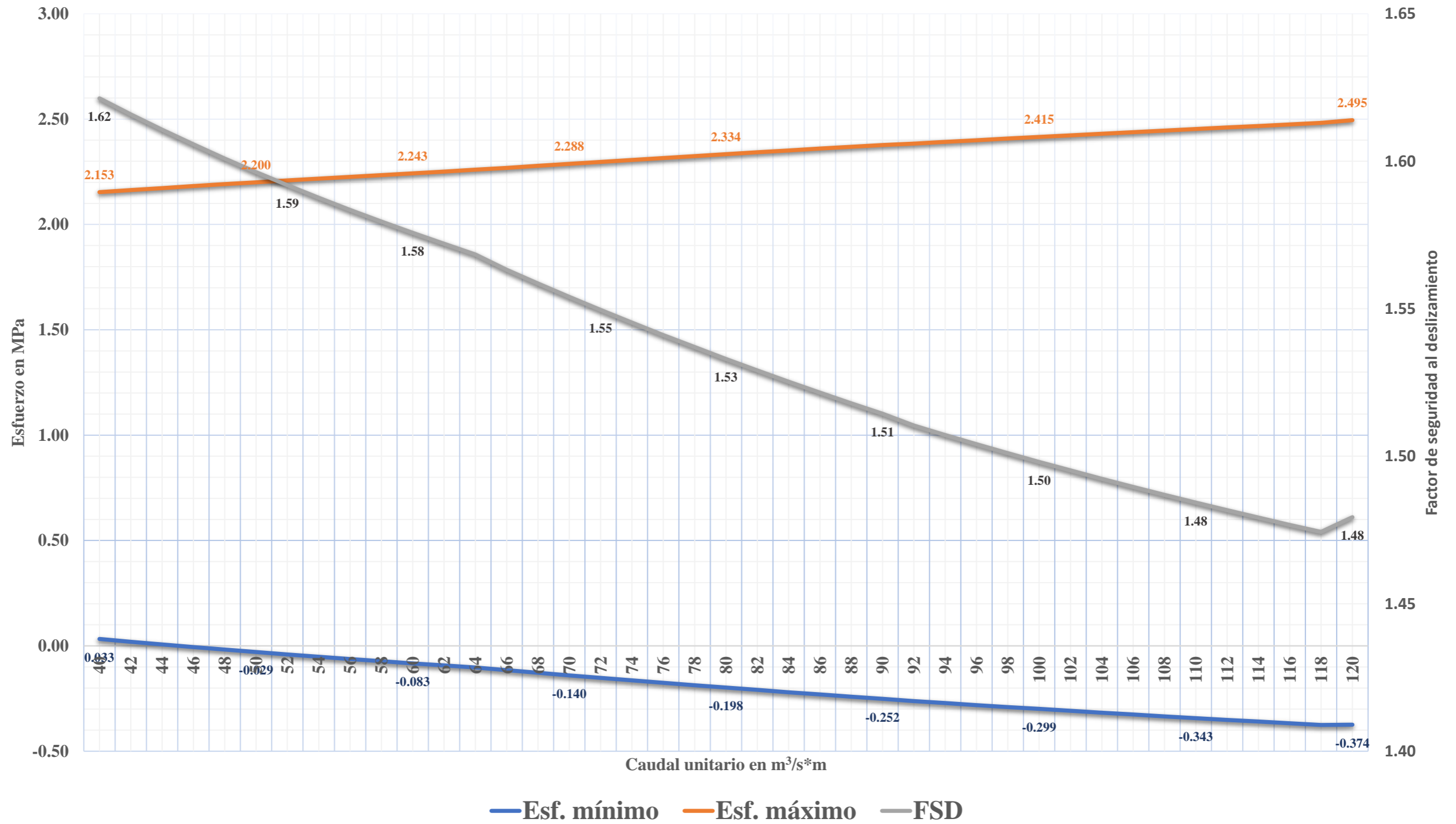


Figura 3-24. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de  $H_p = 100m$ .  
Fuente: Logacho & Orozco

### Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación especial (E2)

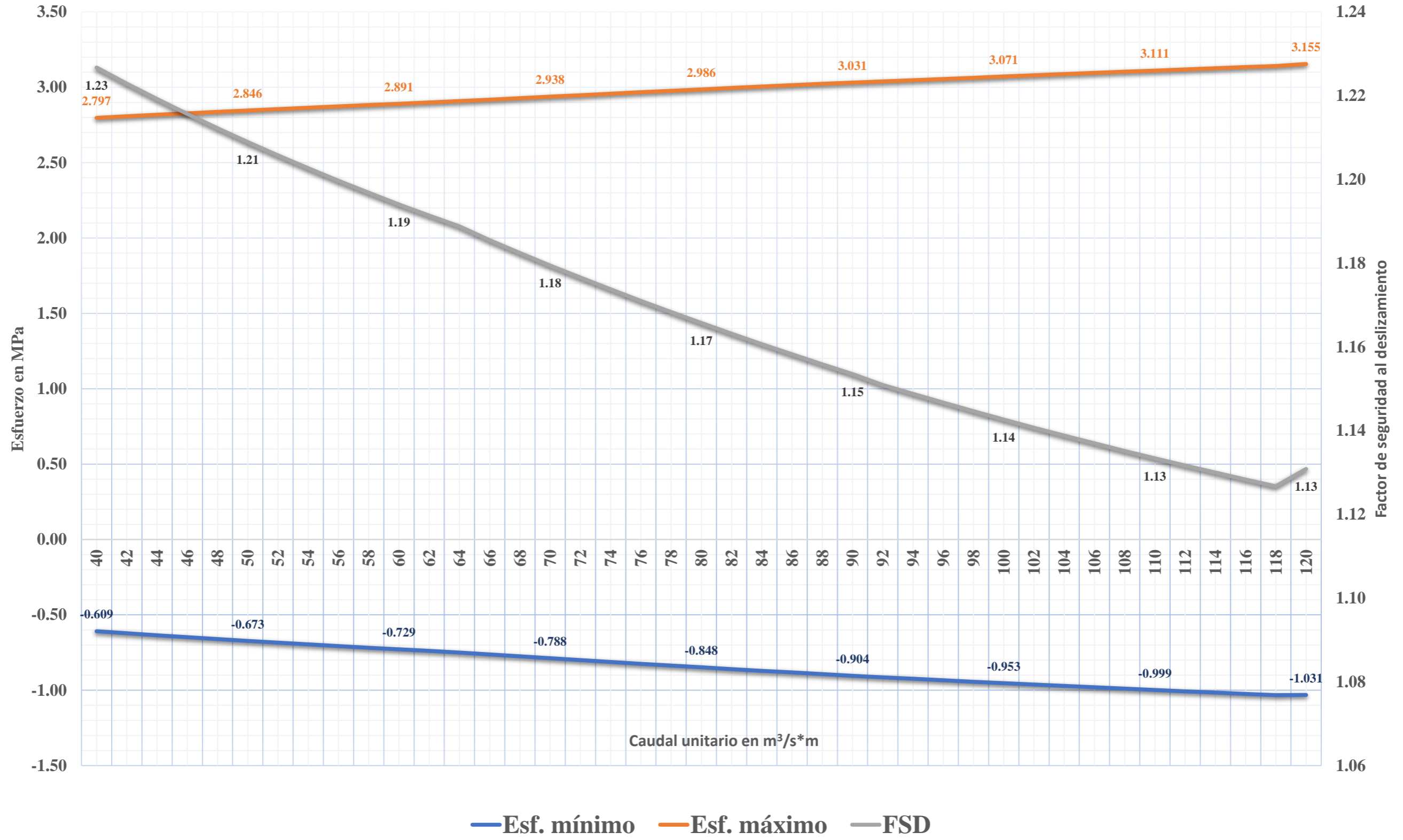


Figura 3-25. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de Hp= 100m.  
Fuente: Logacho & Orozco



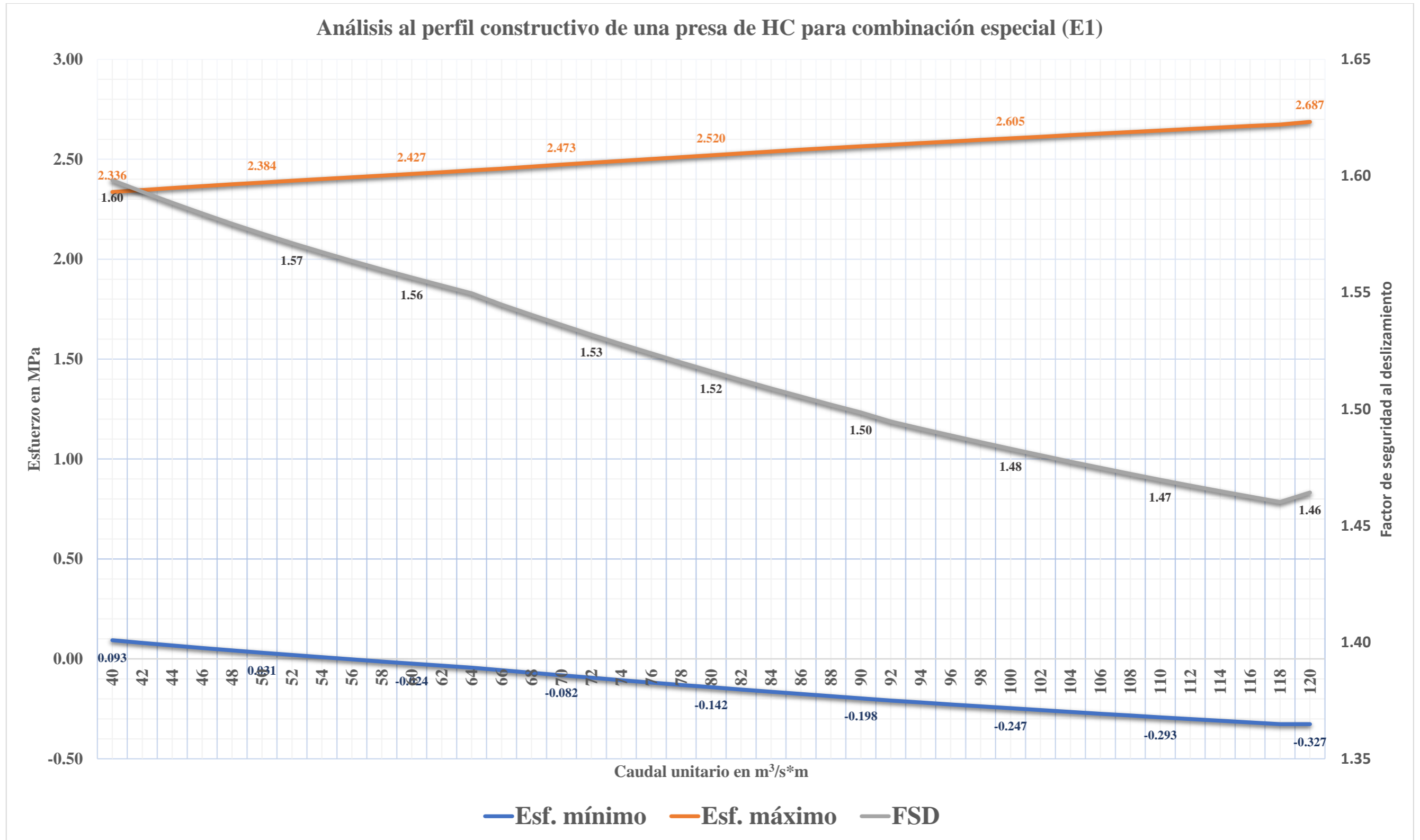


Figura 3-26. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de Hp= 110m.  
Fuente: Logacho & Orozco

### Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación especial (E2)

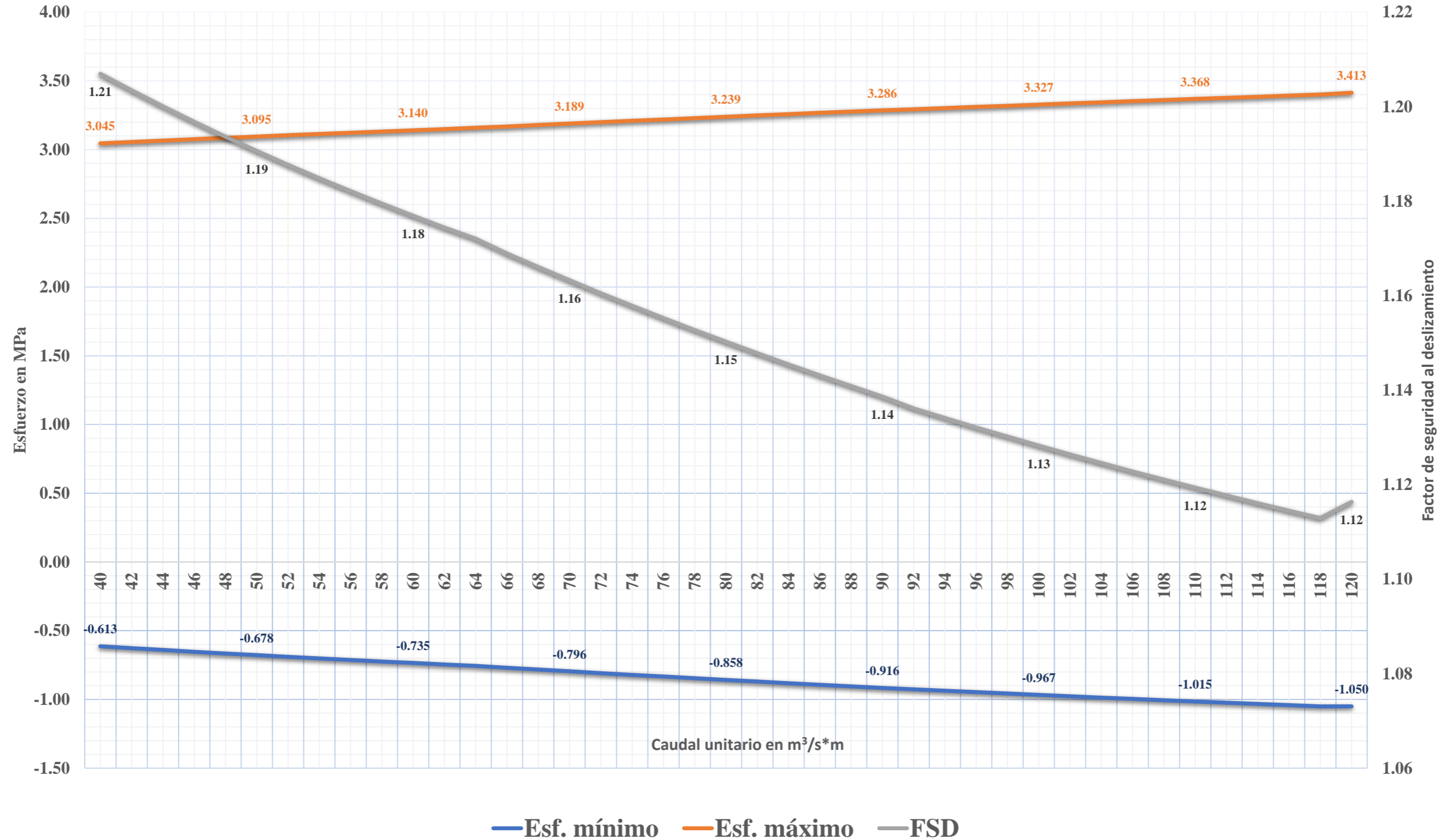


Figura 3-27. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de Hp= 110m.  
Fuente: Logacho & Orozco



Tabla 3-26.

Análisis del perfil constructivo para una presa de hormigón compactado de Hp=120 m cimentada en ROCA BUENA para combinación especial (E1) y (E2)

ANÁLISIS DEL PERFIL CONSTRUCTIVO PARA PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO CIMENTADA EN ROCA																																																					
										COMBINACIÓN ESPECIAL (E1)																				COMBINACIÓN ESPECIAL (E2)																							
m <sub>1</sub>	0.08	b <sub>PTT</sub>	87.60	α°	85.43	hdent	12	J <sub>perm</sub>	12.5	hdren	24	ξ <sub>sed</sub>	0.68	Ψ	4.57	a <sub>3</sub>	3.84	a	10.5	f	0.8	a <sub>H</sub>	0.18																														
m <sub>2</sub>	0.65	b <sub>PCO</sub>	93.73	0°	56.98	hcor	48	δ <sub>cor</sub>	8	m <sub>1</sub> +m <sub>2</sub>	0.73	γ <sub>v</sub>	10	hs	48	γ <sub>ssed</sub>	12.00	η	0.102	C	400																																
Ce	0.94	h <sub>ab</sub> /λ	0.07	λ/H <sub>libr</sub>	0.06	Kp	0.1	Km	0.2	tc	0.45	Z <sub>SISMO</sub>	0.4	λ	7.67	Vv	7	h <sub>ola</sub>	0.511	A <sub>PTT</sub>	5256.00																																
Hp	q	hcr	h <sub>esc</sub>	γ <sub>i</sub>	h2	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	z	Área	G	x	Gs	P <sub>HISIMO</sub>	P <sub>VSIMO</sub>	x	P <sub>SSIMO</sub>	P <sub>ola</sub>	M <sub>ola</sub>	PH1	PH2	y	Pv1	x	Pv2	x	recv	x	P <sub>HS</sub>	y	P <sub>VS</sub>	x	W	x	ΣN	ΣT	ΣM <sub>o</sub>	FSD	e	σ <sub>y</sub>	σ <sub>y</sub>	ΣN	ΣT	ΣM	FSD	e	σ <sub>y</sub>	σ <sub>y</sub>					
120	40	5.46	1.50	2.02	16.31	0.32	6.95	6.94	110.63	6131.20	147148.74	12.80	26754.32							80339.22	1330.45	5.44	5760.00	43.67	2962.80	-3.564	482.93	42.07								749.26	45.59	31467.76	15.62	125635.98	88411.40	1816619.41	1.56	14.46	0.100	2.581	125766.72	116988.17	2965478.07	1.18	23.58	-0.683	3.367
120	42	5.64	1.80	2.12	16.75	0.33	7.18	7.17	110.43	6139.64	147351.30	12.80	26791.15							80614.93	1402.44	5.58	5761.88	43.68	3000.85	-3.558	515.40	42.08								749.50	45.60	31854.28	15.63	125524.64	88615.12	1835100.56	1.56	14.62	0.086	2.591	125655.38	117228.72	2985432.39	1.18	23.76	-0.697	3.378
120	44	5.82	1.80	2.18	17.17	0.35	7.41	7.40	110.23	6148.09	147554.14	12.80	26828.03							80886.29	1474.70	5.72	5763.76	43.69	3039.38	-3.553	548.38	42.09								749.75	45.62	32233.07	15.63	125422.34	88814.22	1853159.80	1.55	14.78	0.073	2.601	125553.08	117464.70	3004966.83	1.17	23.93	-0.711	3.388
120	46	6.00	1.80	2.24	17.59	0.36	7.63	7.62	110.03	6156.55	147757.26	12.79	26864.96							81153.58	1547.22	5.86	5765.64	43.71	3078.41	-3.547	581.86	42.11								749.99	45.63	32604.61	15.64	125328.55	89008.98	1870821.69	1.55	14.93	0.061	2.611	125459.29	117696.39	3024105.95	1.17	24.10	-0.724	3.398
120	48	6.17	1.80	2.30	18.00	0.38	7.85	7.84	109.84	6165.03	147960.66	12.79	26901.94							81417.01	1620.00	6.00	5767.52	43.72	3117.94	-3.541	615.83	42.12								750.23	45.65	32969.38	15.64	125242.81	89199.64	1888108.31	1.54	15.08	0.048	2.621	125373.54	117924.03	3042871.85	1.17	24.27	-0.737	3.408
120	50	6.34	1.80	2.36	18.40	0.39	8.06	8.06	109.66	6173.51	148164.34	12.78	26938.97							81676.81	1693.02	6.13	5769.40	43.74	3157.98	-3.536	650.28	42.13								750.48	45.66	33327.80	15.65	125164.68	89386.42	1905039.60	1.54	15.22	0.036	2.630	125295.42	118147.85	3061284.43	1.17	24.43	-0.749	3.418
120	52	6.51	2.10	2.45	18.80	0.41	8.28	8.27	109.47	6182.01	148368.30	12.78	26976.05							81933.17	1766.27	6.27	5771.28	43.75	3198.53	-3.530	685.19	42.15								750.72	45.68	33680.23	15.65	125093.81	89569.52	1921633.62	1.54	15.36	0.025	2.639	125224.54	118368.03	3079361.80	1.16	24.59	-0.761	3.428
120	54	6.67	2.10	2.51	19.18	0.42	8.49	8.48	109.30	6190.52	148572.54	12.78	27013.19							82186.26	1839.75	6.39	5773.17	43.77	3239.60	-3.525	720.55	42.16								750.97	45.69	34027.00	15.66	125029.83	89749.13	1937906.82	1.53	15.50	0.013	2.648	125160.57	118584.78	3097120.38	1.16	24.75	-0.773	3.438
120	56	6.84	2.10	2.56	19.56	0.44	8.70	8.69	109.12	6199.04	148777.06	12.77	27050.38							82436.24	1913.45	6.52	5775.05	43.78	3281.20	-3.519	756.36	42.18								751.21	45.71	34368.44	15.66	124972.44	89925.42	1953874.23	1.53	15.63	0.002	2.657	125103.18	118798.25	3114575.22	1.16	24.90	-0.785	3.447
120	58	7.00	2.10	2.62	19.94	0.45	8.90	8.89	108.96	6207.58	148981.87	12.77	27087.61							82683.27	1987.36	6.65	5776.93	43.79	3323.34	-3.513	792.59	42.19								751.46	45.72	34704.82	15.67	124921.36	90098.54	1969549.63	1.53	15.77	-0.008	2.666	125052.09	119008.61	3131740.10	1.16	25.04	-0.796	3.456
120	60	7.16	2.10	2.67	20.31	0.46	9.11	9.10	108.79	6216.12	149186.95	12.76	27124.90							82927.47	2061.47	6.77	5778.82	43.81	3366.01	-3.508	829.23	42.20								751.70	45.74	35036.40	15.67	124876.32	90268.63	1984945.69	1.52	15.90	-0.019	2.675	125007.05	119215.98	3148627.68	1.15	25.19	-0.807	3.466
120	62	7.32	2.10	2.72	20.67	0.48	9.31	9.30	108.63	6224.68	149392.32	12.76	27162.24							83168.98	2135.78	6.89	5780.70	43.82	3409.24	-3.502	866.29	42.22								751.95	45.75	35363.42	15.68	124837.08	90435.82	2000074.09	1.52	16.02	-0.029	2.683	124967.82	119420.52	3165249.67	1.15	25.33	-0.818	3.475
120	64	7.47	2.10	2.78	21.03	0.49	9.51	9.49	108.47	6233.25	149597.97	12.75	27199.63							83407.90	2210.28	7.01	5780.70	43.82	3453.01	-3.497	903.75	42.22								752.19	45.75	35676.30	15.68	124811.33	90600.24	2014799.08	1.52	16.14	-0.039	2.693	124942.07	119622.32	3181470.29	1.15	25.46	-0.829	3.485
120	66	7.63	2.40	2.87	21.38	0.51	9.70	9.69	108.31	6234.18	149620.30	12.75	27203.69							83644.34	2284.97	7.13	5779.91	43.82	3497.36	-3.491	941.60	42.21								752.19	45.75	35980.68	15.68	124610.69	90761.99	2030949.96	1.51	16.30	-0.053	2.702	124741.42	119788.14	3197783.62	1.15	25.64	-0.843	3.495
120	68	7.78	2.40	2.92	21.72	0.52	9.90	9.88	108.16	6236.90	149685.72	12.74	27215.59							83878.41	2359.84	7.24	5779.12	43.81	3542.27	-3.486	979.84	42.21								752.09	45.74	36280.81	15.67	124458.22	90921.19	2047772.34	1.51	16.45	-0.066	2.713	124588.96	119959.23	3215081.73	1.14	25.81	-0.856	3.506
120	70	7.93	2.40	2.97	22.07	0.54	10.09	10.08	108.01	6239.63	149751.16	12.74	27227.48							84110.19	2434.89	7.36	5778.33	43.80	3587.75	-3.480	1018.45	42.20								751.99	45.74	36576.87	15.67	124310.81	91077.92	2064360.49	1.50	16.61	-0.079	2.723	124441.55	120127.86	3232145.83	1.14	25.97	-0.870	3.517
120	72	8.08	2.40	3.02	22.41	0.55	10.28	10.27	107.86	6242.36	149816.63	12.73	27239.39							84339.77	2510.11	7.47	5777.54	43.80	3633.82	-3.475	1057.43	42.19								751.89	45.73	36869.02	15.67	124168.29	91232.29	2080722.70	1.50	16.76	-0.092	2.733	124299.03	120294.13	3248984.20	1.14	26.14	-0.883	3.527
120	74	8.23	2.40	3.07	22.74	0.57	10.47	10.46	107.72	6245.09	149882.13	12.72	27251.30							84567.24	2585.50	7.58	5776.75	43.79	3680.49	-3.469	1096.78	42.19								751.78	45.72	37157.42	15.67	124030.51	91384.37	2096866.72	1.50	16.91	-0.104	2.743	124161.24	120458.12	3265604.58	1.14	26.30	-0.896	3.538
120	76	8.38	2.40	3.12	23.07	0.58	10.66	10.64	107.57	6247.82	149947.66	12.71	27263.21							84792.67	2661.05	7.69	5775.96	43.79	3727.75	-3.464	1136.48	42.18								751.68	45.72	37442.21	15.67	123897.32	91534.25	2112799.80	1.49	17.05	-0.117	2.753	124028.05	120619.92	3282014.24	1.13	26.46	-0.909	3.549
120	78	8.53	2.70	3.21	23.40	0.60	10.85	10.83	107.43	6250.55	150013.22	12.70	27275.13							85016.13	2736.76	7.80	5775.17	43.78	3775.62	-3.458	1176.53	42.18								751.58	45.71	37723.52	15.66	123768.58	91682.00	2128528.77	1.49	17.20	-0.129	2.763	123899.32	120779.59	3298219.99	1.13	26.62	-0.922	3.559
120	80	8.67	2.70	3.25	23.72	0.61	11.03	11.01	107.29	6253.28	150078.81	12.69	27287.06	1634.21	130.74	42.79	225.16	36.92	2667.87	85237.69	2812.62	7.91	5774.38	43.77	3824.10	-3.453	1216.92	42.17	9365.70	16.00					751.47	45.70	38001.50	15.66	123644.18	91827.70	2144060.04	1.49	17.34	-0.141	2.773	123774.92	120937.21	3314228.25	1.13	26.78	-0.935	3.569	
120	82	8.82	2.70	3.30	24.04	0.62	11.21	11.19	107.16	6256.02	150144.42	12.68	27298.99							85457.41	2888.64	8.01	5773.59	43.77	3873.21	-3.447	1257.65	42.17								751.37	45.70	38276.24	15.66	12352													

Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación especial (E1)

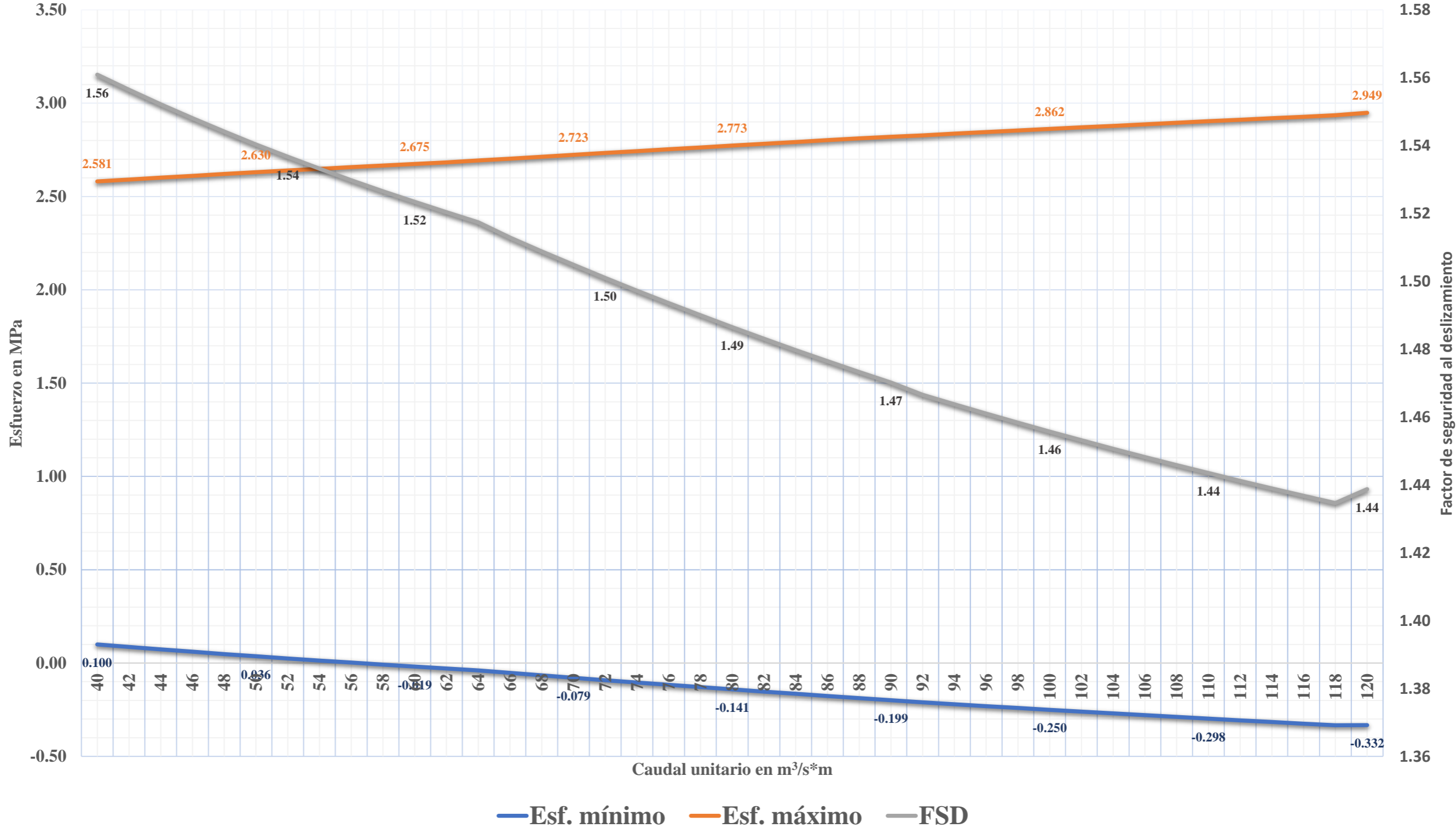


Figura 3-28. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E1 de Hp= 120m.  
Fuente: Logacho & Orozco



### Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación especial (E2)

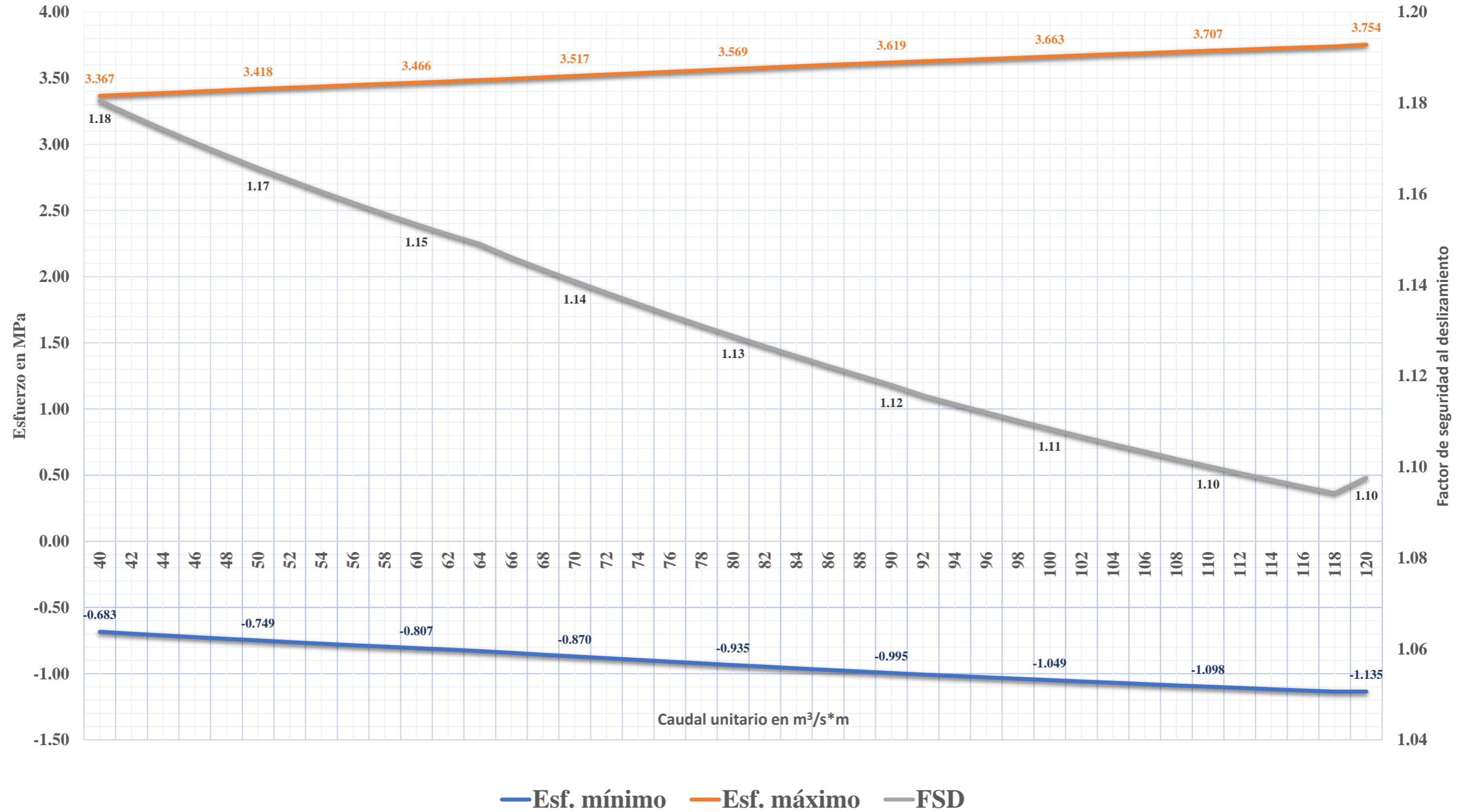


Figura 3-29. Análisis al perfil constructivo de una presa de HC para combinación E2 de Hp= 120m.  
Fuente: Logacho & Orozco

### 3.2.1.3 *Análisis hidráulico para presas de hormigón compactado (HC)*

Respecto al criterio hidráulico se realiza un análisis minucioso de acuerdo al rango de alturas de presas y caudales unitarios adoptados en la tabla 3-4, además de tomar en cuenta la influencia del tipo de macizo de cimentación sobre el cual se implantará la obra hidráulica, los coeficientes de talud aguas abajo ( $m_2$ ) serán tomados de la tabla 3-10 de acuerdo a la altura de la presa que se considere para el análisis. El análisis hidráulico inicia desde una presa de 50 m hasta 120 m de altura, para macizo de cimentación tipo ROCA BUENA con  $f=0.80$ . Los resultados del análisis para macizo de cimentación tipo ROCA MALA con  $f=0.65$  se lo podrá verificar en el anexo 1. Como resultado se obtiene la curva característica de disipación de energía, que representa una relación entre el caudal unitario y la altura de presa ( $q/H_p$ ) en el eje de las abscisas, y el porcentaje de disipación de energía (%) en el eje de las ordenadas, lo cual facilita al diseñador y/o estudiante de ingeniería civil una comprensión clara y rápida sobre la disipación de energía sobre una superficie escalonada, además, ayuda en la obtención del dimensionamiento geométrico de un perfil escalonado, partiendo únicamente de la relación entre el caudal unitario ( $q$ ) y la altura de la presa ( $H_p$ ).

El dimensionamiento geométrico preliminar de los escalones se puede calcular de la siguiente manera:

- 1) Determinar la profundidad crítica

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

- 2) Determinar la profundidad del escalón mediante la ecuación 57.
- 3) Determinar la rugosidad de forma mediante la ecuación 56.

### ***3.2.1.4 Metodología para la construcción y uso de las curvas características de disipación de energía para presas de hormigón compactado (HC)***

A continuación, se explica el contenido de las tablas que se presentan para este análisis:

- ✓ Existen tres variables para la obtención de resultados de la hoja de cálculo: altura de presa ( $H_p$ ), caudal unitario ( $q$ ), coeficiente de talud aguas abajo ( $m_2$ ); este último resulta de un análisis geométrico y geomecánico que se realizó previamente en el capítulo 3.2.1.2 y se lo puede obtener directamente en la tabla 3-10.
- ✓ Una vez ingresadas estas variables en la hoja electrónica, el programa calculará automáticamente parámetros hidráulicos para un perfil escalonado. Por ejemplo:
  - Altura del escalón recomendada ( $h_{rec}$ ) en metros,
  - longitud del escalón ( $l$ ) en metros,
  - profundidad crítica ( $h_{cr}$ ) en metros,
  - relación entre la profundidad crítica y la altura del escalón ( $h_{cr}/h$ ) que sirve para determinar el tipo de flujo que se presenta en un perfil escalonado, se lo puede realizar con ayuda de la figura 2-15;
  - relación entre la altura y longitud del escalón ( $h/l$ ) que sirve para utilizar las ecuaciones 22, 23 y 24, esta es una alternativa para verificar el tipo de flujo (nappe flow, transition flow, skimming flow) que se presenta en un perfil escalonado;
  - rugosidad de forma ( $k_s$ ) que debe cumplir la condición de la ecuación 55,
  - energía máxima incluida la carga de velocidad ( $H_{máx}$ ) en metros
  - coordenadas del punto de inicio de la aireación ( $L_i, y_i$ ) en metros obtenidas con las ecuaciones 31 y 32 respectivamente,

- velocidad al pie del paramento aguas abajo ( $U_w$ ) en metros por segundo,
  - energía residual ( $H_{res}$ ) en metros obtenida con la ecuación 49,
  - diferencia de cotas entre la energía máxima y la energía residual ( $\Delta e$ ) en metros,
  - porcentaje de disipación de energía (%),
  - segunda conjugada ( $h''$ ) en metros, y
  - profundidad aguas abajo ( $h_2$ ) en metros.
- ✓ Luego, se deben verificar las tres condiciones para que la disipación de energía no sea despreciable ( $0.0764q^{2/3} \leq K_s$ ;  $H_p/h_{cr} \geq 8$ ;  $h/h_{cr} \geq 0.3$ ).
  - ✓ Se realiza el chequeo de la condición de sumersión, para determinar si el resalto hidráulico es sumergido o desplazado, esta verificación ayuda a tomar la decisión si es necesaria o no la construcción de una obra de disipación.
  - ✓ Se realiza el chequeo de la velocidad, con la particularidad de que, si esta es mayor que 22 m/s, se debe adoptar un deflector tipo esquí como obra de disipación de energía.
  - ✓ Se construye una curva característica que toma la relación entre el caudal unitario ( $q$ ) y la altura de la presa ( $H_p$ ) en el eje de las abscisas, y el porcentaje de disipación de energía (%) en el eje de las ordenadas; esta curva se la puede realizar mediante la hoja de cálculo para cualquier altura de presa ( $H_p$ ) y caudal unitario ( $q$ ).
  - ✓ Si la disipación de energía es mayor o igual al 40% se considera que, el perfil escalonado cumple su función de disipador, de lo contrario, se debería tomar otras alternativas de disipación mencionada en bibliografía especializada.

Tabla 3-27.

Análisis hidráulico para una presa de HC de 50 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.72		f= 0.11 <b>ROCA BUENA</b>		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE												CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN	
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Δe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
50	40	1.50	1.50	1.08	3.64	1.39	5.46	0.88	58.20	49.38	2.04	19.56	37.21	20.98	0.80	36.06	0.89	9.15	0.3	14.26	13.81	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	42	1.80	1.80	1.30	3.14	1.39	5.64	1.05	58.47	48.85	2.14	19.59	37.70	20.76	0.84	35.51	0.92	8.86	0.3	14.77	14.18	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	44	1.80	1.80	1.30	3.23	1.39	5.82	1.05	58.73	50.84	2.20	19.96	38.43	20.30	0.88	34.57	0.95	8.59	0.3	15.26	14.54	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	46	1.80	1.80	1.30	3.33	1.39	6.00	1.05	59.00	52.82	2.26	20.31	39.13	19.87	0.92	33.68	0.98	8.34	0.3	15.75	14.90	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	48	1.80	1.80	1.30	3.43	1.39	6.17	1.05	59.25	54.79	2.32	20.66	39.79	19.46	0.96	32.84	1.01	8.10	0.3	16.24	15.24	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	50	1.80	1.80	1.30	3.52	1.39	6.34	1.05	59.51	56.75	2.38	21.00	40.43	19.08	1.00	32.06	1.04	7.89	0.3	16.71	15.58	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	52	2.10	2.10	1.51	3.10	1.39	6.51	1.23	59.76	56.13	2.48	21.01	40.83	18.93	1.04	31.68	1.06	7.68	0.3	17.18	15.91	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	54	2.10	2.10	1.51	3.18	1.39	6.67	1.23	60.01	57.98	2.53	21.33	41.43	18.58	1.08	30.97	1.09	7.49	0.3	17.64	16.24	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	56	2.10	2.10	1.51	3.26	1.39	6.84	1.23	60.26	59.83	2.59	21.64	42.00	18.26	1.12	30.30	1.12	7.31	0.3	18.10	16.56	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	58	2.10	2.10	1.51	3.33	1.39	7.00	1.23	60.50	61.66	2.64	21.95	42.55	17.94	1.16	29.66	1.14	7.14	0.3	18.55	16.88	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	60	2.10	2.10	1.51	3.41	1.39	7.16	1.23	60.74	63.48	2.70	22.25	43.09	17.65	1.20	29.06	1.17	6.98	0.3	19.00	17.19	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	62	2.10	2.10	1.51	3.48	1.39	7.32	1.23	60.98	65.30	2.75	22.54	43.61	17.37	1.24	28.48	1.20	6.83	0.3	19.44	17.50	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	64	2.10	2.10	1.51	3.56	1.39	7.47	1.23	61.21	67.11	2.80	22.83	44.11	17.10	1.28	27.93	1.22	6.69	0.3	19.88	17.80	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	66	2.40	2.40	1.73	3.18	1.39	7.63	1.40	61.44	66.29	2.89	22.80	44.43	17.01	1.32	27.69	1.25	6.55	0.3	20.31	18.10	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	68	2.40	2.40	1.73	3.24	1.39	7.78	1.40	61.67	68.01	2.95	23.08	44.91	16.77	1.36	27.18	1.27	6.42	0.3	20.74	18.40	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	70	2.40	2.40	1.73	3.31	1.39	7.93	1.40	61.90	69.73	3.00	23.35	45.37	16.53	1.40	26.70	1.30	6.30	0.3	21.16	18.69	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	72	2.40	2.40	1.73	3.37	1.39	8.08	1.40	62.13	71.44	3.05	23.61	45.83	16.30	1.44	26.24	1.32	6.18	0.3	21.58	18.97	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	74	2.40	2.40	1.73	3.43	1.39	8.23	1.40	62.35	73.14	3.10	23.87	46.27	16.08	1.48	25.79	1.35	6.07	0.3	22.00	19.26	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	76	2.40	2.40	1.73	3.49	1.39	8.38	1.40	62.57	74.84	3.15	24.13	46.70	15.87	1.52	25.37	1.37	5.97	0.3	22.41	19.53	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	78	2.70	2.70	1.94	3.16	1.39	8.53	1.58	62.79	73.96	3.24	24.10	46.98	15.82	1.56	25.19	1.39	5.86	0.3	22.82	19.81	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	80	2.70	2.70	1.94	3.21	1.39	8.67	1.58	63.01	75.59	3.29	24.34	47.39	15.62	1.60	24.79	1.42	5.77	0.3	23.23	20.08	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	82	2.70	2.70	1.94	3.27	1.39	8.82	1.58	63.23	77.21	3.34	24.58	47.79	15.43	1.64	24.41	1.44	5.67	0.3	23.63	20.35	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	84	2.70	2.70	1.94	3.32	1.39	8.96	1.58	63.44	78.83	3.38	24.82	48.19	15.25	1.68	24.04	1.47	5.58	0.3	24.03	20.62	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	86	2.70	2.70	1.94	3.37	1.39	9.10	1.58	63.65	80.44	3.43	25.06	48.58	15.08	1.72	23.69	1.49	5.49	0.3	24.42	20.88	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	88	2.70	2.70	1.94	3.42	1.39	9.24	1.58	63.86	82.04	3.48	25.29	48.96	14.91	1.76	23.34	1.51	5.41	0.3	24.82	21.14	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	90	2.70	2.70	1.94	3.47	1.39	9.38	1.58	64.07	83.64	3.53	25.51	49.33	14.74	1.80	23.01	1.53	5.33	0.3	25.21	21.40	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	92	3.00	3.00	2.16	3.17	1.39	9.52	1.75	64.28	82.68	3.61	25.47	49.57	14.71	1.84	22.88	1.56	5.25	0.3	25.59	21.66	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	94	3.00	3.00	2.16	3.22	1.39	9.66	1.75	64.49	84.22	3.66	25.69	49.93	14.56	1.88	22.57	1.58	5.18	0.3	25.98	21.91	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	96	3.00	3.00	2.16	3.26	1.39	9.79	1.75	64.69	85.76	3.71	25.91	50.28	14.41	1.92	22.27	1.60	5.11	0.3	26.36	22.16	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	98	3.00	3.00	2.16	3.31	1.39	9.93	1.75	64.89	87.29	3.75	26.12	50.63	14.26	1.96	21.98	1.62	5.04	0.3	26.74	22.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	100	3.00	3.00	2.16	3.35	1.39	10.06	1.75	65.10	88.82	3.80	26.33	50.97	14.12	2.00	21.70	1.65	4.97	0.3	27.11	22.65	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	102	3.00	3.00	2.16	3.40	1.39	10.20	1.75	65.30	90.35	3.84	26.54	51.31	13.99	2.04	21.42	1.67	4.90	0.3	27.49	22.90	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	104	3.00	3.00	2.16	3.44	1.39	10.33	1.75	65.50	91.87	3.89	26.75	51.64	13.86	2.08	21.16	1.69	4.84	0.3	27.86	23.14	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	106	3.00	3.00	2.16	3.49	1.39	10.46	1.75	65.69	93.39	3.93	26.96	51.97	13.73	2.12	20.90	1.71	4.78	0.3	28.23	23.38	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	108	3.30	3.30	2.38	3.21	1.39	10.59	1.93	65.89	92.31	4.01	26.90	52.18	13.71	2.16	20.80	1.73	4.72	0.3	28.59	23.62	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	110	3.30	3.30	2.38	3.25	1.39	10.72	1.93	66.09	93.78	4.06	27.10	52.50	13.59	2.20	20.56	1.75	4.66	0.3	28.96	23.85	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	112	3.30	3.30	2.38	3.29	1.39	10.85	1.93	66.28	95.25	4.10	27.29	52.81	13.47	2.24	20.32	1.78	4.61	0.3	29.32	24.08	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	114	3.30	3.30	2.38	3.33	1.39	10.98	1.93	66.47	96.71	4.15	27.49	53.12	13.35	2.28	20.09	1.80	4.55	0.3	29.68	24.32	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	116	3.30	3.30	2.38	3.37	1.39	11.11	1.93	66.67	98.16	4.19	27.68	53.42	13.24	2.32	19.86	1.82	4.50	0.3	30.04	24.55	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	118	3.30	3.30	2.38	3.41	1.39	11.24	1.93	66.86	99.62	4.23	27.87	53.72	13.13	2.36	19.64	1.84	4.45	0.3	30.39	24.77	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	120	3.30	3.30	2.38	3.44	1.39	11.36	1.93	67.05	101.07	4.28	28.06	54.02	13.03	2.40	19.43	1.86	4.40	0.3	30.75	25.00	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí

Fuente: Logacho & Orozco

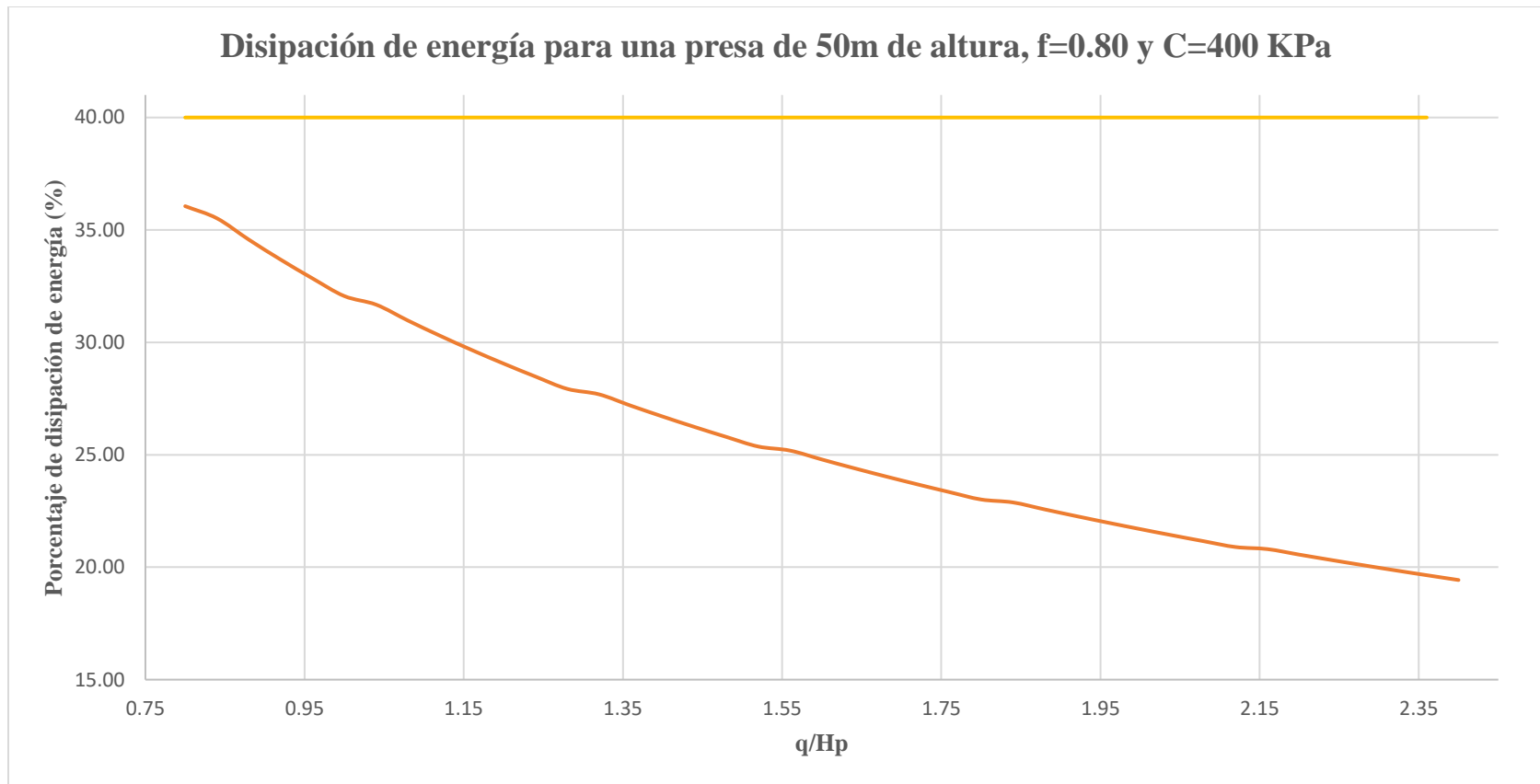


Figura 3-30. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 50 m,  $m_2=0.72$   
Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-28.

Análisis hidráulico para una presa de HC de 60 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.72		f= 0.11 ROCA BUENA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE													CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Δe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
60	40	1.80	1.50	1.30	3.04	1.39	5.46	1.05	68.20	46.84	2.08	19.21	39.52	28.67	0.67	42.04	0.89	10.98	0.3	14.26	14.30	RH sumergido	No cumple	N/A obra
60	42	1.80	1.80	1.30	3.14	1.39	5.64	1.05	68.47	48.85	2.14	19.59	40.44	28.02	0.70	40.93	0.92	10.63	0.3	14.77	14.68	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	44	1.80	1.80	1.30	3.23	1.39	5.82	1.05	68.73	50.84	2.20	19.96	41.32	27.42	0.73	39.89	0.95	10.31	0.3	15.26	15.05	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	46	1.80	1.80	1.30	3.33	1.39	6.00	1.05	69.00	52.82	2.26	20.31	42.15	26.85	0.77	38.91	0.98	10.00	0.3	15.75	15.42	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	48	1.80	1.80	1.30	3.43	1.39	6.17	1.05	69.25	54.79	2.32	20.66	42.95	26.31	0.80	37.98	1.01	9.72	0.3	16.24	15.78	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	50	1.80	1.80	1.30	3.52	1.39	6.34	1.05	69.51	56.75	2.38	21.00	43.71	25.80	0.83	37.11	1.04	9.46	0.3	16.71	16.13	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	52	2.10	2.10	1.51	3.10	1.39	6.51	1.23	69.76	56.13	2.48	21.01	44.17	25.59	0.87	36.69	1.06	9.22	0.3	17.18	16.48	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	54	2.10	2.10	1.51	3.18	1.39	6.67	1.23	70.01	57.98	2.53	21.33	44.88	25.13	0.90	35.90	1.09	8.99	0.3	17.64	16.82	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	56	2.10	2.10	1.51	3.26	1.39	6.84	1.23	70.26	59.83	2.59	21.64	45.56	24.70	0.93	35.15	1.12	8.78	0.3	18.10	17.15	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	58	2.10	2.10	1.51	3.33	1.39	7.00	1.23	70.50	61.66	2.64	21.95	46.22	24.28	0.97	34.44	1.14	8.57	0.3	18.55	17.48	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	60	2.10	2.10	1.51	3.41	1.39	7.16	1.23	70.74	63.48	2.70	22.25	46.85	23.88	1.00	33.76	1.17	8.38	0.3	19.00	17.80	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	62	2.10	2.10	1.51	3.48	1.39	7.32	1.23	70.98	65.30	2.75	22.54	47.47	23.51	1.03	33.12	1.20	8.20	0.3	19.44	18.12	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	64	2.10	2.10	1.51	3.56	1.39	7.47	1.23	71.21	67.11	2.80	22.83	48.07	23.15	1.07	32.50	1.22	8.03	0.3	19.88	18.43	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	66	2.40	2.40	1.73	3.18	1.39	7.63	1.40	71.44	66.29	2.89	22.80	48.42	23.03	1.10	32.23	1.25	7.86	0.3	20.31	18.74	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	68	2.40	2.40	1.73	3.24	1.39	7.78	1.40	71.67	68.01	2.95	23.08	48.98	22.69	1.13	31.66	1.27	7.71	0.3	20.74	19.04	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	70	2.40	2.40	1.73	3.31	1.39	7.93	1.40	71.90	69.73	3.00	23.35	49.53	22.37	1.17	31.12	1.30	7.56	0.3	21.16	19.34	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	72	2.40	2.40	1.73	3.37	1.39	8.08	1.40	72.13	71.44	3.05	23.61	50.06	22.07	1.20	30.59	1.32	7.42	0.3	21.58	19.64	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	74	2.40	2.40	1.73	3.43	1.39	8.23	1.40	72.35	73.14	3.10	23.87	50.58	21.77	1.23	30.09	1.35	7.29	0.3	22.00	19.93	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	76	2.40	2.40	1.73	3.49	1.39	8.38	1.40	72.57	74.84	3.15	24.13	51.08	21.49	1.27	29.61	1.37	7.16	0.3	22.41	20.22	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	78	2.70	2.70	1.94	3.16	1.39	8.53	1.58	72.79	73.96	3.24	24.10	51.39	21.41	1.30	29.41	1.39	7.04	0.3	22.82	20.51	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	80	2.70	2.70	1.94	3.21	1.39	8.67	1.58	73.01	75.59	3.29	24.34	51.87	21.14	1.33	28.96	1.42	6.92	0.3	23.23	20.79	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	82	2.70	2.70	1.94	3.27	1.39	8.82	1.58	73.23	77.21	3.34	24.58	52.34	20.89	1.37	28.52	1.44	6.81	0.3	23.63	21.07	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	84	2.70	2.70	1.94	3.32	1.39	8.96	1.58	73.44	78.83	3.38	24.82	52.80	20.64	1.40	28.11	1.47	6.70	0.3	24.03	21.35	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	86	2.70	2.70	1.94	3.37	1.39	9.10	1.58	73.65	80.44	3.43	25.06	53.25	20.40	1.43	27.70	1.49	6.59	0.3	24.42	21.62	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	88	2.70	2.70	1.94	3.42	1.39	9.24	1.58	73.86	82.04	3.48	25.29	53.69	20.17	1.47	27.31	1.51	6.49	0.3	24.82	21.89	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	90	2.70	2.70	1.94	3.47	1.39	9.38	1.58	74.07	83.64	3.53	25.51	54.12	19.95	1.50	26.94	1.53	6.40	0.3	25.21	22.16	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	92	3.00	3.00	2.16	3.17	1.39	9.52	1.75	74.28	82.68	3.61	25.47	54.38	19.90	1.53	26.79	1.56	6.30	0.3	25.59	22.42	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	94	3.00	3.00	2.16	3.22	1.39	9.66	1.75	74.49	84.22	3.66	25.69	54.80	19.69	1.57	26.43	1.58	6.21	0.3	25.98	22.68	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	96	3.00	3.00	2.16	3.26	1.39	9.79	1.75	74.69	85.76	3.71	25.91	55.20	19.49	1.60	26.09	1.60	6.13	0.3	26.36	22.94	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	98	3.00	3.00	2.16	3.31	1.39	9.93	1.75	74.89	87.29	3.75	26.12	55.60	19.29	1.63	25.76	1.62	6.04	0.3	26.74	23.20	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	100	3.00	3.00	2.16	3.35	1.39	10.06	1.75	75.10	88.82	3.80	26.33	56.00	19.10	1.67	25.43	1.65	5.96	0.3	27.11	23.45	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	102	3.00	3.00	2.16	3.40	1.39	10.20	1.75	75.30	90.35	3.84	26.54	56.38	18.91	1.70	25.12	1.67	5.88	0.3	27.49	23.71	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	104	3.00	3.00	2.16	3.44	1.39	10.33	1.75	75.50	91.87	3.89	26.75	56.76	18.73	1.73	24.82	1.69	5.81	0.3	27.86	23.96	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	106	3.00	3.00	2.16	3.49	1.39	10.46	1.75	75.69	93.39	3.93	26.96	57.13	18.56	1.77	24.52	1.71	5.73	0.3	28.23	24.20	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	108	3.30	3.30	2.38	3.21	1.39	10.59	1.93	75.89	92.31	4.01	26.90	57.36	18.53	1.80	24.41	1.73	5.66	0.3	28.59	24.45	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	110	3.30	3.30	2.38	3.25	1.39	10.72	1.93	76.09	93.78	4.06	27.10	57.72	18.36	1.83	24.13	1.75	5.59	0.3	28.96	24.69	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	112	3.30	3.30	2.38	3.29	1.39	10.85	1.93	76.28	95.25	4.10	27.29	58.08	18.20	1.87	23.86	1.78	5.53	0.3	29.32	24.93	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	114	3.30	3.30	2.38	3.33	1.39	10.98	1.93	76.47	96.71	4.15	27.49	58.43	18.04	1.90	23.59	1.80	5.46	0.3	29.68	25.17	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	116	3.30	3.30	2.38	3.37	1.39	11.11	1.93	76.67	98.16	4.19	27.68	58.78	17.89	1.93	23.34	1.82	5.40	0.3	30.04	25.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	118	3.30	3.30	2.38	3.41	1.39	11.24	1.93	76.86	99.62	4.23	27.87	59.12	17.74	1.97	23.08	1.84	5.34	0.3	30.39	25.65	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	120	3.30	3.30	2.38	3.44	1.39	11.36	1.93	77.05	101.07	4.28	28.06	59.45	17.60	2.00	22.84	1.86	5.28	0.3	30.75	25.88	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí

Fuente: Logacho & Orozco

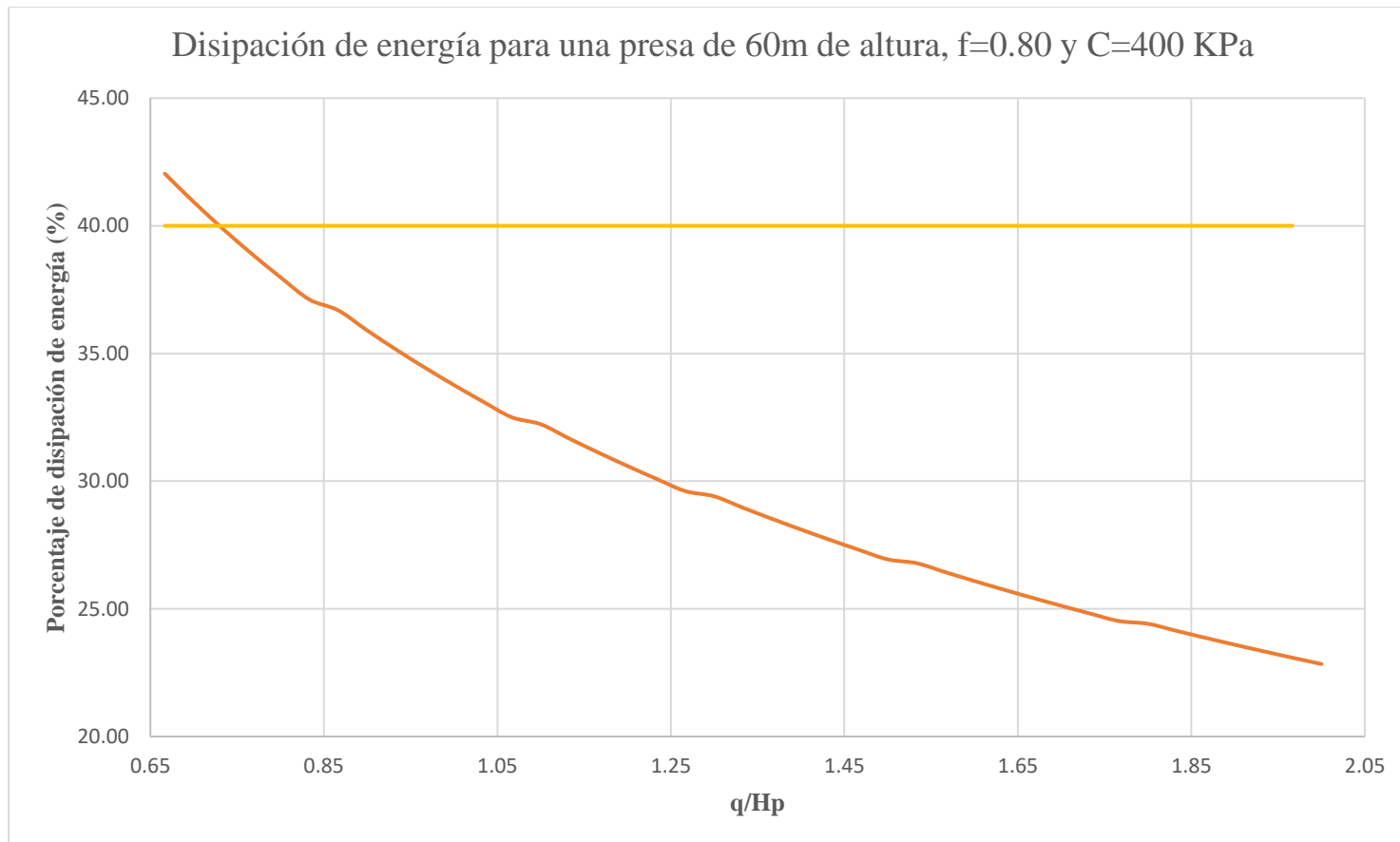


Figura 3-31. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 60 m,  $m_2=0.70$

Fuente: Logacho & Orozco



Tabla 3-29.

Análisis hidráulico para una presa de HC de 70 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.69		f= 0.11 ROCA BUENA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE													CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Δe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
70	40	1.80	1.50	1.24	3.04	1.45	5.46	1.02	78.20	45.25	2.07	19.29	41.74	36.45	0.57	46.62	0.89	12.81	0.3	14.30	14.72	RH sumergido	No cumple	N/A obra
70	42	1.80	1.80	1.24	3.14	1.45	5.64	1.02	78.47	47.19	2.14	19.67	42.81	35.65	0.60	45.44	0.92	12.40	0.3	14.80	15.12	RH sumergido	No cumple	N/A obra
70	44	1.80	1.80	1.24	3.23	1.45	5.82	1.02	78.73	49.12	2.20	20.04	43.83	34.90	0.63	44.33	0.95	12.02	0.3	15.30	15.50	RH sumergido	No cumple	N/A obra
70	46	1.80	1.80	1.24	3.33	1.45	6.00	1.02	79.00	51.03	2.25	20.40	44.80	34.19	0.66	43.28	0.98	11.67	0.3	15.79	15.88	RH sumergido	No cumple	N/A obra
70	48	1.80	1.80	1.24	3.43	1.45	6.17	1.02	79.25	52.93	2.31	20.75	45.73	33.52	0.69	42.29	1.01	11.35	0.3	16.28	16.25	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
70	50	1.80	1.80	1.24	3.52	1.45	6.34	1.02	79.51	54.83	2.37	21.09	46.62	32.89	0.71	41.36	1.04	11.04	0.3	16.75	16.61	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
70	52	2.10	2.10	1.45	3.10	1.45	6.51	1.19	79.76	54.23	2.46	21.10	47.14	32.63	0.74	40.90	1.06	10.76	0.3	17.22	16.97	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
70	54	2.10	2.10	1.45	3.18	1.45	6.67	1.19	80.01	56.02	2.52	21.42	47.96	32.05	0.77	40.06	1.09	10.49	0.3	17.69	17.31	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
70	56	2.10	2.10	1.45	3.26	1.45	6.84	1.19	80.26	57.80	2.58	21.73	48.75	31.50	0.80	39.25	1.12	10.24	0.3	18.15	17.66	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
70	58	2.10	2.10	1.45	3.33	1.45	7.00	1.19	80.50	59.57	2.63	22.04	49.52	30.98	0.83	38.48	1.14	10.00	0.3	18.60	18.00	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	60	2.10	2.10	1.45	3.41	1.45	7.16	1.19	80.74	61.33	2.69	22.34	50.26	30.48	0.86	37.75	1.17	9.78	0.3	19.05	18.33	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	62	2.10	2.10	1.45	3.48	1.45	7.32	1.19	80.98	63.08	2.74	22.64	50.97	30.00	0.89	37.05	1.20	9.57	0.3	19.49	18.66	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	64	2.10	2.10	1.45	3.56	1.45	7.47	1.19	81.21	64.83	2.79	22.93	51.66	29.55	0.91	36.39	1.22	9.37	0.3	19.93	18.98	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	66	2.40	2.40	1.66	3.18	1.45	7.63	1.36	81.44	64.04	2.88	22.90	52.05	29.39	0.94	36.09	1.25	9.18	0.3	20.36	19.30	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	68	2.40	2.40	1.66	3.24	1.45	7.78	1.36	81.67	65.70	2.93	23.18	52.70	28.97	0.97	35.47	1.27	8.99	0.3	20.79	19.61	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	70	2.40	2.40	1.66	3.31	1.45	7.93	1.36	81.90	67.36	2.99	23.45	53.33	28.57	1.00	34.88	1.30	8.82	0.3	21.22	19.92	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	72	2.40	2.40	1.66	3.37	1.45	8.08	1.36	82.13	69.02	3.04	23.71	53.95	28.18	1.03	34.31	1.32	8.66	0.3	21.64	20.22	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	74	2.40	2.40	1.66	3.43	1.45	8.23	1.36	82.35	70.66	3.09	23.97	54.54	27.81	1.06	33.77	1.35	8.50	0.3	22.05	20.53	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	76	2.40	2.40	1.66	3.49	1.45	8.38	1.36	82.57	72.30	3.14	24.23	55.13	27.45	1.09	33.24	1.37	8.35	0.3	22.47	20.82	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	78	2.70	2.70	1.86	3.16	1.45	8.53	1.53	82.79	71.45	3.22	24.20	55.46	27.34	1.11	33.02	1.39	8.21	0.3	22.88	21.12	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	80	2.70	2.70	1.86	3.21	1.45	8.67	1.53	83.01	73.02	3.27	24.44	56.01	27.00	1.14	32.53	1.42	8.07	0.3	23.28	21.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	82	2.70	2.70	1.86	3.27	1.45	8.82	1.53	83.23	74.59	3.32	24.69	56.55	26.68	1.17	32.05	1.44	7.94	0.3	23.69	21.70	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	84	2.70	2.70	1.86	3.32	1.45	8.96	1.53	83.44	76.15	3.37	24.93	57.08	26.36	1.20	31.59	1.47	7.81	0.3	24.09	21.98	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	86	2.70	2.70	1.86	3.37	1.45	9.10	1.53	83.65	77.71	3.42	25.16	57.59	26.06	1.23	31.15	1.49	7.69	0.3	24.48	22.26	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	88	2.70	2.70	1.86	3.42	1.45	9.24	1.53	83.86	79.26	3.47	25.39	58.10	25.77	1.26	30.73	1.51	7.57	0.3	24.88	22.54	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	90	2.70	2.70	1.86	3.47	1.45	9.38	1.53	84.07	80.81	3.51	25.62	58.59	25.48	1.29	30.31	1.53	7.46	0.3	25.27	22.81	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	92	3.00	3.00	2.07	3.17	1.45	9.52	1.70	84.28	79.87	3.60	25.58	58.87	25.41	1.31	30.15	1.56	7.35	0.3	25.66	23.09	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	94	3.00	3.00	2.07	3.22	1.45	9.66	1.70	84.49	81.36	3.64	25.80	59.34	25.14	1.34	29.76	1.58	7.25	0.3	26.04	23.36	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	96	3.00	3.00	2.07	3.26	1.45	9.79	1.70	84.69	82.85	3.69	26.02	59.81	24.88	1.37	29.38	1.60	7.15	0.3	26.42	23.62	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	98	3.00	3.00	2.07	3.31	1.45	9.93	1.70	84.89	84.33	3.74	26.23	60.26	24.63	1.40	29.02	1.62	7.05	0.3	26.80	23.89	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	100	3.00	3.00	2.07	3.35	1.45	10.06	1.70	85.10	85.81	3.78	26.45	60.71	24.39	1.43	28.66	1.65	6.96	0.3	27.18	24.15	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	102	3.00	3.00	2.07	3.40	1.45	10.20	1.70	85.30	87.28	3.83	26.66	61.14	24.15	1.46	28.32	1.67	6.86	0.3	27.55	24.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	104	3.00	3.00	2.07	3.44	1.45	10.33	1.70	85.50	88.75	3.87	26.86	61.57	23.92	1.49	27.98	1.69	6.78	0.3	27.93	24.67	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	106	3.00	3.00	2.07	3.49	1.45	10.46	1.70	85.69	90.22	3.92	27.07	62.00	23.70	1.51	27.65	1.71	6.69	0.3	28.30	24.92	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	108	3.30	3.30	2.28	3.21	1.45	10.59	1.87	85.89	89.18	4.00	27.01	62.24	23.65	1.54	27.54	1.73	6.61	0.3	28.66	25.18	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	110	3.30	3.30	2.28	3.25	1.45	10.72	1.87	86.09	90.60	4.04	27.21	62.65	23.44	1.57	27.23	1.75	6.53	0.3	29.03	25.43	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	112	3.30	3.30	2.28	3.29	1.45	10.85	1.87	86.28	92.01	4.09	27.41	63.05	23.23	1.60	26.93	1.78	6.45	0.3	29.39	25.67	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	114	3.30	3.30	2.28	3.33	1.45	10.98	1.87	86.47	93.43	4.13	27.60	63.44	23.03	1.63	26.63	1.80	6.37	0.3	29.75	25.92	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	116	3.30	3.30	2.28	3.37	1.45	11.11	1.87	86.67	94.83	4.17	27.80	63.83	22.83	1.66	26.35	1.82	6.30	0.3	30.11	26.17	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	118	3.30	3.30	2.28	3.41	1.45	11.24	1.87	86.86	96.24	4.22	27.99	64.22	22.64	1.69	26.07	1.84	6.23	0.3	30.47	26.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	120	3.30	3.30	2.28	3.44	1.45	11.36	1.87	87.05	97.64	4.26	28.18	64.59	22.46	1.71	25.80	1.86	6.16	0.3	30.82	26.65	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí

Fuente: Logacho & Orozco

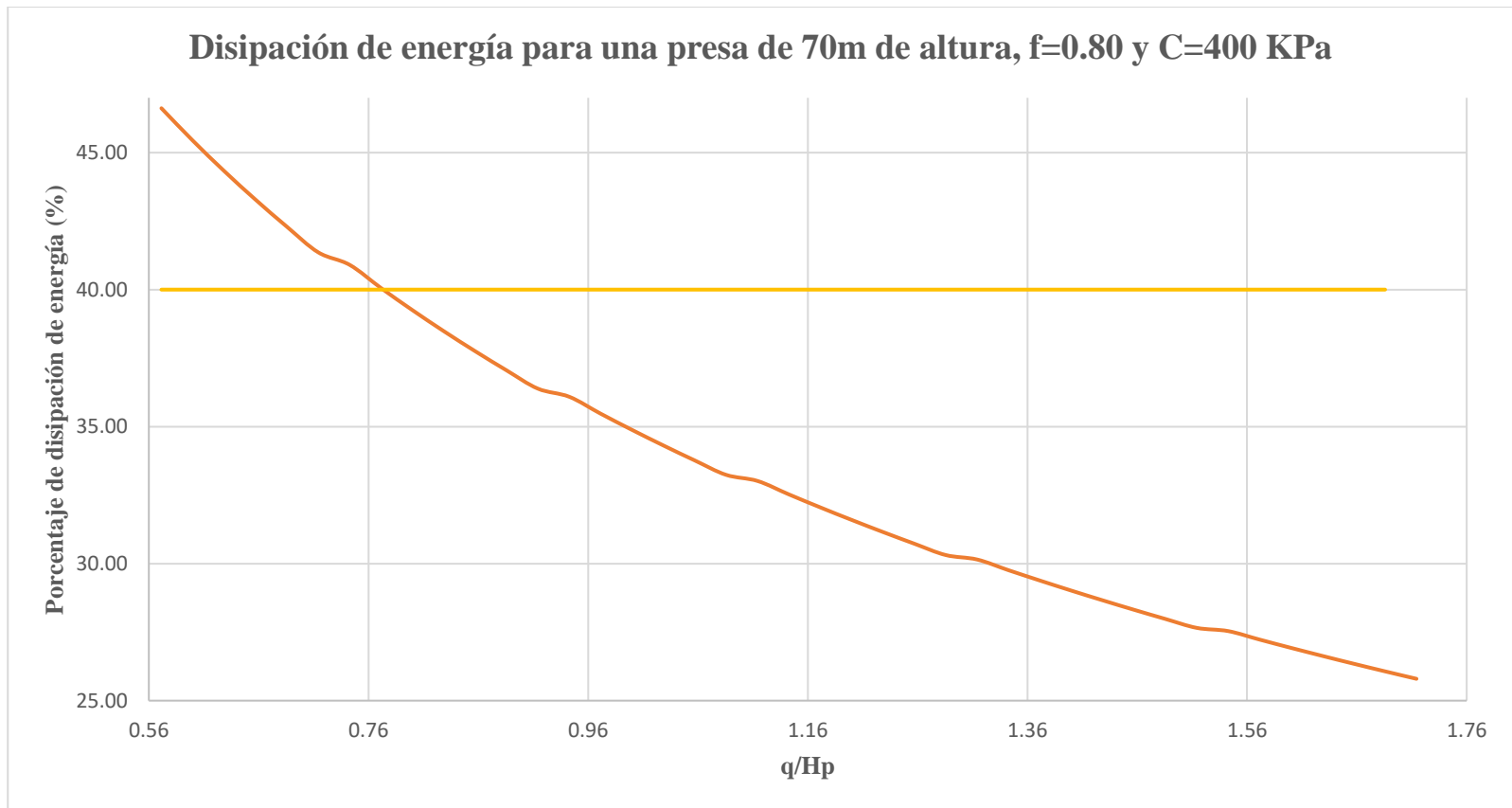


Figura 3-32. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 70 m,  $m_2=0.69$   
 Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-30.

Análisis hidráulico para una presa de HC de 80 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.68		f= 0.11 ROCA BUENA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE												CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN	
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Λe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
80	40	1.80	1.50	1.22	3.04	1.47	5.46	1.01	88.20	44.72	2.07	19.32	43.18	45.01	0.50	51.04	0.89	14.64	0.3	14.31	15.10	RH sumergido	No cumple	N/A obra
80	42	1.80	1.80	1.22	3.14	1.47	5.64	1.01	88.47	46.63	2.13	19.70	44.41	44.06	0.53	49.80	0.92	14.17	0.3	14.82	15.51	RH sumergido	No cumple	N/A obra
80	44	1.80	1.80	1.22	3.23	1.47	5.82	1.01	88.73	48.53	2.19	20.07	45.57	43.16	0.55	48.64	0.95	13.74	0.3	15.31	15.90	RH sumergido	No cumple	N/A obra
80	46	1.80	1.80	1.22	3.33	1.47	6.00	1.01	89.00	50.43	2.25	20.43	46.69	42.31	0.58	47.54	0.98	13.34	0.3	15.81	16.29	RH sumergido	No cumple	N/A obra
80	48	1.80	1.80	1.22	3.43	1.47	6.17	1.01	89.25	52.31	2.31	20.78	47.75	41.50	0.60	46.50	1.01	12.97	0.3	16.29	16.67	RH sumergido	No cumple	N/A obra
80	50	2.10	1.80	1.43	3.02	1.47	6.34	1.18	89.51	51.81	2.40	20.80	48.36	41.15	0.63	45.97	1.04	12.62	0.3	16.77	17.04	RH sumergido	No cumple	N/A obra
80	52	2.10	2.10	1.43	3.10	1.47	6.51	1.18	89.76	53.58	2.46	21.13	49.34	40.42	0.65	45.03	1.06	12.29	0.3	17.24	17.40	RH sumergido	No cumple	N/A obra
80	54	2.10	2.10	1.43	3.18	1.47	6.67	1.18	90.01	55.35	2.52	21.45	50.29	39.72	0.68	44.13	1.09	11.99	0.3	17.70	17.76	RH sumergido	No cumple	N/A obra
80	56	2.10	2.10	1.43	3.26	1.47	6.84	1.18	90.26	57.11	2.57	21.76	51.19	39.06	0.70	43.28	1.12	11.70	0.3	18.16	18.11	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
80	58	2.10	2.10	1.43	3.33	1.47	7.00	1.18	90.50	58.86	2.63	22.07	52.07	38.43	0.73	42.46	1.14	11.43	0.3	18.61	18.46	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	60	2.10	2.10	1.43	3.41	1.47	7.16	1.18	90.74	60.60	2.68	22.37	52.92	37.82	0.75	41.68	1.17	11.17	0.3	19.06	18.80	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	62	2.10	2.10	1.43	3.48	1.47	7.32	1.18	90.98	62.33	2.74	22.67	53.73	37.24	0.78	40.94	1.20	10.93	0.3	19.51	19.14	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	64	2.10	2.10	1.43	3.56	1.47	7.47	1.18	91.21	64.06	2.79	22.96	54.52	36.69	0.80	40.23	1.22	10.70	0.3	19.94	19.47	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	66	2.40	2.40	1.63	3.18	1.47	7.63	1.35	91.44	63.28	2.88	22.93	54.95	36.49	0.83	39.91	1.25	10.49	0.3	20.38	19.79	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	68	2.40	2.40	1.63	3.24	1.47	7.78	1.35	91.67	64.92	2.93	23.21	55.69	35.98	0.85	39.25	1.27	10.28	0.3	20.81	20.11	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	70	2.40	2.40	1.63	3.31	1.47	7.93	1.35	91.90	66.56	2.98	23.48	56.42	35.49	0.88	38.61	1.30	10.08	0.3	21.23	20.43	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	72	2.40	2.40	1.63	3.37	1.47	8.08	1.35	92.13	68.20	3.03	23.75	57.12	35.01	0.90	38.00	1.32	9.90	0.3	21.65	20.74	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	74	2.40	2.40	1.63	3.43	1.47	8.23	1.35	92.35	69.82	3.08	24.01	57.80	34.55	0.93	37.42	1.35	9.72	0.3	22.07	21.05	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	76	2.40	2.40	1.63	3.49	1.47	8.38	1.35	92.57	71.44	3.13	24.27	58.46	34.11	0.95	36.85	1.37	9.54	0.3	22.49	21.36	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	78	2.70	2.70	1.84	3.16	1.47	8.53	1.52	92.79	70.60	3.22	24.23	58.82	33.97	0.98	36.61	1.39	9.38	0.3	22.90	21.66	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	80	2.70	2.70	1.84	3.21	1.47	8.67	1.52	93.01	72.16	3.27	24.48	59.45	33.56	1.00	36.08	1.42	9.22	0.3	23.30	21.96	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	82	2.70	2.70	1.84	3.27	1.47	8.82	1.52	93.23	73.71	3.32	24.72	60.06	33.16	1.03	35.57	1.44	9.07	0.3	23.71	22.25	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	84	2.70	2.70	1.84	3.32	1.47	8.96	1.52	93.44	75.25	3.37	24.96	60.66	32.78	1.05	35.08	1.47	8.93	0.3	24.11	22.55	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	86	2.70	2.70	1.84	3.37	1.47	9.10	1.52	93.65	76.79	3.41	25.20	61.25	32.40	1.08	34.60	1.49	8.79	0.3	24.50	22.83	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	88	2.70	2.70	1.84	3.42	1.47	9.24	1.52	93.86	78.32	3.46	25.43	61.82	32.04	1.10	34.14	1.51	8.66	0.3	24.90	23.12	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	90	2.70	2.70	1.84	3.47	1.47	9.38	1.52	94.07	79.85	3.51	25.66	62.38	31.69	1.13	33.69	1.53	8.53	0.3	25.29	23.40	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	92	3.00	3.00	2.04	3.17	1.47	9.52	1.69	94.28	78.92	3.59	25.61	62.68	31.60	1.15	33.52	1.56	8.40	0.3	25.68	23.68	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	94	3.00	3.00	2.04	3.22	1.47	9.66	1.69	94.49	80.40	3.64	25.84	63.22	31.27	1.18	33.09	1.58	8.28	0.3	26.06	23.96	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	96	3.00	3.00	2.04	3.26	1.47	9.79	1.69	94.69	81.87	3.68	26.05	63.74	30.95	1.20	32.68	1.60	8.17	0.3	26.44	24.23	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	98	3.00	3.00	2.04	3.31	1.47	9.93	1.69	94.89	83.33	3.73	26.27	64.26	30.64	1.23	32.29	1.62	8.06	0.3	26.82	24.50	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	100	3.00	3.00	2.04	3.35	1.47	10.06	1.69	95.10	84.79	3.78	26.48	64.76	30.34	1.25	31.90	1.65	7.95	0.3	27.20	24.77	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	102	3.00	3.00	2.04	3.40	1.47	10.20	1.69	95.30	86.25	3.82	26.69	65.25	30.04	1.28	31.53	1.67	7.84	0.3	27.58	25.04	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	104	3.00	3.00	2.04	3.44	1.47	10.33	1.69	95.50	87.70	3.87	26.90	65.74	29.76	1.30	31.16	1.69	7.74	0.3	27.95	25.30	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	106	3.00	3.00	2.04	3.49	1.47	10.46	1.69	95.69	89.15	3.91	27.11	66.21	29.48	1.33	30.81	1.71	7.65	0.3	28.32	25.56	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	108	3.30	3.30	2.24	3.21	1.47	10.59	1.86	95.89	88.12	3.99	27.05	66.47	29.42	1.35	30.68	1.73	7.55	0.3	28.69	25.82	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	110	3.30	3.30	2.24	3.25	1.47	10.72	1.86	96.09	89.52	4.04	27.25	66.93	29.16	1.38	30.34	1.75	7.46	0.3	29.05	26.08	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	112	3.30	3.30	2.24	3.29	1.47	10.85	1.86	96.28	90.92	4.08	27.45	67.38	28.90	1.40	30.01	1.78	7.37	0.3	29.41	26.33	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	114	3.30	3.30	2.24	3.33	1.47	10.98	1.86	96.47	92.32	4.12	27.64	67.83	28.65	1.43	29.69	1.80	7.28	0.3	29.78	26.59	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	116	3.30	3.30	2.24	3.37	1.47	11.11	1.86	96.67	93.71	4.17	27.84	68.26	28.40	1.45	29.38	1.82	7.20	0.3	30.13	26.84	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	118	3.30	3.30	2.24	3.41	1.47	11.24	1.86	96.86	95.10	4.21	28.03	68.69	28.16	1.48	29.08	1.84	7.12	0.3	30.49	27.09	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	120	3.30	3.30	2.24	3.44	1.47	11.36	1.86	97.05	96.48	4.25	28.22	69.12	27.93	1.50	28.78	1.86	7.04	0.3	30.85	27.33	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí

Fuente: Logacho & Orozco

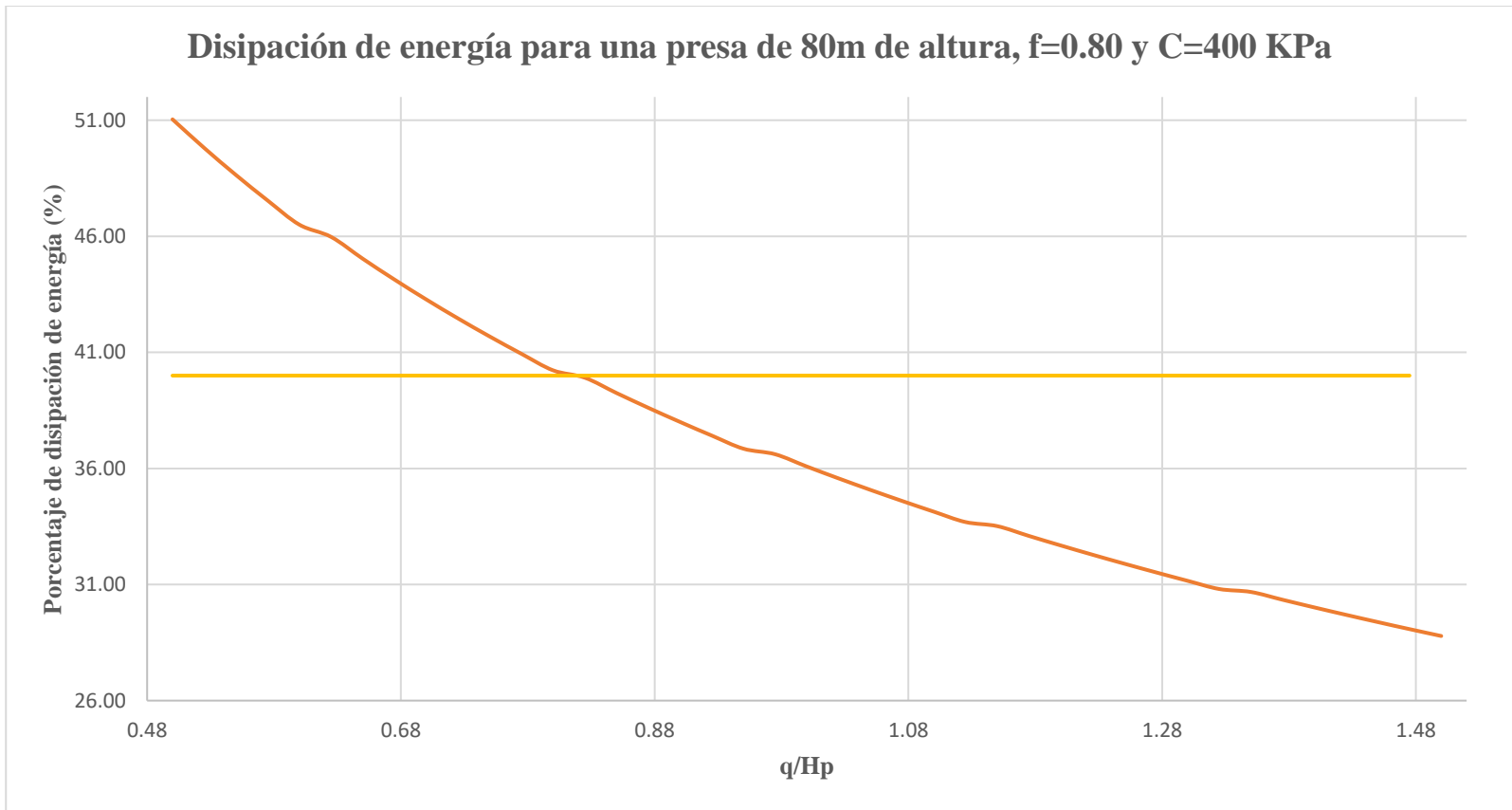


Figura 3-33. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 80 m,  $m_2=0.68$   
 Fuente: Logacho & Orozco



Tabla 3-31.

Análisis hidráulico para una presa de HC de 90 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.67		f= 0.11 ROCA BUENA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE												CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN	
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Λe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
90	40	1.80	1.50	1.21	3.04	1.49	5.46	1.00	98.20	44.17	2.07	19.35	44.14	54.06	0.44	55.05	0.89	16.47	0.3	14.32	15.44	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	42	1.80	1.80	1.21	3.14	1.49	5.64	1.00	98.47	46.07	2.13	19.73	45.51	52.96	0.47	53.78	0.92	15.95	0.3	14.83	15.86	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	44	1.80	1.80	1.21	3.23	1.49	5.82	1.00	98.73	47.95	2.19	20.10	46.82	51.92	0.49	52.58	0.95	15.46	0.3	15.33	16.26	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	46	1.80	1.80	1.21	3.33	1.49	6.00	1.00	99.00	49.82	2.25	20.46	48.07	50.93	0.51	51.44	0.98	15.01	0.3	15.82	16.66	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	48	1.80	1.80	1.21	3.43	1.49	6.17	1.00	99.25	51.67	2.31	20.81	49.27	49.99	0.53	50.36	1.01	14.59	0.3	16.30	17.04	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	50	2.10	1.80	1.41	3.02	1.49	6.34	1.17	99.51	51.18	2.40	20.83	49.94	49.57	0.56	49.82	1.04	14.20	0.3	16.78	17.42	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	52	2.10	2.10	1.41	3.10	1.49	6.51	1.17	99.76	52.94	2.46	21.16	51.04	48.72	0.58	48.83	1.06	13.83	0.3	17.25	17.80	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	54	2.10	2.10	1.41	3.18	1.49	6.67	1.17	100.01	54.68	2.51	21.48	52.11	47.90	0.60	47.90	1.09	13.49	0.3	17.72	18.16	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	56	2.10	2.10	1.41	3.26	1.49	6.84	1.17	100.26	56.42	2.57	21.79	53.13	47.13	0.62	47.01	1.12	13.16	0.3	18.17	18.52	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	58	2.10	2.10	1.41	3.33	1.49	7.00	1.17	100.50	58.15	2.62	22.10	54.12	46.38	0.64	46.15	1.14	12.86	0.3	18.63	18.88	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
90	60	2.10	2.10	1.41	3.41	1.49	7.16	1.17	100.74	59.87	2.68	22.40	55.07	45.67	0.67	45.33	1.17	12.57	0.3	19.08	19.22	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
90	62	2.10	2.10	1.41	3.48	1.49	7.32	1.17	100.98	61.58	2.73	22.70	55.99	44.99	0.69	44.55	1.20	12.30	0.3	19.52	19.57	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
90	64	2.10	2.10	1.41	3.56	1.49	7.47	1.17	101.21	63.28	2.78	22.99	56.88	44.33	0.71	43.80	1.22	12.04	0.3	19.96	19.91	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	66	2.40	2.40	1.61	3.18	1.49	7.63	1.34	101.44	62.51	2.87	22.97	57.35	44.09	0.73	43.47	1.25	11.80	0.3	20.39	20.24	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	68	2.40	2.40	1.61	3.24	1.49	7.78	1.34	101.67	64.14	2.93	23.24	58.19	43.49	0.76	42.77	1.27	11.56	0.3	20.82	20.57	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	70	2.40	2.40	1.61	3.31	1.49	7.93	1.34	101.90	65.76	2.98	23.51	59.00	42.90	0.78	42.10	1.30	11.34	0.3	21.25	20.89	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	72	2.40	2.40	1.61	3.37	1.49	8.08	1.34	102.13	67.37	3.03	23.78	59.79	42.34	0.80	41.46	1.32	11.13	0.3	21.67	21.21	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	74	2.40	2.40	1.61	3.43	1.49	8.23	1.34	102.35	68.98	3.08	24.04	60.56	41.79	0.82	40.83	1.35	10.93	0.3	22.09	21.53	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	76	2.40	2.40	1.61	3.49	1.49	8.38	1.34	102.57	70.58	3.13	24.30	61.30	41.27	0.84	40.24	1.37	10.74	0.3	22.50	21.84	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	78	2.70	2.70	1.81	3.16	1.49	8.53	1.50	102.79	69.75	3.21	24.27	61.69	41.10	0.87	39.98	1.39	10.55	0.3	22.91	22.15	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	80	2.70	2.70	1.81	3.21	1.49	8.67	1.50	103.01	71.28	3.26	24.51	62.40	40.61	0.89	39.42	1.42	10.38	0.3	23.32	22.46	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	82	2.70	2.70	1.81	3.27	1.49	8.82	1.50	103.23	72.81	3.31	24.76	63.09	40.13	0.91	38.88	1.44	10.21	0.3	23.73	22.76	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	84	2.70	2.70	1.81	3.32	1.49	8.96	1.50	103.44	74.34	3.36	25.00	63.77	39.67	0.93	38.35	1.47	10.04	0.3	24.13	23.06	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	86	2.70	2.70	1.81	3.37	1.49	9.10	1.50	103.65	75.86	3.41	25.23	64.42	39.23	0.96	37.85	1.49	9.89	0.3	24.52	23.35	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	88	2.70	2.70	1.81	3.42	1.49	9.24	1.50	103.86	77.37	3.46	25.46	65.07	38.80	0.98	37.35	1.51	9.74	0.3	24.92	23.64	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	90	2.70	2.70	1.81	3.47	1.49	9.38	1.50	104.07	78.88	3.50	25.69	65.69	38.38	1.00	36.88	1.53	9.59	0.3	25.31	23.93	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	92	3.00	3.00	2.01	3.17	1.49	9.52	1.67	104.28	77.97	3.59	25.65	66.02	38.26	1.02	36.69	1.56	9.45	0.3	25.70	24.22	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	94	3.00	3.00	2.01	3.22	1.49	9.66	1.67	104.49	79.42	3.63	25.87	66.62	37.87	1.04	36.24	1.58	9.32	0.3	26.08	24.50	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	96	3.00	3.00	2.01	3.26	1.49	9.79	1.67	104.69	80.88	3.68	26.09	67.21	37.48	1.07	35.80	1.60	9.19	0.3	26.47	24.78	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	98	3.00	3.00	2.01	3.31	1.49	9.93	1.67	104.89	82.32	3.73	26.31	67.79	37.11	1.09	35.38	1.62	9.06	0.3	26.85	25.06	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	100	3.00	3.00	2.01	3.35	1.49	10.06	1.67	105.10	83.76	3.77	26.52	68.35	36.75	1.11	34.97	1.65	8.94	0.3	27.22	25.33	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	102	3.00	3.00	2.01	3.40	1.49	10.20	1.67	105.30	85.20	3.82	26.73	68.90	36.40	1.13	34.56	1.67	8.83	0.3	27.60	25.60	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	104	3.00	3.00	2.01	3.44	1.49	10.33	1.67	105.50	86.64	3.86	26.94	69.44	36.05	1.16	34.17	1.69	8.71	0.3	27.97	25.87	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	106	3.00	3.00	2.01	3.49	1.49	10.46	1.67	105.69	88.07	3.90	27.15	69.98	35.72	1.18	33.79	1.71	8.60	0.3	28.34	26.14	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	108	3.30	3.30	2.21	3.21	1.49	10.59	1.84	105.89	87.06	3.99	27.09	70.25	35.64	1.20	33.66	1.73	8.50	0.3	28.71	26.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	110	3.30	3.30	2.21	3.25	1.49	10.72	1.84	106.09	88.44	4.03	27.29	70.76	35.32	1.22	33.30	1.75	8.39	0.3	29.07	26.67	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	112	3.30	3.30	2.21	3.29	1.49	10.85	1.84	106.28	89.82	4.07	27.49	71.27	35.01	1.24	32.94	1.78	8.29	0.3	29.44	26.93	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	114	3.30	3.30	2.21	3.33	1.49	10.98	1.84	106.47	91.20	4.12	27.68	71.76	34.71	1.27	32.60	1.80	8.19	0.3	29.80	27.19	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	116	3.30	3.30	2.21	3.37	1.49	11.11	1.84	106.67	92.57	4.16	27.88	72.25	34.42	1.29	32.27	1.82	8.10	0.3	30.16	27.45	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	118	3.30	3.30	2.21	3.41	1.49	11.24	1.84	106.86	93.95	4.20	28.07	72.73	34.13	1.31	31.94	1.84	8.01	0.3	30.52	27.70	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	120	3.30	3.30	2.21	3.44	1.49	11.36	1.84	107.05	95.31	4.25	28.26	73.20	33.85	1.33	31.62	1.86	7.92	0.3	30.87	27.95	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí

Fuente: Logacho & Orozco

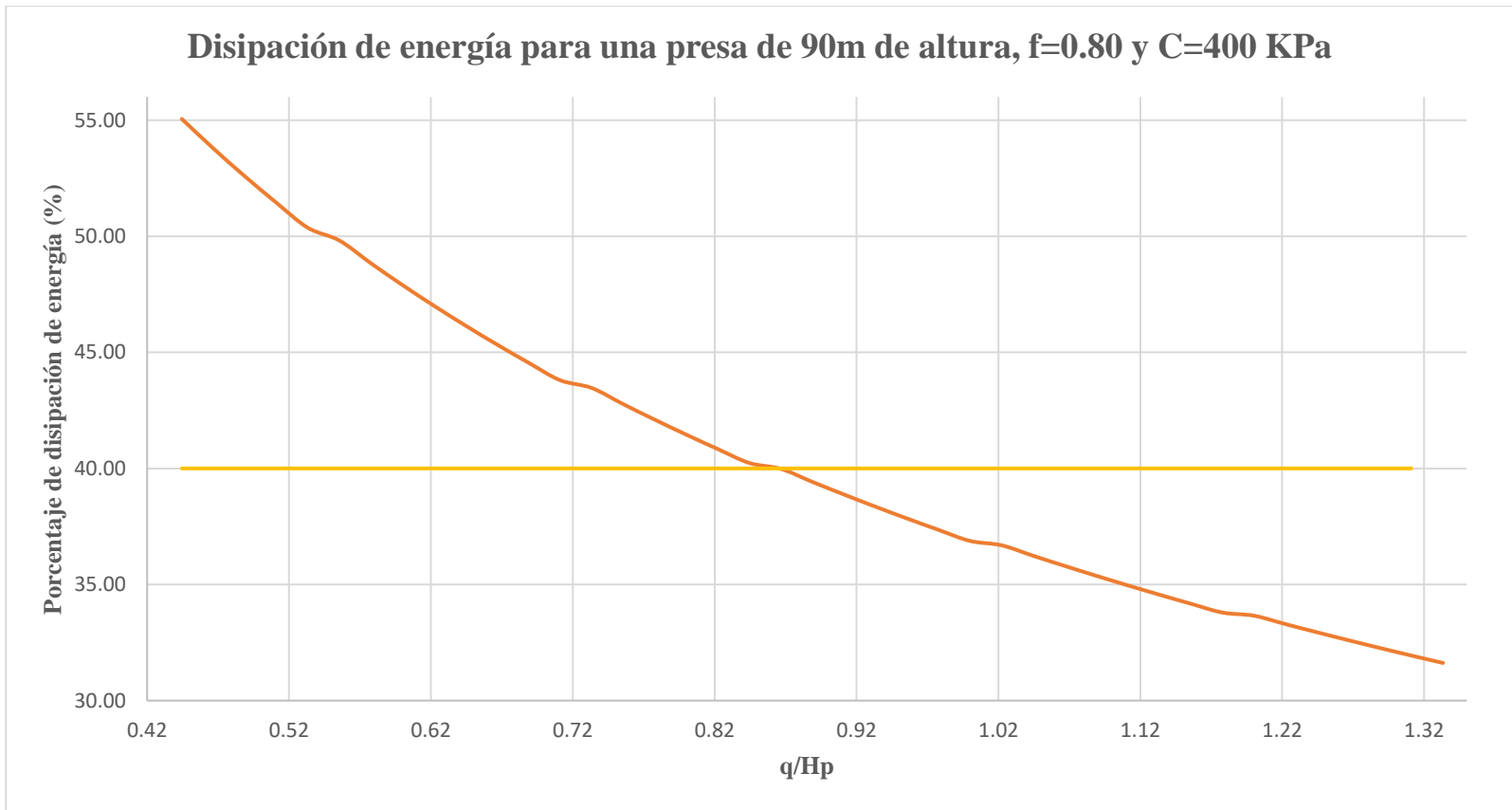


Figura 3-34. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 90 m,  $m_2=0.67$   
 Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-32.

Análisis hidráulico para una presa de HC de 100 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.66		f= 0.11 ROCA BUENA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE													CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Δe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
100	40	1.80	1.50	1.19	3.04	1.52	5.46	0.99	108.20	43.63	2.06	19.37	44.68	63.52	0.40	58.71	0.89	18.30	0.3	14.64	15.76	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	42	1.80	1.80	1.19	3.14	1.52	5.64	0.99	108.47	45.50	2.13	19.75	46.19	62.28	0.42	57.41	0.92	17.72	0.3	15.12	16.18	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	44	1.80	1.80	1.19	3.23	1.52	5.82	0.99	108.73	47.36	2.19	20.13	47.64	61.10	0.44	56.19	0.95	17.18	0.3	15.60	16.59	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	46	1.80	1.80	1.19	3.33	1.52	6.00	0.99	109.00	49.20	2.25	20.49	49.02	59.97	0.46	55.02	0.98	16.67	0.3	16.07	16.99	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	48	2.10	1.80	1.39	2.94	1.52	6.17	1.16	109.25	48.80	2.34	20.52	49.81	59.45	0.48	54.41	1.01	16.21	0.3	16.53	17.39	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	50	2.10	1.80	1.39	3.02	1.52	6.34	1.16	109.51	50.55	2.40	20.86	51.08	58.43	0.50	53.35	1.04	15.77	0.3	16.99	17.77	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	52	2.10	2.10	1.39	3.10	1.52	6.51	1.16	109.76	52.28	2.45	21.19	52.31	57.45	0.52	52.34	1.06	15.37	0.3	17.44	18.16	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	54	2.10	2.10	1.39	3.18	1.52	6.67	1.16	110.01	54.01	2.51	21.51	53.49	56.52	0.54	51.38	1.09	14.98	0.3	17.88	18.53	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	56	2.10	2.10	1.39	3.26	1.52	6.84	1.16	110.26	55.72	2.57	21.82	54.63	55.63	0.56	50.46	1.12	14.63	0.3	18.32	18.90	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	58	2.10	2.10	1.39	3.33	1.52	7.00	1.16	110.50	57.43	2.62	22.13	55.72	54.78	0.58	49.57	1.14	14.29	0.3	18.75	19.26	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
100	60	2.10	2.10	1.39	3.41	1.52	7.16	1.19	110.74	59.13	2.51	22.43	61.11	49.63	0.60	44.81	1.17	13.97	0.3	19.17	19.61	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
100	62	2.40	2.10	1.58	3.05	1.52	7.32	1.32	110.98	58.51	2.76	22.43	57.35	53.62	0.62	48.32	1.20	13.67	0.3	19.61	19.96	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
100	64	2.40	2.10	1.58	3.11	1.52	7.47	1.32	111.21	60.13	2.82	22.72	58.34	52.87	0.64	47.54	1.22	13.38	0.3	20.03	20.31	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
100	66	2.40	2.40	1.58	3.18	1.52	7.63	1.32	111.44	61.74	2.87	23.00	59.31	52.14	0.66	46.78	1.25	13.11	0.3	20.44	20.65	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
100	68	2.40	2.40	1.58	3.24	1.52	7.78	1.32	111.67	63.35	2.92	23.27	60.24	51.43	0.68	46.06	1.27	12.85	0.3	20.85	20.99	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
100	70	2.40	2.40	1.58	3.31	1.52	7.93	1.32	111.90	64.95	2.97	23.55	61.14	50.76	0.70	45.36	1.30	12.60	0.3	21.26	21.32	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
100	72	2.45	2.40	1.62	3.30	1.52	8.08	1.35	112.13	66.14	3.03	23.76	61.95	50.17	0.72	44.75	1.32	12.37	0.3	21.66	21.64	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	74	2.45	2.40	1.62	3.36	1.52	8.23	1.35	112.35	67.72	3.08	24.02	62.81	49.54	0.74	44.10	1.35	12.15	0.3	22.06	21.97	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	76	2.50	2.40	1.65	3.35	1.52	8.38	1.38	112.57	68.89	3.14	24.23	63.57	49.00	0.76	43.53	1.37	11.93	0.3	22.46	22.28	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	78	2.70	2.70	1.78	3.16	1.52	8.53	1.49	112.79	68.89	3.21	24.30	64.13	48.66	0.78	43.14	1.39	11.73	0.3	22.85	22.60	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	80	2.70	2.70	1.78	3.21	1.52	8.67	1.49	113.01	70.40	3.26	24.55	64.92	48.09	0.80	42.56	1.42	11.53	0.3	23.24	22.91	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	82	2.70	2.70	1.78	3.27	1.52	8.82	1.49	113.23	71.92	3.31	24.79	65.69	47.54	0.82	41.99	1.44	11.34	0.3	23.62	23.22	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	84	2.70	2.70	1.78	3.32	1.52	8.96	1.49	113.44	73.42	3.36	25.03	66.44	47.00	0.84	41.44	1.47	11.16	0.3	24.01	23.52	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	86	2.75	2.70	1.82	3.31	1.52	9.10	1.51	113.65	74.52	3.41	25.22	67.11	46.54	0.86	40.95	1.49	10.99	0.3	24.38	23.82	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	88	2.75	2.70	1.82	3.36	1.52	9.24	1.51	113.86	76.01	3.46	25.45	67.82	46.04	0.88	40.44	1.51	10.82	0.3	24.76	24.12	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	90	2.80	2.70	1.85	3.35	1.52	9.38	1.54	114.07	77.09	3.51	25.64	68.46	45.61	0.90	39.98	1.53	10.66	0.3	25.14	24.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	92	3.00	3.00	1.98	3.17	1.52	9.52	1.65	114.28	77.01	3.58	25.69	68.93	45.35	0.92	39.68	1.56	10.50	0.3	25.51	24.71	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	94	3.00	3.00	1.98	3.22	1.52	9.66	1.65	114.49	78.44	3.63	25.91	69.60	44.89	0.94	39.21	1.58	10.35	0.3	25.87	24.99	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	96	3.00	3.00	1.98	3.26	1.52	9.79	1.65	114.69	79.88	3.67	26.13	70.25	44.44	0.96	38.75	1.60	10.21	0.3	26.24	25.28	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	98	3.00	3.00	1.98	3.31	1.52	9.93	1.65	114.89	81.31	3.72	26.34	70.89	44.01	0.98	38.30	1.62	10.07	0.3	26.60	25.56	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	100	3.00	3.00	1.98	3.35	1.52	10.06	1.65	115.10	82.73	3.77	26.56	71.51	43.58	1.00	37.87	1.65	9.94	0.3	26.96	25.84	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	102	3.00	3.00	1.98	3.40	1.52	10.20	1.65	115.30	84.15	3.81	26.77	72.13	43.17	1.02	37.44	1.67	9.81	0.3	27.32	26.12	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	104	3.00	3.00	1.98	3.44	1.52	10.33	1.65	115.50	85.57	3.86	26.98	72.73	42.77	1.04	37.03	1.69	9.68	0.3	27.68	26.40	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	106	3.00	3.00	1.98	3.49	1.52	10.46	1.65	115.69	86.98	3.90	27.18	73.32	42.38	1.06	36.63	1.71	9.56	0.3	28.03	26.67	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	108	3.30	3.30	2.18	3.21	1.52	10.59	1.82	115.89	85.98	3.98	27.13	73.61	42.28	1.08	36.48	1.73	9.44	0.3	28.38	26.94	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	110	3.30	3.30	2.18	3.25	1.52	10.72	1.82	116.09	87.35	4.03	27.33	74.18	41.91	1.10	36.10	1.75	9.32	0.3	28.73	27.21	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	112	3.30	3.30	2.18	3.29	1.52	10.85	1.82	116.28	88.71	4.07	27.52	74.74	41.54	1.12	35.73	1.78	9.21	0.3	29.08	27.47	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	114	3.30	3.30	2.18	3.33	1.52	10.98	1.82	116.47	90.08	4.11	27.72	75.29	41.19	1.14	35.36	1.80	9.11	0.3	29.43	27.74	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	116	3.30	3.30	2.18	3.37	1.52	11.11	1.82	116.67	91.43	4.16	27.91	75.82	40.84	1.16	35.01	1.82	9.00	0.3	29.77	28.00	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	118	3.30	3.30	2.18	3.41	1.52	11.24	1.82	116.86	92.79	4.20	28.11	76.35	40.50	1.18	34.66	1.84	8.90	0.3	30.11	28.26	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	120	3.30	3.30	2.18	3.44	1.52	11.36	1.82	117.05	94.14	4.24	28.29	76.87	40.17	1.20	34.32	1.86	8.80	0.3	30.45	28.52	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí

Fuente: Logacho & Orozco

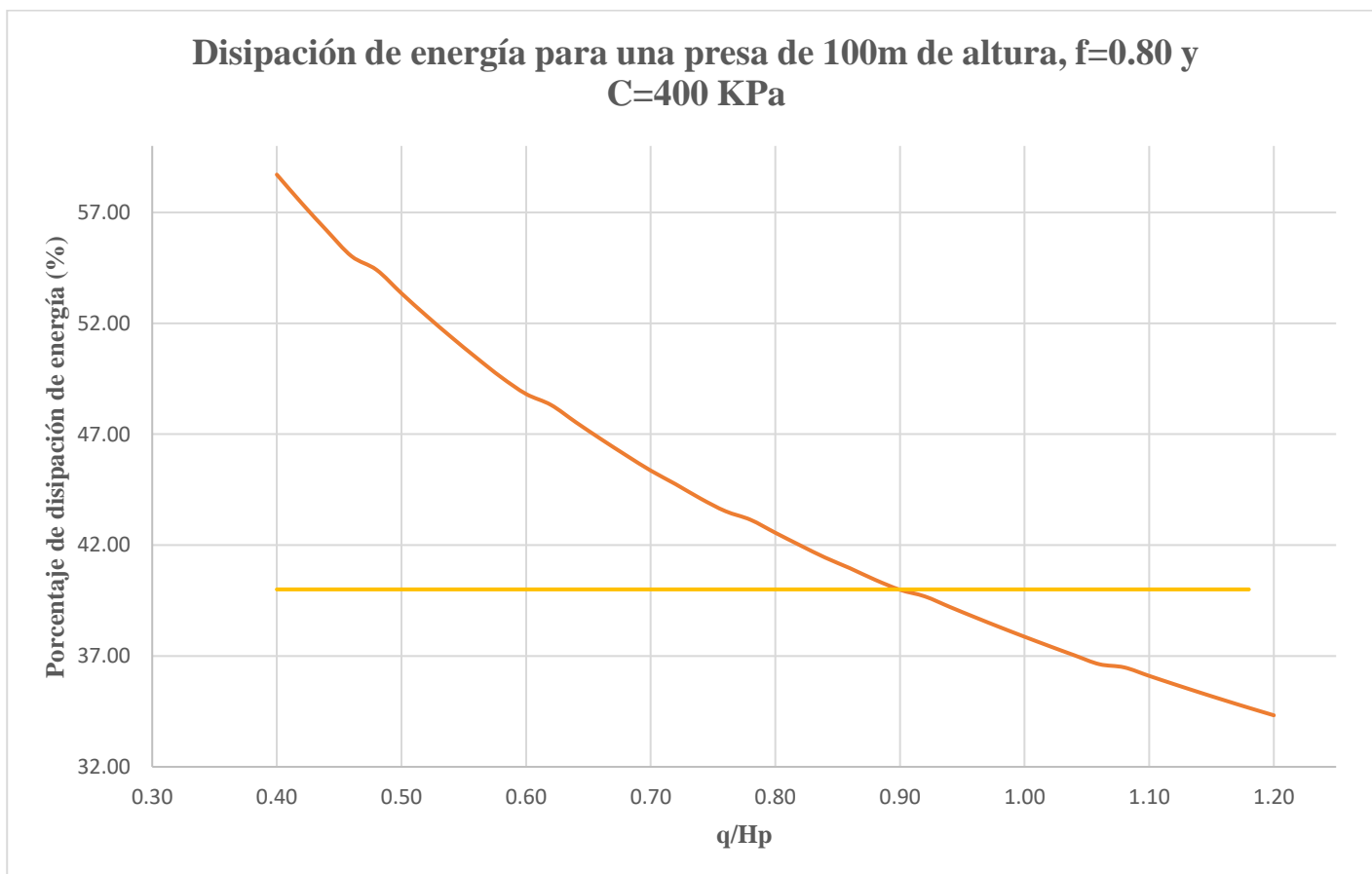


Figura 3-35. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 100 m,  $m_2=0.66$   
 Fuente: Logacho & Orozco



Tabla 3-33.

Análisis hidráulico para una presa de HC de 110 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.66		f= 0.11 ROCA BUENA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE													CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Δe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
110	40	1.80	1.50	1.19	3.04	1.52	5.46	0.99	118.20	43.63	2.06	19.37	44.68	73.52	0.36	62.20	0.89	20.13	0.3	14.33	16.04	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	42	1.80	1.80	1.19	3.14	1.52	5.64	0.99	118.47	45.50	2.13	19.75	46.32	72.15	0.38	60.90	0.92	19.49	0.3	14.84	16.47	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	44	1.80	1.80	1.19	3.23	1.52	5.82	0.99	118.73	47.36	2.19	20.13	47.90	70.84	0.40	59.66	0.95	18.89	0.3	15.34	16.89	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	46	1.80	1.80	1.19	3.33	1.52	6.00	0.99	119.00	49.20	2.25	20.49	49.41	69.59	0.42	58.48	0.98	18.34	0.3	15.83	17.30	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	48	2.10	1.80	1.39	2.94	1.52	6.17	1.16	119.25	48.80	2.34	20.52	50.26	69.00	0.44	57.86	1.01	17.83	0.3	16.32	17.70	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	50	2.10	1.80	1.39	3.02	1.52	6.34	1.16	119.51	50.55	2.40	20.86	51.65	67.86	0.45	56.78	1.04	17.35	0.3	16.79	18.10	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	52	2.10	2.10	1.39	3.10	1.52	6.51	1.16	119.76	52.28	2.45	21.19	53.00	66.77	0.47	55.75	1.06	16.90	0.3	17.26	18.49	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	54	2.10	2.10	1.39	3.18	1.52	6.67	1.16	120.01	54.01	2.51	21.51	54.29	65.72	0.49	54.76	1.09	16.48	0.3	17.73	18.87	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	56	2.10	2.10	1.39	3.26	1.52	6.84	1.16	120.26	55.72	2.57	21.82	55.54	64.72	0.51	53.82	1.12	16.09	0.3	18.19	19.24	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	58	2.10	2.10	1.39	3.33	1.52	7.00	1.16	120.50	57.43	2.62	22.13	56.74	63.75	0.53	52.91	1.14	15.72	0.3	18.64	19.61	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	60	2.10	2.10	1.39	3.41	1.52	7.16	1.19	120.74	59.13	2.67	22.43	57.80	62.94	0.55	52.13	1.17	15.36	0.3	19.09	19.97	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	62	2.40	2.10	1.58	3.05	1.52	7.32	1.32	120.98	58.51	2.76	22.43	58.53	62.45	0.56	51.62	1.20	15.03	0.3	19.54	20.33	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	64	2.40	2.10	1.58	3.11	1.52	7.47	1.32	121.21	60.13	2.82	22.72	59.62	61.59	0.58	50.81	1.22	14.72	0.3	19.98	20.68	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	66	2.40	2.40	1.58	3.18	1.52	7.63	1.32	121.44	61.74	2.87	23.00	60.68	60.77	0.60	50.04	1.25	14.42	0.3	20.41	21.03	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	68	2.40	2.40	1.58	3.24	1.52	7.78	1.32	121.67	63.35	2.92	23.27	61.70	59.97	0.62	49.29	1.27	14.13	0.3	20.84	21.37	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	70	2.40	2.40	1.58	3.31	1.52	7.93	1.32	121.90	64.95	2.97	23.55	62.70	59.20	0.64	48.56	1.30	13.86	0.3	21.27	21.71	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	72	2.45	2.40	1.62	3.30	1.52	8.08	1.35	122.13	66.14	3.03	23.76	63.59	58.54	0.65	47.93	1.32	13.61	0.3	21.69	22.04	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	74	2.45	2.40	1.62	3.36	1.52	8.23	1.35	122.35	67.72	3.08	24.02	64.53	57.82	0.67	47.26	1.35	13.36	0.3	22.11	22.37	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	76	2.50	2.40	1.65	3.35	1.52	8.38	1.38	122.57	68.89	3.14	24.23	65.37	57.20	0.69	46.66	1.37	13.12	0.3	22.52	22.69	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	78	2.70	2.70	1.78	3.16	1.52	8.53	1.49	122.79	68.89	3.21	24.30	65.98	56.81	0.71	46.27	1.39	12.90	0.3	22.93	23.01	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	80	2.70	2.70	1.78	3.21	1.52	8.67	1.49	123.01	70.40	3.26	24.55	66.85	56.16	0.73	45.65	1.42	12.68	0.3	23.34	23.33	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	82	2.70	2.70	1.78	3.27	1.52	8.82	1.49	123.23	71.92	3.31	24.79	67.70	55.53	0.75	45.06	1.44	12.48	0.3	23.74	23.64	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	84	2.70	2.70	1.78	3.32	1.52	8.96	1.49	123.44	73.42	3.36	25.03	68.53	54.91	0.76	44.49	1.47	12.28	0.3	24.15	23.95	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	86	2.75	2.70	1.82	3.31	1.52	9.10	1.51	123.65	74.52	3.41	25.22	69.27	54.39	0.78	43.98	1.49	12.09	0.3	24.54	24.26	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	88	2.75	2.70	1.82	3.36	1.52	9.24	1.51	123.86	76.01	3.46	25.45	70.05	53.81	0.80	43.44	1.51	11.90	0.3	24.94	24.56	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	90	2.80	2.70	1.85	3.35	1.52	9.38	1.54	124.07	77.09	3.51	25.64	70.76	53.31	0.82	42.97	1.53	11.73	0.3	25.33	24.86	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	92	3.00	3.00	1.98	3.17	1.52	9.52	1.65	124.28	77.01	3.58	25.69	71.26	53.02	0.84	42.66	1.56	11.55	0.3	25.72	25.16	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	94	3.00	3.00	1.98	3.22	1.52	9.66	1.65	124.49	78.44	3.63	25.91	72.00	52.49	0.85	42.16	1.58	11.39	0.3	26.10	25.45	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	96	3.00	3.00	1.98	3.26	1.52	9.79	1.65	124.69	79.88	3.67	26.13	72.72	51.97	0.87	41.68	1.60	11.23	0.3	26.49	25.74	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	98	3.00	3.00	1.98	3.31	1.52	9.93	1.65	124.89	81.31	3.72	26.34	73.43	51.47	0.89	41.21	1.62	11.08	0.3	26.87	26.03	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	100	3.00	3.00	1.98	3.35	1.52	10.06	1.65	125.10	82.73	3.77	26.56	74.12	50.98	0.91	40.75	1.65	10.93	0.3	27.24	26.32	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	102	3.00	3.00	1.98	3.40	1.52	10.20	1.65	125.30	84.15	3.81	26.77	74.79	50.50	0.93	40.31	1.67	10.79	0.3	27.62	26.60	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	104	3.00	3.00	1.98	3.44	1.52	10.33	1.65	125.50	85.57	3.86	26.98	75.45	50.04	0.95	39.87	1.69	10.65	0.3	27.99	26.88	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	106	3.00	3.00	1.98	3.49	1.52	10.46	1.65	125.69	86.98	3.90	27.18	76.10	49.59	0.96	39.45	1.71	10.51	0.3	28.36	27.16	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	108	3.30	3.30	2.18	3.21	1.52	10.59	1.82	125.89	85.98	3.98	27.13	76.41	49.48	0.98	39.30	1.73	10.38	0.3	28.73	27.43	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	110	3.30	3.30	2.18	3.25	1.52	10.72	1.82	126.09	87.35	4.03	27.33	77.04	49.05	1.00	38.90	1.75	10.26	0.3	29.10	27.71	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	112	3.30	3.30	2.18	3.29	1.52	10.85	1.82	126.28	88.71	4.07	27.52	77.66	48.63	1.02	38.51	1.78	10.13	0.3	29.46	27.98	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	114	3.30	3.30	2.18	3.33	1.52	10.98	1.82	126.47	90.08	4.11	27.72	78.26	48.21	1.04	38.12	1.80	10.02	0.3	29.82	28.25	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	116	3.30	3.30	2.18	3.37	1.52	11.11	1.82	126.67	91.43	4.16	27.91	78.85	47.81	1.05	37.75	1.82	9.90	0.3	30.18	28.51	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	118	3.30	3.30	2.18	3.41	1.52	11.24	1.82	126.86	92.79	4.20	28.11	79.43	47.42	1.07	37.38	1.84	9.79	0.3	30.54	28.78	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	120	3.30	3.30	2.18	3.44	1.52	11.36	1.82	127.05	94.14	4.24	28.29	80.01	47.04	1.09	37.03	1.86	9.68	0.3	30.90	29.04	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí

Fuente: Logacho & Orozco

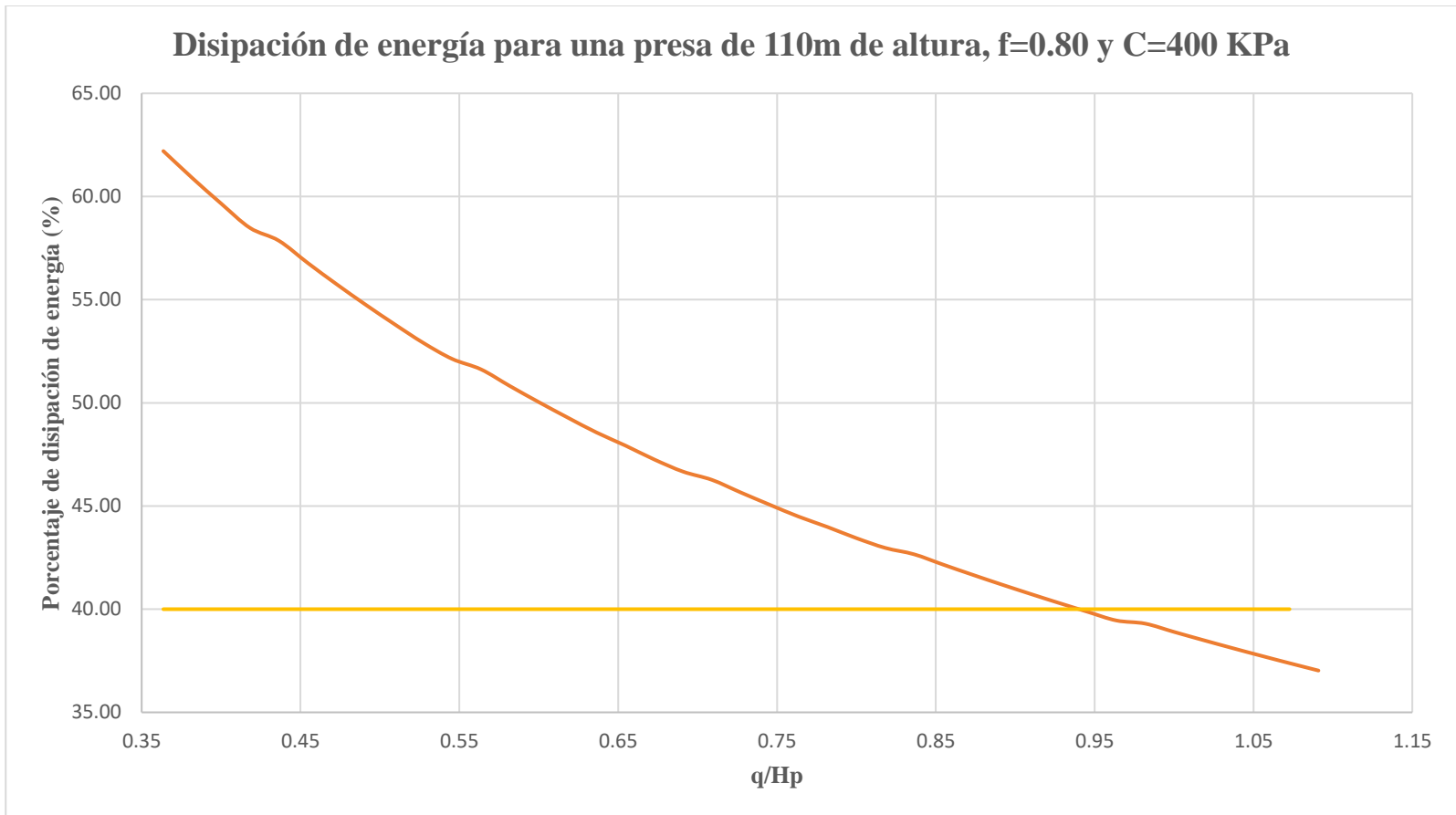


Figura 3-36. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 110 m,  $m_2=0.66$   
Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-34.

Análisis hidráulico para una presa de HC de 120 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.65		f= 0.11 ROCA BUENA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE												CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN	
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Δe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
120	40	1.80	1.50	1.17	3.04	1.54	5.46	0.98	128.20	43.08	2.06	19.40	44.57	83.63	0.33	65.23	0.89	21.96	0.3	14.35	16.31	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	42	1.80	1.80	1.17	3.14	1.54	5.64	0.98	128.47	44.93	2.12	19.78	46.34	82.13	0.35	63.93	0.92	21.26	0.3	14.85	16.75	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	44	1.80	1.80	1.17	3.23	1.54	5.82	0.98	128.73	46.76	2.18	20.15	48.04	80.70	0.37	62.69	0.95	20.61	0.3	15.35	17.17	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	46	1.80	1.80	1.17	3.33	1.54	6.00	0.98	129.00	48.58	2.24	20.51	49.67	79.33	0.38	61.50	0.98	20.01	0.3	15.84	17.59	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	48	2.10	1.80	1.37	2.94	1.54	6.17	1.14	129.25	48.19	2.34	20.55	50.57	78.68	0.40	60.87	1.01	19.45	0.3	16.33	18.00	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	50	2.10	1.80	1.37	3.02	1.54	6.34	1.14	129.51	49.91	2.39	20.89	52.08	77.43	0.42	59.78	1.04	18.93	0.3	16.81	18.40	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	52	2.10	2.10	1.37	3.10	1.54	6.51	1.14	129.76	51.63	2.45	21.22	53.54	76.22	0.43	58.74	1.06	18.44	0.3	17.28	18.80	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	54	2.10	2.10	1.37	3.18	1.54	6.67	1.14	130.01	53.33	2.51	21.54	54.94	75.07	0.45	57.74	1.09	17.98	0.3	17.74	19.18	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	56	2.10	2.10	1.37	3.26	1.54	6.84	1.14	130.26	55.02	2.56	21.85	56.30	73.96	0.47	56.78	1.12	17.55	0.3	18.20	19.56	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	58	2.10	2.10	1.37	3.33	1.54	7.00	1.18	130.50	56.71	2.62	22.16	57.48	73.02	0.48	55.95	1.14	17.14	0.3	18.66	19.94	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	60	2.10	2.10	1.37	3.41	1.54	7.16	1.18	130.74	58.39	2.67	22.47	58.75	71.99	0.50	55.07	1.17	16.76	0.3	19.11	20.31	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	62	2.10	2.10	1.60	3.48	1.31	7.32	1.18	130.98	60.06	2.72	22.76	59.97	71.00	0.52	54.21	1.20	16.40	0.3	19.55	20.67	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	64	2.40	2.10	1.56	3.11	1.54	7.47	1.31	131.21	59.37	2.81	22.75	60.72	70.49	0.53	53.72	1.22	16.06	0.3	19.99	21.03	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	66	2.40	2.40	1.56	3.18	1.54	7.63	1.31	131.44	60.97	2.87	23.03	61.87	69.57	0.55	52.93	1.25	15.73	0.3	20.43	21.38	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	68	2.40	2.40	1.56	3.24	1.54	7.78	1.31	131.67	62.55	2.92	23.31	62.99	68.68	0.57	52.16	1.27	15.42	0.3	20.86	21.72	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	70	2.40	2.40	1.56	3.31	1.54	7.93	1.34	131.90	64.13	2.97	23.58	63.96	67.94	0.58	51.51	1.30	15.12	0.3	21.28	22.07	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	72	2.40	2.40	1.56	3.37	1.54	8.08	1.34	132.13	65.70	3.02	23.84	65.01	67.11	0.60	50.80	1.32	14.84	0.3	21.71	22.41	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	74	2.40	2.40	1.56	3.43	1.54	8.23	1.34	132.35	67.27	3.07	24.11	66.04	66.31	0.62	50.10	1.35	14.57	0.3	22.13	22.74	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	76	2.40	2.40	1.56	3.49	1.54	8.38	1.34	132.57	68.83	3.12	24.37	67.04	65.53	0.63	49.43	1.37	14.32	0.3	22.54	23.07	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	78	2.70	2.70	1.76	3.16	1.54	8.53	1.51	132.79	68.02	3.21	24.33	67.53	65.26	0.65	49.15	1.39	14.07	0.3	22.95	23.40	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	80	2.70	2.70	1.76	3.21	1.54	8.67	1.51	133.01	69.52	3.25	24.58	68.48	64.53	0.67	48.52	1.42	13.84	0.3	23.36	23.72	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	82	2.70	2.70	1.76	3.27	1.54	8.82	1.51	133.23	71.01	3.30	24.82	69.40	63.82	0.68	47.91	1.44	13.61	0.3	23.76	24.04	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	84	2.70	2.70	1.76	3.32	1.54	8.96	1.51	133.44	72.50	3.35	25.06	70.31	63.13	0.70	47.31	1.47	13.39	0.3	24.16	24.35	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	86	2.70	2.70	1.76	3.37	1.54	9.10	1.51	133.65	73.98	3.40	25.30	71.19	62.46	0.72	46.74	1.49	13.18	0.3	24.56	24.66	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	88	2.70	2.70	1.76	3.42	1.54	9.24	1.51	133.86	75.46	3.45	25.54	72.05	61.82	0.73	46.18	1.51	12.98	0.3	24.96	24.97	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	90	2.70	2.70	1.76	3.47	1.54	9.38	1.51	134.07	76.93	3.49	25.77	72.89	61.18	0.75	45.64	1.53	12.79	0.3	25.35	25.28	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	92	3.00	3.00	1.95	3.17	1.54	9.52	1.68	134.28	76.04	3.58	25.72	73.29	60.99	0.77	45.42	1.56	12.61	0.3	25.74	25.58	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	94	3.00	3.00	1.95	3.22	1.54	9.66	1.68	134.49	77.46	3.62	25.94	74.09	60.39	0.78	44.91	1.58	12.43	0.3	26.12	25.88	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	96	3.00	3.00	1.95	3.26	1.54	9.79	1.68	134.69	78.87	3.67	26.16	74.88	59.81	0.80	44.40	1.60	12.25	0.3	26.51	26.17	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	98	3.00	3.00	1.95	3.31	1.54	9.93	1.68	134.89	80.28	3.72	26.38	75.65	59.24	0.82	43.92	1.62	12.09	0.3	26.89	26.46	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	100	3.00	3.00	1.95	3.35	1.54	10.06	1.68	135.10	81.69	3.76	26.59	76.41	58.69	0.83	43.44	1.65	11.92	0.3	27.27	26.75	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	102	3.00	3.00	1.95	3.40	1.54	10.20	1.68	135.30	83.09	3.81	26.80	77.15	58.15	0.85	42.98	1.67	11.77	0.3	27.64	27.04	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	104	3.00	3.00	1.95	3.44	1.54	10.33	1.68	135.50	84.49	3.85	27.01	77.87	57.63	0.87	42.53	1.69	11.62	0.3	28.01	27.33	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	106	3.00	3.00	1.95	3.49	1.54	10.46	1.68	135.69	85.89	3.89	27.22	78.58	57.11	0.88	42.09	1.71	11.47	0.3	28.39	27.61	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	108	3.30	3.30	2.15	3.21	1.54	10.59	1.85	135.89	84.90	3.98	27.16	78.91	56.98	0.90	41.93	1.73	11.33	0.3	28.75	27.89	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	110	3.30	3.30	2.15	3.25	1.54	10.72	1.85	136.09	86.25	4.02	27.36	79.59	56.49	0.92	41.51	1.75	11.19	0.3	29.12	28.17	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	112	3.30	3.30	2.15	3.29	1.54	10.85	1.85	136.28	87.60	4.06	27.56	80.27	56.02	0.93	41.10	1.78	11.06	0.3	29.48	28.44	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	114	3.30	3.30	2.15	3.33	1.54	10.98	1.85	136.47	88.94	4.11	27.76	80.92	55.55	0.95	40.70	1.80	10.93	0.3	29.85	28.72	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	116	3.30	3.30	2.15	3.37	1.54	11.11	1.85	136.67	90.28	4.15	27.95	81.57	55.09	0.97	40.31	1.82	10.80	0.3	30.21	28.99	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	118	3.30	3.30	2.15	3.41	1.54	11.24	1.80	136.86	91.62	4.19	28.14	82.32	54.54	0.98	39.85	1.84	10.68	0.3	30.56	29.26	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	120	3.30	3.30	2.15	3.44	1.54	11.36	1.80	137.05	92.95	4.24	28.33	82.94	54.10	1.00	39.48	1.86	10.56	0.3	30.92	29.52	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí

Fuente: Logacho & Orozco

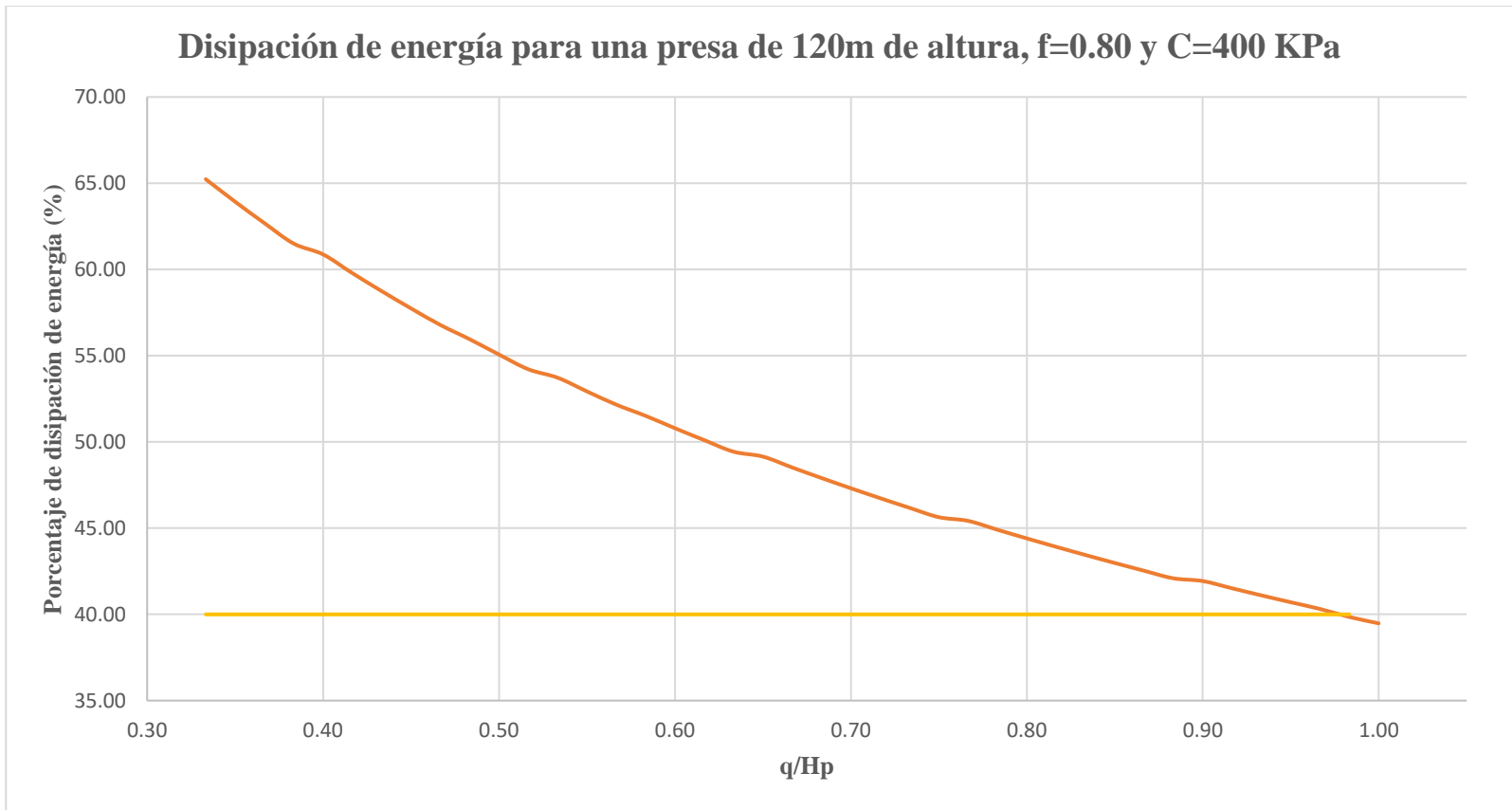


Figura 3-37. Curva característica de disipación de energía para una presa de HC de 120 m,  $m_2=0.65$   
 Fuente: Logacho & Orozco

### **3.2.2 Presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC)**

La presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC) es una presa a gravedad que asegura su estabilidad gracias a su peso propio y es diseñada para estados límite. Es importante mencionar que dentro de la bibliografía disponible, generalmente, se estudia presas medianas y caudales unitarios bajos, de tal manera que, en concordancia con el objetivo de la presente investigación se adoptó un rango de altura de presa más completo que oscila entre (50 – 120) m; además, se asignó el nivel de importancia I que es el nivel máximo de seguridad para una presa de hormigón con ayuda de la tabla 2-11, y esta medida tiene relevancia en los valores del factor de seguridad al deslizamiento permisible. Se debe chequear que el esfuerzo mínimo sea igual o mayor a cero; y que el esfuerzo máximo no sobrepase la resistencia a compresión de la roca de cimentación.

#### ***3.2.2.1 Condiciones de diseño de una presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC)***

Para diseñar el perfil transversal de una presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC) se hace cumplir su comportamiento para estados límite, con la condición de estabilidad y de resistencia. Cuando estas condiciones se cumplen se obtiene un parámetro que determina la ubicación del vértice superior del perfil teórico triangular, a su vez este vértice será considerado el nivel normal de operación NNE. Una vez obtenido dicho parámetro ( $\xi$ ) se puede calcular la base del perfil transversal.

Es importante mencionar que en este tipo de presas debe existir ausencia de esfuerzos de tracción, por ende, al diseñar para estados límite se sabe que el esfuerzo mínimo tiene que ser cero, esto se consigue con un sistema de dos ecuaciones y una incógnita como se evidencia en la ecuación 11.

Parámetro		Condición	Ángulos de inclinación			Perfil teórico triangular	
$\epsilon_1$	0.37	CORTINA Y DRENAJE	Aguas arriba	$\alpha$	83.34 °	$\xi*B$	11.67 m
a/b	0.1		Aguas abajo	$\beta$	58.97 °	$(1-\xi)*B$	60.15 m
$\alpha$	0.8	CORTINA Y DRENAJE	Angulo complementario A.A.R	$\psi$	6.66 °	$a_1$	11.67 m
C	400.00 KPa	Cohesión				$a_{(C,D)}$	8.00 m

Llenar
Fórmula

Hp	FSDper	f	$\gamma_o$	$\gamma_n$	m1	m2	ec. Est	$\xi$	ec. Resist	b	b/H
100.00 m	1.30	0.80	10.00 KN/m <sup>3</sup>	24.00 KN/m <sup>3</sup>	0.12	0.60	0.718	0.1625	0.718	71.82 m	0.718

N		X <sub>(G,Pv)</sub>	W <sub>(C,D)</sub>		X <sub>(W1,W2,W3)</sub>	T	X <sub>(PH)</sub>	M <sub>(C,D)</sub>		e	
G1	14007.92 KN	28.13 m	W1	3200.00 KN	33.24 m	PH	50000.00 KN	33.33 m	M <sub>G1</sub>	-394028.04 KN*m	12.07
G2	72178.79 KN	-4.19 m	W2	6382.23 KN	6.64 m	PHS		M <sub>G2</sub>	-302299.08 KN*m		
Pv	5836.63 KN	32.02 m	W3	1436.45 KN	31.91 m			M <sub>Pv</sub>	-186889.20 KN*m		
$\Sigma N$	92023.34 KN		$\Sigma W$	11018.67 KN		$\Sigma PH$	50000.00 KN	M <sub>W</sub>	194579.95 KN*m		
								M <sub>PH</sub>	1666666.67 KN*m		
								$\Sigma M$	978030.29 KN*m		

VERIFICACION DE ESFUERZOS

$\sigma_y'$	$\sigma_y''$	20%* $\gamma_o$ *Hp	FSD
-9.74 KPa	2265.44 KPa	200.00 KPa	1.87

CALCULAR

GRABAR DATOS

Figura 3-38. Programa de cálculo para obtener el PTT de una presa de HVC  
Fuente: Logacho & Orozco

El rango de caudales unitarios para el análisis están en la tabla 3-4, asumiendo que la presa será construida sobre una roca de buena calidad. La carga se obtiene a partir del caudal unitario con la ecuación del vertedero (79), con este valor se puede construir el perfil hidráulico del vertedero tipo Creager; como resultado se obtiene el perfil constructivo de la presa siguiendo el procedimiento del capítulo 2.2.3. Cabe aclarar que el perfil constructivo de la presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC) se presentará en el análisis técnico – económico que consta en el capítulo 4.3. Al perfil constructivo se debe añadir los elementos constructivos complementarios como galerías, drenaje, etc.; además, se realiza el análisis de estabilidad y de verificación de resistencias, incluyendo en cada análisis todas las fuerzas actuantes que se presentan para una combinación básica (B1). Para la estabilidad al deslizamiento se debe utilizar la ecuación 12, que es la relación entre el coeficiente de fricción multiplicado por la suma de las fuerzas normales a la superficie de deslizamiento, sumadas a la cohesión específica entre el hormigón y la roca multiplicados por el ancho o base, con la suma de las fuerzas deslizantes que

son la presión hidrostática, la presión de sedimentos. El resultado debe ser mayor que el factor de seguridad permisible, el cual depende del nivel de importancia de la obra hidráulica y la combinación de fuerzas para la que se calculó. En la verificación de resistencias se determinan los esfuerzos máximos y mínimos que actúan en la base de la presa, en el caso de una presa de hormigón vibrado convencional (HVC) al estar diseñada para estados límite el esfuerzo mínimo tiene que ser igual o mayor a cero, en caso de que esto no se dé, la solución integral sería modificar las dimensiones hasta que satisfagan dichas condiciones.

#### ***3.2.2.2 Análisis geométrico y geomecánico para presas de hormigón vibrado convencional (HVC)***

El perfil transversal de la presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC) se realiza a partir de la obtención de un perfil teórico triangular para el rango de alturas adoptadas entre (50 - 120) m; tomando como variables la altura de la presa ( $H_p$ ), el factor de fricción de la roca de cimentación ( $f$ ), la cohesión ( $C$ ). De esta manera se obtienen los siguientes coeficientes de talud:

*Tabla 3-35.*  
*Coefficientes de talud m1 y m2 para presas de HVC para f=0.80 y C=400 KPa*

<b>Hp (m)</b>	<b>f</b>	<b>C (KPa)</b>	<b>m1</b>	<b>m2</b>
120.00	0.80	400.00	0.12	0.60
115.00	0.80	400.00	0.12	0.60
110.00	0.80	400.00	0.12	0.60
105.00	0.80	400.00	0.12	0.60
100.00	0.80	400.00	0.12	0.60
95.00	0.80	400.00	0.12	0.60
90.00	0.80	400.00	0.12	0.60
85.00	0.80	400.00	0.12	0.60
80.00	0.80	400.00	0.12	0.60
75.00	0.80	400.00	0.12	0.60
70.00	0.80	400.00	0.12	0.60
65.00	0.80	400.00	0.12	0.60
60.00	0.80	400.00	0.12	0.60
55.00	0.80	400.00	0.12	0.60
50.00	0.80	400.00	0.12	0.60

Fuente: Logacho & Orozco

*Tabla 3-36.*  
*Coefficientes de talud m1, m2 para presas de HVC para f=0.75 y C=250KPa*

<b>Hp (m)</b>	<b>f</b>	<b>C (KPa)</b>	<b>m1</b>	<b>m2</b>
120.00	0.75	250.00	0.19	0.54
115.00	0.75	250.00	0.19	0.54
110.00	0.75	250.00	0.19	0.54
105.00	0.75	250.00	0.19	0.54
100.00	0.75	250.00	0.19	0.54
95.00	0.75	250.00	0.19	0.54
90.00	0.75	250.00	0.19	0.54
85.00	0.75	250.00	0.19	0.54
80.00	0.75	250.00	0.19	0.54
75.00	0.75	250.00	0.19	0.54
70.00	0.75	250.00	0.19	0.54
65.00	0.75	250.00	0.19	0.54
60.00	0.75	250.00	0.19	0.54
55.00	0.75	250.00	0.19	0.54
50.00	0.75	250.00	0.19	0.54

Fuente: Logacho & Orozco



*Tabla 3-37.*  
*Coefficientes de talud m1, m2 para presas de HVC para f=0.70 y C=150KPa*

<b>Hp (m)</b>	<b>f</b>	<b>C (KPa)</b>	<b>m1</b>	<b>m2</b>
120.00	0.70	150.00	0.27	0.48
115.00	0.70	150.00	0.27	0.48
110.00	0.70	150.00	0.27	0.48
105.00	0.70	150.00	0.27	0.48
100.00	0.70	150.00	0.27	0.48
95.00	0.70	150.00	0.27	0.48
90.00	0.70	150.00	0.27	0.48
85.00	0.70	150.00	0.27	0.48
80.00	0.70	150.00	0.27	0.48
75.00	0.70	150.00	0.27	0.48
70.00	0.70	150.00	0.27	0.48
65.00	0.70	150.00	0.27	0.48
60.00	0.70	150.00	0.27	0.48
55.00	0.70	150.00	0.27	0.48
50.00	0.70	150.00	0.27	0.48

Fuente: Logacho & Orozco

*Tabla 3-38.*  
*Coefficientes de talud m1, m2 para presas de HVC para f=0.65 y C=100KPa*

<b>Hp (m)</b>	<b>f</b>	<b>C (KPa)</b>	<b>m1</b>	<b>m2</b>
120.00	0.65	100.00	0.36	0.42
115.00	0.65	100.00	0.36	0.42
110.00	0.65	100.00	0.36	0.42
105.00	0.65	100.00	0.36	0.42
100.00	0.65	100.00	0.36	0.42
95.00	0.65	100.00	0.36	0.42
90.00	0.65	100.00	0.36	0.42
85.00	0.65	100.00	0.36	0.42
80.00	0.65	100.00	0.36	0.42
75.00	0.65	100.00	0.36	0.42
70.00	0.65	100.00	0.36	0.42
65.00	0.65	100.00	0.36	0.42
60.00	0.65	100.00	0.36	0.42
55.00	0.65	100.00	0.36	0.42
50.00	0.65	100.00	0.36	0.42

Fuente: Logacho & Orozco

De la misma manera, se realiza el análisis de estabilidad verificando que el factor de seguridad al deslizamiento permisible sea menor que el factor de seguridad al deslizamiento.

Se realiza el análisis de verificación de resistencias al perfil teórico triangular de la presa de hormigón vibrado convencional (HVC), la misma que está diseñada para estados límite, evidentemente lo lógico sería que el esfuerzo mínimo sea igual a cero, tal y como se lo puede apreciar en la siguiente tabla:

*Tabla 3-39.*  
*Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para presas de HVC*

Hp (m)	f	C (KPa)	FSDper	FSD	FSD>FSDperm	$\sigma_y'$ (MPa)	$\sigma_y''$ (MPa)
120.00	0.80	400.00	1.30	1.78	Sí cumple	0.01	2.71
115.00	0.80	400.00	1.30	1.80	Sí cumple	0.00	2.60
110.00	0.80	400.00	1.30	1.82	Sí cumple	0.00	2.49
105.00	0.80	400.00	1.30	1.85	Sí cumple	-0.01	2.38
100.00	0.80	400.00	1.30	1.87	Sí cumple	-0.01	2.27
95.00	0.80	400.00	1.30	1.90	Sí cumple	-0.01	2.15
90.00	0.80	400.00	1.30	1.93	Sí cumple	-0.02	2.04
85.00	0.80	400.00	1.30	1.97	Sí cumple	-0.02	1.93
80.00	0.80	400.00	1.30	2.00	Sí cumple	-0.03	1.82
75.00	0.80	400.00	1.30	2.05	Sí cumple	-0.03	1.71
70.00	0.80	400.00	1.30	2.10	Sí cumple	-0.03	1.59
65.00	0.80	400.00	1.30	2.16	Sí cumple	-0.04	1.48
60.00	0.80	400.00	1.30	2.23	Sí cumple	-0.04	1.37
55.00	0.80	400.00	1.30	2.31	Sí cumple	-0.05	1.26
50.00	0.80	400.00	1.30	2.41	Sí cumple	-0.05	1.14
120.00	0.75	250.00	1.30	1.61	Sí cumple	0.01	2.83
115.00	0.75	250.00	1.30	1.62	Sí cumple	0.01	2.71
110.00	0.75	250.00	1.30	1.63	Sí cumple	0.00	2.60
105.00	0.75	250.00	1.30	1.65	Sí cumple	0.00	2.48
100.00	0.75	250.00	1.30	1.66	Sí cumple	-0.01	2.36
95.00	0.75	250.00	1.30	1.68	Sí cumple	-0.01	2.25
90.00	0.75	250.00	1.30	1.70	Sí cumple	-0.02	2.13
85.00	0.75	250.00	1.30	1.72	Sí cumple	-0.02	2.01
80.00	0.75	250.00	1.30	1.75	Sí cumple	-0.02	1.90
75.00	0.75	250.00	1.30	1.77	Sí cumple	-0.03	1.78

70.00	0.75	250.00	1.30	1.81	Sí cumple	-0.03	1.66
65.00	0.75	250.00	1.30	1.84	Sí cumple	-0.04	1.55
60.00	0.75	250.00	1.30	1.88	Sí cumple	-0.04	1.43
55.00	0.75	250.00	1.30	1.93	Sí cumple	-0.04	1.31
50.00	0.75	250.00	1.30	1.99	Sí cumple	-0.05	1.19
120.00	0.70	150.00	1.30	1.49	Sí cumple	0.01	2.95
115.00	0.70	150.00	1.30	1.50	Sí cumple	0.01	2.83
110.00	0.70	150.00	1.30	1.51	Sí cumple	0.00	2.71
105.00	0.70	150.00	1.30	1.52	Sí cumple	0.00	2.58
100.00	0.70	150.00	1.30	1.52	Sí cumple	-0.01	2.46
95.00	0.70	150.00	1.30	1.53	Sí cumple	-0.01	2.34
90.00	0.70	150.00	1.30	1.55	Sí cumple	-0.01	2.22
85.00	0.70	150.00	1.30	1.56	Sí cumple	-0.02	2.10
80.00	0.70	150.00	1.30	1.57	Sí cumple	-0.02	1.97
75.00	0.70	150.00	1.30	1.59	Sí cumple	-0.03	1.85
70.00	0.70	150.00	1.30	1.61	Sí cumple	-0.03	1.73
65.00	0.70	150.00	1.30	1.63	Sí cumple	-0.03	1.61
60.00	0.70	150.00	1.30	1.65	Sí cumple	-0.04	1.49
55.00	0.70	150.00	1.30	1.68	Sí cumple	-0.04	1.36
50.00	0.70	150.00	1.30	1.72	Sí cumple	-0.05	1.24
120.00	0.65	100.00	1.30	1.43	Sí cumple	0.02	3.07
115.00	0.65	100.00	1.30	1.44	Sí cumple	0.01	2.94
110.00	0.65	100.00	1.30	1.44	Sí cumple	0.01	2.81
105.00	0.65	100.00	1.30	1.45	Sí cumple	0.00	2.69
100.00	0.65	100.00	1.30	1.46	Sí cumple	0.00	2.56
95.00	0.65	100.00	1.30	1.46	Sí cumple	-0.01	2.43
90.00	0.65	100.00	1.30	1.47	Sí cumple	-0.01	2.31
85.00	0.65	100.00	1.30	1.48	Sí cumple	-0.01	2.18
80.00	0.65	100.00	1.30	1.49	Sí cumple	-0.02	2.05
75.00	0.65	100.00	1.30	1.50	Sí cumple	-0.02	1.93
70.00	0.65	100.00	1.30	1.51	Sí cumple	-0.03	1.80
65.00	0.65	100.00	1.30	1.52	Sí cumple	-0.03	1.67
60.00	0.65	100.00	1.30	1.54	Sí cumple	-0.04	1.54
55.00	0.65	100.00	1.30	1.56	Sí cumple	-0.04	1.42
50.00	0.65	100.00	1.30	1.58	Sí cumple	-0.04	1.29

Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-40.

Resumen de la obtención del perfil teórico triangular para presas de HVC para alturas de presa entre (50 - 120) m

$H_p$ (m)	$f$	$C$ (KPa)	$FSD_{per}$	$FSD$	$FSD > FSD_{perm}$	$\xi$	$b$ (m)	$\sigma_y'$ (MPa)	$\sigma_y''$ (Mpa)	$m1$	$m2$
120.00	0.80	400.00	1.30	1.78	Sí cumple	0.16	86.19	0.01	2.71	0.12	0.60
115.00	0.80	400.00	1.30	1.80	Sí cumple	0.16	82.60	0.00	2.60	0.12	0.60
110.00	0.80	400.00	1.30	1.82	Sí cumple	0.16	79.00	0.00	2.49	0.12	0.60
105.00	0.80	400.00	1.30	1.85	Sí cumple	0.16	75.41	-0.01	2.38	0.12	0.60
100.00	0.80	400.00	1.30	1.87	Sí cumple	0.16	71.82	-0.01	2.27	0.12	0.60
95.00	0.80	400.00	1.30	1.90	Sí cumple	0.16	68.23	-0.01	2.15	0.12	0.60
90.00	0.80	400.00	1.30	1.93	Sí cumple	0.16	64.64	-0.02	2.04	0.12	0.60
85.00	0.80	400.00	1.30	1.97	Sí cumple	0.16	61.05	-0.02	1.93	0.12	0.60
80.00	0.80	400.00	1.30	2.00	Sí cumple	0.16	57.46	-0.03	1.82	0.12	0.60
75.00	0.80	400.00	1.30	2.05	Sí cumple	0.16	53.87	-0.03	1.71	0.12	0.60
70.00	0.80	400.00	1.30	2.10	Sí cumple	0.16	50.28	-0.03	1.59	0.12	0.60
65.00	0.80	400.00	1.30	2.16	Sí cumple	0.16	46.68	-0.04	1.48	0.12	0.60
60.00	0.80	400.00	1.30	2.23	Sí cumple	0.16	43.09	-0.04	1.37	0.12	0.60
55.00	0.80	400.00	1.30	2.31	Sí cumple	0.16	39.50	-0.05	1.26	0.12	0.60
50.00	0.80	400.00	1.30	2.41	Sí cumple	0.16	35.91	-0.05	1.14	0.12	0.60
120.00	0.75	250.00	1.30	1.61	Sí cumple	0.26	88.07	0.01	2.83	0.19	0.54
115.00	0.75	250.00	1.30	1.62	Sí cumple	0.26	84.40	0.01	2.71	0.19	0.54
110.00	0.75	250.00	1.30	1.63	Sí cumple	0.26	80.73	0.00	2.60	0.19	0.54
105.00	0.75	250.00	1.30	1.65	Sí cumple	0.26	77.06	0.00	2.48	0.19	0.54
100.00	0.75	250.00	1.30	1.66	Sí cumple	0.26	73.39	-0.01	2.36	0.19	0.54
95.00	0.75	250.00	1.30	1.68	Sí cumple	0.26	69.72	-0.01	2.25	0.19	0.54
90.00	0.75	250.00	1.30	1.70	Sí cumple	0.26	66.05	-0.02	2.13	0.19	0.54
85.00	0.75	250.00	1.30	1.72	Sí cumple	0.26	62.38	-0.02	2.01	0.19	0.54
80.00	0.75	250.00	1.30	1.75	Sí cumple	0.26	58.71	-0.02	1.90	0.19	0.54
75.00	0.75	250.00	1.30	1.77	Sí cumple	0.26	55.04	-0.03	1.78	0.19	0.54
70.00	0.75	250.00	1.30	1.81	Sí cumple	0.26	51.37	-0.03	1.66	0.19	0.54
65.00	0.75	250.00	1.30	1.84	Sí cumple	0.26	47.70	-0.04	1.55	0.19	0.54
60.00	0.75	250.00	1.30	1.88	Sí cumple	0.26	44.03	-0.04	1.43	0.19	0.54
55.00	0.75	250.00	1.30	1.93	Sí cumple	0.26	40.36	-0.04	1.31	0.19	0.54
50.00	0.75	250.00	1.30	1.99	Sí cumple	0.26	36.69	-0.05	1.19	0.19	0.54
120.00	0.70	150.00	1.30	1.49	Sí cumple	0.36	90.57	0.01	2.95	0.27	0.48
115.00	0.70	150.00	1.30	1.50	Sí cumple	0.36	86.79	0.01	2.83	0.27	0.48

110.00	0.70	150.00	1.30	1.51	Sí cumple	0.36	83.02	0.00	2.71	0.27	0.48
105.00	0.70	150.00	1.30	1.52	Sí cumple	0.36	79.25	0.00	2.58	0.27	0.48
100.00	0.70	150.00	1.30	1.52	Sí cumple	0.36	75.47	-0.01	2.46	0.27	0.48
95.00	0.70	150.00	1.30	1.53	Sí cumple	0.36	71.70	-0.01	2.34	0.27	0.48
90.00	0.70	150.00	1.30	1.55	Sí cumple	0.36	67.92	-0.01	2.22	0.27	0.48
85.00	0.70	150.00	1.30	1.56	Sí cumple	0.36	64.15	-0.02	2.10	0.27	0.48
80.00	0.70	150.00	1.30	1.57	Sí cumple	0.36	60.38	-0.02	1.97	0.27	0.48
75.00	0.70	150.00	1.30	1.59	Sí cumple	0.36	56.60	-0.03	1.85	0.27	0.48
70.00	0.70	150.00	1.30	1.61	Sí cumple	0.36	52.83	-0.03	1.73	0.27	0.48
65.00	0.70	150.00	1.30	1.63	Sí cumple	0.36	49.06	-0.03	1.61	0.27	0.48
60.00	0.70	150.00	1.30	1.65	Sí cumple	0.36	45.28	-0.04	1.49	0.27	0.48
55.00	0.70	150.00	1.30	1.68	Sí cumple	0.36	41.51	-0.04	1.36	0.27	0.48
50.00	0.70	150.00	1.30	1.72	Sí cumple	0.36	37.74	-0.05	1.24	0.27	0.48
120.00	0.65	100.00	1.30	1.43	Sí cumple	0.46	93.81	0.02	3.07	0.36	0.42
115.00	0.65	100.00	1.30	1.44	Sí cumple	0.46	89.90	0.01	2.94	0.36	0.42
110.00	0.65	100.00	1.30	1.44	Sí cumple	0.46	85.99	0.01	2.81	0.36	0.42
105.00	0.65	100.00	1.30	1.45	Sí cumple	0.46	82.08	0.00	2.69	0.36	0.42
100.00	0.65	100.00	1.30	1.46	Sí cumple	0.46	78.17	0.00	2.56	0.36	0.42
95.00	0.65	100.00	1.30	1.46	Sí cumple	0.46	74.26	-0.01	2.43	0.36	0.42
90.00	0.65	100.00	1.30	1.47	Sí cumple	0.46	70.35	-0.01	2.31	0.36	0.42
85.00	0.65	100.00	1.30	1.48	Sí cumple	0.46	66.45	-0.01	2.18	0.36	0.42
80.00	0.65	100.00	1.30	1.49	Sí cumple	0.46	62.54	-0.02	2.05	0.36	0.42
75.00	0.65	100.00	1.30	1.50	Sí cumple	0.46	58.63	-0.02	1.93	0.36	0.42
70.00	0.65	100.00	1.30	1.51	Sí cumple	0.46	54.72	-0.03	1.80	0.36	0.42
65.00	0.65	100.00	1.30	1.52	Sí cumple	0.46	50.81	-0.03	1.67	0.36	0.42
60.00	0.65	100.00	1.30	1.54	Sí cumple	0.46	46.90	-0.04	1.54	0.36	0.42
55.00	0.65	100.00	1.30	1.56	Sí cumple	0.46	42.99	-0.04	1.42	0.36	0.42
50.00	0.65	100.00	1.30	1.58	Sí cumple	0.46	39.09	-0.04	1.29	0.36	0.42

Fuente: Logacho & Orozco

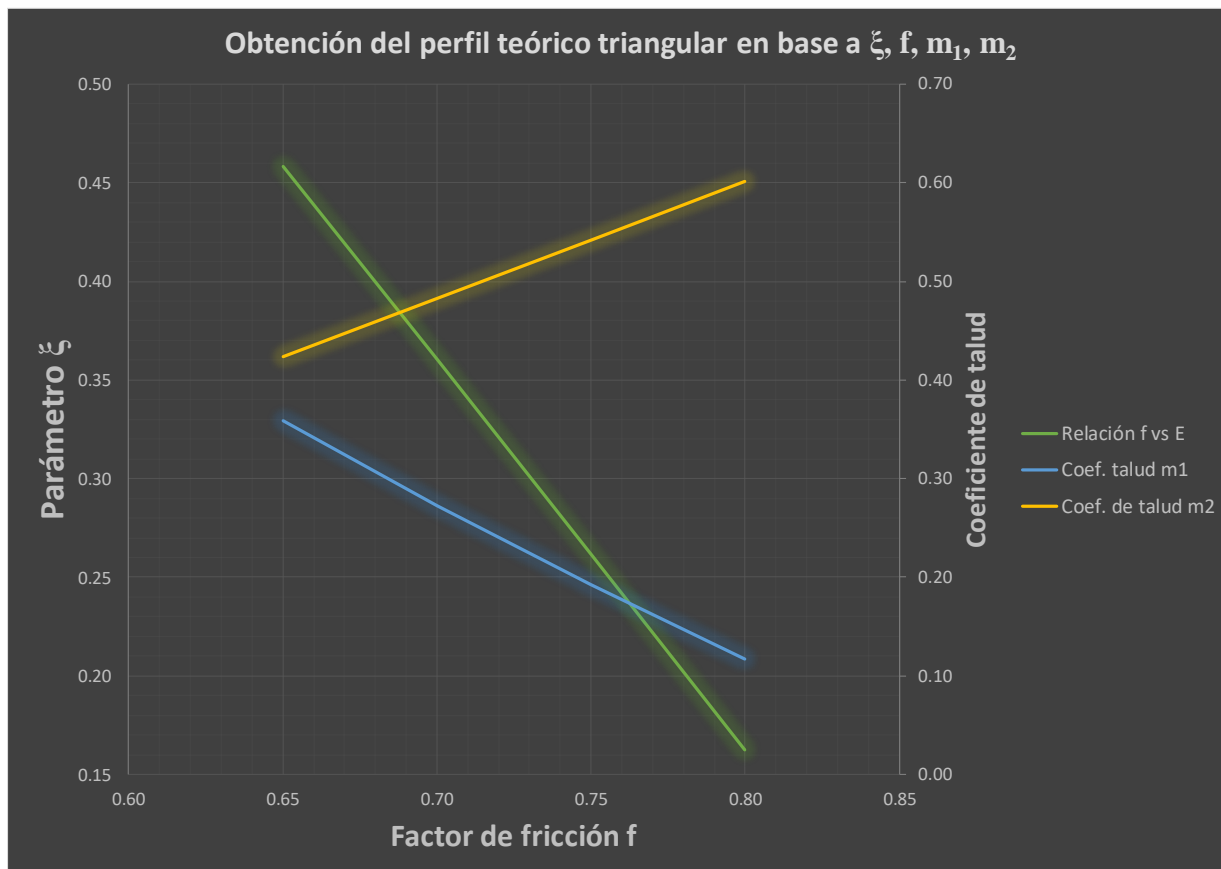


Figura 3-39. Obtención del perfil teórico triangular para presas de HVC con base en  $\xi$ ,  $f$ ,  $m_1$ ,  $m_2$   
Fuente: Logacho & Orozco

La inclinación y, por consiguiente, los coeficientes de talud de los paramentos aguas arriba y aguas abajo dependen directamente de la calidad de la roca de cimentación.

Si la roca sobre la cual se va a cimentar la obra hidráulica es de mala calidad, el perfil teórico triangular es muy cercano a tener paramentos simétricos, como se evidencia en la gráfica 3-39 al tener una roca con  $f=0.65$  se obtiene un  $m_1=0.36$  y  $m_2=0.42$ . Cuando la calidad de la roca aumenta por ejemplo a  $f=0.80$  se obtiene un  $m_1=0.12$  y  $m_2=0.60$ , lo que significa que se tiene un paramento aguas arriba prácticamente muy cercano a lo vertical. Cabe aclarar que la gráfica funciona para presas de altura entre (50 - 120) m.

### **3.2.2.3 *Análisis hidráulico para presas de hormigón vibrado convencional (HVC)***

Respecto al criterio hidráulico se realiza un análisis minucioso de acuerdo al rango de alturas de presa y caudales unitarios adoptados en la tabla 3-4, los coeficientes de talud aguas abajo ( $m_2$ ) serán tomados de la tabla 3-40 de acuerdo a la altura de la presa y tipo de roca que se considere para el estudio. El análisis hidráulico partirá desde una presa de 50 m hasta 120 m de altura para macizo de cimentación tipo ROCA BUENA con  $f=0.80$ . Los resultados para el análisis con  $f=0.65$  se los podrá verificar en el anexo 2.

### **3.2.2.4 *Metodología para la construcción de las tablas para disipación de energía para presas de hormigón vibrado convencional (HVC)***

Las tablas que se presentan a continuación se pueden explicar de la siguiente manera:

- ✓ Existen tres variables para la obtención de resultados de la hoja de cálculo: altura de presa ( $H_p$ ), caudal unitario ( $q$ ) y coeficiente de talud aguas abajo ( $m_2$ ), este último resultó de un análisis geométrico y geomecánico que se realizó previamente en el capítulo 3.2.2.2 y se lo puede obtener directamente en la tabla 3-40.
- ✓ Una vez ingresadas estas variables en la hoja electrónica, el programa calcula automáticamente parámetros hidráulicos para un perfil liso con la ecuación de Bernoulli, por ejemplo:
  - Profundidad crítica ( $h_{cr}$ ) en metros,
  - velocidad de acercamiento a la entrada del vertedero ( $v_o$ ) en metros por segundo,
  - carga sobre el vertedero incluida la carga de velocidad ( $H_o$ ) en metros,
  - carga sobre el vertedero sin tomar en cuenta la carga de velocidad ( $H$ ) en metros,
  - energía total sin tomar en cuenta la carga de velocidad ( $E$ ) en metros,

- energía total tomando en cuenta la carga de velocidad ( $E_o$ ) en metros,
  - profundidad contraída ( $h_c$ ) en metros,
  - velocidad en la sección contraída al pie de la presa ( $v_1$ ) en metros por segundo,
  - energía total incluida la velocidad en la sección contraída ( $E_{o1}$ ) o profundidad residual ( $H_{res}$ ) en metros,
  - diferencia de energía entre ( $E_o$ ) y ( $E_{o1}$ ) en metros,
  - porcentaje de disipación de energía (%) en porcentaje, y
  - relación entre el caudal unitario ( $q$ ) y la altura de la presa ( $H_p$ ).
- ✓ Luego, se realiza la verificación y análisis para el resalto hidráulico, se asume la profundidad contraída igual a la primera conjugada.
  - ✓ Se calcula la segunda conjugada ( $h''$ ) y la profundidad aguas abajo ( $h_2$ ) en metros.
  - ✓ Se compara la segunda conjugada con la profundidad aguas abajo y se verifica qué tipo de resalto hidráulico se presenta.
  - ✓ Se calcula la longitud del resalto hidráulico.



Tabla 3-41.

Análisis hidráulico para una presa de HVC de 50 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.60 θ° 59.04		f= 0.11 ROCA BUENA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO					
				CONDICIONES A. ARRIBA				CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA							
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	v <sub>0</sub> (m/s)	H <sub>0</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>0</sub> (m)	hc (m)	z <sub>i</sub> (m)	v <sub>i</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>01</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)
50	40	5.46	0.80	6.95	6.92	56.92	56.95	1.27	1.27	31.62	52.21	4.70	9.54	0.80	1.27	15.07	13.81	RH desplazado	69.02
50	42	5.64	0.84	7.18	7.14	57.14	57.18	1.33	1.33	31.67	52.46	4.68	9.53	0.84	1.33	15.48	14.18	RH desplazado	70.78
50	44	5.82	0.88	7.41	7.37	57.37	57.41	1.39	1.39	31.73	52.70	4.66	9.52	0.88	1.39	15.89	14.54	RH desplazado	72.49
50	46	6.00	0.92	7.63	7.58	57.58	57.63	1.45	1.45	31.79	52.94	4.64	9.51	0.92	1.45	16.28	14.90	RH desplazado	74.17
50	48	6.17	0.96	7.85	7.80	57.80	57.85	1.51	1.51	31.84	53.18	4.62	9.50	0.96	1.51	16.67	15.24	RH desplazado	75.80
50	50	6.34	1.00	8.06	8.01	58.01	58.06	1.57	1.57	31.89	53.41	4.60	9.49	1.00	1.57	17.05	15.58	RH desplazado	77.40
50	52	6.51	1.04	8.28	8.22	58.22	58.28	1.63	1.63	31.95	53.64	4.58	9.48	1.04	1.63	17.42	15.91	RH desplazado	78.97
50	54	6.67	1.08	8.49	8.43	58.43	58.49	1.69	1.69	32.00	53.87	4.56	9.47	1.08	1.69	17.79	16.24	RH desplazado	80.50
50	56	6.84	1.12	8.70	8.63	58.63	58.70	1.75	1.75	32.05	54.10	4.54	9.46	1.12	1.75	18.15	16.56	RH desplazado	82.00
50	58	7.00	1.16	8.90	8.83	58.83	58.90	1.81	1.81	32.10	54.32	4.51	9.46	1.16	1.81	18.50	16.88	RH desplazado	83.48
50	60	7.16	1.20	9.11	9.03	59.03	59.11	1.87	1.87	32.15	54.54	4.49	9.45	1.20	1.87	18.85	17.19	RH desplazado	84.93
50	62	7.32	1.24	9.31	9.23	59.23	59.31	1.93	1.93	32.20	54.76	4.47	9.44	1.24	1.93	19.20	17.50	RH desplazado	86.35
50	64	7.47	1.28	9.51	9.42	59.42	59.51	1.98	1.98	32.24	54.98	4.45	9.43	1.28	1.98	19.54	17.80	RH desplazado	87.75
50	66	7.63	1.32	9.70	9.61	59.61	59.70	2.04	2.04	32.29	55.19	4.42	9.42	1.32	2.04	19.87	18.10	RH desplazado	89.13
50	68	7.78	1.36	9.90	9.80	59.80	59.90	2.10	2.10	32.34	55.41	4.40	9.41	1.36	2.10	20.20	18.40	RH desplazado	90.49
50	70	7.93	1.40	10.09	9.99	59.99	60.09	2.16	2.16	32.39	55.62	4.37	9.41	1.40	2.16	20.53	18.69	RH desplazado	91.82
50	72	8.08	1.44	10.28	10.18	60.18	60.28	2.22	2.22	32.43	55.83	4.35	9.40	1.44	2.22	20.85	18.97	RH desplazado	93.13
50	74	8.23	1.48	10.47	10.36	60.36	60.47	2.28	2.28	32.48	56.03	4.33	9.39	1.48	2.28	21.16	19.26	RH desplazado	94.43
50	76	8.38	1.52	10.66	10.54	60.54	60.66	2.34	2.34	32.52	56.24	4.30	9.38	1.52	2.34	21.48	19.53	RH desplazado	95.70
50	78	8.53	1.56	10.85	10.72	60.72	60.85	2.40	2.40	32.56	56.44	4.28	9.38	1.56	2.40	21.79	19.81	RH desplazado	96.96
50	80	8.67	1.60	11.03	10.90	60.90	61.03	2.45	2.45	32.61	56.65	4.25	9.37	1.60	2.45	22.09	20.08	RH desplazado	98.20
50	82	8.82	1.64	11.21	11.08	61.08	61.21	2.51	2.51	32.65	56.85	4.23	9.36	1.64	2.51	22.40	20.35	RH desplazado	99.43
50	84	8.96	1.68	11.40	11.25	61.25	61.40	2.57	2.57	32.69	57.05	4.21	9.35	1.68	2.57	22.70	20.62	RH desplazado	100.64
50	86	9.10	1.72	11.58	11.43	61.43	61.58	2.63	2.63	32.74	57.24	4.18	9.34	1.72	2.63	22.99	20.88	RH desplazado	101.83
50	88	9.24	1.76	11.76	11.60	61.60	61.76	2.68	2.68	32.78	57.44	4.16	9.34	1.76	2.68	23.29	21.14	RH desplazado	103.01
50	90	9.38	1.80	11.93	11.77	61.77	61.93	2.74	2.74	32.82	57.64	4.13	9.33	1.80	2.74	23.58	21.40	RH desplazado	104.18
50	92	9.52	1.84	12.11	11.94	61.94	62.11	2.80	2.80	32.86	57.83	4.11	9.32	1.84	2.80	23.87	21.66	RH desplazado	105.33
50	94	9.66	1.88	12.28	12.10	62.10	62.28	2.86	2.86	32.90	58.02	4.08	9.31	1.88	2.86	24.15	21.91	RH desplazado	106.46
50	96	9.79	1.92	12.46	12.27	62.27	62.46	2.91	2.91	32.94	58.21	4.05	9.31	1.92	2.91	24.43	22.16	RH desplazado	107.59
50	98	9.93	1.96	12.63	12.43	62.43	62.63	2.97	2.97	32.98	58.41	4.03	9.30	1.96	2.97	24.71	22.41	RH desplazado	108.70
50	100	10.06	2.00	12.80	12.60	62.60	62.80	3.03	3.03	33.02	58.59	4.00	9.29	2.00	3.03	24.99	22.65	RH desplazado	109.80
50	102	10.20	2.04	12.97	12.76	62.76	62.97	3.09	3.09	33.06	58.78	3.98	9.29	2.04	3.09	25.26	22.90	RH desplazado	110.89
50	104	10.33	2.08	13.14	12.92	62.92	63.14	3.14	3.14	33.10	58.97	3.95	9.28	2.08	3.14	25.54	23.14	RH desplazado	111.97
50	106	10.46	2.12	13.31	13.08	63.08	63.31	3.20	3.20	33.13	59.15	3.92	9.27	2.12	3.20	25.81	23.38	RH desplazado	113.04
50	108	10.59	2.16	13.47	13.24	63.24	63.47	3.26	3.26	33.17	59.34	3.90	9.26	2.16	3.26	26.07	23.62	RH desplazado	114.09
50	110	10.72	2.20	13.64	13.39	63.39	63.64	3.31	3.31	33.21	59.52	3.87	9.26	2.20	3.31	26.34	23.85	RH desplazado	115.14
50	112	10.85	2.24	13.81	13.55	63.55	63.81	3.37	3.37	33.25	59.70	3.85	9.25	2.24	3.37	26.60	24.08	RH desplazado	116.17
50	114	10.98	2.28	13.97	13.70	63.70	63.97	3.43	3.43	33.28	59.88	3.82	9.24	2.28	3.43	26.87	24.32	RH desplazado	117.20
50	116	11.11	2.32	14.13	13.86	63.86	64.13	3.48	3.48	33.32	60.06	3.79	9.24	2.32	3.48	27.12	24.55	RH desplazado	118.22
50	118	11.24	2.36	14.29	14.01	64.01	64.29	3.54	3.54	33.36	60.24	3.77	9.23	2.36	3.54	27.38	24.77	RH desplazado	119.22
50	120	11.36	2.40	14.46	14.16	64.16	64.46	3.59	3.59	33.39	60.42	3.74	9.22	2.40	3.59	27.64	25.00	RH desplazado	120.22

Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-42.

Análisis hidráulico para una presa de HVC de 60 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1		f= 0.11		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO					
m <sub>2</sub> o H: 0.6		ROCA BUENA		CONDICIONES A. ARRIBA				CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA							
θ ° 59.04																			
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>o</sub> (m)	hc (m)	z <sub>1</sub> (m)	v <sub>1</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	AE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Lr (m)
60	40	5.46	0.67	6.95	6.93	66.93	66.95	1.17	1.17	34.30	61.12	5.81	9.58	0.67	1.17	15.73	14.30	RH desplazado	72.84
60	42	5.64	0.70	7.18	7.15	67.15	67.18	1.22	1.22	34.35	61.36	5.80	9.57	0.70	1.22	16.16	14.68	RH desplazado	74.69
60	44	5.82	0.73	7.41	7.38	67.38	67.41	1.28	1.28	34.40	61.60	5.78	9.57	0.73	1.28	16.58	15.05	RH desplazado	76.50
60	46	6.00	0.77	7.63	7.60	67.60	67.63	1.34	1.34	34.45	61.83	5.77	9.56	0.77	1.34	16.99	15.42	RH desplazado	78.26
60	48	6.17	0.80	7.85	7.81	67.81	67.85	1.39	1.39	34.50	62.06	5.75	9.55	0.80	1.39	17.39	15.78	RH desplazado	79.98
60	50	6.34	0.83	8.06	8.03	68.03	68.06	1.45	1.45	34.55	62.29	5.74	9.55	0.83	1.45	17.78	16.13	RH desplazado	81.67
60	52	6.51	0.87	8.28	8.24	68.24	68.28	1.50	1.50	34.60	62.51	5.72	9.54	0.87	1.50	18.17	16.48	RH desplazado	83.32
60	54	6.67	0.90	8.49	8.45	68.45	68.49	1.56	1.56	34.65	62.74	5.71	9.53	0.90	1.56	18.55	16.82	RH desplazado	84.93
60	56	6.84	0.93	8.70	8.65	68.65	68.70	1.61	1.61	34.69	62.96	5.69	9.52	0.93	1.61	18.92	17.15	RH desplazado	86.52
60	58	7.00	0.97	8.90	8.86	68.86	68.90	1.67	1.67	34.74	63.18	5.68	9.52	0.97	1.67	19.28	17.48	RH desplazado	88.08
60	60	7.16	1.00	9.11	9.06	69.06	69.11	1.72	1.72	34.78	63.39	5.66	9.51	1.00	1.72	19.65	17.80	RH desplazado	89.60
60	62	7.32	1.03	9.31	9.25	69.25	69.31	1.78	1.78	34.83	63.61	5.65	9.50	1.03	1.78	20.00	18.12	RH desplazado	91.10
60	64	7.47	1.07	9.51	9.45	69.45	69.51	1.84	1.84	34.87	63.82	5.63	9.50	1.07	1.84	20.35	18.43	RH desplazado	92.58
60	66	7.63	1.10	9.70	9.64	69.64	69.70	1.89	1.89	34.92	64.03	5.61	9.49	1.10	1.89	20.70	18.74	RH desplazado	94.03
60	68	7.78	1.13	9.90	9.83	69.83	69.90	1.95	1.95	34.96	64.24	5.60	9.48	1.13	1.95	21.04	19.04	RH desplazado	95.46
60	70	7.93	1.17	10.09	10.02	70.02	70.09	2.00	2.00	35.00	64.44	5.58	9.48	1.17	2.00	21.37	19.34	RH desplazado	96.86
60	72	8.08	1.20	10.28	10.21	70.21	70.28	2.05	2.05	35.04	64.65	5.56	9.47	1.20	2.05	21.70	19.64	RH desplazado	98.25
60	74	8.23	1.23	10.47	10.40	70.40	70.47	2.11	2.11	35.09	64.85	5.54	9.46	1.23	2.11	22.03	19.93	RH desplazado	99.61
60	76	8.38	1.27	10.66	10.58	70.58	70.66	2.16	2.16	35.13	65.05	5.53	9.46	1.27	2.16	22.35	20.22	RH desplazado	100.95
60	78	8.53	1.30	10.85	10.76	70.76	70.85	2.22	2.22	35.17	65.25	5.51	9.45	1.30	2.22	22.67	20.51	RH desplazado	102.28
60	80	8.67	1.33	11.03	10.94	70.94	71.03	2.27	2.27	35.21	65.45	5.49	9.44	1.33	2.27	22.99	20.79	RH desplazado	103.59
60	82	8.82	1.37	11.21	11.12	71.12	71.21	2.33	2.33	35.25	65.65	5.47	9.44	1.37	2.33	23.30	21.07	RH desplazado	104.88
60	84	8.96	1.40	11.40	11.30	71.30	71.40	2.38	2.38	35.29	65.84	5.46	9.43	1.40	2.38	23.61	21.35	RH desplazado	106.15
60	86	9.10	1.43	11.58	11.47	71.47	71.58	2.43	2.43	35.32	66.03	5.44	9.42	1.43	2.43	23.92	21.62	RH desplazado	107.41
60	88	9.24	1.47	11.76	11.65	71.65	71.76	2.49	2.49	35.36	66.23	5.42	9.42	1.47	2.49	24.22	21.89	RH desplazado	108.65
60	90	9.38	1.50	11.93	11.82	71.82	71.93	2.54	2.54	35.40	66.42	5.40	9.41	1.50	2.54	24.52	22.16	RH desplazado	109.88
60	92	9.52	1.53	12.11	11.99	71.99	72.11	2.60	2.60	35.44	66.61	5.38	9.41	1.53	2.60	24.81	22.42	RH desplazado	111.09
60	94	9.66	1.57	12.28	12.16	72.16	72.28	2.65	2.65	35.48	66.80	5.36	9.40	1.57	2.65	25.11	22.68	RH desplazado	112.29
60	96	9.79	1.60	12.46	12.33	72.33	72.46	2.70	2.70	35.51	66.98	5.34	9.39	1.60	2.70	25.40	22.94	RH desplazado	113.48
60	98	9.93	1.63	12.63	12.49	72.49	72.63	2.76	2.76	35.55	67.17	5.33	9.39	1.63	2.76	25.69	23.20	RH desplazado	114.65
60	100	10.06	1.67	12.80	12.66	72.66	72.80	2.81	2.81	35.59	67.35	5.31	9.38	1.67	2.81	25.97	23.45	RH desplazado	115.81
60	102	10.20	1.70	12.97	12.82	72.82	72.97	2.86	2.86	35.62	67.54	5.29	9.38	1.70	2.86	26.25	23.71	RH desplazado	116.95
60	104	10.33	1.73	13.14	12.99	72.99	73.14	2.92	2.92	35.66	67.72	5.27	9.37	1.73	2.92	26.53	23.96	RH desplazado	118.09
60	106	10.46	1.77	13.31	13.15	73.15	73.31	2.97	2.97	35.69	67.90	5.25	9.36	1.77	2.97	26.81	24.20	RH desplazado	119.21
60	108	10.59	1.80	13.47	13.31	73.31	73.47	3.02	3.02	35.73	68.08	5.23	9.36	1.80	3.02	27.09	24.45	RH desplazado	120.33
60	110	10.72	1.83	13.64	13.47	73.47	73.64	3.08	3.08	35.76	68.26	5.21	9.35	1.83	3.08	27.36	24.69	RH desplazado	121.43
60	112	10.85	1.87	13.81	13.63	73.63	73.81	3.13	3.13	35.80	68.44	5.19	9.35	1.87	3.13	27.63	24.93	RH desplazado	122.52
60	114	10.98	1.90	13.97	13.79	73.79	73.97	3.18	3.18	35.83	68.62	5.17	9.34	1.90	3.18	27.90	25.17	RH desplazado	123.60
60	116	11.11	1.93	14.13	13.94	73.94	74.13	3.23	3.23	35.86	68.79	5.15	9.33	1.93	3.23	28.17	25.41	RH desplazado	124.67
60	118	11.24	1.97	14.29	14.10	74.10	74.29	3.29	3.29	35.90	68.97	5.13	9.33	1.97	3.29	28.43	25.65	RH desplazado	125.73
60	120	11.36	2.00	14.46	14.25	74.25	74.46	3.34	3.34	35.93	69.14	5.11	9.32	2.00	3.34	28.70	25.88	RH desplazado	126.78

Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-43.

Análisis hidráulico para una presa de HVC de 70 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.6 θ ° 59.04		f= 0.11 ROCA BUENA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO					
				CONDICIONES A. ARRIBA				CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA							
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	her (m)	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>o</sub> (m)	hc (m)	z <sub>1</sub> (m)	v <sub>1</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/HP	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)
70	40	5.46	0.57	6.95	6.93	76.93	76.95	1.09	1.09	36.78	70.05	6.88	9.61	0.57	1.09	16.33	14.72	RH desplazado	76.20
70	42	5.64	0.60	7.18	7.16	77.16	77.18	1.14	1.14	36.83	70.29	6.87	9.61	0.60	1.14	16.77	15.12	RH desplazado	78.14
70	44	5.82	0.63	7.41	7.39	77.39	77.41	1.19	1.19	36.88	70.52	6.86	9.60	0.63	1.19	17.20	15.50	RH desplazado	80.03
70	46	6.00	0.66	7.63	7.61	77.61	77.63	1.25	1.25	36.93	70.75	6.85	9.59	0.66	1.25	17.62	15.88	RH desplazado	81.87
70	48	6.17	0.69	7.85	7.82	77.82	77.85	1.30	1.30	36.98	70.98	6.84	9.59	0.69	1.30	18.03	16.25	RH desplazado	83.67
70	50	6.34	0.71	8.06	8.04	78.04	78.06	1.35	1.35	37.02	71.21	6.83	9.58	0.71	1.35	18.44	16.61	RH desplazado	85.44
70	52	6.51	0.74	8.28	8.25	78.25	78.28	1.40	1.40	37.07	71.43	6.82	9.58	0.74	1.40	18.84	16.97	RH desplazado	87.16
70	54	6.67	0.77	8.49	8.46	78.46	78.49	1.46	1.46	37.11	71.65	6.81	9.57	0.77	1.46	19.23	17.31	RH desplazado	88.85
70	56	6.84	0.80	8.70	8.66	78.66	78.70	1.51	1.51	37.15	71.86	6.80	9.57	0.80	1.51	19.61	17.66	RH desplazado	90.51
70	58	7.00	0.83	8.90	8.87	78.87	78.90	1.56	1.56	37.20	72.08	6.79	9.56	0.83	1.56	19.99	18.00	RH desplazado	92.14
70	60	7.16	0.86	9.11	9.07	79.07	79.11	1.61	1.61	37.24	72.29	6.78	9.55	0.86	1.61	20.36	18.33	RH desplazado	93.73
70	62	7.32	0.89	9.31	9.27	79.27	79.31	1.66	1.66	37.28	72.50	6.77	9.55	0.89	1.66	20.72	18.66	RH desplazado	95.30
70	64	7.47	0.91	9.51	9.46	79.46	79.51	1.71	1.71	37.32	72.71	6.76	9.54	0.91	1.71	21.08	18.98	RH desplazado	96.85
70	66	7.63	0.94	9.70	9.66	79.66	79.70	1.77	1.77	37.36	72.91	6.74	9.54	0.94	1.77	21.44	19.30	RH desplazado	98.36
70	68	7.78	0.97	9.90	9.85	79.85	79.90	1.82	1.82	37.40	73.12	6.73	9.53	0.97	1.82	21.79	19.61	RH desplazado	99.86
70	70	7.93	1.00	10.09	10.04	80.04	80.09	1.87	1.87	37.44	73.32	6.72	9.53	1.00	1.87	22.13	19.92	RH desplazado	101.33
70	72	8.08	1.03	10.28	10.23	80.23	80.28	1.92	1.92	37.48	73.52	6.71	9.52	1.03	1.92	22.48	20.22	RH desplazado	102.77
70	74	8.23	1.06	10.47	10.42	80.42	80.47	1.97	1.97	37.52	73.72	6.69	9.51	1.06	1.97	22.81	20.53	RH desplazado	104.20
70	76	8.38	1.09	10.66	10.60	80.60	80.66	2.02	2.02	37.56	73.92	6.68	9.51	1.09	2.02	23.14	20.82	RH desplazado	105.61
70	78	8.53	1.11	10.85	10.78	80.78	80.85	2.07	2.07	37.60	74.12	6.67	9.50	1.11	2.07	23.47	21.12	RH desplazado	106.99
70	80	8.67	1.14	11.03	10.96	80.96	81.03	2.13	2.13	37.63	74.31	6.66	9.50	1.14	2.13	23.80	21.41	RH desplazado	108.36
70	82	8.82	1.17	11.21	11.14	81.14	81.21	2.18	2.18	37.67	74.50	6.64	9.49	1.17	2.18	24.12	21.70	RH desplazado	109.71
70	84	8.96	1.20	11.40	11.32	81.32	81.40	2.23	2.23	37.71	74.69	6.63	9.49	1.20	2.23	24.44	21.98	RH desplazado	111.04
70	86	9.10	1.23	11.58	11.50	81.50	81.58	2.28	2.28	37.74	74.88	6.62	9.48	1.23	2.28	24.75	22.26	RH desplazado	112.36
70	88	9.24	1.26	11.76	11.67	81.67	81.76	2.33	2.33	37.78	75.07	6.60	9.48	1.26	2.33	25.06	22.54	RH desplazado	113.65
70	90	9.38	1.29	11.93	11.85	81.85	81.93	2.38	2.38	37.81	75.26	6.59	9.47	1.29	2.38	25.37	22.81	RH desplazado	114.94
70	92	9.52	1.31	12.11	12.02	82.02	82.11	2.43	2.43	37.85	75.45	6.57	9.47	1.31	2.43	25.67	23.09	RH desplazado	116.21
70	94	9.66	1.34	12.28	12.19	82.19	82.28	2.48	2.48	37.88	75.63	6.56	9.46	1.34	2.48	25.97	23.36	RH desplazado	117.46
70	96	9.79	1.37	12.46	12.36	82.36	82.46	2.53	2.53	37.92	75.82	6.55	9.46	1.37	2.53	26.27	23.62	RH desplazado	118.70
70	98	9.93	1.40	12.63	12.53	82.53	82.63	2.58	2.58	37.95	76.00	6.53	9.45	1.40	2.58	26.57	23.89	RH desplazado	119.93
70	100	10.06	1.43	12.80	12.70	82.70	82.80	2.63	2.63	37.99	76.18	6.52	9.44	1.43	2.63	26.86	24.15	RH desplazado	121.14
70	102	10.20	1.46	12.97	12.86	82.86	82.97	2.68	2.68	38.02	76.36	6.50	9.44	1.46	2.68	27.15	24.41	RH desplazado	122.34
70	104	10.33	1.49	13.14	13.03	83.03	83.14	2.73	2.73	38.05	76.54	6.49	9.43	1.49	2.73	27.44	24.67	RH desplazado	123.52
70	106	10.46	1.51	13.31	13.19	83.19	83.31	2.78	2.78	38.09	76.72	6.47	9.43	1.51	2.78	27.72	24.92	RH desplazado	124.70
70	108	10.59	1.54	13.47	13.35	83.35	83.47	2.83	2.83	38.12	76.90	6.46	9.42	1.54	2.83	28.01	25.18	RH desplazado	125.86
70	110	10.72	1.57	13.64	13.51	83.51	83.64	2.88	2.88	38.15	77.07	6.44	9.42	1.57	2.88	28.29	25.43	RH desplazado	127.01
70	112	10.85	1.60	13.81	13.67	83.67	83.81	2.93	2.93	38.18	77.25	6.43	9.41	1.60	2.93	28.56	25.67	RH desplazado	128.16
70	114	10.98	1.63	13.97	13.83	83.83	83.97	2.98	2.98	38.22	77.42	6.41	9.41	1.63	2.98	28.84	25.92	RH desplazado	129.29
70	116	11.11	1.66	14.13	13.99	83.99	84.13	3.03	3.03	38.25	77.59	6.40	9.40	1.66	3.03	29.11	26.17	RH desplazado	130.40
70	118	11.24	1.69	14.29	14.15	84.15	84.29	3.08	3.08	38.28	77.77	6.38	9.40	1.69	3.08	29.39	26.41	RH desplazado	131.51
70	120	11.36	1.71	14.46	14.31	84.31	84.46	3.13	3.13	38.31	77.94	6.37	9.39	1.71	3.13	29.65	26.65	RH desplazado	132.61

Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-44.

Análisis hidráulico para una presa de HVC de 80 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.6 θ ° 59.04		f= 0.11 ROCA BUENA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE											RESALTO HIDRÁULICO				
				CONDICIONES A. ARRIBA				CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA							
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>o</sub> (m)	hc (m)	z <sub>1</sub> (m)	v <sub>1</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)
80	40	5.46	0.50	6.95	6.94	86.94	86.95	1.02	1.02	39.12	79.01	7.93	9.64	0.50	1.02	16.87	15.10	RH desplazado	79.23
80	42	5.64	0.53	7.18	7.17	87.17	87.18	1.07	1.07	39.16	79.24	7.92	9.63	0.53	1.07	17.32	15.51	RH desplazado	81.24
80	44	5.82	0.55	7.41	7.39	87.39	87.41	1.12	1.12	39.21	79.48	7.91	9.63	0.55	1.12	17.76	15.90	RH desplazado	83.20
80	46	6.00	0.58	7.63	7.61	87.61	87.63	1.17	1.17	39.25	79.70	7.91	9.62	0.58	1.17	18.20	16.29	RH desplazado	85.12
80	48	6.17	0.60	7.85	7.83	87.83	87.85	1.22	1.22	39.30	79.93	7.90	9.62	0.60	1.22	18.62	16.67	RH desplazado	86.99
80	50	6.34	0.63	8.06	8.04	88.04	88.06	1.27	1.27	39.34	80.15	7.90	9.61	0.63	1.27	19.04	17.04	RH desplazado	88.82
80	52	6.51	0.65	8.28	8.26	88.26	88.28	1.32	1.32	39.38	80.37	7.89	9.61	0.65	1.32	19.44	17.40	RH desplazado	90.61
80	54	6.67	0.68	8.49	8.47	88.47	88.49	1.37	1.37	39.42	80.58	7.88	9.60	0.68	1.37	19.84	17.76	RH desplazado	92.37
80	56	6.84	0.70	8.70	8.67	88.67	88.70	1.42	1.42	39.46	80.80	7.88	9.60	0.70	1.42	20.24	18.11	RH desplazado	94.10
80	58	7.00	0.73	8.90	8.88	88.88	88.90	1.47	1.47	39.50	81.01	7.87	9.59	0.73	1.47	20.63	18.46	RH desplazado	95.79
80	60	7.16	0.75	9.11	9.08	89.08	89.11	1.52	1.52	39.54	81.22	7.86	9.59	0.75	1.52	21.01	18.80	RH desplazado	97.45
80	62	7.32	0.78	9.31	9.28	89.28	89.31	1.57	1.57	39.58	81.42	7.85	9.58	0.78	1.57	21.38	19.14	RH desplazado	99.08
80	64	7.47	0.80	9.51	9.47	89.47	89.51	1.62	1.62	39.62	81.63	7.84	9.58	0.80	1.62	21.75	19.47	RH desplazado	100.68
80	66	7.63	0.83	9.70	9.67	89.67	89.70	1.66	1.66	39.66	81.83	7.84	9.57	0.83	1.66	22.12	19.79	RH desplazado	102.26
80	68	7.78	0.85	9.90	9.86	89.86	89.90	1.71	1.71	39.70	82.03	7.83	9.57	0.85	1.71	22.48	20.11	RH desplazado	103.81
80	70	7.93	0.88	10.09	10.05	90.05	90.09	1.76	1.76	39.73	82.23	7.82	9.56	0.88	1.76	22.83	20.43	RH desplazado	105.34
80	72	8.08	0.90	10.28	10.24	90.24	90.28	1.81	1.81	39.77	82.43	7.81	9.56	0.90	1.81	23.18	20.74	RH desplazado	106.84
80	74	8.23	0.93	10.47	10.43	90.43	90.47	1.86	1.86	39.81	82.63	7.80	9.55	0.93	1.86	23.52	21.05	RH desplazado	108.33
80	76	8.38	0.95	10.66	10.61	90.61	90.66	1.91	1.91	39.84	82.82	7.79	9.55	0.95	1.91	23.87	21.36	RH desplazado	109.79
80	78	8.53	0.98	10.85	10.80	90.80	90.85	1.96	1.96	39.88	83.02	7.78	9.54	0.98	1.96	24.20	21.66	RH desplazado	111.23
80	80	8.67	1.00	11.03	10.98	90.98	91.03	2.00	2.00	39.92	83.21	7.77	9.54	1.00	2.00	24.53	21.96	RH desplazado	112.65
80	82	8.82	1.03	11.21	11.16	91.16	91.21	2.05	2.05	39.95	83.40	7.76	9.53	1.03	2.05	24.86	22.25	RH desplazado	114.05
80	84	8.96	1.05	11.40	11.34	91.34	91.40	2.10	2.10	39.98	83.59	7.75	9.53	1.05	2.10	25.19	22.55	RH desplazado	115.44
80	86	9.10	1.08	11.58	11.52	91.52	91.58	2.15	2.15	40.02	83.77	7.74	9.52	1.08	2.15	25.51	22.83	RH desplazado	116.81
80	88	9.24	1.10	11.76	11.69	91.69	91.76	2.20	2.20	40.05	83.96	7.73	9.52	1.10	2.20	25.83	23.12	RH desplazado	118.16
80	90	9.38	1.13	11.93	11.87	91.87	91.93	2.25	2.25	40.09	84.15	7.72	9.51	1.13	2.25	26.14	23.40	RH desplazado	119.49
80	92	9.52	1.15	12.11	12.04	92.04	92.11	2.29	2.29	40.12	84.33	7.71	9.51	1.15	2.29	26.46	23.68	RH desplazado	120.81
80	94	9.66	1.18	12.28	12.21	92.21	92.28	2.34	2.34	40.15	84.51	7.70	9.51	1.18	2.34	26.76	23.96	RH desplazado	122.12
80	96	9.79	1.20	12.46	12.38	92.38	92.46	2.39	2.39	40.18	84.69	7.69	9.50	1.20	2.39	27.07	24.23	RH desplazado	123.40
80	98	9.93	1.23	12.63	12.55	92.55	92.63	2.44	2.44	40.22	84.87	7.68	9.50	1.23	2.44	27.37	24.50	RH desplazado	124.68
80	100	10.06	1.25	12.80	12.72	92.72	92.80	2.48	2.48	40.25	85.05	7.67	9.49	1.25	2.48	27.67	24.77	RH desplazado	125.94
80	102	10.20	1.28	12.97	12.89	92.89	92.97	2.53	2.53	40.28	85.23	7.66	9.49	1.28	2.53	27.97	25.04	RH desplazado	127.19
80	104	10.33	1.30	13.14	13.05	93.05	93.14	2.58	2.58	40.31	85.41	7.65	9.48	1.30	2.58	28.26	25.30	RH desplazado	128.42
80	106	10.46	1.33	13.31	13.22	93.22	93.31	2.63	2.63	40.34	85.58	7.64	9.48	1.33	2.63	28.56	25.56	RH desplazado	129.64
80	108	10.59	1.35	13.47	13.38	93.38	93.47	2.67	2.67	40.37	85.76	7.63	9.47	1.35	2.67	28.85	25.82	RH desplazado	130.85
80	110	10.72	1.38	13.64	13.54	93.54	93.64	2.72	2.72	40.40	85.93	7.61	9.47	1.38	2.72	29.13	26.08	RH desplazado	132.05
80	112	10.85	1.40	13.81	13.71	93.71	93.81	2.77	2.77	40.44	86.10	7.60	9.47	1.40	2.77	29.42	26.33	RH desplazado	133.24
80	114	10.98	1.43	13.97	13.87	93.87	93.97	2.82	2.82	40.47	86.27	7.59	9.46	1.43	2.82	29.70	26.59	RH desplazado	134.41
80	116	11.11	1.45	14.13	14.03	94.03	94.13	2.86	2.86	40.50	86.45	7.58	9.46	1.45	2.86	29.98	26.84	RH desplazado	135.58
80	118	11.24	1.48	14.29	14.18	94.18	94.29	2.91	2.91	40.52	86.62	7.57	9.45	1.48	2.91	30.26	27.09	RH desplazado	136.73
80	120	11.36	1.50	14.46	14.34	94.34	94.46	2.96	2.96	40.55	86.78	7.56	9.45	1.50	2.96	30.53	27.33	RH desplazado	137.87

Fuente Logacho & Orozcco

Tabla 3-45.

Análisis hidráulico para una presa de HVC de 90 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.6		f= 0.11 <b>ROCA BUENA</b>		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO						
θ ° 59.04		CONDICIONES A. ARRIBA				CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA										
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>o</sub> (m)	hc (m)	z <sub>1</sub> (m)	v <sub>1</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)	
90	40	5.46	0.44	6.95	6.94	96.94	96.95	0.97	0.97	41.32	87.98	8.96	9.65	0.44	0.97	17.36	15.44	RH desplazado	81.97	
90	42	5.64	0.47	7.18	7.17	97.17	97.18	1.02	1.02	41.36	88.21	8.95	9.65	0.47	1.02	17.83	15.86	RH desplazado	84.05	
90	44	5.82	0.49	7.41	7.39	97.39	97.41	1.06	1.06	41.41	88.44	8.95	9.64	0.49	1.06	18.28	16.26	RH desplazado	86.08	
90	46	6.00	0.51	7.63	7.61	97.61	97.63	1.11	1.11	41.45	88.67	8.95	9.64	0.51	1.11	18.72	16.66	RH desplazado	88.07	
90	48	6.17	0.53	7.85	7.83	97.83	97.85	1.16	1.16	41.49	88.89	8.94	9.64	0.53	1.16	19.16	17.04	RH desplazado	90.00	
90	50	6.34	0.56	8.06	8.05	98.05	98.06	1.20	1.20	41.53	89.11	8.94	9.63	0.56	1.20	19.58	17.42	RH desplazado	91.90	
90	52	6.51	0.58	8.28	8.26	98.26	98.28	1.25	1.25	41.57	89.32	8.94	9.63	0.58	1.25	20.00	17.80	RH desplazado	93.76	
90	54	6.67	0.60	8.49	8.47	98.47	98.49	1.30	1.30	41.61	89.54	8.93	9.62	0.60	1.30	20.41	18.16	RH desplazado	95.57	
90	56	6.84	0.62	8.70	8.68	98.68	98.70	1.34	1.34	41.65	89.75	8.93	9.62	0.62	1.34	20.82	18.52	RH desplazado	97.36	
90	58	7.00	0.64	8.90	8.88	98.88	98.90	1.39	1.39	41.69	89.96	8.92	9.61	0.64	1.39	21.21	18.88	RH desplazado	99.11	
90	60	7.16	0.67	9.11	9.08	99.08	99.11	1.44	1.44	41.72	90.16	8.92	9.61	0.67	1.44	21.60	19.22	RH desplazado	100.82	
90	62	7.32	0.69	9.31	9.28	99.28	99.31	1.48	1.48	41.76	90.37	8.91	9.61	0.69	1.48	21.99	19.57	RH desplazado	102.51	
90	64	7.47	0.71	9.51	9.48	99.48	99.51	1.53	1.53	41.80	90.57	8.91	9.60	0.71	1.53	22.37	19.91	RH desplazado	104.17	
90	66	7.63	0.73	9.70	9.68	99.68	99.70	1.58	1.58	41.83	90.77	8.90	9.60	0.73	1.58	22.74	20.24	RH desplazado	105.80	
90	68	7.78	0.76	9.90	9.87	99.87	99.90	1.62	1.62	41.87	90.97	8.90	9.59	0.76	1.62	23.11	20.57	RH desplazado	107.41	
90	70	7.93	0.78	10.09	10.06	100.06	100.09	1.67	1.67	41.90	91.17	8.89	9.59	0.78	1.67	23.47	20.89	RH desplazado	108.99	
90	72	8.08	0.80	10.28	10.25	100.25	100.28	1.72	1.72	41.94	91.37	8.89	9.58	0.80	1.72	23.83	21.21	RH desplazado	110.55	
90	74	8.23	0.82	10.47	10.44	100.44	100.47	1.76	1.76	41.97	91.56	8.88	9.58	0.82	1.76	24.18	21.53	RH desplazado	112.08	
90	76	8.38	0.84	10.66	10.62	100.62	100.66	1.81	1.81	42.01	91.75	8.87	9.58	0.84	1.81	24.53	21.84	RH desplazado	113.60	
90	78	8.53	0.87	10.85	10.81	100.81	100.85	1.86	1.86	42.04	91.94	8.87	9.57	0.87	1.86	24.87	22.15	RH desplazado	115.09	
90	80	8.67	0.89	11.03	10.99	100.99	101.03	1.90	1.90	42.08	92.13	8.86	9.57	0.89	1.90	25.21	22.46	RH desplazado	116.56	
90	82	8.82	0.91	11.21	11.17	101.17	101.21	1.95	1.95	42.11	92.32	8.85	9.56	0.91	1.95	25.55	22.76	RH desplazado	118.01	
90	84	8.96	0.93	11.40	11.35	101.35	101.40	1.99	1.99	42.14	92.51	8.85	9.56	0.93	1.99	25.88	23.06	RH desplazado	119.45	
90	86	9.10	0.96	11.58	11.53	101.53	101.58	2.04	2.04	42.17	92.69	8.84	9.56	0.96	2.04	26.21	23.35	RH desplazado	120.86	
90	88	9.24	0.98	11.76	11.71	101.71	101.76	2.09	2.09	42.21	92.88	8.83	9.55	0.98	2.09	26.54	23.64	RH desplazado	122.26	
90	90	9.38	1.00	11.93	11.88	101.88	101.93	2.13	2.13	42.24	93.06	8.82	9.55	1.00	2.13	26.86	23.93	RH desplazado	123.64	
90	92	9.52	1.02	12.11	12.06	102.06	102.11	2.18	2.18	42.27	93.24	8.82	9.54	1.02	2.18	27.18	24.22	RH desplazado	125.01	
90	94	9.66	1.04	12.28	12.23	102.23	102.28	2.22	2.22	42.30	93.42	8.81	9.54	1.04	2.22	27.49	24.50	RH desplazado	126.36	
90	96	9.79	1.07	12.46	12.40	102.40	102.46	2.27	2.27	42.33	93.60	8.80	9.54	1.07	2.27	27.81	24.78	RH desplazado	127.69	
90	98	9.93	1.09	12.63	12.57	102.57	102.63	2.31	2.31	42.36	93.78	8.79	9.53	1.09	2.31	28.12	25.06	RH desplazado	129.01	
90	100	10.06	1.11	12.80	12.74	102.74	102.80	2.36	2.36	42.39	93.95	8.78	9.53	1.11	2.36	28.42	25.33	RH desplazado	130.32	
90	102	10.20	1.13	12.97	12.91	102.91	102.97	2.40	2.40	42.42	94.13	8.78	9.52	1.13	2.40	28.73	25.60	RH desplazado	131.61	
90	104	10.33	1.16	13.14	13.07	103.07	103.14	2.46	2.46	42.45	94.31	8.77	9.52	1.16	2.46	29.03	25.87	RH desplazado	132.89	
90	106	10.46	1.18	13.31	13.24	103.24	103.31	2.51	2.51	42.48	94.49	8.76	9.51	1.18	2.51	29.32	26.14	RH desplazado	134.16	
90	108	10.59	1.20	13.47	13.40	103.40	103.47	2.57	2.57	42.51	94.67	8.75	9.51	1.20	2.57	29.61	26.41	RH desplazado	135.43	
90	110	10.72	1.22	13.64	13.56	103.56	103.64	2.62	2.62	42.54	94.85	8.74	9.50	1.22	2.62	29.90	26.68	RH desplazado	136.70	
90	112	10.85	1.24	13.81	13.73	103.73	103.81	2.67	2.67	42.57	95.03	8.73	9.50	1.24	2.67	30.19	26.95	RH desplazado	137.97	
90	114	10.98	1.27	13.97	13.89	103.89	103.97	2.72	2.72	42.60	95.21	8.72	9.50	1.27	2.72	30.48	27.22	RH desplazado	139.24	
90	116	11.11	1.29	14.13	14.05	104.05	104.13	2.77	2.77	42.63	95.39	8.71	9.50	1.29	2.77	30.77	27.49	RH desplazado	140.51	
90	118	11.24	1.31	14.29	14.21	104.21	104.29	2.83	2.83	42.66	95.57	8.70	9.50	1.31	2.83	31.06	27.76	RH desplazado	141.78	
90	120	11.36	1.33	14.46	14.36	104.36	104.46	2.88	2.88	42.69	95.75	8.69	9.50	1.33	2.88	31.35	28.03	RH desplazado	143.05	

Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-46.

Análisis hidráulico para una presa de HVC de 100 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.6 θ ° 59.04		f= 0.11 <b>ROCA BUENA</b>		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO					
				CONDICIONES A. ARRIBA				CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA							
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>o</sub> (m)	hc (m)	z <sub>i</sub> (m)	v <sub>i</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)
100	40	5.46	0.37	6.95	6.94	106.94	107.32	0.92	0.92	43.40	96.94	10.00	9.67	0.40	0.92	17.82	15.76	RH desplazado	84.49
100	42	5.64	0.39	7.18	7.17	107.17	107.56	0.97	0.97	43.45	97.17	10.00	9.66	0.42	0.97	18.29	16.18	RH desplazado	86.63
100	44	5.82	0.41	7.41	7.40	107.40	107.81	1.01	1.01	43.49	97.39	10.00	9.66	0.44	1.01	18.76	16.59	RH desplazado	88.73
100	46	6.00	0.43	7.63	7.62	107.62	108.05	1.06	1.06	43.53	97.61	10.00	9.65	0.46	1.06	19.21	16.99	RH desplazado	90.77
100	48	6.17	0.45	7.85	7.84	107.84	108.28	1.10	1.10	43.56	97.83	10.01	9.65	0.48	1.10	19.65	17.39	RH desplazado	92.76
100	50	6.34	0.46	8.06	8.05	108.05	108.52	1.15	1.15	43.60	98.05	10.01	9.65	0.50	1.15	20.09	17.77	RH desplazado	94.72
100	52	6.51	0.48	8.28	8.27	108.27	108.75	1.19	1.19	43.64	98.26	10.01	9.64	0.52	1.19	20.52	18.16	RH desplazado	96.63
100	54	6.67	0.50	8.49	8.48	108.48	108.97	1.24	1.24	43.68	98.47	10.01	9.64	0.54	1.24	20.94	18.53	RH desplazado	98.50
100	56	6.84	0.52	8.70	8.68	108.68	109.20	1.28	1.28	43.71	98.68	10.01	9.64	0.56	1.28	21.35	18.90	RH desplazado	100.34
100	58	7.00	0.53	8.90	8.89	108.89	109.42	1.33	1.33	43.75	98.88	10.01	9.63	0.58	1.33	21.75	19.26	RH desplazado	102.14
100	60	7.16	0.55	9.11	9.09	109.09	109.64	1.37	1.37	43.79	99.08	10.01	9.63	0.60	1.37	22.13	19.61	RH desplazado	104.02
100	62	7.32	0.57	9.31	9.29	109.29	109.86	1.41	1.41	43.82	99.29	10.01	9.62	0.62	1.41	22.55	19.96	RH desplazado	105.65
100	64	7.47	0.58	9.51	9.49	109.49	110.07	1.46	1.46	43.85	99.48	10.01	9.62	0.64	1.46	22.93	20.31	RH desplazado	107.36
100	66	7.63	0.60	9.70	9.69	109.69	110.29	1.50	1.50	43.89	99.68	10.00	9.62	0.66	1.50	23.31	20.65	RH desplazado	109.05
100	68	7.78	0.62	9.90	9.88	109.88	110.50	1.55	1.55	43.92	99.88	10.00	9.61	0.68	1.55	23.69	20.99	RH desplazado	110.70
100	70	7.93	0.64	10.09	10.07	110.07	110.71	1.59	1.59	43.96	100.07	10.00	9.61	0.70	1.59	24.06	21.32	RH desplazado	112.33
100	72	8.08	0.65	10.28	10.26	110.26	110.91	1.64	1.64	43.99	100.26	10.00	9.61	0.72	1.64	24.42	21.64	RH desplazado	113.94
100	74	8.23	0.67	10.47	10.45	110.45	111.12	1.68	1.68	44.02	100.45	10.00	9.60	0.74	1.68	24.78	21.97	RH desplazado	115.52
100	76	8.38	0.69	10.66	10.64	110.64	111.32	1.73	1.73	44.05	100.64	10.00	9.60	0.76	1.73	25.14	22.28	RH desplazado	117.08
100	78	8.53	0.70	10.85	10.82	110.82	111.53	1.77	1.77	44.08	100.82	10.00	9.60	0.78	1.77	25.49	22.60	RH desplazado	118.61
100	80	8.67	0.72	11.03	11.00	111.00	111.73	1.81	1.81	44.12	101.01	10.00	9.59	0.80	1.81	25.84	22.91	RH desplazado	120.13
100	82	8.82	0.74	11.21	11.19	111.19	111.92	1.86	1.86	44.15	101.19	9.99	9.59	0.82	1.86	26.18	23.22	RH desplazado	121.63
100	84	8.96	0.75	11.40	11.37	111.37	112.12	1.90	1.90	44.18	101.37	9.99	9.58	0.84	1.90	26.52	23.52	RH desplazado	123.10
100	86	9.10	0.77	11.58	11.55	111.55	112.32	1.95	1.95	44.21	101.56	9.99	9.58	0.86	1.95	26.86	23.82	RH desplazado	124.56
100	88	9.24	0.79	11.76	11.72	111.72	112.51	1.99	1.99	44.24	101.74	9.99	9.58	0.88	1.99	27.19	24.12	RH desplazado	126.00
100	90	9.38	0.80	11.93	11.90	111.90	112.70	2.03	2.03	44.27	101.91	9.99	9.57	0.90	2.03	27.52	24.41	RH desplazado	127.43
100	92	9.52	0.82	12.11	12.07	112.07	112.89	2.08	2.08	44.30	102.09	9.98	9.57	0.92	2.08	27.84	24.71	RH desplazado	128.83
100	94	9.66	0.84	12.28	12.25	112.25	113.08	2.12	2.12	44.33	102.27	9.98	9.57	0.94	2.12	28.17	24.99	RH desplazado	130.22
100	96	9.79	0.85	12.46	12.42	112.42	113.27	2.16	2.16	44.36	102.44	9.98	9.56	0.96	2.16	28.48	25.28	RH desplazado	131.60
100	98	9.93	0.87	12.63	12.59	112.59	113.46	2.21	2.21	44.38	102.61	9.98	9.56	0.98	2.21	28.80	25.56	RH desplazado	132.96
100	100	10.06	0.89	12.80	12.76	112.76	113.65	2.25	2.25	44.41	102.79	9.97	9.56	1.00	2.25	29.11	25.84	RH desplazado	134.30
100	102	10.20	0.90	12.97	12.93	112.93	113.83	2.30	2.30	44.44	102.96	9.97	9.55	1.02	2.30	29.42	26.12	RH desplazado	135.63
100	104	10.33	0.92	13.14	13.10	113.10	114.02	2.34	2.34	44.47	103.13	9.97	9.55	1.04	2.34	29.73	26.40	RH desplazado	136.95
100	106	10.46	0.94	13.31	13.26	113.26	114.20	2.38	2.38	44.50	103.30	9.97	9.55	1.06	2.38	30.03	26.67	RH desplazado	138.25
100	108	10.59	0.95	13.47	13.43	113.43	114.38	2.43	2.43	44.52	103.46	9.96	9.54	1.08	2.43	30.33	26.94	RH desplazado	139.54
100	110	10.72	0.97	13.64	13.59	113.59	114.56	2.47	2.47	44.55	103.63	9.96	9.54	1.10	2.47	30.63	27.21	RH desplazado	140.82
100	112	10.85	0.98	13.81	13.76	113.76	114.74	2.51	2.51	44.58	103.80	9.96	9.54	1.12	2.51	30.93	27.47	RH desplazado	142.08
100	114	10.98	1.00	13.97	13.92	113.92	114.92	2.56	2.56	44.61	103.96	9.96	9.53	1.14	2.56	31.22	27.74	RH desplazado	143.34
100	116	11.11	1.02	14.13	14.08	114.08	115.10	2.60	2.60	44.63	104.13	9.95	9.53	1.16	2.60	31.51	28.00	RH desplazado	144.58
100	118	11.24	1.03	14.29	14.24	114.24	115.27	2.64	2.64	44.66	104.29	9.95	9.53	1.18	2.64	31.80	28.26	RH desplazado	145.81
100	120	11.36	1.05	14.46	14.40	114.40	115.45	2.69	2.69	44.68	104.45	9.95	9.52	1.20	2.69	32.09	28.52	RH desplazado	147.03

Fuente: Logacho & Orozco



Tabla 3-47.

Análisis hidráulico para una presa de HVC de 110 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.6 θ ° 59.04		f= 0.11 <b>ROCA BUENA</b>		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO					
		CONDICIONES A. ARRIBA				CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA									
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>o</sub> (m)	hc (m)	z <sub>1</sub> (m)	v <sub>1</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/HP	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)
110	40	5.46	0.36	6.95	6.94	116.94	116.95	0.88	0.88	45.40	105.95	10.99	9.68	0.36	0.88	18.25	16.04	RH desplazado	86.83
110	42	5.64	0.38	7.18	7.17	117.17	117.18	0.92	0.92	45.44	106.18	10.99	9.67	0.38	0.92	18.73	16.47	RH desplazado	89.04
110	44	5.82	0.40	7.41	7.40	117.40	117.41	0.97	0.97	45.48	106.41	10.99	9.67	0.40	0.97	19.20	16.89	RH desplazado	91.19
110	46	6.00	0.42	7.63	7.62	117.62	117.63	1.01	1.01	45.52	106.63	10.99	9.67	0.42	1.01	19.67	17.30	RH desplazado	93.29
110	48	6.17	0.44	7.85	7.84	117.84	117.85	1.05	1.05	45.56	106.85	10.99	9.66	0.44	1.05	20.12	17.70	RH desplazado	95.34
110	50	6.34	0.45	8.06	8.05	118.05	118.06	1.10	1.10	45.60	107.06	10.99	9.66	0.45	1.10	20.57	18.10	RH desplazado	97.35
110	52	6.51	0.47	8.28	8.27	118.27	118.28	1.14	1.14	45.63	107.27	10.99	9.66	0.47	1.14	21.00	18.49	RH desplazado	99.31
110	54	6.67	0.49	8.49	8.48	118.48	118.49	1.18	1.18	45.67	107.48	10.99	9.65	0.49	1.18	21.43	18.87	RH desplazado	101.24
110	56	6.84	0.51	8.70	8.68	118.68	118.70	1.23	1.23	45.70	107.69	10.99	9.65	0.51	1.23	21.85	19.24	RH desplazado	103.13
110	58	7.00	0.53	8.90	8.89	118.89	118.90	1.27	1.27	45.74	107.90	10.99	9.65	0.53	1.27	22.26	19.61	RH desplazado	104.98
110	60	7.16	0.55	9.11	9.09	119.09	119.11	1.31	1.31	45.77	108.10	10.99	9.64	0.55	1.31	22.67	19.97	RH desplazado	106.80
110	62	7.32	0.56	9.31	9.29	119.29	119.31	1.35	1.35	45.81	108.30	10.99	9.64	0.56	1.35	23.07	20.33	RH desplazado	108.59
110	64	7.47	0.58	9.51	9.49	119.49	119.51	1.40	1.40	45.84	108.50	10.99	9.64	0.58	1.40	23.47	20.68	RH desplazado	110.35
110	66	7.63	0.60	9.70	9.69	119.69	119.70	1.44	1.44	45.87	108.70	10.99	9.63	0.60	1.44	23.86	21.03	RH desplazado	112.08
110	68	7.78	0.62	9.90	9.88	119.88	119.90	1.48	1.48	45.91	108.89	10.99	9.63	0.62	1.48	24.24	21.37	RH desplazado	113.79
110	70	7.93	0.64	10.09	10.07	120.07	120.09	1.52	1.52	45.94	109.09	10.98	9.63	0.64	1.52	24.62	21.71	RH desplazado	115.46
110	72	8.08	0.65	10.28	10.26	120.26	120.28	1.57	1.57	45.97	109.28	10.98	9.62	0.65	1.57	24.99	22.04	RH desplazado	117.11
110	74	8.23	0.67	10.47	10.45	120.45	120.47	1.61	1.61	46.00	109.47	10.98	9.62	0.67	1.61	25.36	22.37	RH desplazado	118.74
110	76	8.38	0.69	10.66	10.64	120.64	120.66	1.65	1.65	46.03	109.66	10.98	9.62	0.69	1.65	25.72	22.69	RH desplazado	120.34
110	78	8.53	0.71	10.85	10.82	120.82	120.85	1.69	1.69	46.06	109.85	10.98	9.61	0.71	1.69	26.08	23.01	RH desplazado	121.93
110	80	8.67	0.73	11.03	11.00	121.00	121.03	1.74	1.74	46.10	110.03	10.97	9.61	0.73	1.74	26.43	23.33	RH desplazado	123.49
110	82	8.82	0.75	11.21	11.19	121.19	121.21	1.78	1.78	46.13	110.22	10.97	9.61	0.75	1.78	26.78	23.64	RH desplazado	125.03
110	84	8.96	0.76	11.40	11.37	121.37	121.40	1.82	1.82	46.16	110.40	10.97	9.60	0.76	1.82	27.13	23.95	RH desplazado	126.55
110	86	9.10	0.78	11.58	11.55	121.55	121.58	1.86	1.86	46.19	110.58	10.96	9.60	0.78	1.86	27.47	24.26	RH desplazado	128.05
110	88	9.24	0.80	11.76	11.72	121.72	121.76	1.90	1.90	46.21	110.76	10.96	9.60	0.80	1.90	27.81	24.56	RH desplazado	129.53
110	90	9.38	0.82	11.93	11.90	121.90	121.93	1.95	1.95	46.24	110.94	10.96	9.60	0.82	1.95	28.15	24.86	RH desplazado	131.00
110	92	9.52	0.84	12.11	12.07	122.07	122.11	1.99	1.99	46.27	111.12	10.95	9.59	0.84	1.99	28.48	25.16	RH desplazado	132.44
110	94	9.66	0.85	12.28	12.25	122.25	122.28	2.03	2.03	46.30	111.30	10.95	9.59	0.85	2.03	28.81	25.45	RH desplazado	133.88
110	96	9.79	0.87	12.46	12.42	122.42	122.46	2.07	2.07	46.33	111.47	10.95	9.59	0.87	2.07	29.13	25.74	RH desplazado	135.29
110	98	9.93	0.89	12.63	12.59	122.59	122.63	2.11	2.11	46.36	111.65	10.94	9.58	0.89	2.11	29.45	26.03	RH desplazado	136.69
110	100	10.06	0.91	12.80	12.76	122.76	122.80	2.16	2.16	46.39	111.82	10.94	9.58	0.91	2.16	29.77	26.32	RH desplazado	138.07
110	102	10.20	0.93	12.97	12.93	122.93	122.97	2.20	2.20	46.41	111.99	10.93	9.58	0.93	2.20	30.09	26.60	RH desplazado	139.44
110	104	10.33	0.95	13.14	13.09	123.09	123.14	2.24	2.24	46.44	112.16	10.93	9.57	0.95	2.24	30.40	26.88	RH desplazado	140.80
110	106	10.46	0.96	13.31	13.26	123.26	123.31	2.28	2.28	46.47	112.33	10.93	9.57	0.96	2.28	30.71	27.16	RH desplazado	142.14
110	108	10.59	0.98	13.47	13.43	123.43	123.47	2.32	2.32	46.49	112.50	10.92	9.57	0.98	2.32	31.02	27.43	RH desplazado	143.47
110	110	10.72	1.00	13.64	13.59	123.59	123.64	2.36	2.36	46.52	112.67	10.92	9.56	1.00	2.36	31.32	27.71	RH desplazado	144.79
110	112	10.85	1.02	13.81	13.75	123.75	123.81	2.41	2.41	46.55	112.84	10.91	9.56	1.02	2.41	31.62	27.98	RH desplazado	146.09
110	114	10.98	1.04	13.97	13.91	123.91	123.97	2.45	2.45	46.57	113.01	10.91	9.56	1.04	2.45	31.92	28.25	RH desplazado	147.38
110	116	11.11	1.05	14.13	14.08	124.08	124.13	2.49	2.49	46.60	113.17	10.90	9.56	1.05	2.49	32.22	28.51	RH desplazado	148.66
110	118	11.24	1.07	14.29	14.24	124.24	124.29	2.53	2.53	46.63	113.34	10.90	9.55	1.07	2.53	32.52	28.78	RH desplazado	149.92
110	120	11.36	1.09	14.46	14.39	124.39	124.46	2.57	2.57	46.65	113.50	10.89	9.55	1.09	2.57	32.81	29.04	RH desplazado	151.18

Fuente: Logacho & Orozco

Tabla 3-48.

Análisis hidráulico para una presa de HVC de 120 m de altura y caudal unitario variable para roca de buena calidad

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.6 θ ° 59.04		f= 0.11 ROCA BUENA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO					
		CONDICIONES A. ARRIBA				CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA									
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	vo (m/s)	H <sub>0</sub> (m)	H (m)	E (m)	Eo (m)	hc (m)	z <sub>1</sub> (m)	v <sub>1</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)
120	40	5.46	0.33	6.95	6.94	126.94	126.95	0.85	0.85	47.32	114.95	11.99	9.69	0.33	0.85	18.65	16.31	RH desplazado	89.01
120	42	5.64	0.35	7.18	7.17	127.17	127.18	0.89	0.89	47.35	115.18	12.00	9.68	0.35	0.89	19.14	16.75	RH desplazado	91.27
120	44	5.82	0.37	7.41	7.40	127.40	127.41	0.93	0.93	47.39	115.40	12.00	9.68	0.37	0.93	19.62	17.17	RH desplazado	93.48
120	46	6.00	0.38	7.63	7.62	127.62	127.63	0.97	0.97	47.43	115.62	12.00	9.68	0.38	0.97	20.10	17.59	RH desplazado	95.63
120	48	6.17	0.40	7.85	7.84	127.84	127.85	1.01	1.01	47.46	115.83	12.00	9.67	0.40	1.01	20.56	18.00	RH desplazado	97.73
120	50	6.34	0.42	8.06	8.06	128.06	128.06	1.05	1.05	47.50	116.05	12.01	9.67	0.42	1.05	21.01	18.40	RH desplazado	99.79
120	52	6.51	0.43	8.28	8.27	128.27	128.28	1.09	1.09	47.53	116.26	12.01	9.67	0.43	1.09	21.46	18.80	RH desplazado	101.81
120	54	6.67	0.45	8.49	8.48	128.48	128.49	1.14	1.14	47.57	116.47	12.01	9.66	0.45	1.14	21.89	19.18	RH desplazado	103.78
120	56	6.84	0.47	8.70	8.69	128.69	128.70	1.18	1.18	47.60	116.67	12.01	9.66	0.47	1.18	22.32	19.56	RH desplazado	105.72
120	58	7.00	0.48	8.90	8.89	128.89	128.90	1.22	1.22	47.64	116.88	12.01	9.66	0.48	1.22	22.74	19.94	RH desplazado	107.62
120	60	7.16	0.50	9.11	9.09	129.09	129.11	1.26	1.26	47.67	117.08	12.01	9.66	0.50	1.26	23.16	20.31	RH desplazado	109.49
120	62	7.32	0.52	9.31	9.29	129.29	129.31	1.30	1.30	47.70	117.28	12.01	9.65	0.52	1.30	23.56	20.67	RH desplazado	111.32
120	64	7.47	0.53	9.51	9.49	129.49	129.51	1.34	1.34	47.73	117.48	12.01	9.65	0.53	1.34	23.97	21.03	RH desplazado	113.13
120	66	7.63	0.55	9.70	9.69	129.69	129.70	1.38	1.38	47.77	117.67	12.01	9.65	0.55	1.38	24.36	21.38	RH desplazado	114.90
120	68	7.78	0.57	9.90	9.88	129.88	129.90	1.42	1.42	47.80	117.87	12.01	9.64	0.57	1.42	24.75	21.72	RH desplazado	116.65
120	70	7.93	0.58	10.09	10.07	130.07	130.09	1.46	1.46	47.83	118.06	12.01	9.64	0.58	1.46	25.14	22.07	RH desplazado	118.36
120	72	8.08	0.60	10.28	10.26	130.26	130.28	1.50	1.50	47.86	118.25	12.01	9.64	0.60	1.50	25.52	22.41	RH desplazado	120.06
120	74	8.23	0.62	10.47	10.45	130.45	130.47	1.55	1.55	47.89	118.44	12.01	9.64	0.62	1.55	25.89	22.74	RH desplazado	121.73
120	76	8.38	0.63	10.66	10.64	130.64	130.66	1.59	1.59	47.92	118.63	12.01	9.63	0.63	1.59	26.26	23.07	RH desplazado	123.37
120	78	8.53	0.65	10.85	10.83	130.83	130.85	1.63	1.63	47.95	118.82	12.01	9.63	0.65	1.63	26.63	23.40	RH desplazado	124.99
120	80	8.67	0.67	11.03	11.01	131.01	131.03	1.67	1.67	47.98	119.00	12.01	9.63	0.67	1.67	26.99	23.72	RH desplazado	126.60
120	82	8.82	0.68	11.21	11.19	131.19	131.21	1.71	1.71	48.01	119.18	12.01	9.62	0.68	1.71	27.34	24.04	RH desplazado	128.17
120	84	8.96	0.70	11.40	11.37	131.37	131.40	1.75	1.75	48.04	119.36	12.01	9.62	0.70	1.75	27.70	24.35	RH desplazado	129.73
120	86	9.10	0.72	11.58	11.55	131.55	131.58	1.79	1.79	48.07	119.55	12.00	9.62	0.72	1.79	28.04	24.66	RH desplazado	131.27
120	88	9.24	0.73	11.76	11.73	131.73	131.76	1.83	1.83	48.09	119.72	12.00	9.62	0.73	1.83	28.39	24.97	RH desplazado	132.79
120	90	9.38	0.75	11.93	11.90	131.90	131.93	1.87	1.87	48.12	119.90	12.00	9.61	0.75	1.87	28.73	25.28	RH desplazado	134.30
120	92	9.52	0.77	12.11	12.08	132.08	132.11	1.91	1.91	48.15	120.08	12.00	9.61	0.77	1.91	29.07	25.58	RH desplazado	135.78
120	94	9.66	0.78	12.28	12.25	132.25	132.28	1.95	1.95	48.18	120.25	12.00	9.61	0.78	1.95	29.40	25.88	RH desplazado	137.25
120	96	9.79	0.80	12.46	12.42	132.42	132.46	1.99	1.99	48.21	120.43	12.00	9.60	0.80	1.99	29.73	26.17	RH desplazado	138.70
120	98	9.93	0.82	12.63	12.60	132.60	132.63	2.03	2.03	48.23	120.60	11.99	9.60	0.82	2.03	30.06	26.46	RH desplazado	140.14
120	100	10.06	0.83	12.80	12.77	132.77	132.80	2.07	2.07	48.26	120.77	11.99	9.60	0.83	2.07	30.38	26.75	RH desplazado	141.56
120	102	10.20	0.85	12.97	12.93	132.93	132.97	2.11	2.11	48.29	120.95	11.99	9.60	0.85	2.11	30.71	27.04	RH desplazado	142.96
120	104	10.33	0.87	13.14	13.10	133.10	133.14	2.15	2.15	48.31	121.12	11.99	9.59	0.87	2.15	31.02	27.33	RH desplazado	144.35
120	106	10.46	0.88	13.31	13.27	133.27	133.31	2.19	2.19	48.34	121.29	11.98	9.59	0.88	2.19	31.34	27.61	RH desplazado	145.73
120	108	10.59	0.90	13.47	13.43	133.43	133.47	2.23	2.23	48.36	121.45	11.98	9.59	0.90	2.23	31.65	27.89	RH desplazado	147.09
120	110	10.72	0.92	13.64	13.60	133.60	133.64	2.27	2.27	48.39	121.62	11.98	9.59	0.92	2.27	31.96	28.17	RH desplazado	148.44
120	112	10.85	0.93	13.81	13.76	133.76	133.81	2.31	2.31	48.42	121.79	11.97	9.58	0.93	2.31	32.27	28.44	RH desplazado	149.78
120	114	10.98	0.95	13.97	13.92	133.92	133.97	2.35	2.35	48.44	121.95	11.97	9.58	0.95	2.35	32.57	28.72	RH desplazado	151.10
120	116	11.11	0.97	14.13	14.08	134.08	134.13	2.39	2.39	48.47	122.12	11.97	9.58	0.97	2.39	32.88	28.99	RH desplazado	152.42
120	118	11.24	0.98	14.29	14.24	134.24	134.29	2.43	2.43	48.49	122.28	11.96	9.57	0.98	2.43	33.18	29.26	RH desplazado	153.72
120	120	11.36	1.00	14.46	14.40	134.40	134.46	2.47	2.47	48.52	122.44	11.96	9.57	1.00	2.47	33.47	29.52	RH desplazado	155.00

Fuente: Logacho & Orozco



### 3.3 Criterios generales para realizar el presupuesto referencial

#### 3.3.1 Precios unitarios

Para realizar un presupuesto referencial se tomarán en cuenta precios unitarios referenciales actualizados de proyectos similares, al existir un universo de caudales unitarios y alturas de presa, se analizarán y compararán desde los puntos de vista: técnico – económico, social y ambiental, como resultado de este proceso se elegirá una alternativa. A continuación, se presenta una tabla con los rubros más importantes que nos permiten conocer la optimización económica entre una presa de hormigón vibrado convencional (HVC) frente al uso del hormigón compactado (HC), tomando en cuenta que los únicos rubros que varían son los correspondientes a hormigones, los demás rubros para la construcción de las obras son prácticamente iguales al considerar que las características físicas de implantación son similares.

*Tabla 3-49.*  
*Rubros referenciales para una presa vertedero de hormigón compactado (HC)*

---

<b>PROYECTO:</b>	PRESA VERTEDERO ESCALONADA DE HORMIGÓN COMPACTADO
------------------	---

---

<b>ÍTEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>1</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>
1.1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPOS
1.2	CONSTRUCCIÓN DE CAMPAMENTO
1.3	REPLANTEO Y NIVELACIÓN CON EQUIPO TOPOGRÁFICO
<b>2</b>	<b>PRESA</b>
<b>2.1</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>
2.1.1	LIMPIEZA Y DESBROCE DEL TERRENO
2.1.2	EXCACACIÓN EN TERRENO NORMAL CON MAQUINARIA LIVIANA
2.1.3	EXCAVACIÓN EN ROCA MACIZA CON EQUIPO Y EXPLOSIVOS
2.1.4	EXCAVACIÓN EN MATERIAL SATURADO CON MAQUINARIA
2.1.5	DESALOJO DE MATERIAL
<b>2.2</b>	<b>TRANSPORTE DE MATERIAL A OBRA</b>
2.2.1	TRANSPORTE DE MATERIAL FINO PARA RELLENO DIST. (10KM)
2.2.2	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR PARA RELLENO DIST. (10KM)
<b>2.3</b>	<b>DRENAJE VERTICAL</b>
2.3.1	REPLANTEO Y NIVELACIÓN CON EQUIPO TOPOGRÁFICO

---

---

2.3.2	RELLENO Y COMPACTADO DRENAJE VERTICAL
2.3.3	SUMINISTRO DE INSTALACIÓN DE TUBERÍA PERFORADA PARA DRENAJE
<b>2.4</b>	<b>DENTELLÓN</b>
2.4.1	REPLANTEO Y NIVELACIÓN CON EQUIPO TOPOGRÁFICO
2.4.2	CONSTRUCCIÓN DE DENTELLÓN
<b>2.5</b>	<b>IMPERMEABILIZACIÓN</b>
<b>2.5.1</b>	<b>MACIZO DE CIMENTACIÓN</b>
2.5.1.1	TRATAMIENTO E INSTALACIÓN DE CORTINA DE IMPERMEABILIZACIÓN
<b>2.5.2</b>	<b>PARAMENTO AGUAS ARRIBA</b>
2.5.2.1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL
2.5.2.2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANA
2.5.2.3	BANDAS DE PVC 500 mm
<b>2.5.3</b>	<b>PARAMENTO AGUAS ABAJO</b>
2.5.3.1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL
2.5.3.2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANA
2.5.3.3	BANDAS DE PVC 50 CM
<b>2.6</b>	<b>ESTRUCTURA</b>
<b>2.6.1</b>	<b>HORMIGONES</b>
2.6.1.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PLANO
2.6.1.2	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CURVO
2.6.1.3	HORMIGÓN COMPACTADO HC1 $f_c=120 \text{ Kg/cm}^2$
2.6.1.4	HORMIGÓN COMPACTADO HC2 $f_c=160 \text{ Kg/cm}^2$
2.6.1.5	HORMIGÓN COMPACTADO HC3 $f_c=210 \text{ Kg/cm}^2$
2.6.1.6	HORMIGÓN COMPACTADO HC4 $f_c=180 \text{ Kg/cm}^2$
2.6.1.7	HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL $f_c=300 \text{ Kg/cm}^2$ CON BOMBA TELESCÓPICA
2.6.1.8	HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL $f_c=300 \text{ Kg/cm}^2$ CON BOMBA ESTACIONARIA
2.6.1.9	HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL $f_c=380 \text{ Kg/cm}^2$ CON BOMBA TELESCÓPICA
2.6.1.10	HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL $f_c=380 \text{ Kg/cm}^2$ CON BOMBA ESTACIONARIA
2.6.1.11	MORTERO DE PEGA O DE LIGA $f_c= 80 \text{ Kg/cm}^2$
<b>2.6.2</b>	<b>ACERO DE REFUERZO</b>
2.6.2.1	ACERO CORRUGADO $f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$
<b>3</b>	<b>POZO DE DISIPACIÓN</b>
3.1	LIMPIEZA Y DESBROCE DEL TERRENO
3.2	EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO CON MAQUINA
3.3	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PLANO
3.4	ACERO CORRUGADO $f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$
3.5	HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL $f_c=300 \text{ Kg/cm}^2$ CON BOMBA ESTACIONARIA
3.6	HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL $f_c=380 \text{ Kg/cm}^2$ CON BOMBA ESTACIONARIA
<b>4</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>
4.1	DEFORESTACIÓN DE MASAS DE MONTE BAJO
4.2	DEFORESTACIÓN DE MASAS DE MONTE ALTO
4.3	REFORESTACIÓN DE FLORA
4.4	DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DE LA FAUNA
4.5	INTEGRACIÓN PAISAJISTICA
<b>5</b>	<b>SEGURIDAD Y SALUD</b>
5.1.1	PLAN SSO

---

---

<b>6</b>	<b>VARIOS</b>
6.1	LIMPIEZA FINAL DEL TERRENO
6.2	PLATAFORMA DE TRABAJO Y MEDIOS DE ELEVACIÓN
6.3	PLAN DE EMERGENCIA Y DESASTRES

---

Elaborado por: Logacho & Orozco

### **3.3.2 Presupuesto**

Una vez definidos los precios unitarios referenciales se los aplica a los volúmenes de obra obtenidos de los prediseños o diseños preliminares.

### **3.4 Criterios generales para realizar el estudio de impacto ambiental**

Los efectos de la construcción de una obra hidráulica no siempre son positivos, por ello es necesario contar con un plan estratégico de contingencia que atienda posibles efectos negativos, desde el punto de vista físico y/o socioeconómico, esto con el fin de que prevalezcan los derechos de quienes puedan ser considerados como afectados por una construcción de esta magnitud.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO

#### 4.1 Comparación de las alternativas

Luego de realizar el análisis completo al universo de casos presentados en el capítulo 3.2, se opta por adoptar la altura de presa ( $H_p$ ) de 100 metros y un caudal unitario ( $q$ ) igual a  $60\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ , como único caso; el mismo que permite realizar una comparación técnico – económica acerca del uso del hormigón compactado (HC) como opción más favorable, frente al hormigón vibrado convencional (HVC).

Desde el criterio geomecánico esta decisión está sustentada con respecto a la calidad del macizo de cimentación, como se puede evidenciar en la tabla 3-10 para una presa de hormigón compactado (HC); y, en la tabla 3-40 para una presa de hormigón vibrado convencional (HVC).

Y se sustenta con base en el criterio hidráulico respecto a la disipación de energía como se puede evidenciar en la tabla 3-32 para una presa de hormigón compactado (HC) y, tabla 3-46 para hormigón vibrado convencional (HVC).

De esta manera los datos preliminares para realizar el análisis técnico – económico de las alternativas quedan así:

*Tabla 4-1.*  
*Datos preliminares para realizar el análisis técnico - económico de las alternativas*

<b>Tipo de presa</b>	<b><math>H_p</math> (m)</b>	<b><math>q</math> (<math>\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}</math>)</b>	<b>Calidad de la roca</b>	<b>Perfil hidráulico</b>
Presa vertedero escalonada de HC	100	60	BUENA	Escalonado
Presa vertedero de HVC	100	60	BUENA	Liso

Fuente: Logacho & Orozco

#### 4.2 Presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC)

Con el fin de evacuar el caudal unitario propuesto de  $60 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$  en una presa de 100 m de altura, el punto de inicio para diseño preliminar es el perfil teórico triangular cuya base resultó ser 73,76 m, calculada con iteraciones cuya variable es el parámetro ( $\eta$ ), hasta que la suma de los coeficientes de talud tenga un valor hasta de 0,75 por tratarse de una roca de buena calidad. Los parámetros conocidos para el cálculo son: peso específico del hormigón ( $24 \text{ KN}/\text{m}^3$ ), peso específico del agua ( $10 \text{ KN}/\text{m}^3$ ), cohesión del macizo de cimentación (400 KPa), coeficiente de fricción del macizo de cimentación ( $f=0.80$ ).

Tras realizar la verificación de resistencias al PTT de la presa de HC se obtiene un valor de esfuerzo máximo de 2,00 MPa y esfuerzo mínimo de 0,20 MPa, este último valor ya asegura la condición impuesta para el perfil teórico triangular de una presa de hormigón compactado (HC).

##### 1. Altura de presa igual a el NNE

$$\text{NNE}=\text{Cs}= 100.00 \text{ m}$$

##### 2. Cálculo de la carga de diseño preliminar para el vertedero tipo Creager

$$m= 0.503$$

$$\varepsilon= 0.98$$

$$H_o = \left( \frac{q}{m * \varepsilon * \sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}} = 9.10 \text{ m}$$

$$v_o = \frac{q}{(\text{Cs} + H)} = 0.55 \text{ m/s}$$

$$H = H_o - \frac{v_o^2}{2g} = 9.10 \text{ m}$$

### 3. Perfil teórico triangular

DATOS		
Nivel de importancia de la obra hidráulica	I	
Combinación de fuerzas	Básica	
Factor de seguridad al deslizamiento permisible	$FSD_{perm}$	1.30
Parámetro para cortina y drenaje	$\epsilon_1$	0.37
Parámetro para cortina y drenaje	$\alpha$	0.80
Parámetro para cortina y drenaje	a/b	0.10

- a.  $\eta$  es un parámetro que va a determinar la inclinación del perfil teórico triangular, este factor se variará en un proceso iterativo hasta determinar que la suma de los coeficientes de talud aguas arriba y aguas abajo sean igual a 0,75.

Tabla 4-2.  
Resumen de la iteración del parámetro  $\eta$

$\eta$	$m_1$	$m_2$	$m_1 + m_2$
0.15	0.11	0.61	0.72
0.13	0.09	0.63	0.73
0.06	0.05	0.71	0.75

Elaborado por: Logacho & Orozco

- b. Se obtiene la base del perfil teórico triangular con la siguiente expresión

$$\frac{b}{H} = \frac{FSD_{per}}{f * \left[ \frac{\gamma_H}{\gamma_0} + \eta - (1 - \alpha) - \frac{a}{b} \right]}$$

$$b = 75.23 \text{ m}$$

Se debe realizar un ajuste a los coeficientes de talud para que la presa no esté sobredimensionada y garantice un esfuerzo mínimo igual al 20% de la presión hidrostática al pie del paramento aguas arriba, es por ello que la suma de coeficientes de talud definitiva es igual a 0,74.

Tabla 4-3.  
 Perfil teórico triangular que cumple la condición  $(0.20 * \gamma_o * H_p)$

b (m)	$\eta$	$m_1+m_2$	N (KN)	M (KN)	e	$\sigma_{y'}$ (MPa)	$\sigma_{y''}$ (MPa)	$20% * \gamma_o * H_p$
76.65	0.020	0.77	81049.06	659062.30	8.13	0.384	1.73	Sobredimensionado
74.88	0.070	0.75	80943.09	752604.89	9.30	0.275	1.88	Sobredimensionado
73.76	0.103	0.74	80875.78	812778.23	10.05	0.200	2.00	Óptimo

Elaborado por: Logacho & Orozco

$$m_1 = \frac{\eta * b}{H_p} = 0.08$$

$$m_2 = \frac{(1 - \eta) * b}{H_p} = 0.66$$

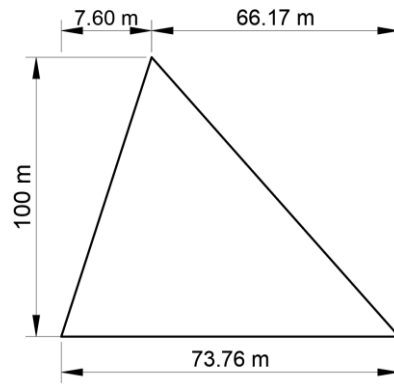


Figura 4-1. Perfil teórico triangular para una presa de HC  
 Elaborado por: Logacho & Orozco

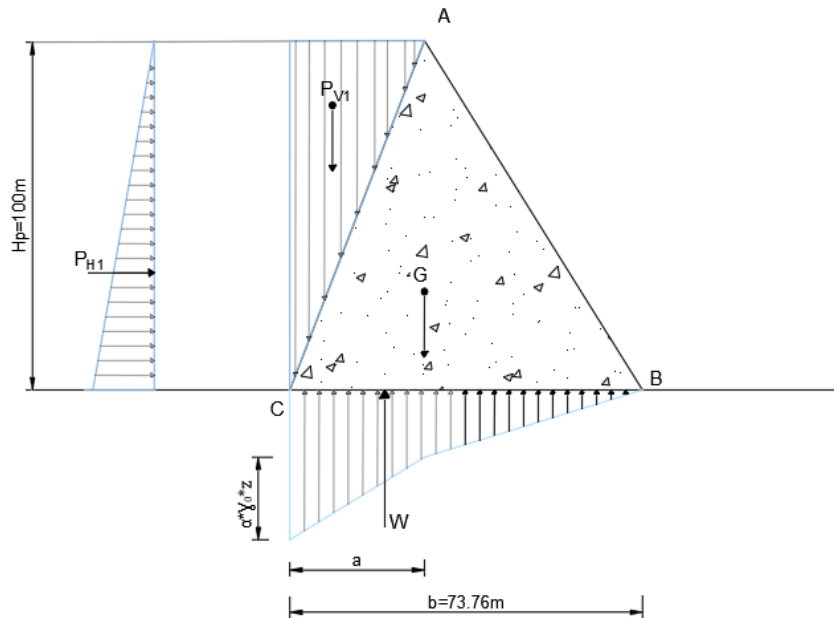


Figura 4-2. Fuerzas actuantes para el cálculo del perfil teórico triangular  
 Elaborado por: Logacho & Orozco

Adicionalmente se realiza el análisis de estabilidad y la verificación de resistencias obteniendo los siguientes resultados:

*Tabla 4-4.*  
*Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para el PTT de una presa de HC*

Fuerza	N	T	x	y	ΣM <sub>o</sub>
	KN/m	KN/m	m	M	(KN*m)
G <sub>1</sub> =	9117.11		31.82		-290074.284
G <sub>2</sub> =	79398.55		-7.23		-573954.547
P <sub>v</sub> =	3798.80		34.35		-130484.858
P <sub>H</sub> =		50000.00		33.33	1666666.67
W <sub>1</sub> =	3200.00		34.21		109487.547
W <sub>2</sub> =	6638.67		6.96		46208.5498
W <sub>3</sub> =	1600.00		32.88		52610.4403
Σ con subpresión	80875.78	50000.00			812778.232
Σ sin subpresión	92314.46	50000.00			672152.978

Elaborado por: Logacho & Orozco

**c.** Cálculo del factor de seguridad al deslizamiento

$$FSD = \frac{f * \Sigma N + C * b}{\Sigma T} = 1.89$$

$$FSD \geq FSD_{perm} ; \text{Sí cumple}$$

**4.** Verificación de resistencias

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = 10.05$$

**a.** Cálculo del esfuerzo máximo y esfuerzo mínimo

$$\sigma''_y = \frac{N}{b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right) = 2.00 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_y = \frac{N}{b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right) = 0.20 \text{ MPa}$$



Posteriormente se realiza la sobreposición del perfil hidráulico al perfil teórico triangular, obteniendo un perfil constructivo que se somete a los análisis de estabilidad y verificación de resistencias.

*Tabla 4-5.*  
*Datos preliminares para el perfil constructivo de la presa de HC*

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal unitario	Q	60	m <sup>3</sup> /s*m
Macizo de cimentación	ROCA		
Ángulo de fricción interna del suelo de cimentación	$\varphi_c$	38.65	°
Ángulo de fricción interna de los sedimentos	$\varphi_{sed}$	12	°
Peso específico del hormigón	$\gamma_h$	24	KN/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	$\gamma_o$	10	KN/m <sup>3</sup>
Peso específico seco de los sedimentos	$\gamma_{s.sed}$	16	KN/m <sup>3</sup>
Porosidad de los sedimentos	N	0.40	
Factor de fricción	F	0.80	
Altura de la presa	H <sub>p</sub>	100.00	m
Coefficiente de talud aguas arriba	m <sub>1</sub>	0.08	
Coefficiente de talud aguas abajo	m <sub>2</sub>	0.66	
Ángulo entre la horizontal y el paramento aguas abajo	A	56.51	°

Elaborado por: Logacho & Orozco

### 1. Perfil tipo Creager de la presa de hormigón compactado (HC)

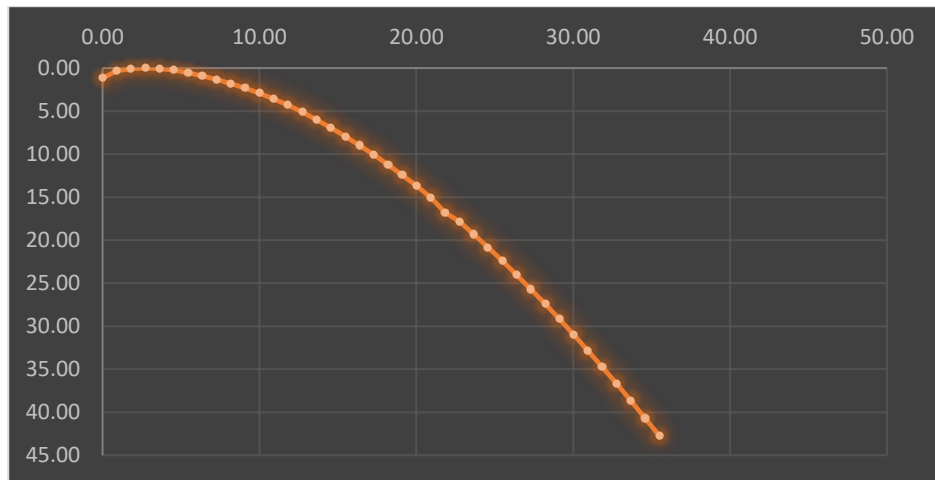


Figura 4-3. Perfil hidráulico construido con las coordenadas Offizeyerov para una presa de HC

Elaborado por: Logacho & Orozco

2. Verificación que permite saber si es necesario o no, diseñar un pozo de disipación
- a. Se realiza el cálculo de la profundidad contraída

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{f * q^2}{8 * g * \text{sen}(\alpha)}} = 1.82$$

- b. Cálculo de la profundidad crítica

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 7.16 \text{ m}$$

- c. Cálculo de la primera conjugada

$$h_{cr} > h_c$$

$$7.16 > 1.82; \text{Flujo Subcrítico}$$

Se asume la  $h_c$  como primera conjugada

- d. Cálculo de la segunda conjugada

$$h'' = \frac{h'}{2} * \left( \sqrt{1 + 8 * \left( \frac{h_{cr}}{h'} \right)^3} \right) - 1 = 19.18 \text{ m}$$

- e. Se debe comparar la segunda conjugada con la profundidad aguas abajo  $h_2$ :

$$h_2 = 1.66 * H_p * \left( \frac{h_{cr}}{H_p} \right)^{0.81} = 19.61 \text{ m}$$

- f. Se compara la segunda conjugada con la profundidad aguas abajo ( $h_2$ )

$$h'' > h_2 \text{ RESALTO DESPLAZADO, } h'' < h_2 \text{ RESALTO SUMERGIDO}$$

*Como se resultado se obtiene un resalto sumergido, lo que significa que no es necesario un pozo de disipación.*

3. Dimensionamiento del perfil constructivo de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC)

Tabla 4-6.

Datos iniciales para realizar el dimensionamiento del perfil constructivo de la presa vertedero escalonada de HC para combinación básica (B1)

DATOS INICIALES	
Base de la presa	79.44 m (AutoCAD)
Área de la presa (Ap)	4375.89 m <sup>2</sup> (AutoCAD)
Combinación de fuerzas	Básica (B1)
FSDperm	1.30

Elaborado por: Logacho & Orozco

- a. Profundidad de la cortina de impermeabilización: se asume que la profundidad de la cortina de impermeabilización es el 40% de la altura de la presa.

$$h_{cor} = (0.4 \div 0.8) * H_p = 40.00 \text{ m}$$

$$J_{perm} = (10 \div 15) = 12.50$$

- b. Espesor de la cortina de impermeabilización

$$\delta_{cor} = \frac{H_p}{J_{perm}} = 8.00$$

- c. Profundidad del drenaje vertical

$$h_{dren} = 20\% * H_p = 20.00$$

- d. Cálculo de las galerías longitudinales, se asume que por las galerías está previsto el paso de equipos motorizados para mantenimiento y control.

$$h_{gal} = 2.50 \text{ m}; b_{gal} = 3.00 \text{ m}$$

La distancia de galerías se estima entre (10 – 15) m, para este caso de estudio se adoptó una cada 15 m; por lo tanto, se requieren 6 galerías.

- e. Cálculo del desnivel (z)

$$z = (Cs + H) - h_2 = 89.49 \text{ m}$$

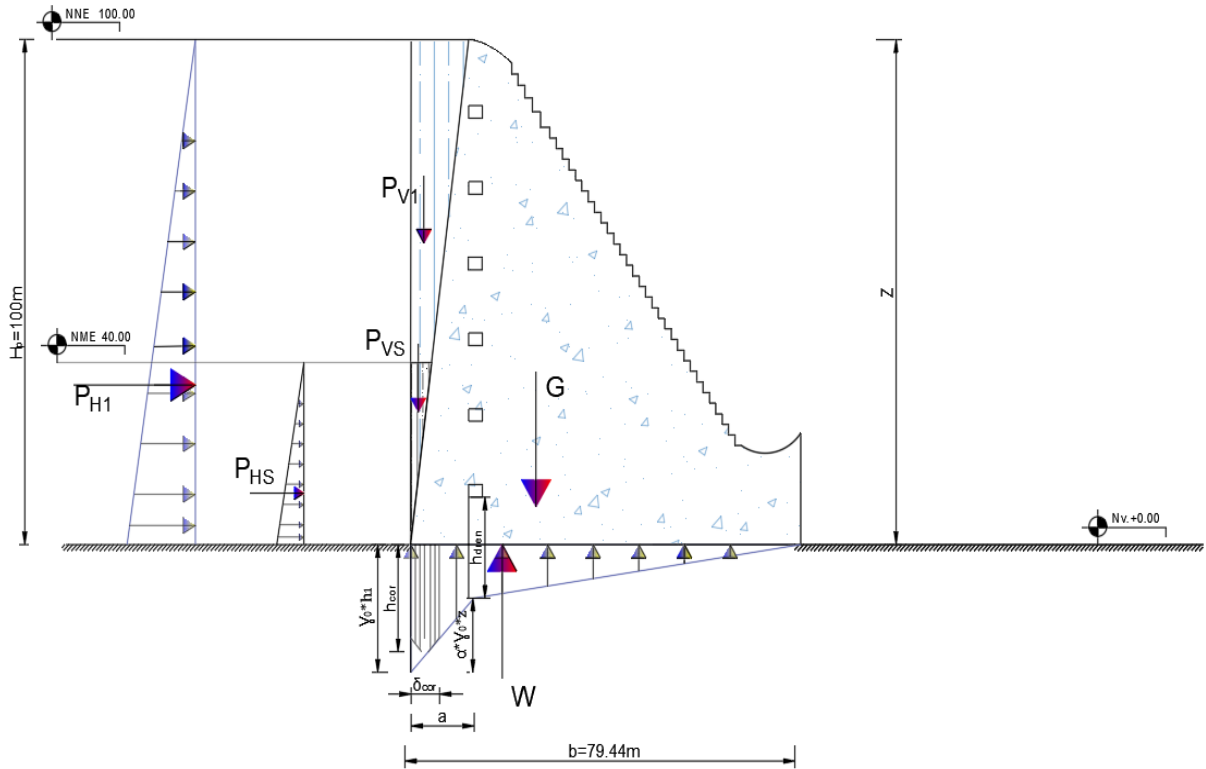


Figura 4-4. Fuerzas actuantes para el cálculo del perfil constructivo de la presa de HC para combinación B1  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Tabla 4-7.

Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para el perfil constructivo de una presa de HC para combinación básica (B1)

Cuadro de fuerzas y momentos para COMBINACIÓN B1

Hp = 100.00 m		q = 60.00 m <sup>3</sup> /s*m		
Fuerza	N (KN)	T (KN)	Brazo (m)	Mo (KN*m)
G	105021.26		10.78	-1132274.42
PH1		50000.00	33.33	1666666.67
Pv1	4013.07		37.04	-148659.89
PHs		5419.97	13.33	72266.23
Pvs	435.01		38.65	-16814.45
W	13193.87		13.24	174683.87
Σ	96275.47	55419.97		615868.00
FSD	1.97			
e	6.35			
σ'y	0.633 MPa			
σ''y	1.798 MPa			

Elaborado por: Logacho & Orozco

f. Cálculo del factor de seguridad al deslizamiento

$$FSD = \frac{f * \Sigma N + C * b}{\Sigma T} = 1.97$$

$$FSD \geq FSD_{perm}; \text{ Sí cumple}$$

5. Verificación de resistencias

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = 6.35$$

a. Cálculo del esfuerzo máximo y esfuerzo mínimo

$$\sigma''_y = \frac{N}{b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right) = 1.798 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_y = \frac{N}{b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right) = 0.633 \text{ MPa}$$

b. Verificación de la resistencia a compresión de la roca

$$\sigma_{perm} = \frac{R_{comp}}{FS} = \frac{17.50 \text{ MPa}}{2.5} = 7.00 \text{ MPa}$$

$$\sigma''_y \leq \sigma_{PERM}; 1.798 <$$

6. Verificación del perfil constructivo para combinación especial (E1) y (E2) para NFE

Tabla 4-8.

Datos iniciales para realizar el dimensionamiento del perfil constructivo de la presa vertedero escalonada de HC para combinación especial (E1) y (E2)

DATOS INICIALES	
Base de la presa	79.44 m (AutoCAD)
Combinación de fuerzas	Especial (E1) y (E2)
FSDperm	1.10

Fuente: Logacho & Orozco

- a. Cálculo de la presión y momento de oleaje

$$P_{ola} = k_p * \gamma_o * h_{ola} * \left( (Hp - hs) + \frac{h_{ola}}{2} \right) = 30.79 \text{ KN}$$

$$M_{ola} = k_M * \gamma_o * h_{ola} * \left( \frac{h_{ola}^2}{6} + \frac{h_{ola} * (Hp - hs)}{2} + \frac{(Hp - hs)^2}{2} \right) = 1855.31 \text{ KN}$$

- b. Cálculo de las fuerzas sísmicas en el cuerpo de la presa

$$\alpha_H = \frac{z}{1 + 3z} = 0.18$$

$$G_s = G * \alpha_H = 20126.92 \text{ KN}$$

- c. Cálculo de las fuerzas sísmicas en el agua del embalse

$$PH_{SISMO} = \frac{2}{3} * C_e * \alpha_H * Hp^2 = 1088.01 \text{ KN}$$

$$PV_{SISMO} = m_1 * PH_{SISMO} = 87.04 \text{ KN}$$

Brazos de MOMENTO con respecto al centro de la base de la presa:

$$x = m_1 * y = 3.40 \text{ m}$$

$$y = 0.425 * Hp = 42.50 \text{ m}$$

- d. Cálculo de la fuerza sísmica en los sedimentos

$$P_{SSIMO} = 2.15 * \alpha_H * \gamma_{ssed} * hs^2 = 187.64 \text{ KN}$$

Tabla 4-9.  
Verificación del perfil constructivo de una presa de HC para combinación especial (E1)  
Cuadro de fuerzas y momentos para COMBINACIÓN E1

Hp = 100.00 m		q = 60.00 m <sup>3</sup> /s*m		
Fuerza	N (KN)	T (KN)	Brazo (m)	Mo (KN*m)
G	105021.26		10.78	-1132274.42
PH1		59106.23	35.90	2121978.00
PH2		-1923.48	6.54	-12575.53
Pv1	4013.07		37.04	-148659.89
Pv2	2781.61		-2.44	-6789.78
recv	829.23		35.71	-29608.84
PHs		6503.96	13.33	86719.47
P <sub>ola</sub>		30.79	60.26	1855.31
Pvs	522.02		38.65	-20177.34
W	-27386.34		13.24	362589.08
Σ	85780.84	63717.50		1223056.07
FSD	1.58			
e	14.26			
σ' <sub>y</sub>	-0.083 MPa			
σ'' <sub>y</sub>	2.243 MPa			

Fuente: Logacho & Orozco

- e. Cálculo del factor de seguridad al deslizamiento para

$$FSD = \frac{f * \Sigma N + C * b}{\Sigma T} = 1.58$$

$$FSD \geq FSD_{perm}; \text{ Sí cumple}$$

## 7. Verificación de resistencias

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = 14.26$$

- a. Cálculo del esfuerzo máximo y esfuerzo mínimo

$$\sigma''_y = \frac{N}{b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right) = 2.243 \text{ MPa} \quad \sigma'_y = \frac{N}{b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right) = -0.083 \text{ MPa}$$

- b. Verificación de la resistencia a compresión de la roca

$$\sigma_{perm} = \frac{R_{comp}}{FS} = \frac{17.50}{2.50} = 7.00 \text{ MPa} \quad \sigma''_y \leq \sigma_{PERM}; 2.243 < 7.00 ; \text{ Sí cumple}$$

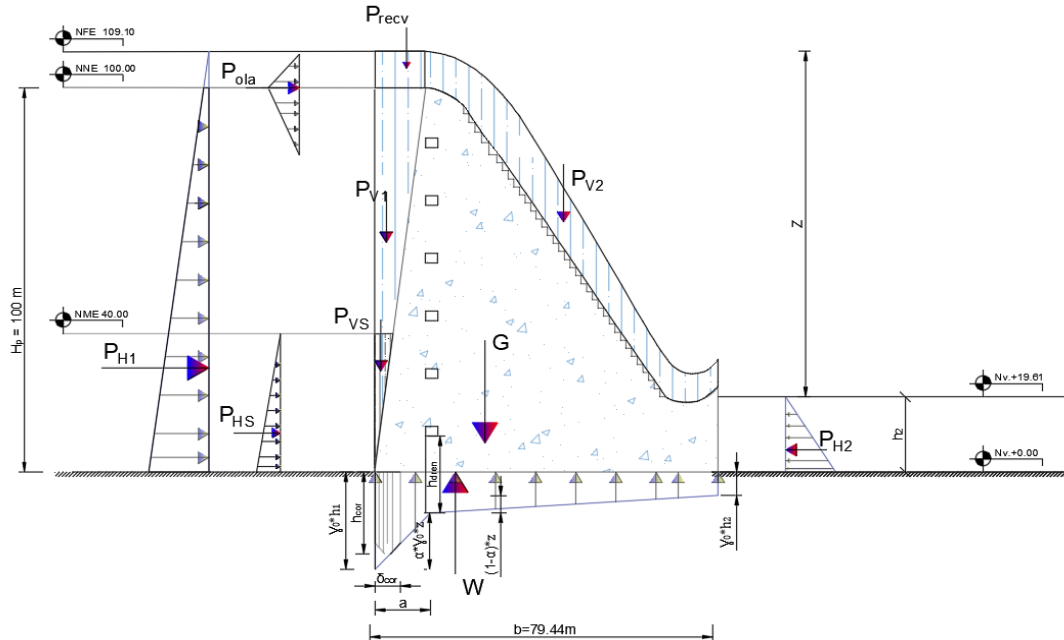


Figura 4-5. Fuerzas actuantes para el cálculo del perfil constructivo de la presa de HC para combinación (E1)  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Tabla 4-10.  
Verificación del perfil constructivo de una presa de HC para combinación especial (E2)

Cuadro de fuerzas y momentos para COMBINACIÓN E2				
	H <sub>p</sub> = 100.00 m		q = 60.00 m <sup>3</sup> /s*m	
Fuerza	N (KN)	T (KN)	Brazo (m)	Mo (KN*m)
G	105021.26		10.78	-1132274.42
G <sub>s</sub>		19094.77	33.33	636492.46
PH1		59106.23	35.90	2121978.00
PH2		-1923.48	6.54	-12575.53
P <sub>HS</sub> SMO		1088.01	42.5	46240.42
P <sub>VS</sub> SMO	87.04		36.19	-3150.01
P <sub>v1</sub>	4013.07		37.04	-148659.89
P <sub>v2</sub>	2781.61		-2.44	-6789.78
recv	829.23		35.71	-29608.84
PHs		6503.96	13.33	86719.47
P <sub>vs</sub>	522.02		38.65	-20177.34
P <sub>SS</sub> SMO		187.64	13.33	2501.82
W	-27386.34		13.24	362589.08
Σ	85867.88	84057.12		1903285.45
FSD			1.19	
e			22.17	
σ'y			-0.729 MPa	
σ''y			2.891 MPa	

Fuente: Logacho & Orozco



c. Cálculo del factor de seguridad al deslizamiento

$$FSD = \frac{f * \Sigma N + C * b}{\Sigma T} = 1.19 \quad FSD \geq FSD_{perm}; \text{ Sí cumple}$$

8. Verificación de resistencias

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = 22.17$$

a. Cálculo del esfuerzo máximo y esfuerzo mínimo

$$\sigma''_y = \frac{N}{b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right) = -0.729 \text{ MPa} \quad \sigma'_y = \frac{N}{b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right) = 2.891 \text{ MPa}$$

b. Verificación de la resistencia a compresión de la roca

$$\sigma_{perm} = \frac{R_{comp}}{FS} = \frac{17.50}{2.50} = 7.00 \text{ Mpa} \quad \sigma''_y \leq \sigma_{PERM}; 2.891 < 7.00 ; \text{ Sí cumple}$$

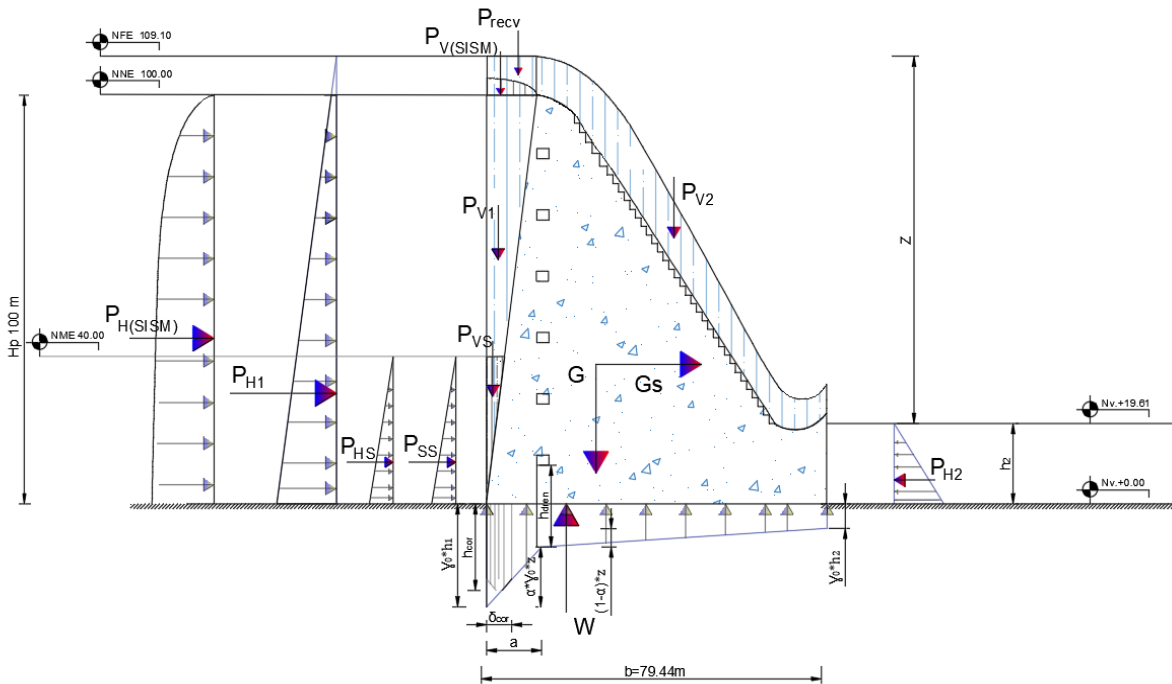


Figura 4-6. Fuerzas actuantes para el cálculo del perfil constructivo de la presa de HC para combinación E2  
Elaborado por: Logacho & Orozco

La zonificación del hormigón compactado se realiza con los resultados del análisis de estabilidad y verificación de resistencias, dependiendo de cómo varían los esfuerzos de corte a lo largo del paramento aguas arriba, información que se ilustra en la figura 2-65. Se hace uso del hormigón convencional únicamente para la pantalla de hormigón armado para el paramento aguas arriba y el perímetro de los escalones, todo esto, en un espesor de 20 cm. La zonificación del hormigón compactado (HC) tiene la siguiente distribución: hormigón tipo HC-3 en un 35 % en la zona correspondiente a la base de la presa hasta la cota 35+00 m, tomada desde la cota de implantación 0+00 m; HC-2 con un 25 % desde la cota 35+00 m hasta 60+00 m; HC-1 en un 15 % desde la cota 60+00 m hasta 75+00 m, y desde la cota 75+00 m hasta 90+00 m antes de la cresta HC-4 con un 15 %; finalmente se ha considerado colocar entre la cota 90+00 m y 100+00 m hormigón convencional que corresponde a la zona de la cresta de la presa. Cabe aclarar que, entre (8 – 15) % de hormigón vibrado convencional (HVC) es distribuido para el paramento aguas arriba y aguas abajo incluyendo los escalones.

#### 4.2.1 Presupuesto de la presa vertedero de hormigón compactado

Tabla 4-11.

Presupuesto referencial de la presa vertedero de hormigón compactado

#### PRESUPUESTO REFERENCIAL

PROYECTO: PRESA VERTEDERO DE HORMIGÓN COMPACTADO

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>2.6</b>	<b>ESTRUCTURA</b>				
<b>2.6.1</b>	<b>HORMIGONES</b>				
2.6.1.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PLANO	m <sup>2</sup>	100.67	\$ 13.80	\$ 1,389.25
2.6.1.2	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CURVO	m <sup>2</sup>	118.50	\$ 15.20	\$ 1,801.20
2.6.1.3	HORMIGÓN COMPACTADO HC1 f'c=120 Kg/cm <sup>2</sup> (15%)	m <sup>3</sup>	656.38	\$ 94.61	\$ 62,100.44
2.6.1.4	HORMIGÓN COMPACTADO HC2 f'c=160 Kg/cm <sup>2</sup> (25%)	m <sup>3</sup>	1093.97	\$ 98.33	\$ 107,570.32
2.6.1.5	HORMIGÓN COMPACTADO HC3 f'c=210 Kg/cm <sup>2</sup> (35%)	m <sup>3</sup>	1531.56	\$ 114.06	\$ 174,689.90
2.6.1.6	HORMIGÓN COMPACTADO HC4 f'c=180 Kg/cm <sup>2</sup> (15%)	m <sup>3</sup>	656.38	\$ 110.04	\$ 72,228.44
2.6.1.9	HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL f'c=300 Kg/cm <sup>2</sup> CON BOMBA TELESCÓPICA (10%)	m <sup>3</sup>	437.59	\$ 197.86	\$ 86,580.27
<b>2.6.2</b>	<b>ACERO DE REFUERZO</b>				
2.6.2.1	ACERO CORRUGADO fy=4200 Kg/cm <sup>2</sup>	Kg	4601.50	\$ 1.35	\$ 6,212.03
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 512,683.87</b>

Fuente: Logacho & Orozco

### 4.3 Presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC)

Con el fin de evacuar el caudal unitario propuesto de  $60 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$  en una presa de 100 m de altura, el punto de inicio para diseño preliminar es el perfil teórico triangular cuya base resultó ser 71,82 m, calculada con las ecuaciones de estabilidad y resistencia para estados límite. Los parámetros conocidos para el cálculo son: peso específico del hormigón ( $24 \text{ KN}/\text{m}^3$ ), peso específico del agua ( $10 \text{ KN}/\text{m}^3$ ), cohesión del macizo de cimentación (400 KPa), coeficiente de fricción del macizo de cimentación ( $f=0.80$ ).

Tras realizar la verificación de resistencias al PTT de la presa de HVC se obtiene un valor de esfuerzo máximo de 2,27 MPa y esfuerzo mínimo de -0,01 MPa, este último valor es prácticamente cero y se evidencia que el cálculo se realizó para estado límite en una presa de HVC.

#### 1. Altura de presa igual a el NNE

$$\text{NNE} = C_s = 100.00 \text{ m}$$

#### 2. Cálculo de la carga de diseño preliminar para el vertedero tipo Creager

$$m = 0.503$$

$$\varepsilon = 0.98$$

$$H_o = \left( \frac{q}{m * \varepsilon * \sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}} = 9.10 \text{ m}$$

$$v_o = \frac{q}{(C_s + H)} = 0.55 \text{ m/s}$$

$$H = H_o - \frac{v_o^2}{2g} = 9.10 \text{ m}$$

### 3. Perfil teórico triangular

Tabla 4-12.

Datos preliminares para la obtención del PTT de una presa de HVC

DATOS		
Nivel de importancia de la obra hidráulica	I	
Combinación de fuerzas	Básica	
Factor de seguridad al deslizamiento permisible	FSD <sub>perm</sub>	1.30
Parámetro para cortina y drenaje	ε <sub>1</sub>	0.37
Parámetro para cortina y drenaje	α	0.80
Parámetro para cortina y drenaje	a/b	0.10

Elaborado por: Logacho & Orozo

- a. Se realiza el cálculo del perfil teórico triangular con las siguientes ecuaciones de estabilidad y resistencia:

$$\frac{b}{H} = \frac{FSD_{per}}{\bar{f} * \left[ \frac{\gamma_H}{\gamma_0} + \xi - (1 - \alpha) - \frac{a}{b} \right]} \quad \frac{b}{H} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma_H}{\gamma_0} * (1 - \xi) + \xi * (2 - \xi) - \epsilon_1}}$$

- b. ξ es un parámetro que determina la inclinación del perfil teórico triangular, y se calcula a través de un proceso iterativo

ξ	b/h		ξ	b/h
0.015	0.768	=	0.015	0.703
0.02	0.767		0.020	0.703
0.06	0.752		0.060	0.707
0.08	0.745		0.080	0.709
0.130	0.729		0.130	0.714
0.1625	0.718		0.1625	0.718

$$\xi = 0.1625$$

- c. Se obtiene la base de la presa con la siguiente expresión:

$$\frac{b}{H} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma_H}{\gamma_0} * (1 - \xi) + \xi * (2 - \xi) - \epsilon_1}} = 71.82 \text{ m}$$

Nota: esta base esta calculada para estados límite con la condición  $\sigma_{min} =$

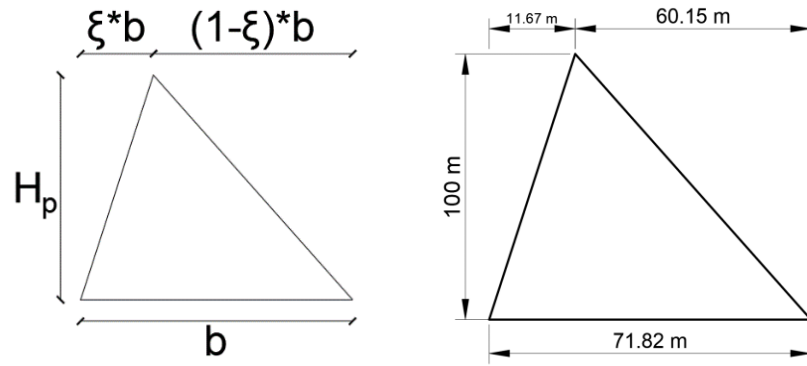


Figura 4-7. Perfil teórico triangular para una presa de HVC  
Elaborado por: Logacho & Orozco

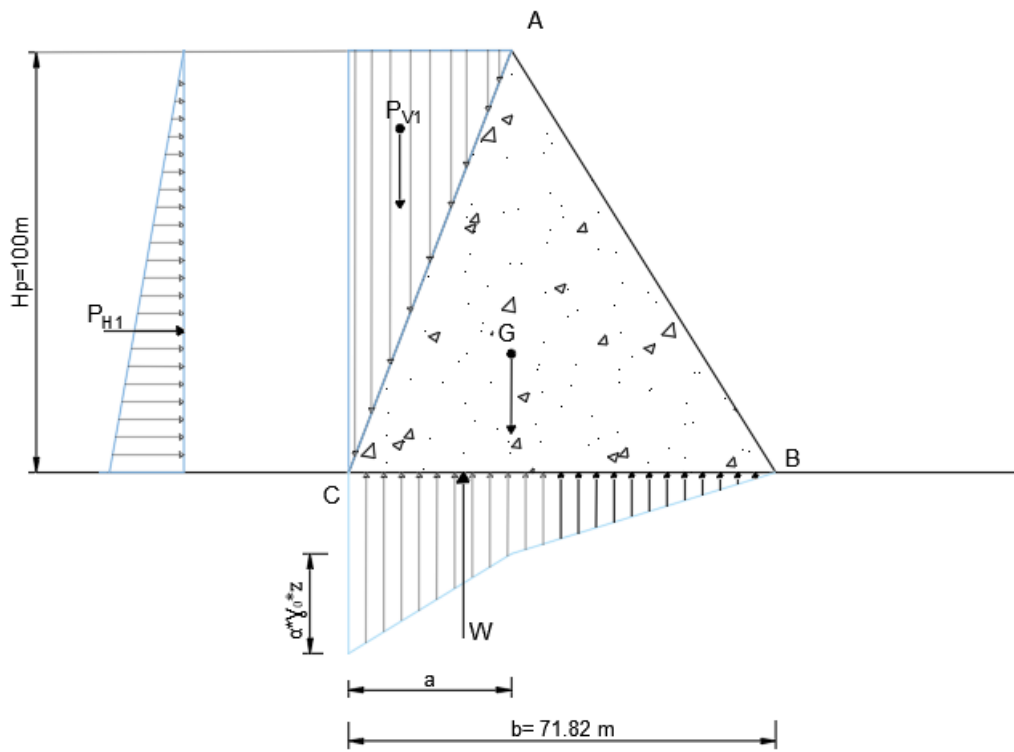


Figura 4-8. Fuerzas actuantes para el cálculo del perfil teórico triangular  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Adicionalmente se realizó el análisis de estabilidad y la verificación de resistencias obteniendo el siguiente resumen de resultados:

Tabla 4-13.  
Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para el PTT de una presa de HVC

Fuerza	N	T	x	y	ΣMo
	KN	KN	m	m	(KN*m)
G <sub>1</sub> =	14007.92		28.13		-394028.037
G <sub>2</sub> =	72178.79		-4.19		-302299.0841
P <sub>v</sub> =	5836.63		32.02		-186889.2033
P <sub>H</sub> =		50000.00		33.33	1666666.667
W <sub>1</sub> =	3200.00		33.24		106382.2719
W <sub>2</sub> =	6382.23		6.64		42359.09895
W <sub>3</sub> =	1436.45		31.91		45838.58043
Σ con subpresión	81004.67	50000.00			978030.2935

Fuente: Logacho & Orozco

d. Cálculo del factor de seguridad al deslizamiento

$$FSD = \frac{f * \Sigma N + C * b}{\Sigma T} = 1.87 \quad FSD \geq FSD_{perm} ; \text{Sí cumple}$$

9. Verificación de resistencias

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = 12.07$$

a. Cálculo del esfuerzo máximo y esfuerzo mínimo

$$\sigma''_y = \frac{N}{b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right) = 2.27 \text{ MPa} \quad \sigma'_y = \frac{N}{b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right) = -0.01 \text{ MPa}$$

Posteriormente se realiza la sobreposición del perfil hidráulico al perfil teórico triangular, obteniendo un perfil constructivo que se somete a los análisis de estabilidad y verificación de resistencias.

Tabla 4-14.  
 Datos preliminares para en análisis del perfil constructivo de una presa de HVC

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal unitario	$q$	60	$m^3/s*m$
Macizo de cimentación	ROCA		
Ángulo de fricción interna del suelo de cimentación	$\varphi_c$	38.65	$^\circ$
Ángulo de fricción interna de los sedimentos	$\varphi_{sed}$	12	$^\circ$
Peso específico del hormigón	$\gamma_h$	24	$KN/m^3$
Peso específico del agua	$\gamma_o$	10	$KN/m^3$
Peso específico seco de los sedimentos	$\gamma_{s.sed}$	16	$KN/m^3$
Porosidad de los sedimentos	$n$	0.40	
Altura de la presa	$H_p$	100.00	m
Parámetro para cortina y drenaje	$\varepsilon_1$	0.37	
Parámetro para cortina y drenaje	$\alpha$	0.80	
Coefficiente de talud aguas arriba	$m_1$	0.12	
Coefficiente de talud aguas abajo	$m_2$	0.60	

Elaborado por: Logacho & Orozco

### 1. Perfil Creager de la presa vertedero de hormigón convencional

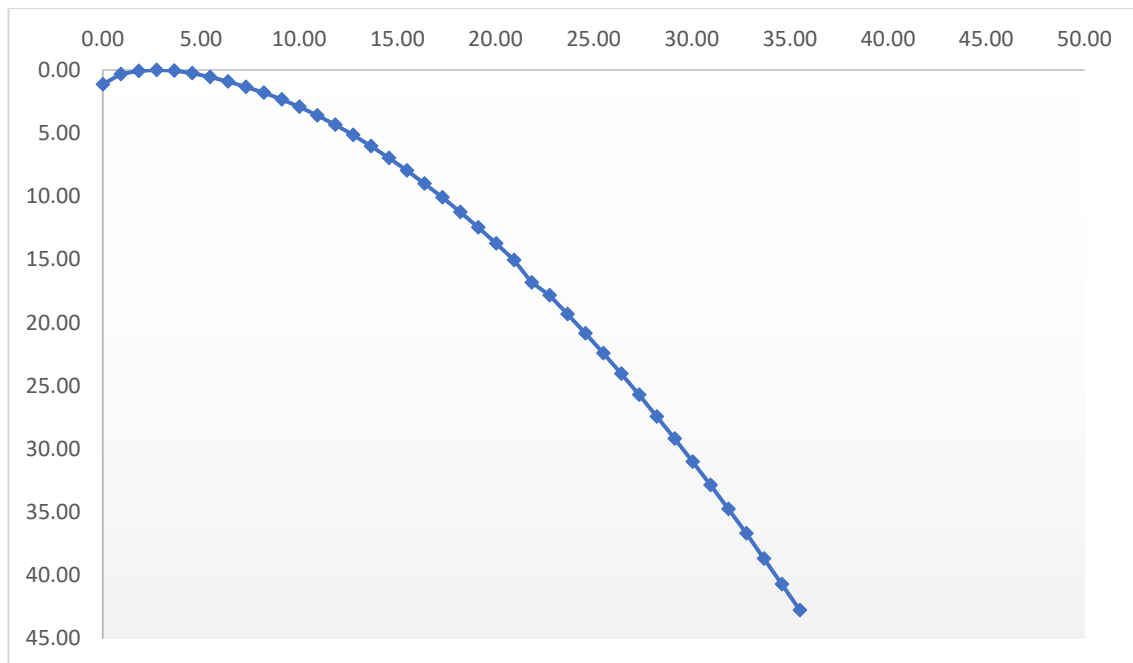


Figura 4-9. Perfil hidráulico construida con las coordenadas Offizeyerov para una presa de HVC  
 Elaborado por: Logacho & Orozco



2. Diseño y cálculo del pozo de disipación

a. Se realiza el cálculo de la profundidad contraída

$$E_o = hc + \frac{q^2}{hc^2 * \varphi^2 * 2g}$$

$\varphi =$             0.95            **Asumido**

$$E = H + Ci = 109.11 \text{ m}$$

$$E_o = E + \frac{v_o^2}{2g} = 109.12 \text{ m}$$

$h_c$ (m)	$f(h_c)$ , (m)
1.050	185.46
1.100	169.12
1.150	154.88
1.190	144.76
1.200	142.39
<b>1.374</b>	<b>109.13</b>

b. Cálculo de la profundidad crítica

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 7.16 \text{ m}$$

c. Cálculo de la primera conjugada

$$h_{cr} > h_c$$

$$7.16 > 1.37; \text{ flujo subcrítico}$$

Se asume la  $h_c$  como primera conjugada

d. Cálculo de la segunda conjugada

$$h'' = \frac{h'}{2} * \left( \sqrt{1 + 8 * \left( \frac{h_{cr}}{h'} \right)^3} \right) - 1 = 22.13 \text{ m}$$

e. Se debe comparar la segunda conjugada con la profundidad aguas abajo  $h_2$

$$h_2 = 1.66 * H_p * \left(\frac{h_{cr}}{H_p}\right)^{0.81} = 19.61 \text{ m}$$

f. Se compara la segunda conjugada con la profundidad aguas abajo ( $h_2$ )

$$h'' > h_2; \text{RESALTO DESPLAZADO}$$

$$h'' < h_2; \text{RESALTO SUMERGIDO}$$

*Por lo tanto se presenta un resalto desplazado, lo que significa que es necesario un pozo de disipación.*

g. Cálculo de la profundidad del pozo

$$tp = (h'' - h_o) = 2.51 \text{ m}$$

$$E_{o1} = E_o + tp \quad E_{o1} = hc + \frac{q^2}{hc^2 * \varphi^2 * 2g}$$

$h_c$ (m)	$f(h_c)$ , (m)
1.300	121.601
1.250	131.368
1.200	142.387
1.199	142.621
1.198	142.857
1.356	111.926

Tabla 4-15.

*Dimensionamiento del pozo de disipación*

tp (m)	E (m)	$E_{o1}$ (m)	$h_{cr}$ (m)	$h_c$ (m)	$h'$ (m)	$h''$ (m)	$1 < h_2 + t/h'' < 1.03$	condición de sumersión
0.50	109.11	109.61	7.16	1.370	1.370	22.156	0.91	no cumple
1.00	109.11	110.11	7.16	1.368	1.368	22.173	0.93	no cumple
1.50	109.11	110.61	7.16	1.366	1.366	22.190	0.95	no cumple
2.00	109.11	111.11	7.16	1.361	1.361	22.232	0.97	no cumple
2.25	109.11	111.36	7.16	1.359	1.359	22.249	0.98	no cumple
2.50	109.11	111.61	7.16	1.358	1.358	22.258	0.99	no cumple
2.70	109.11	111.81	7.16	1.356	1.356	22.275	1.00	sí cumple

Fuente: Logacho & Orozco

h. Cálculo de la longitud del resalto

$$L_r = 5 * (h'' - h') = 104.02 \text{ m}$$

i. Cálculo de la longitud del pozo de disipación

$$L_r = L_p = 104.02 \text{ m}$$

j. Cálculo del espesor del pozo de disipación

$$\delta = 0.25 * \sqrt{q * \sqrt{t_p}} = 2.48 \text{ m}$$

3. Dimensionamiento del perfil constructivo de la presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC)

Tabla 4-16.

Datos iniciales para el análisis del perfil constructivo de la presa de HVC para combinación básica (B1)

DATOS INICIALES	
Base de la presa	77.36 m (AutoCAD)
Área de la presa ( $A_p$ )	4268.99 m <sup>2</sup> (AutoCAD)
Combinación de fuerzas	Básica (B1)
FSDperm	1.30

Fuente: Logacho & Orozco

a. Dimensionamiento del dentellón

$$h_{den} = (0.05 \div 0.10) * H_p = 5.00 \text{ m}$$

b. Profundidad de la cortina de impermeabilización: Se asume que la profundidad de la cortina de impermeabilización es el 80% de la altura de la presa.

$$h_{cor} = (0.4 \div 0.8) * H_p = 40.00 \text{ m}$$

$$J_{perm} = (10 \div 15) = 10.00$$

c. Espesor de la cortina de impermeabilización

$$\delta_{cor} = \frac{H_p}{J_{perm}} =$$

d. Profundidad del drenaje vertical

$$h_{dren} = 20\% * H_p = 20.00$$

e. Cálculo de las galerías longitudinales, se asume que por las galerías está previsto el paso de equipos motorizados para mantenimiento y control.

$$h_{gal} = 2.50 \text{ m}, b_{gal} = 3.00 \text{ m}$$

La distancia de galerías se estima entre (10 – 15) m, se adoptó para este caso cada 15 m. Por lo tanto, se requieren 6 galerías.

f. Cálculo del desnivel (z)

$$z = (Cs + H) - h_2 = 89.49 \text{ m}$$

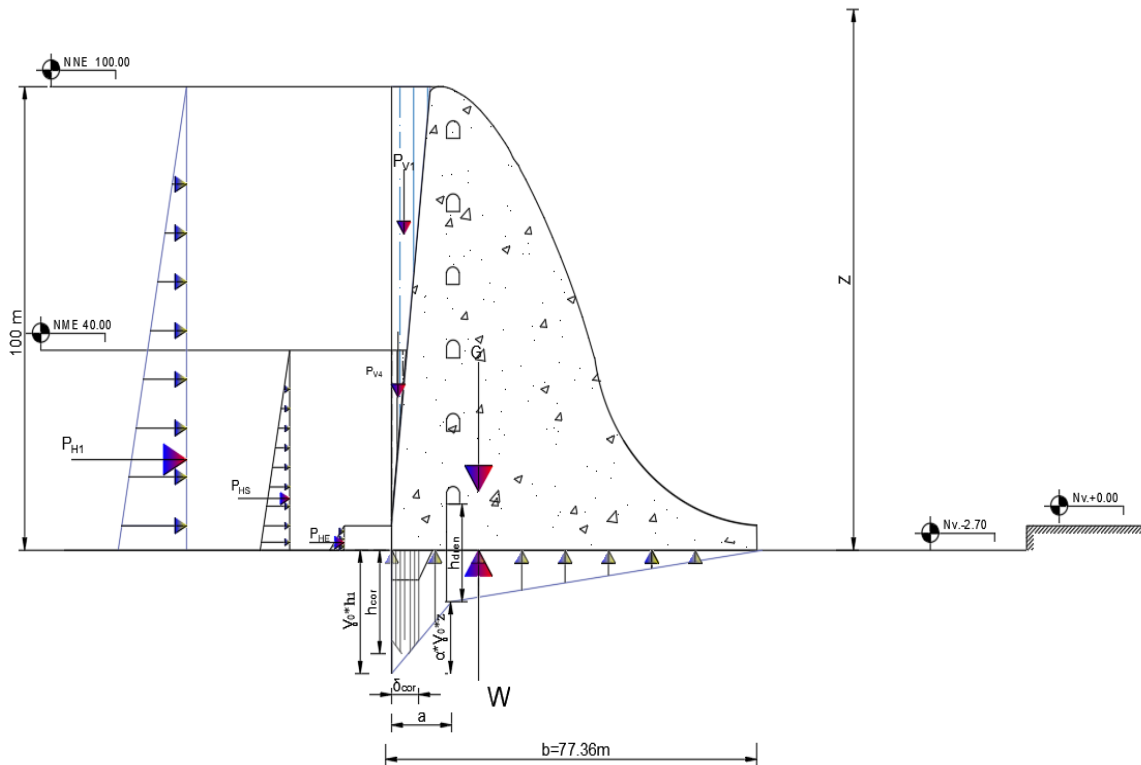


Figura 4-10. Fuerzas actuantes para el cálculo del perfil constructivo de la presa de HVC  
Elaborado por: Logacho & Orozco

Tabla 4-17.  
Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para el perfil constructivo de una presa de HVC

Cuadro de fuerzas y momentos					
Hp= 100 m	q= 60 m <sup>3</sup> /s*m				
Fuerza	N	T	x	y	ΣM <sub>o</sub>
	KN	KN	m	m	KN*m
G=	102455.76		9.19		-941568.43
PV <sub>1</sub> =	5836.63		34.79		-203050.14
PV <sub>S</sub> =	641.65		37.12		-23820.16
PH <sub>1</sub> =		50000.00		33.33	1666666.67
PH <sub>S</sub> =		5496.71		13.33	73289.41
P <sub>HE</sub> =		25.04		0.90	22.54
W=	12516.25			12.89	161376.18
Σ <sub>N,T,M<sub>o</sub></sub> =	96417.79	55521.75			732916.06

Elaborado por: Logacho & Orozco

g. Cálculo del factor de seguridad al deslizamiento

$$FSD = \frac{f * \Sigma N + C * b}{\Sigma T} = 1.95$$

$$FSD \geq FSD_{perm}; \text{ Sí cumple}$$

10. Verificación de resistencias

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = 7.60$$

a. Cálculo del esfuerzo máximo y esfuerzo mínimo

$$\sigma''_y = \frac{N}{b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right) = 1.981 \text{ MPa} \quad \sigma'_y = \frac{N}{b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right) = 0.511 \text{ MPa}$$

b. Verificación de la resistencia a compresión de la roca

$$\sigma_{perm} = \frac{R_{comp}}{FS} = \frac{17.50 \text{ MPa}}{2.50} = 7.00 \text{ MPa}$$

$$\sigma''_y \leq \sigma_{PERM}; 1.981 < 7.00 ; \text{ Si cumple}$$

### 4.3.1 Presupuesto referencial de la presa vertedero de hormigón vibrado convencional

Tabla 4-18.

Presupuesto referencial de la presa vertedero de hormigón vibrado convencional

#### PRESUPUESTO REFERENCIAL

**PROYECTO:** PRESA VERTEDERO DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>2.6</b>	<b>ESTRUCTURA</b>				
<b>2.6.1</b>	<b>HORMIGONES</b>				
2.6.1.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PLANO	m <sup>2</sup>	100.67	\$ 13.80	\$ 1,389.25
2.6.1.2	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CURVO	m <sup>2</sup>	118.50	\$ 15.20	\$ 1,801.20
2.6.1.7	HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL f <sub>c</sub> =180 Kg/cm <sup>2</sup> CON BOMBA TELESCÓPICA	m <sup>3</sup>	643.76	\$ 178.28	\$ 114,773.09
2.6.1.8	HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL f <sub>c</sub> =180 Kg/cm <sup>2</sup> CON BOMBA ESTACIONARIA	m <sup>3</sup>	1067.67	\$ 155.03	\$ 165,521.56
2.6.1.9	HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL f <sub>c</sub> =300 Kg/cm <sup>2</sup> CON BOMBA TELESCÓPICA	m <sup>3</sup>	1169.37	\$ 197.86	\$ 231,367.84
2.6.1.10	HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL f <sub>c</sub> =300 Kg/cm <sup>2</sup> CON BOMBA ESTACIONARIA	m <sup>3</sup>	1280.70	\$ 172.05	\$ 220,343.92
<b>2.6.2</b>	<b>ACERO DE REFUERZO</b>				
2.6.2.1	ACERO CORRUGADO f <sub>y</sub> =4200 Kg/cm <sup>2</sup>	Kg	4601.50	\$ 1.35	\$ 6,212.03
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 741,937.95</b>

Fuente: Logacho & Orozco

#### 4.4 Elección de la alternativa más favorable

Una vez realizado el presupuesto referencial de las dos alternativas formuladas se tomó en cuenta únicamente los rubros correspondientes a estructura, ya que los rubros que no constan en el presupuesto referencial son similares tanto para la presa vertedero de hormigón convencional (HVC) como para la presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC). Por lo tanto, se puede justificar con base en los subtotales obtenidos en los dos presupuestos referenciales, que la alternativa más costosa es la presa de hormigón vibrado convencional, debido a los altos costos por metro cúbico, es decir, por su alto contenido de cemento.

Lo mencionado anteriormente se puede apreciar en la siguiente tabla:

*Tabla 4-19.*  
*Análisis económico de las alternativas formuladas para un metro de ancho*

<b>Análisis económico de las alternativas formuladas</b>	
<b>Presa vertedero (HVC)</b>	\$ 741.937,95
<b>Presa vertedero escalonada (HC)</b>	\$ 512.683,87
<b>Diferencia</b>	\$ 229.254,08
<b>Porcentaje de ahorro</b>	30,90 %

Fuente: Logacho & Orozco

## CAPÍTULO V

### DISEÑO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA PRESA VERTEDERO ESCALONADA DE HORMIGÓN COMPACTADO

Después de haber seleccionado la alternativa más favorable desde el análisis técnico – económico, se procede a formular los componentes del diseño integral de una presa vertedero escalonada de hormigón compactado, con las bases teóricas descritas en el capítulo 2, en donde se contempla:

- ✓ Perfil teórico triangular;
- ✓ Perfil hidráulico;
- ✓ Perfil constructivo;
- ✓ Análisis del perfil constructivo;
- ✓ Diseño de los escalones para la disipación de considerable parte de la energía;
- ✓ Diseño del deflector tipo esquí para complementar la disipación de energía;
- ✓ Diseño del pozo de socavación aguas abajo.

#### 5.1 Obtención de datos preliminares para el diseño

##### 5.1.1 Características del embalse

El nivel normal de embalse (NNE) es igual a la altura de la presa ( $H_p$ ) es decir, 100 metros; un nivel muerto de embalse que será el 40 % de la altura de la presa ( $H_p$ ) igual a 40 m y un nivel forzado de embalse (NFE) que será la carga máxima  $H_{m\acute{a}x}$  igual a 110,74 m.



### 5.1.2 Cálculo del nivel aguas abajo

La profundidad aguas abajo se calcula mediante la ecuación 80, la misma que depende de la profundidad crítica ( $h_{cr}$ ) y la altura de la presa ( $H_p$ ). Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la profundidad aguas abajo no debe exceder el 20 % del NNE, de excederse este límite se debería utilizar:  $0,2 * NNE$ .

$$h_2 = 1,66 * H_p * \left( \frac{h_{cr}}{H_p} \right)^{0,81} \quad (80)$$

### 5.2 Diseño de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC)

La presa vertedero escalonada de hormigón compactado definitiva alcanza una altura de 100 m, aclarando que al ser de hormigón compactado el macizo de cimentación es roca, sin tomar en cuenta suelos, incluso rocas de mala calidad o semirocas. El caudal unitario es  $60 \text{ m}^3/\text{s} * \text{m}$  tomado de un análisis geométrico, geomecánico, hidromecánico e hidráulico en el capítulo 3.2.1.

#### 5.2.1 Perfil teórico triangular

Para determinar el perfil teórico triangular se deben conocer los siguientes parámetros: peso específico del agua ( $10 \text{ KN}/\text{m}^3$ ), peso específico del hormigón ( $24 \text{ KN}/\text{m}^3$ ), cohesión específica ( $400 \text{ KPa}$ ), coeficiente de fricción ( $f=0.80$ ); al tratarse de una roca de buena calidad la sumatoria de coeficientes de talud  $m_1$  y  $m_2$  resultó igual a  $0,74$  ( $m_1=0.08$ ;  $m_2=0.66$ ), lo que nos proporciona un parámetro  $\eta$  igual a  $0.103$ , de esta manera se obtiene una base del PTT igual a  $73,76 \text{ m}$ .

*Tabla 5-1.  
Resultados finales del perfil teórico triangular para una presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC)*

<b>Base del perfil teórico triangular (b)</b>	73,76 m
<b>Altura de la presa (Hp)</b>	100 m
<b>Parámetro (<math>\eta</math>)</b>	0,103
<b>(<math>\eta</math>*b)</b>	7,60 m
<b>(1-<math>\eta</math>) * b</b>	66,17 m
<b>FSD</b>	1,89
<b>m1</b>	0,08
<b>m2</b>	0,66
<b><math>\sigma'</math></b>	0,20 MPa
<b><math>\sigma''</math></b>	2,00 MPa

Fuente: Logacho & Orozco

### **5.2.2 Perfil hidráulico**

El perfil hidráulico tipo Creager se calculó a través de las coordenadas Creager – Offizyerov de la tabla 2-12. La carga sobre el vertedero fue  $H=9,10$  m calculada a partir del caudal unitario con la ecuación del vertedero. Una vez desarrollados los dos perfiles, se debe sobreponer en el AutoCAD el punto más alto del perfil Creager con el vértice superior del perfil teórico triangular, de tal manera que, tenga una transición suave. Este procedimiento se detalla paso a paso en el capítulo 2.2.3.

### **5.2.3 Perfil constructivo**

Como se ha indicado en capítulos anteriores, al perfil constructivo se deben añadir los elementos constructivos complementarios, como: dentellones, cortinas de impermeabilización, galerías, pilas, obras de disipación, escalones, entre otras. Para este caso, al tratarse de una presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC) se adopta a lo largo del paramento aguas abajo un perfil escalonado como solución para la disipación de energía, también un deflector tipo esquí que permite la evacuación de la energía remanente ( $H_{res}$ ). Al diseño del deflector tipo esquí, se tiene que añadir el diseño del pozo de socavación o erosión, ya que la energía remanente (agua)

sale disparada mediante un chorro, para que a cierta distancia del pie de la presa el flujo sea uniforme y continúe con su cauce natural.

*Tabla 5-2.*  
*Perfil constructivo calculado de la presa vertedero escalonada de HC*

<b>Perfil constructivo de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC)</b>		
<b>Elemento constructivo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Ancho de la cresta ( $b_0$ )	10.00	m
Base de la presa (b)	79.44	m
Altura de la presa ( $H_p$ )	100.00	m
Área de la presa ( $A_p$ )	4375.89	m <sup>2</sup>
Espesor de las juntas horizontales de HC	0.60	m
Coefficiente de talud aguas arriba ( $m_1$ )	0.08	-
Coefficiente de talud aguas abajo ( $m_2$ )	0.66	-
Profundidad de la cortina de impermeabilización	40.00	m
Espesor de la cortina de impermeabilización	10.00	m
Profundidad del drenaje vertical	20.00	m
Dimensiones de la galería	3.00 x 2.50	m
# de galerías	6	m
Desnivel (z)	89.49	m
Profundidad aguas abajo ( $h_2$ )	19.61	m
Contrahuella del escalón (h)	2.10	m
Huella del escalón (l)	1.40	m
# escalones	35	-
Altura del deflector tipo esquí ( $h_2 + z_2$ )	23.02	m
Radio del deflector tipo esquí (R)	9.11	m
Angulo de salida del chorro ( $\beta$ )	30.00	°
Ángulo de entrada al chorro ( $\alpha$ )	38.82	°
Longitud de vuelo del chorro ( $L_v$ )	120.00	m
Profundidad de socavación o cono de erosión ( $h_s$ )	10.51	m
Profundidad máxima de socavación ( $h_{sm\acute{a}x}$ )	35.70	m
$m_{1pozo}$	2.20	-
$m_{2pozo}$	1.50	-
Base del pozo de socavación ( $b_{pozo}$ )	17.90	m

Elaborado por: Logacho & Orozco

**5.2.3.1 Diseño hidráulico del perfil escalonado de la presa de hormigón compactado**

(Khatsuria, 2002) señala que en una encuesta realizada a estructuras existentes, los vertederos escalonados de hormigón compactado (HC) han sido diseñados y construidos hasta 75 m de altura, con un caudal unitario de  $30 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ ; con el fin de tener datos más claros sobre la disipación de energía sobre un perfil escalonado de una presa de hormigón compactado, se propone realizar el análisis para una presa de 100 m de altura y caudal unitario igual a  $60 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ , tomando en cuenta que, en la medida de lo posible se debe evitar que se presente un flujo de transición. Las relaciones de  $h_{cr}/h$  no deben tener valores entre (0,8 - 1,2), en el diseño de canales escalonados esto si es permitido, ya que el flujo se puede presentar en los tres estados mencionados en el capítulo 2.2.1. Luego de asegurar que sobre el vertedero escalonado de la presa de hormigón compactado (HC) no se va a presentar un flujo escalonado (napple flow), ni flujo de transición (transition flow); se realiza el análisis para un flujo rasante (skimming flow).

*Tabla 5-3. Datos preliminares para el cálculo del perfil escalonado de la presa de HC*

<b>Caudal unitario (q)</b>	60,00 $\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$
<b>Altura de presa (<math>H_p</math>)</b>	100 m
<b>Coefficiente de talud aguas abajo (<math>m_2</math>)</b>	0,66
<b>Carga sobre el vertedero (H)</b>	9,10 m
<b>Diferencia de cotas (z)</b>	89,49 m
<b>Aceleración de la gravedad (g)</b>	9,81 $\text{m}/\text{s}^2$

Elaborado por: Logacho & Orozco

Una vez obtenida la profundidad crítica con un valor de 7,16 m y el ángulo de inclinación del talud aguas abajo de  $56,58^\circ$ , se realizan las respectivas verificaciones hidráulicas relacionadas al comportamiento del flujo con la ayuda de la figura 2-15; se determina que se presenta un flujo rasante, con la relación entre  $h_{cr}/h$  se obtiene el peralte del escalón igual a 8,89 m. Cabe aclarar que, haciendo válida la recomendación de (Matos, 2001) se calcula con la ecuación (57) un peralte

óptimo de 2,15 m y con la relación  $h/l$  se obtiene la huella del escalón de 1,42 m; pero se asume una huella final de 1,40 m para el presente trabajo.

Se calcula una nueva relación  $h/l$  con el peralte óptimo y la huella final para tener la inclinación del perfil escalonado, que no es otra cosa que, la inclinación del paramento aguas abajo ajustado. El coeficiente de rugosidad de forma se obtiene con la ecuación (56), en el cálculo resultó de 1,17. En este punto del diseño es necesario verificar que se cumplan tres condiciones propuestas en las ecuaciones (55), (57), (59) obteniendo los siguientes valores:

$$1,17 < k_s; 0,30 \geq 0,30; 13,97 > 8.$$

Cuando se cumplen estas condiciones se determina el punto donde inicia la aireación del flujo conocido como las coordenadas  $(L_i, y_i)$   $L_i = 59,62$  m, calculada con la ecuación (31); y  $y_i = 2,51$  m con la ecuación (32). Con la carga máxima de  $H_{m\acute{a}x} = 110,74$  m, se obtiene la profundidad residual o energía remanente  $H_{res} = 61,11$  m, con la ecuación (49); luego se verifica la diferencia de estos dos valores y se obtiene el porcentaje de disipación de energía que es igual a 44,81 %.

Respecto al comportamiento del flujo aguas abajo de la presa se obtiene una profundidad aguas abajo igual a 19,61 m, que es mayor a la segunda conjugada igual a 19,17 m. Se evidencia que el resalto hidráulico está sumergido y no es necesario construir un pozo de disipación, sin embargo, como la velocidad es igual a 22,74 m/s, mayor que 20 m/s, es factible implementar una solución hidráulica conocida como deflector tipo esquí o escalón alto.

### ***5.2.3.1 Análisis de resultados del diseño del perfil escalonado de la presa vertedero de hormigón compactado***

El flujo que se presentó es un flujo rasante (skimming flow), el mismo que se caracteriza por formar un pseudofondo entre las esquinas de los escalones. Para que el perfil escalonado

funcione correctamente como disipador de energía se debe satisfacer tres condiciones fundamentales:

*Tabla 5-4.  
Análisis de resultados para las condiciones de flujo rasante*

Rugosidad	$k_s = 1,17$	$0.0764 * q^{\frac{2}{3}} = 1,17 \therefore < k_s$	Si cumple
Peralte	$\frac{h_{opt}}{h_{cr}} \geq 0.30$	$\frac{h_{opt}}{h_{cr}} = 0.30$	Si cumple
Chequeo del perfil escalonado	$\frac{H_p}{h_{cr}} > 8$	$\frac{H_p}{h_{cr}} > 13,97$	Si cumple

Elaborado por: Logacho & Orozco

Al ser una presa alta (100 m), se vio necesario colocar escalones de peralte máximo igual a 2,10 m, es importante mencionar que el peralte del escalón debe ser múltiplo de 0,30 m, que es el espesor de la capa de hormigón compactado según el método constructivo. El perfil escalonado tiene el mismo ángulo de inclinación que el paramento aguas abajo y, por consiguiente, el mismo del pseudofondo.

El punto de inyección se ubica a 59,62 m medidos desde la cresta lo que significa que, al presentarse la aireación el flujo tiene la posibilidad de llegar a ser completamente desarrollado como se evidencia en la figura 2-21. La profundidad residual o energía remanente igual a 61,11 m evidencia intrínsecamente el porcentaje de disipación de energía que llegó a ser 44,81 %, este valor es aceptable ya que es mayor a 40 % que es el porcentaje mínimo para que un perfil escalonado cumpla su función de disipar considerable parte de la energía.

La velocidad de 22,4 m/s se considera aceptable a pesar de que, a partir de velocidades superiores a 20 m/s se puede presentar cavitación. En todo caso si se presentaran dichos valores se debe introducir aire al flujo para que no se formen burbujas de vacío, que exploten cerca de la zona donde existe mayor presión. Además, la velocidad calculada garantiza un buen comportamiento de un deflector tipo esquí, por este motivo se propuso esta solución hidráulica.

### 5.2.3.2 *Diseño del deflector tipo esquí o escalón alto*

Una vez conocida la profundidad residual o energía remanente, el porcentaje de disipación de energía y la velocidad al pie del paramento aguas abajo, se diseña el deflector tipo esquí partiendo desde los siguientes parámetros:

*Tabla 5-5.*  
*Parámetros iniciales para el diseño del deflector tipo esquí*

<b>Caudal unitario (q)</b>	60 m <sup>3</sup> /s*m
<b>Profundidad aguas abajo (h<sub>2</sub>)</b>	19,61 m
<b>Factor de fricción para flujo aireado (f)</b>	0,11
<b>Segunda conjugada (h'')</b>	19,10 m
<b>Ángulo de inclinación del chorro (β)</b>	30 ° (Sandoval W. , 2018)
<b>Coefficiente de desprendimiento del flujo (k)</b>	0,7 (tabla 2-16)
<b>Diámetro de las partículas en la zona de impacto del chorro (d<sub>90%</sub>)</b>	150 mm (tabla 2-16)
<b>Altura del escalón medida desde la profundidad aguas abajo (Z<sub>s</sub>)</b>	2,5 m (Sandoval W. , 2018)

Elaborado por: Logacho & Orozco

Para realizar el diseño del deflector tipo esquí se calcula la profundidad contraída (h<sub>c</sub>) con la ecuación (60) dando como resultado 1,82 m, luego con la ecuación (62) se calcula el radio de curvatura (R) que es igual a 2,87 m, con la ecuación (61) nuevamente se calcula el radio de curvatura (R) cuyo valor resulta 9,11 m; finalmente se toma como valor final de (R) el promedio de estos dos, cabe aclarar que este radio calculado es la unión entre el vertedero con el deflector tipo esquí.

El cálculo de la velocidad en el deflector se realiza con la ecuación (63) que es la relación entre el caudal unitario y la profundidad contraída, lo que dio como resultado 32,94 m/s. Con la ecuación (64) se obtiene el número de Froude de 7,79, luego se eleva al cuadrado el número de Froude (Fr<sup>2</sup>) y da como resultado 60,70. Con la ayuda de la tabla 2-15 se adopta el valor del

coeficiente de aireación del flujo ( $k_a$ ) igual a 0,80; y se debe obtener con la ecuación (67) el valor de la distancia vertical entre la profundidad aguas abajo y el eje del chorro ( $z_2$ ) que da 3,41 m.

### **5.2.3.3 *Análisis de resultados del diseño del deflector tipo esquí***

Uno de los factores fundamentales para analizar los resultados del diseño del deflector tipo esquí es la velocidad con la que llega desde el vertedero escalonado y con la que sale disparado el chorro, se sabe además que, antes del vertedero el flujo tendrá un comportamiento subcrítico y pasará a supercrítico durante toda la trayectoria en el perfil escalonado; una vez que llegue al deflector tipo esquí, el flujo saldrá disparado y chocará nuevamente con el cauce, comportándose como un flujo subcrítico, de esta manera se garantiza el buen comportamiento estructural entre el flujo y la presa. En la presente investigación se obtuvo un valor de velocidad de llegada al deflector de 22,40 m/s y una velocidad con la que sale disparado el chorro de 32,94 m/s; al ser mayor que 20 m/s el deflector tiene un trabajo óptimo sin que el aire afecte la trayectoria del chorro, cumpliendo así la función para la cual fue diseñado.

### **5.2.3.4 *Diseño del pozo de socavación***

Para diseñar el pozo de socavación es necesario que el chorro caiga lo más lejos posible del pie de la presa, esto con el fin de evitar socavones o erosiones que afecten a la estabilidad de la estructura; por ello es fundamental que, con los resultados obtenidos del diseño del deflector tipo esquí se obtenga la longitud de vuelo a la cual va a caer el chorro que sale disparado desde el deflector tipo esquí, así como también el ángulo de inclinación con el que cae el chorro al pozo de socavación y la profundidad de socavación.



*Tabla 5-6.*  
*Parámetros iniciales para el diseño del pozo de socavación*

<b>Caudal unitario (q)</b>	60 m <sup>3</sup> /s*m
<b>Coefficiente de aireación de flujo (k<sub>a</sub>)</b>	0,80 (tabla 2-15)
<b>Velocidad en del deflector (v<sub>esq</sub>)</b>	32,94 m/s
<b>Aceleración de la gravedad (g)</b>	9,81 m/s <sup>2</sup>
<b>Ángulo de inclinación a la salida del chorro (β)</b>	30 ° (Sandoval W. , 2018)
<b>Distancia vertical entre la profundidad aguas abajo y el eje del chorro (z<sub>2</sub>)</b>	3,41 m
<b>Diferencia de cotas entre aguas arriba y aguas abajo (z)</b>	89,49 m
<b>Diámetro de las partículas en la zona de impacto del chorro (d<sub>90%</sub>)</b>	150 mm (tabla 2-16)

Elaborado por: Logacho & Orozco

Para realizar el diseño del pozo de socavación se calcula con la ecuación (66) la distancia horizontal (L) igual a 116,35 m; y con la ecuación (65) la distancia horizontal (L) igual a 120 m; cabe aclarar que L es la longitud de caída que se requiere para que el chorro este totalmente desintegrado, la práctica de diseño evidencia que se debe seleccionar el mayor valor de estos dos.

Se calcula con la ecuación (69) el ángulo de inclinación al ingreso del chorro (α) dando como resultado 38,82 °, con este dato se determina que el coeficiente de reducción del flujo (k<sub>a</sub>) es igual a 0,89. El coeficiente (k<sub>a</sub>) se calcula con la propuesta #4 del autor CNEGP-CICCP (1997) que consta en la tabla 2-16. Finalmente se determina que la profundidad de socavación (h<sub>s</sub>) es igual a 11,34 m, que se obtiene con la propuesta #1 del autor Vuizgo M. como consta en la tabla 2-16; se debe corroborar que esta profundidad de socavación sea menor que la profundidad máxima de socavación (h<sub>s máx</sub>) la misma que es de 35,70 m, esta última se calcula con la propuesta #4 del autor CNEGP-CICCP (1997) también en la tabla 2-16.

### **5.2.3.5 Análisis de resultados del pozo de socavación**

Los resultados de los parámetros obtenidos en el diseño del deflector tipo esquí y pozo de socavación evidencian el buen comportamiento del deflector y, por consiguiente, del pozo de socavación, ya que la longitud horizontal a la que cae el chorro (L=120 m) es aceptable, es decir,

lejos del pie de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC). La profundidad de socavación igual a 11,34 m es considerablemente baja para la magnitud de la estructura, algunos diseñadores recomiendan que se excave un pozo de dimensiones equivalentes al volumen de socavación del chorro, siempre y cuando este caiga cerca de la presa; sin embargo, en este caso al impactar lejos de la presa se considera que el valor calculado (11,34 m) es aceptable.

#### **5.2.4 Análisis de resultados del diseño de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado para combinación básica (B1)**

Cuando se realizó el análisis de estabilidad al deslizamiento se obtuvo el valor del factor de seguridad al deslizamiento FSD de 1,97 que es mayor al factor de seguridad al deslizamiento permisible  $FSD_{perm}$  de 1,30. También se realizó la verificación de resistencias obteniendo un esfuerzo mínimo igual a 0,633 MPa y esfuerzo máximo de 1,798 MPa, finalmente se comparó el esfuerzo máximo al pie del paramento aguas abajo con la resistencia a compresión permisible de la roca y su resultado es menor, por lo tanto, es una condición favorable para el diseño. Al revisar el valor de  $FSD=1,97$  se puede anotar es posible ajustar un poco más el diseño, sobre todo al observar el valor del esfuerzo mínimo de 0,633 MPa; es claro que la presa de hormigón compactado está sobredimensionada.

#### **5.2.5 Análisis de resultados del diseño de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado para combinación especial (E1)**

Después de verificar el perfil constructivo para combinación especial (E1) se obtuvo un valor del factor de seguridad al deslizamiento FSD igual a 1,58 evidenciando que es mayor al factor de seguridad al deslizamiento permisible  $FSD_{perm}$  de 1,10.

También se realizó el análisis de verificación de resistencias en el que se obtuvo un esfuerzo mínimo igual a -0,083 MPa, al ser un valor negativo es un esfuerzo de tracción; por lo tanto, es un

esfuerzo indeseable para el diseño. Una combinación especial es un escenario con baja probabilidad de ocurrencia, sin embargo, se deben realizar los ajustes necesarios para contrarrestar los esfuerzos negativos. En el estudio el esfuerzo máximo resultó de 2,243 MPa, que al ser comparado con la resistencia de la roca (7,00 MPa) resulta aceptable. Es claro que se puede ajustar aún más el diseño a fin de que se cumpla la condición impuesta del esfuerzo mínimo igual al 20 % de la presión hidrostática para combinación E1, garantizando que las juntas horizontales de hormigón compactado (HC) no se abran.

### **5.2.6 Análisis de resultados del diseño de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado para combinación especial (E2)**

Después de verificar el perfil constructivo para combinación especial (E2) se obtuvo un valor del factor de seguridad al deslizamiento FSD igual a 1,19 siendo este mayor al factor de seguridad al deslizamiento permisible  $FSD_{perm}$  que es de 1,10. También se realizó el análisis de verificación de resistencias obteniendo un esfuerzo mínimo igual a -0,729 MPa, al ser un valor negativo es un esfuerzo de tracción sumamente alto, por lo tanto, es un esfuerzo indeseable para el diseño, a pesar de que esta combinación especial de fuerzas (E2) es un escenario con baja probabilidad de ocurrencia. El esfuerzo máximo resultó 2,891 MPa, que al ser comparado con la resistencia de la roca (7,00 MPa) resulta aceptable. Es claro que para contrarrestar los esfuerzos negativos se puede ajustar el diseño hasta que satisfaga la condición impuesta del esfuerzo mínimo igual al 20 % de la presión hidrostática; garantizando así que las juntas horizontales de hormigón compactado (HC) no se abran.

### **5.3 Solución integral para optimizar el diseño de una presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC)**

Varias pueden ser las soluciones para no sobredimensionar o eliminar los esfuerzos de tracción al pie de una presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC). Normalmente la solución sería comenzar nuevamente el diseño desde cero, pero eso resulta muy complicado. En la presente investigación al efectuar un análisis de sensibilidad para un universo de alturas de presa y caudales unitarios, se opta únicamente por aumentar el coeficiente de talud aguas arriba  $m_1$  entre (10 – 21) % para contrarrestar los esfuerzos de tracción; y se disminuye el coeficiente  $m_1$  cuando se presente una sobredimensión de la presa.

#### **5.3.1 Solución integral para optimizar el diseño de una presa vertedero escalonada de HC calculada para combinación básica (B1)**

En el capítulo 5.2.4 se presentó una sobredimensión en la presa, esto se evidencia al tener un esfuerzo mínimo igual a ( $\sigma'_y = 0,633$  MPa). En concordancia con los objetivos de la investigación es coherente y suficiente que dicho esfuerzo sea el 20 % de la presión hidrostática, es decir:

$$\sigma'_y = 0,2 * \gamma_o * Hp = 0,2 * 10 * 100 = 200 \text{ KPa} = 0,200 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, se puede disminuir el valor del coeficiente de talud  $m_1$  hasta que dicha condición se cumpla.

Tabla 5-7.  
Solución para optimizar el diseño de una presa vertedero escalonada de HC para combinación básica B1

Cuadro de fuerzas y momentos para COMBINACIÓN B1				
Solución integral con $m_1 = 0.025$				
Hp = 100.00 m		q = 60.00 m <sup>3</sup> /s*m		
Fuerza	N (KN)	T (KN)	Brazo (m)	Mo (KN*m)
G	97215.62		9.98	-970218.16
PH1		50000.00	33.33	1666666.67
Pv1	1254.08		35.93	-45060.68
PHs		5301.33	13.33	70684.44
Pvs	132.97		36.43	-4844.48
W	12603.44		12.26	154464.54
Σ	85999.23	55301.33		871692.32
FSD			1.78 > 1.30 Sí cumple	
e			10.08	
σ'y		0.209 MPa = 0.200 MPa; Sí cumple		
σ''y		2.138 MPa < 7.000 MPa; Sí cumple		

Fuente: Logacho & Orozco

### 5.3.2 Solución integral para contrarrestar los esfuerzos de tracción en una presa vertedero escalonada de HC calculada para combinación especial (E1)

En el capítulo 5.2.5 se presentaron esfuerzos de tracción, lo que quiere decir que, al ser negativo el valor del esfuerzo mínimo ( $\sigma'_y = -0.083$  MPa) las juntas horizontales de hormigón compactado (HC) pueden abrirse causando el fallo en la estructura. Por lo tanto, en concordancia con los objetivos de la investigación es coherente y suficiente que dicho esfuerzo sea el 20 % de la presión hidrostática, es decir:

$$\sigma'_y = 0,2 * \gamma_o * Hp = 0,2 * 10 * 100 = 200 \text{ KPa} = 0,200 \text{ MPa}$$

Se aumenta el valor del coeficiente de talud  $m_1$  hasta que dicha condición se cumpla.

Tabla 5-8.

Solución para contrarrestar los esfuerzos de tracción en una presa vertedero escalonada de HC para combinación especial E1

Cuadro de fuerzas y momentos para COMBINACIÓN E1				
Solución integral con $m_1 = 0.112$				
Hp = 100.00 m		q = 60.00 m <sup>3</sup> /s*m		
Fuerza	N (KN)	T (KN)	Brazo (m)	Mo (KN*m)
G	109562.72		11.25	-1232318.19
PH1		59106.23	35.90	2121978.00
PH2		-1923.482621	6.54	-12575.53
Pv1	6973.71		36.79	-256547.29
Pv2	2781.61		-0.76	-2102.64
recv	829.23		34.46	-28578.06
PHs		6584.32	13.33	87790.95
P <sub>ola</sub>		30.79	60.26	1855.31
Pvs	739.85		39.94	-29552.39
W	-28367.48		13.81	391820.37
Σ	92519.64	63797.86		1041770.54
FSD			1.68 > 1.10; Sí cumple	
e			11.26	
σ'y			0.206 MPa = 0.200 MPa; Sí cumple	
σ''y			2.026 MPa < 7.00 MPa; Sí cumple	

Fuente: Logacho & Orozco

### 5.3.3 Solución integral para contrarrestar los esfuerzos de tracción en una presa vertedero escalonada de HC calculada para combinación especial (E2)

En el capítulo 5.2.6 se presentaron esfuerzos de tracción, lo que quiere decir que, al ser negativo el valor del esfuerzo mínimo ( $\sigma'_y = -0.729$  MPa) las juntas horizontales de hormigón compactado (HC) pueden abrirse causando el fallo en la estructura. Por lo tanto, en concordancia con los objetivos de la investigación es coherente y suficiente que dicho esfuerzo sea el 20 % de la presión hidrostática, es decir:

$$\sigma'_y = 0,2 * \gamma_o * Hp = 0,2 * 10 * 100 = 200 \text{ KPa} = 0,200 \text{ MPa}$$

Se aumenta el valor del coeficiente de talud  $m_1$  hasta que dicha condición se cumpla.

Tabla 5-9.

Solución para contrarrestar los esfuerzos de tracción en una presa vertedero escalonada de HC para combinación especial E2

Cuadro de fuerzas y momentos para COMBINACIÓN E2				
Solución integral con $m_1 = 0.215$				
	Hp = 100.00 m		q = 60.00 m <sup>3</sup> /s*m	
Fuerza	N (KN)	T (KN)	Brazo (m)	Mo (KN*m)
G	122761.33		12.60	-1547107.43
Gs		22320.24	33.33	744008.08
PH1		59106.23	35.90	2121978.00
PH2		-1923.48	6.54	-12575.53
PHSISMO		1088.01	42.5	46240.42
PvSISMO	223.04		37.57	-8378.57
Pv1	11802.18		38.56	-455098.69
Pv2	2781.61		4.14	11519.36
recv	829.23		34.63	-28713.46
PHs		6806.95	13.33	90759.35
Pvs	1399.98		43.70	-61172.77
PSISMO		187.64	13.33	2501.82
W	-31218.91		15.48	483150.90
Σ	108578.47	87585.58		1387111.47
FSD			1.41 > 1.10; Sí cumple	
e			12.78	
σ'y			0.204 MPa = 0.200 MPa; Sí cumple	
σ''y			2.135 MPa < 7.00 MPa; Sí cumple	

Fuente: Logacho & Orozco

## **CAPÍTULO VI**

### **IMPACTO AMBIENTAL**

Generalmente los proyectos hidráulicos, específicamente, las presas generan modificaciones o impactos ambientales en un sinnúmero de factores que rodean el área del proyecto a construir. Los cambios más irreversibles se presentan en la inestabilidad del terreno, expulsión del medio biótico y sobre todo en el daño paisajístico temporal.

Existen diversos mecanismos para disminuir los costos ambientales que genera una construcción de esta magnitud, lo que conlleva a una remediación ambiental y social. Una vez que el proyecto esté en funcionamiento se puede incluir a las comunidades en un programa de desarrollo socioeconómico planificado. Generalmente el área de afectación es mayor al de la zona donde se implantará la presa, pues se incluye el área de la cuenca hidrográfica y la longitud total del río.

**Consecuencias directas:** La construcción de una presa genera varias consecuencias, entre ellas están: movimiento de tierras, eliminación de cobertura verde, manejo de desechos sólidos, ruido en las excavaciones o trituraciones y polvo.

Además, existen efectos similares que provienen desde el llenado del embalse ya que se debe alterar el caudal normal del río, esto causa afectación en la fauna y flora del lugar.

**Consecuencias indirectas:** cuando la construcción de un proyecto hidráulico ya se encuentra en desarrollo se debe garantizar el acceso de los equipos que irán complementando el proyecto, para el efecto es necesario contar con vías de acceso en buen estado, líneas de electricidad, campamentos para las cuadrillas de trabajo, entre otros.



## 6.1 Factores ambientales que intervienen en la construcción de una obra hidráulica

*Tabla 6-1.*  
*Factores ambientales que intervienen en la construcción de una obra hidráulica*

<b>Componente</b>	<b>Subcomponente</b>	<b>Factor</b>
<b>Bióticos</b>	Flora	Cobertura verde
	Fauna	Especies
<b>Abióticos</b>	Aire	Calidad
		Ruido
	Suelo	Calidad
		Erosión
	Agua	Subterráneas
		Superficiales
Paisaje	Calidad visual	
<b>Socio – Económico</b>	Económico	Empleo
		Condiciones de vida

Elaborado por: Logacho & Orozco

Cuando el proyecto ya se encuentra en fase de ejecución se deben tomar acciones integrales previamente planificadas, para mitigar los efectos negativos y evitar consecuencias irreversibles, por ello se proponen las siguientes estrategias:

- ✓ Tratamiento de desechos orgánicos: se refiere a la transformación de estos desechos a un abono orgánico que pueda ser utilizado positivamente en la fertilidad de la tierra.
- ✓ Manejo de desechos sólidos: se trata del desalojo, tendido y compactado de desechos generados a causa del proyecto y que puedan ser reutilizados en el mismo, tomando en cuenta que los desechos peligrosos deberán tener un tratamiento especial.

Cuando el proyecto ya se encuentra en fase de clausura las acciones se deberán enfocar en los siguientes escenarios:

- ✓ Reforestación de la flora: consiste en siembra de especies nativas de la zona con la finalidad de mejorar la calidad visual del paisaje que se afectó.
- ✓ Dispositivos de protección y reinserción de la fauna: consiste en reintegrar las especies que fueron separadas de la zona de construcción, siendo nuevamente liberadas en su hábitat natural.

## CONCLUSIONES

- La obtención de un perfil teórico inicial para el diseño de una presa ciega de hormigón compactado en principio no presenta dificultades, puesto que normalmente el problema radica en resolver un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas. Las condiciones que deben satisfacer simultáneamente las dos ecuaciones son, la primera, de estabilidad y, la segunda, de resistencia; las incógnitas que definen totalmente al perfil teórico triangular de altura conocida, son el ancho de la base y la inclinación de una de sus caras laterales; de hecho, en la actualidad casi existe convergencia de criterios en este aspecto. En cambio, la formulación de un perfil triangular preliminar para una presa de hormigón compactado con vertido incorporado ha presentado inconvenientes originados principalmente en la indefinición matemática del problema; en efecto, es necesario incluir una tercera condición (tercera ecuación) relativa a la configuración hidráulica del tramo superior del paramento aguas abajo del perfil, aunque las incógnitas son dos; el problema se agrava por el hecho de que la configuración hidráulica del tramo superior del paramento aguas abajo no depende de los mismos parámetros de las que dependen las otras dos ecuaciones (de estabilidad y resistencia).
- Por lo indicado en la conclusión anterior, para obtener el perfil teórico en el presente trabajo se ha partido del perfil teórico triangular correspondiente a una presa de hormigón compactado sin vertido incorporado, modificando su paramento aguas abajo que se caracteriza por la configuración Creager de su tramo superior, en tanto que, para los tramos medio e inferior se ha adoptado la inclinación, concordante con el flujo de lámina rasante; finalmente, con el algoritmo elaborado se ha realizado un ajuste de sensibilidad del perfil final o constructivo de la presa, para lograr el cumplimiento de

las condiciones de estabilidad y resistencia con el menor costo; en este análisis la variable ha sido la configuración del paramento aguas arriba de dicho perfil constructivo. Los resultados de este análisis se pueden apreciar en la tabla 5-7.

- Los resultados obtenidos permiten afirmar que, la ubicación casi vertical del paramento aguas arriba permite satisfacer las condiciones de estabilidad, resistencia e hidráulicas del perfil constructivo, para el rango considerado tanto de alturas de presa como de caudales unitarios e indicadores de corte de la roca de cimentación. Sin embargo, para combinaciones especiales, particularmente con sismo surgen esfuerzos de tracción en el paramento aguas arriba de la presa y, en el caso de rocas con bajos indicadores de corte se incumple también la condición de estabilidad. Este problema también ha sido resuelto con ayuda análisis de sensibilidad del perfil constructivo, como se puede observar en las tablas 5-7, 5-8 y 5-9.
- Las condiciones de estabilidad y resistencia pueden ser mejoradas si se adopta el esquema de disipación de energía con deflector tipo esquí; en este caso, la condición hidráulica para la configuración del paramento aguas abajo afectaría únicamente a la parte superior, en una longitud de 30- 40 metros. Sin embargo, esta alternativa requiere que en dicha longitud la presa debe tener revestimiento de hormigón convencional.
- En el proceso constructivo del hormigón compactado es de vital importancia las condiciones climáticas para el control de calidad de las propiedades de la mezcla durante el colocado para evitar la formación de juntas frías, y otros factores pluviométricos que podría afectar la consistencia por exceso de agua y circulación de la maquinaria.
- Para obtener el perfil constructivo de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado, en la sobre posición de perfiles (hidráulico sobre triangular), el perfil

práctico tipo Creager es el que genera la curva hidrodinámica suave que debe tener la cresta, el perfil escalonado se debe adaptar a la inclinación que tiene el paramento aguas abajo y, por consiguiente, al diseño de los escalones para que sea capaz de disipar considerable parte de la energía; mientras que el deflector tipo esquí cumple la función de evacuar la energía residual a una distancia segura del pie del pie de la presa.

- Se presentará un flujo rasante (skimming flow) en un perfil escalonado de hormigón compactado con alturas entre (50 -120) m y caudales unitarios entre (40 - 120)  $m^3/s*m$ ; mientras que se presentará un flujo escalonado cuando los caudales unitarios estén entre (0.1 – 10)  $m^3/s*m$ , y evitando la presencia del flujo de transición por sus efectos negativos en la estructura principalmente la cavitación.
- Los parámetros geomecánicos están vinculados directamente con el diseño preliminar del perfil teórico triangular y, por consiguiente, del perfil constructivo, debido que al realizar la verificación de estabilidad al deslizamiento se puede cuantificar en que porcentaje esta sobredimensionado el perfil transversal, una opción para no sobredimensionar el perfil transversal es modificando la inclinación de los paramentos iterando el factor  $\eta$ , hasta que las condiciones de esfuerzo mínimo, máximo y factor de seguridad al deslizamiento cumplan con los requisitos mínimos del diseño integral de una presa de hormigón compactado (HC).
- En relación con la calidad de la roca de cimentación se concluyó que para rocas de buena calidad la inclinación del paramento aguas arriba tiende a ser vertical; mientras que conforme va disminuyendo la calidad de la roca de cimentación, los paramentos aguas arriba y aguas abajo deben inclinarse hasta tender a ser simétricos.

- Las presas de hormigón compactado (HC), al ser una alternativa que requiere de colocación de grandes volúmenes de material por capas, genera juntas horizontales (juntas de construcción) en las cuales existe el riesgo de que se presente la filtración y, por consiguiente, la subpresión en el cuerpo de la presa lo que produciría esfuerzos de tracción lo cual es inadmisibles. Sin embargo, se concluye que el diseño se puede asegurar aumentando el 20% de la presión hidrostática como esfuerzo mínimo el cual también depende de la iteración que se le realice al parámetro  $\eta$ .
- Se concluye que una correcta iteración del parámetro  $\eta$  nos ayuda a obtener una base del perfil transversal “óptima” desde el punto de vista geométrico y de la mecánica de materiales, sin embargo, se debe prestar cuidado desde el punto de vista hidrodinámico sobre todo para combinación fuerzas especiales, a fin de que se pueda cumplir con parámetros de estabilidad y resistencia (esfuerzos mínimos y máximos) de acuerdo a lo establecido para el diseño de presas de hormigón compactado (HC).
- Con respecto a la zonificación del hormigón compactado (HC), se puede concluir que es de vital importancia realizar un análisis de estabilidad y resistencias a diferente cota a lo largo del paramento aguas arriba. En la presente investigación se obtuvieron valores de esfuerzos que ayudaron a realizar la zonificación del hormigón compactado (HC), a pesar de que en concordancia con los resultados bastaría colocar un hormigón tipo HC-1 en toda la presa, se optó por colocar hormigón tipo HC-1 solamente en un 15%, HC-2 25%, HC-3 35% y HC-4 15%, el restante 10% se reparte el hormigón convencional de la cresta y escalones con el mortero de pega, así como también se colocó una pantalla de hormigón armado en la cara expuesta del paramento aguas arriba.

- Con relación al uso de tecnologías modernas en la construcción de presas de hormigón compactado (HC), se puede concluir que estas dependen de la complejidad y magnitud del proyecto, en la actualidad existen diversos equipos que ayudan a que los volúmenes colocados sean los que estén estipulados en los requisitos de diseño y planos.
- Una presa de hormigón compactado (HC), presentará más volumen que una de hormigón vibrado convencional (HVC), esto debido a que por su propio peso debe ser capaz de generar una adecuada estabilidad al deslizamiento e impermeabilización de sus juntas de construcción, por tal motivo en la presente investigación se comprobó a pesar de que la presa de hormigón compactado (HC) excede en 3% más volumen a la presa de hormigón vibrado convencional (HVC) resulto ser 30,63% más económica. Lo que se puede evidenciar en los presupuestos referenciales.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la temperatura óptima para compactar el hormigón debe oscilar entre (21 - 35) °C, con el fin de evitar la formación de juntas frías que pueden causar filtración en la estructura durante su operación, generándose esfuerzos de tracción.
- Se recomienda que para compactar el hormigón las características pluviométricas debe ser 3 mm/h, debido al método constructivo los equipos pesados que circulan y puede provocar efectos indeseados en la mezcla sobre afectando su consistencia y, por consiguiente, su resistencia.
- Con el fin de cumplir la condición económica, y obtener un perfil constructivo económico, debe prevalecer el valor de la base obtenida en el perfil teórico triangular con un incremento máximo del 10%, la geometría de los escalones debe tener concordancia con la inclinación del paramento aguas abajo, con peraltes de acorde al espesor de las capas de hormigón compactado es decir múltiplos de 0.30 m, al hacer uso del perfil Creager para la geometría de la cresta se debe tener en cuenta que el ancho mínimo propuesto por USACE es de 7.5 m, esta investigación propone un ancho carrozable de 10 m, a partir del cumplimiento del ancho mínimo para la cresta se recomienda generar los escalones con medidas tales como las propuestas según Khatsuria (2002), ( H/8, H/7.5, H/7, H/6.5, H/6, H/5.5, H/5, H/4.5, H/4), y a partir del último escalón de la zona no aireada se procederá a colocar los escalones obtenidos en el diseño hidráulico.
- En base a las consideraciones adoptadas para que la disipación de energía en un vertedero escalonado no sea despreciable, se recomienda tomar en cuenta disipaciones mayores o igual a 40% y para implementar un deflector tipo esquí tener en cuenta



velocidades mayores a 20m/s, así como también comprobar la existencia de un resalto hidráulico sumergido.

- Con el fin de no sobredimensionar la presa, se recomienda que  $m_1 + m_2$  sea igual a 0,80 para rocas de mala calidad ( $f=0,65$ ); mientras que para rocas de buena calidad ( $f=0,70$ ; 0,80) la suma de los coeficientes de talud puede ser (0,70 – 0,75).
- Se recomienda realizar un análisis de esfuerzos a diferente cota de la presa con el fin de verificar que no se presenten esfuerzos negativos, ayudando a una adecuada zonificación del hormigón compactado colocando el hormigón de más alta calidad en la base de la presa, descendiendo su calidad conforme se asciende hasta llegar a la cresta, para el paramento aguas arriba y para el perfil escalonado se recomienda un recubrimiento impermeabilizante.
- Se recomienda que cuando se presenten proyectos de alta complejidad respecto a la topografía del sitio de proyecto se realice un correcto diseño de cintas transportadoras para el transporte del hormigón compactado (HC), a fin de que la colocación sea rápida y no se formen juntas frías, mientras que en topografías o cuencos anchos se puede realizar el vertido con camiones de volteo o mediante tubería, adicionalmente es más recomendable implantar una presa de estas características en macizo de cimentación roca de la misma manera que recomienda (Sandoval W. , 2018).

## REFERENCIAS

### **BIBLIOGRAFÍA:**

- Amador, A. (2005). *Comportamiento Hidráulico de los aliviaderos escalonados en presas de hormigón compactado*. Barcelona, España: Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental. UPC.
- Azari, A. P. (2003). *Construction methods for the first large RCC dam in Iran*. Madrid, Spain.
- Boes, R. (2000). *Scale effects in modelling two-phase stepped spillway flow*. Zurich: International Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways.
- Boes, R., & Minor, H. (2002). E. Hydraulic desing of stepped spillways for RCC dams-Intl. *Jnl of Hydropower and Dams.*, 3.
- Chamani, M., & Rajaratnam, N. (1999). *Characteristics of skimming flow over stepped spillways*. Journal of Hydraulic Engineering.
- Chamani, M., & Rajaratnam, N. (1999a). Characteristics of Skimming Flow over stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 361-368.
- Chanson, H. (1994b). Comparison of energy dissipation between Nappe and skimming Flow regimenes on chutes. *IAHR Jnl.*, 213-218.
- Chanson, H. (2001). *Hydraulic Desing of Stepped Spillways and Downstream Energy Dissipators* (Vol. Vol. 11). Dam Engineering.
- Chanson, H; Toombes, L. (2001). *Experimental Investigations of air entrainment in Transition and Skimming Flows down a Stepped Chute*. Brisbane: Civil Engineering, University of Queensland.
- Chinnarasri, C. (2002). *Assesing the flow resistance of skimming flow on the step faces of stepped spillways*.
- Chow, V. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw Hill Book Company Inc. .
- Christodoulou, G. C. (1993). Energy dissipation on Stepped spillways. *Journal of Hyd. Egg.*, 644-650.
- Chugaev, R. (1988). *Estructuras Hidráulicas*. Moscú.
- Comisión Federal de Electricidad. (2008). *Manual de Diseño de Obras Civiles*. México: Instituto de Ingeniería UNAM.
- Gaekel & Schrader. (1992). *RCC Mixes and Properties Using Poor Quality Materials - Concepcion Dam, Roller-Compacted Concrete III*. New York: ASCE.

- Ghare, A., & Porey, P. (2002). Experimental studies on energy dissipation over stepped spillways. *Indian Society for Hydraulics*, Mumbai.
- Gonzales de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- González, C., & Chanson, H. (2004). H. Interactions between Cavity Flow and Mainstream Skimming Flows. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33-44.
- González, C., & Chanson, H. (2007). Diseño hidráulico de vertederos escalonados con pendientes moderadas. *Ingeniería Hidráulica en México*, 5-20.
- Guy, C. (2010).
- Hager, W., & Boes, R. (2000). *Backwater and drawdown curves in stepped spillway flows*. Rotterdam: Balkema.
- Headwaters Resources. (2017). *Headwaters Resources*.
- Holcim Ecuador. (2016). Evolución de las normas para la fabricación de cemento. *Semana del cemento y el concreto* (pág. 56). Quito: Holcim.
- Horení, P. (1956). *Desintegration of a free jet in air* (Vol. No. 93). Praga, República Checa: VUV.
- Houghton, D. L. (1976). Determining Tensile Strain Capacity of Mass Concrete. *ACI Journal*, 691-700.
- Khatsuria, R. (2002). *Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators*. Atlanta, Georgia: Michael D. Meyer.
- L. Berga & J.M. Buil, C. J. (2003). *Roller Compacted Concrete Dams*. London: Taylor & Francis Group.
- Marulanda A., C. A. (2002). *Construction Inssues of Miel I Dam - The World Tallest Rcc Dam*. San Diego.
- Mateos, C., & Elviro, V. (1999). *Aliviaderos escalonados. Comienzo de la aireación natural. Disipación de energía en la rapida*. Mexico DF, México : CEDEX.
- Matos, J. (2001). Onset of skimming flow on stepped spillways - Discussion. *Journal of Hydraulic Engineering-Asce*, 519-521.
- Moreno, G. (2003). *"Desafíos en la construcción de la presa Ralco" Actas del Cuarto Simposio Internacional sobre Rodillos*. Madrid, España.
- Nigus, L. (2000). *Ashton Stepped Spillways*. Zeitlinger: Balkema Publishers.

- Novak, P., Moffat, A., & Nalluri, C. (2001). *Estructuras Hidráulicas*. (E. A. Herrera, Ed., & I. G. Granados, Trad.) Bogotá D.C, Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Ohtsu, I., Yasuda, Y., & Takahashi, M. (2004). *Flow characteristic of skimming flows in stepped channels*. Journal of Hydraulic Engineering.
- Padua Fernández, R. U. (DICIEMBRE de 2017). ANÁLISIS Y DISEÑO DE PRESAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO. (*Tesis de maestría*). Análisis y diseño de presas de concreto compactado con rodillo, México DF, México.
- PCA. (2017). *Facing Systems for Rolled - Compacted Concrete Dams and Spillways*. Estados Unidos: Gannet Fleming.
- Portland Cement Association PCA. (2017). *FACING SYSTEMS FOR ROLLED COMPACTED CONCRETE DAMS AND SPILLWAYS*.
- Rand, W. (1955). *Flow Geometry at straight drop Spillways*.
- Raphael, J. M. (1984). *Tensile Strength of Concrete*. Detroit, MI, Estados Unidos: ACI Journal American Concrete Institute.
- Reinhardt, W., & Hansen, K. (1990). *Roller Compacted Concrete Dams*. McGraw-Hill.
- Rendón, G. (2011). Diseño hidráulico de vertederos escalonados. (*Tesis de maestría*). Instituto Politécnico Nacional, México DF, México.
- Rice, W; Kadavy, K;. (1996). Model study of a roller compacted concrete stepped spillway. *Journal of Hyd. Engg.*, 292-7.
- Rocco, C. (2015). Experiencias en presas con HCR. *Experiencias en presas con HCR* (pág. 65). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto del Cemento Portland Argentino.
- Sagrado, J. D. (2001). *Ingeniería de Presas: Presas de fábrica*. Santander: Ed. Universidad de Cantabria.
- Sandoval, W. (2018). *Diseño de obras hidrotécnicas*. Sangolqui, Pichincha, Ecuador: EDIESPE.
- Santaella, V. L. (1999). Comentarios sobre el Concreto Compactado con Rodillo (CCR).
- Schrader, E. (1999). *Shear Strength and Lift Joint Quality of RCC*.
- Schrader, E. (2002). *Experience and lessons learned in 30 years of desing, testing, costruction, and performance of RCC*. Irbin, Jordan.
- Tozzi, M. (1992). CARACTERIZAO DO COMPORTAMENTO DE ESCOAMENTOS EM VERTEDOUROS COM PARAMENTO EM DEGRAUS - HYDRAULICS OF STEPPEDS OF SPILWAYS. (*Tesis*). Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil.

- Wenquan, L., Huizhen, L., Zhen, H., & and Yajie, L. (1997). *Use of High-Range Retarder-Platicizer for Roller Compacted Concrete of the Three Gorges Project in China Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*. Farmington Hills: ACI.
- Yasuda, Y. (2001). M. Energy dissipation of. *29th IAHR Biennial*.
- Yasuda, Y., & Chanson, H. (2003). *Micro and macroscopic study of two-phase flow on a stepped chute* (Vol. Volumen D). (J. Ganoulis, & P. Prinos, Edits.) Thessaloniki, Greece: Proc. 30th IAHR Biennial Congress.
- Zulkifli & Hamid & Arshad & Ahmad. (2015). Construction of Roller Compacted. *The Masterbuilder*, 6.

### ***NORMAS TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN:***

- ACI 207.5R-11. (2011). REPORT ON ROLLER-COMPACTED MASS CONCRETE. *REPORT ON ROLLER-COMPACTED MASS CONCRETE*.
- ACI 211.1 *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete* . (s.f.).
- ACI 214 R, *Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete*. (2011).
- ACI 224R-01. (2001). *Control de la fisuración en estructuras de hormigón*.
- ACI 304 R. *Guide for Measuring, Mixing, Transporting*,. (s.f.).
- ASTM C 39 *Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*. (s.f.).
- ASTM C 40, *Método de ensayo normalizado para la detección de impurezas orgánicas en agregados finos para concreto* . (s.f.).
- ASTM C 617, *Práctica normalizada para refrentar las probetas cilndricas de hormigón*. (s.f.).
- ASTM C 618, *Especificación estándar para Ceniza volante de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para su uso en hormigón*. (2019).
- ASTM C1170, *Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table*. (s.f.).
- ASTM C157, *Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete*. (2017).
- ASTM C512, *Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression*. (2015).
- ASTM D 2936, *Resistencia a la tracción directa de muestras de núcleo de roca intacta* . (s.f.).

*ASTM D 4630, Método de prueba estándar para determinar la transmisividad y coeficiente de almacenamiento de rocas de baja permeabilidad por mediciones in situ utilizando la cabeza constante Prueba de inyección.* (s.f.).

*ASTM D 4791 - 19, Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate.* (s.f.).

*ASTM D 5607, Resistencia al corte directo Pruebas de especímenes de roca bajo fuerza normal constante.* (s.f.).

*ASTM D1557, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort.* (2012).

USACE. (2000). Designing Roller Compacted Concrete Dams. En S. A. BAGHDADY, *Designing Roller compacted concrete dams.* STOCKHOLM.

*USACE CRD C 164, resistencia a la tracción directa de Especímenes cilíndricos de hormigón o mortero.* (s.f.).

*USACE CRD C 90, prueba de corte transversal Fuerza confinada, plano simple o doble plano.* (s.f.).

***SITIOS WEB:***

Caterpillar. (2019). *Caterpillar.* Obtenido de Caterpillar  
[https://www.cat.com/es\\_US/products/new/equipment/compactors.html](https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/compactors.html)

McDonald. (2002). *Grout Enriched Roller-Compacted Concrete-Phase I Investigation.* Vicksburg: U.S. Army Engineer Research and Development Center. Obtenido de [http://www.wes.army.mil/SL/HPMS/HPMS\\_art-3.pdf](http://www.wes.army.mil/SL/HPMS/HPMS_art-3.pdf)

*Megaconstrucciones.* (2019). Obtenido de Megaconstrucciones:  
<https://megaconstrucciones.net/images/presas/foto/tarbela-dam-4.jpg>

Misiones Online. (07 de 2014). *Misiones Online.* Obtenido de Misiones Online:  
<https://static0.misionesonline.net/wp-content/uploads/2014/07/uruguay-900x675.jpg>

Silva, F. (01 de 2018). *GoogleMaps.* Obtenido de GoogleMaps:  
<https://www.google.com/maps/place/Barragem+Saco/@-7.5140004,-38.0463926,3a,110.9y,90t/data=!3m8!1e2!3m6!1sAF1QipOYB2crUzsAN09kGsmq6me8>

b0HU\_JnoJcoLMKIR!2e10!3e12!6shttps:%2F%2Flh5.googleusercontent.com%2Fp%2F  
AF1QipOYB2crUzsAN09kGsmq6me8b0HU\_JnoJcoLMKIR%3Dw

Simposio Brasil. (2015).

Stahlhoefer, H. (31 de 12 de 2005). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Represa\\_de\\_Itaip%C3%BA#/media/Archivo:Itaipu\\_171.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Represa_de_Itaip%C3%BA#/media/Archivo:Itaipu_171.jpg)

U.S. Army Corps of Engineers. (31 de 8 de 2009). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Presa\\_de\\_gravedad#/media/Archivo:Willowcr.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Presa_de_gravedad#/media/Archivo:Willowcr.jpg)

USACE. (09 de 1992). researchgate.net. Obtenido de researchgate.net:

[https://www.researchgate.net/publication/303565276\\_Guidelines\\_for\\_Hydraulic\\_Design\\_of\\_Stepped\\_Spillways](https://www.researchgate.net/publication/303565276_Guidelines_for_Hydraulic_Design_of_Stepped_Spillways)

ANEXOS

Anexo 1.

Análisis hidráulico para presas de HC para roca de mala calidad  $f = 0.65$  y  $C = 100\text{KPa}$

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.52		f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE														CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	θ °	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Δe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
50	40	1.80	1.50	0.94	3.04	1.92	5.46	62.53	0.83	58.20	35.59	2.03	19.73	38.45	19.75	0.80	33.93	0.89	9.15	0.3	14.81	13.81	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	42	1.80	1.80	0.94	3.14	1.92	5.64	62.53	0.83	58.47	37.12	2.09	20.12	39.19	19.28	0.84	32.97	0.92	8.86	0.3	15.30	14.18	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	44	1.80	1.80	0.94	3.23	1.92	5.82	62.53	0.83	58.73	38.63	2.15	20.50	39.89	18.84	0.88	32.07	0.95	8.59	0.3	15.78	14.54	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	46	1.80	1.80	0.94	3.33	1.92	6.00	62.53	0.83	59.00	40.14	2.20	20.87	40.57	18.43	0.92	31.23	0.98	8.34	0.3	16.25	14.90	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	48	2.10	1.80	1.09	2.94	1.92	6.17	62.53	0.97	59.25	39.82	2.30	20.90	41.01	18.25	0.96	30.80	1.01	8.10	0.3	16.72	15.24	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	50	2.10	1.80	1.09	3.02	1.92	6.34	62.53	0.97	59.51	41.24	2.35	21.24	41.63	17.88	1.00	30.05	1.04	7.89	0.3	17.18	15.58	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	52	2.10	2.10	1.09	3.10	1.92	6.51	62.53	0.97	59.76	42.65	2.41	21.58	42.23	17.54	1.04	29.34	1.06	7.68	0.3	17.64	15.91	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	54	2.10	2.10	1.09	3.18	1.92	6.67	62.53	0.97	60.01	44.06	2.46	21.91	42.80	17.21	1.08	28.68	1.09	7.49	0.3	18.09	16.24	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
50	56	2.10	2.10	1.09	3.26	1.92	6.84	62.53	0.97	60.26	45.46	2.52	22.23	43.36	16.90	1.12	28.04	1.12	7.31	0.3	18.53	16.56	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	58	2.10	2.10	1.09	3.33	1.92	7.00	62.53	0.97	60.50	46.85	2.57	22.54	43.89	16.60	1.16	27.45	1.14	7.14	0.3	18.97	16.88	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	60	2.10	2.10	1.09	3.41	1.92	7.16	62.53	1.00	60.74	48.24	2.63	22.85	44.37	16.37	1.20	26.95	1.17	6.98	0.3	19.40	17.19	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	62	2.40	2.10	1.25	3.05	1.92	7.32	62.53	1.11	60.98	47.73	2.71	22.84	44.75	16.22	1.24	26.61	1.20	6.83	0.3	19.83	17.50	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	64	2.40	2.10	1.25	3.11	1.92	7.47	62.53	1.11	61.21	49.05	2.77	23.14	45.24	15.97	1.28	26.09	1.22	6.69	0.3	20.26	17.80	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	66	2.40	2.40	1.25	3.18	1.92	7.63	62.53	1.11	61.44	50.37	2.82	23.42	45.72	15.72	1.32	25.59	1.25	6.55	0.3	20.68	18.10	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	68	2.40	2.40	1.25	3.24	1.92	7.78	62.53	1.11	61.67	51.68	2.87	23.70	46.18	15.49	1.36	25.12	1.27	6.42	0.3	21.09	18.40	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	70	2.40	2.40	1.25	3.31	1.92	7.93	62.53	1.11	61.90	52.98	2.92	23.98	46.63	15.27	1.40	24.67	1.30	6.30	0.3	21.50	18.69	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	72	2.45	2.40	1.27	3.30	1.92	8.08	62.53	1.13	62.13	53.96	2.97	24.20	47.05	15.08	1.44	24.27	1.32	6.18	0.3	21.91	18.97	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	74	2.45	2.40	1.27	3.36	1.92	8.23	62.53	1.13	62.35	55.25	3.02	24.47	47.48	14.87	1.48	23.86	1.35	6.07	0.3	22.32	19.26	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	76	2.50	2.40	1.30	3.35	1.92	8.38	62.53	1.15	62.57	56.20	3.08	24.68	47.87	14.70	1.52	23.49	1.37	5.97	0.3	22.72	19.53	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	78	2.70	2.70	1.40	3.16	1.92	8.53	62.53	1.25	62.79	56.20	3.15	24.75	48.19	14.60	1.56	23.25	1.39	5.86	0.3	23.11	19.81	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	80	2.70	2.70	1.40	3.21	1.92	8.67	62.53	1.25	63.01	57.44	3.20	25.00	48.59	14.42	1.60	22.88	1.42	5.77	0.3	23.51	20.08	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	82	2.70	2.70	1.40	3.27	1.92	8.82	62.53	1.25	63.23	58.67	3.25	25.25	48.99	14.24	1.64	22.52	1.44	5.67	0.3	23.90	20.35	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	84	2.70	2.70	1.40	3.32	1.92	8.96	62.53	1.25	63.44	59.90	3.29	25.49	49.37	14.07	1.68	22.18	1.47	5.58	0.3	24.28	20.62	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	86	2.75	2.70	1.43	3.31	1.92	9.10	62.53	1.27	63.65	60.80	3.35	25.69	49.73	13.93	1.72	21.88	1.49	5.49	0.3	24.67	20.88	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	88	2.75	2.70	1.43	3.36	1.92	9.24	62.53	1.27	63.86	62.01	3.39	25.92	50.10	13.77	1.76	21.56	1.51	5.41	0.3	25.05	21.14	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	90	2.80	2.70	1.46	3.35	1.92	9.38	62.53	1.29	64.07	62.89	3.45	26.11	50.44	13.63	1.80	21.28	1.53	5.33	0.3	25.43	21.40	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	92	3.00	3.00	1.56	3.17	1.92	9.52	62.53	1.38	64.28	62.82	3.52	26.16	50.72	13.56	1.84	21.10	1.56	5.25	0.3	25.80	21.66	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	94	3.00	3.00	1.56	3.22	1.92	9.66	62.53	1.38	64.49	64.00	3.56	26.39	51.07	13.42	1.88	20.81	1.58	5.18	0.3	26.18	21.91	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	96	3.00	3.00	1.56	3.26	1.92	9.79	62.53	1.38	64.69	65.17	3.61	26.61	51.41	13.28	1.92	20.52	1.60	5.11	0.3	26.55	22.16	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	98	3.00	3.00	1.56	3.31	1.92	9.93	62.53	1.38	64.89	66.33	3.65	26.83	51.75	13.14	1.96	20.25	1.62	5.04	0.3	26.91	22.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	100	3.00	3.00	1.56	3.35	1.92	10.06	62.53	1.38	65.10	67.49	3.70	27.05	52.08	13.01	2.00	19.99	1.65	4.97	0.3	27.28	22.65	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	102	3.00	3.00	1.56	3.40	1.92	10.20	62.53	1.38	65.30	68.65	3.74	27.26	52.41	12.89	2.04	19.73	1.67	4.90	0.3	27.64	22.90	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	104	3.00	3.00	1.56	3.44	1.92	10.33	62.53	1.38	65.50	69.81	3.79	27.48	52.73	12.76	2.08	19.49	1.69	4.84	0.3	28.00	23.14	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	106	3.00	3.00	1.56	3.49	1.92	10.46	62.53	1.38	65.69	70.96	3.83	27.69	53.05	12.64	2.12	19.25	1.71	4.78	0.3	28.36	23.38	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	108	3.30	3.30	1.72	3.21	1.92	10.59	62.53	1.52	65.89	70.15	3.91	27.63	53.27	12.62	2.16	19.16	1.73	4.72	0.3	28.71	23.62	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	110	3.30	3.30	1.72	3.25	1.92	10.72	62.53	1.52	66.09	71.26	3.95	27.83	53.58	12.51	2.20	18.93	1.75	4.66	0.3	29.07	23.85	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	112	3.30	3.30	1.72	3.29	1.92	10.85	62.53	1.52	66.28	72.37	4.00	28.03	53.88	12.40	2.24	18.71	1.78	4.61	0.3	29.42	24.08	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	114	3.30	3.30	1.72	3.33	1.92	10.98	62.53	1.52	66.47	73.48	4.04	28.23	54.18	12.29	2.28	18.49	1.80	4.55	0.3	29.77	24.32	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	116	3.30	3.30	1.72	3.37	1.92	11.11	62.53	1.52	66.67	74.59	4.08	28.43	54.48	12.19	2.32	18.28	1.82	4.50	0.3	30.11	24.55	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	118	3.30	3.30	1.72	3.41	1.92	11.24	62.53	1.52	66.86	75.70	4.12	28.63	54.77	12.09	2.36	18.08	1.84	4.45	0.3	30.46	24.77	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
50	120	3.30	3.30	1.72	3.44	1.92	11.36	62.53	1.52	67.05	76.80	4.16	28.82	55.06	11.99	2.40	17.88	1.86	4.40	0.3	30.80	25.00	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí



V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.51		f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE														CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	θ °	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Δe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
60	40	1.80	1.50	0.92	3.04	1.96	5.46	62.98	0.82	68.20	34.99	2.02	19.75	41.57	26.63	0.67	39.05	0.89	10.98	0.3	14.82	14.30	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	42	1.80	1.80	0.92	3.14	1.96	5.64	62.98	0.82	68.47	36.49	2.08	20.14	42.46	26.01	0.70	37.99	0.92	10.63	0.3	15.31	14.68	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	44	1.80	1.80	0.92	3.23	1.96	5.82	62.98	0.82	68.73	37.98	2.14	20.52	43.31	25.43	0.73	36.99	0.95	10.31	0.3	15.79	15.05	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	46	1.80	1.80	0.92	3.33	1.96	6.00	62.98	0.82	69.00	39.46	2.20	20.89	44.11	24.88	0.77	36.06	0.98	10.00	0.3	16.27	15.42	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	48	2.10	1.80	1.07	2.94	1.96	6.17	62.98	0.95	69.25	39.14	2.29	20.92	44.62	24.64	0.80	35.58	1.01	9.72	0.3	16.74	15.78	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	50	2.10	1.80	1.07	3.02	1.96	6.34	62.98	0.95	69.51	40.54	2.35	21.27	45.36	24.15	0.83	34.74	1.04	9.46	0.3	17.20	16.13	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	52	2.10	2.10	1.07	3.10	1.96	6.51	62.98	0.95	69.76	41.93	2.41	21.61	46.07	23.69	0.87	33.96	1.06	9.22	0.3	17.65	16.48	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	54	2.10	2.10	1.07	3.18	1.96	6.67	62.98	0.95	70.01	43.31	2.46	21.93	46.76	23.25	0.90	33.21	1.09	8.99	0.3	18.10	16.82	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
60	56	2.10	2.10	1.07	3.26	1.96	6.84	62.98	0.95	70.26	44.69	2.52	22.26	47.42	22.84	0.93	32.50	1.12	8.78	0.3	18.55	17.15	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	58	2.10	2.10	1.07	3.33	1.96	7.00	62.98	0.95	70.50	46.06	2.57	22.57	48.06	22.44	0.97	31.83	1.14	8.57	0.3	18.99	17.48	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	60	2.10	2.10	1.07	3.41	1.96	7.16	62.98	0.99	70.74	47.42	2.62	22.88	48.61	22.13	1.00	31.28	1.17	8.38	0.3	19.42	17.80	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	62	2.40	2.10	1.22	3.05	1.96	7.32	62.98	1.09	70.98	46.92	2.71	22.87	49.05	21.93	1.03	30.89	1.20	8.20	0.3	19.85	18.12	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	64	2.40	2.10	1.22	3.11	1.96	7.47	62.98	1.09	71.21	48.22	2.76	23.16	49.63	21.58	1.07	30.31	1.22	8.03	0.3	20.27	18.43	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	66	2.40	2.40	1.22	3.18	1.96	7.63	62.98	1.09	71.44	49.52	2.81	23.45	50.19	21.25	1.10	29.75	1.25	7.86	0.3	20.69	18.74	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	68	2.40	2.40	1.22	3.24	1.96	7.78	62.98	1.09	71.67	50.80	2.87	23.73	50.74	20.94	1.13	29.21	1.27	7.71	0.3	21.11	19.04	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	70	2.40	2.40	1.22	3.31	1.96	7.93	62.98	1.09	71.90	52.09	2.92	24.01	51.26	20.64	1.17	28.70	1.30	7.56	0.3	21.52	19.34	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	72	2.45	2.40	1.25	3.30	1.96	8.08	62.98	1.11	72.13	53.05	2.97	24.23	51.75	20.38	1.20	28.26	1.32	7.42	0.3	21.93	19.64	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	74	2.45	2.40	1.25	3.36	1.96	8.23	62.98	1.11	72.35	54.31	3.02	24.50	52.25	20.10	1.23	27.78	1.35	7.29	0.3	22.33	19.93	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	76	2.50	2.40	1.28	3.35	1.96	8.38	62.98	1.14	72.57	55.25	3.08	24.71	52.71	19.87	1.27	27.37	1.37	7.16	0.3	22.73	20.22	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	78	2.70	2.70	1.38	3.16	1.96	8.53	62.98	1.23	72.79	55.25	3.15	24.78	53.07	19.72	1.30	27.10	1.39	7.04	0.3	23.13	20.51	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	80	2.70	2.70	1.38	3.21	1.96	8.67	62.98	1.23	73.01	56.46	3.20	25.03	53.53	19.48	1.33	26.68	1.42	6.92	0.3	23.53	20.79	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	82	2.70	2.70	1.38	3.27	1.96	8.82	62.98	1.23	73.23	57.68	3.24	25.28	53.99	19.24	1.37	26.27	1.44	6.81	0.3	23.92	21.07	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	84	2.70	2.70	1.38	3.32	1.96	8.96	62.98	1.23	73.44	58.88	3.29	25.52	54.43	19.01	1.40	25.88	1.47	6.70	0.3	24.30	21.35	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	86	2.75	2.70	1.40	3.31	1.96	9.10	62.98	1.25	73.65	59.77	3.34	25.72	54.84	18.81	1.43	25.54	1.49	6.59	0.3	24.69	21.62	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	88	2.75	2.70	1.40	3.36	1.96	9.24	62.98	1.25	73.86	60.96	3.39	25.96	55.27	18.59	1.47	25.17	1.51	6.49	0.3	25.07	21.89	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	90	2.80	2.70	1.43	3.35	1.96	9.38	62.98	1.27	74.07	61.83	3.44	26.14	55.66	18.41	1.50	24.86	1.53	6.40	0.3	25.45	22.16	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	92	3.00	3.00	1.53	3.17	1.96	9.52	62.98	1.36	74.28	61.76	3.51	26.19	55.97	18.31	1.53	24.65	1.56	6.30	0.3	25.82	22.42	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	94	3.00	3.00	1.53	3.22	1.96	9.66	62.98	1.36	74.49	62.91	3.56	26.42	56.37	18.11	1.57	24.32	1.58	6.21	0.3	26.20	22.68	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	96	3.00	3.00	1.53	3.26	1.96	9.79	62.98	1.36	74.69	64.06	3.60	26.64	56.77	17.92	1.60	24.00	1.60	6.13	0.3	26.57	22.94	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	98	3.00	3.00	1.53	3.31	1.96	9.93	62.98	1.36	74.89	65.21	3.65	26.86	57.16	17.74	1.63	23.68	1.62	6.04	0.3	26.93	23.20	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	100	3.00	3.00	1.53	3.35	1.96	10.06	62.98	1.36	75.10	66.35	3.69	27.08	57.54	17.56	1.67	23.38	1.65	5.96	0.3	27.30	23.45	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	102	3.00	3.00	1.53	3.40	1.96	10.20	62.98	1.36	75.30	67.49	3.74	27.30	57.91	17.39	1.70	23.09	1.67	5.88	0.3	27.66	23.71	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	104	3.00	3.00	1.53	3.44	1.96	10.33	62.98	1.36	75.50	68.63	3.78	27.51	58.28	17.22	1.73	22.81	1.69	5.81	0.3	28.02	23.96	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	106	3.00	3.00	1.53	3.49	1.96	10.46	62.98	1.36	75.69	69.76	3.82	27.72	58.64	17.06	1.77	22.53	1.71	5.73	0.3	28.38	24.20	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	108	3.30	3.30	1.68	3.21	1.96	10.59	62.98	1.50	75.89	68.96	3.90	27.66	58.87	17.03	1.80	22.43	1.73	5.66	0.3	28.74	24.45	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	110	3.30	3.30	1.68	3.25	1.96	10.72	62.98	1.50	76.09	70.05	3.95	27.87	59.22	16.87	1.83	22.17	1.75	5.59	0.3	29.09	24.69	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	112	3.30	3.30	1.68	3.29	1.96	10.85	62.98	1.50	76.28	71.15	3.99	28.07	59.56	16.72	1.87	21.92	1.78	5.53	0.3	29.44	24.93	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	114	3.30	3.30	1.68	3.33	1.96	10.98	62.98	1.50	76.47	72.24	4.03	28.27	59.90	16.57	1.90	21.67	1.80	5.46	0.3	29.79	25.17	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	116	3.30	3.30	1.68	3.37	1.96	11.11	62.98	1.50	76.67	73.33	4.08	28.47	60.24	16.43	1.93	21.43	1.82	5.40	0.3	30.14	25.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	118	3.30	3.30	1.68	3.41	1.96	11.24	62.98	1.50	76.86	74.41	4.12	28.66	60.57	16.29	1.97	21.20	1.84	5.34	0.3	30.48	25.65	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
60	120	3.30	3.30	1.68	3.44	1.96	11.36	62.98	1.50	77.05	75.50	4.16	28.85	60.89	16.16	2.00	20.97	1.86	5.28	0.3	30.83	25.88	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.49		f= 0.11 <b>ROCA MALA</b>		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE														CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	θ °	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Δe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
70	40	1.80	1.50	0.88	3.04	2.04	5.46	63.90	0.79	78.20	33.77	2.02	19.80	44.12	34.07	0.57	43.57	0.89	12.81	0.3	14.84	14.72	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
70	42	1.80	1.80	0.88	3.14	2.04	5.64	63.90	0.79	78.47	35.22	2.08	20.19	45.17	33.30	0.60	42.44	0.92	12.40	0.3	15.33	15.12	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
70	44	1.80	1.80	0.88	3.23	2.04	5.82	63.90	0.79	78.73	36.66	2.14	20.57	46.16	32.57	0.63	41.37	0.95	12.02	0.3	15.82	15.50	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
70	46	1.80	1.80	0.88	3.33	2.04	6.00	63.90	0.79	79.00	38.08	2.20	20.94	47.11	31.89	0.66	40.37	0.98	11.67	0.3	16.29	15.88	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
70	48	2.10	1.80	1.03	2.94	2.04	6.17	63.90	0.92	79.25	37.78	2.29	20.97	47.68	31.58	0.69	39.84	1.01	11.35	0.3	16.76	16.25	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
70	50	2.10	1.80	1.03	3.02	2.04	6.34	63.90	0.92	79.51	39.13	2.35	21.32	48.55	30.96	0.71	38.94	1.04	11.04	0.3	17.22	16.61	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
70	52	2.10	2.10	1.03	3.10	2.04	6.51	63.90	0.92	79.76	40.47	2.40	21.66	49.38	30.38	0.74	38.09	1.06	10.76	0.3	17.68	16.97	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
70	54	2.10	2.10	1.03	3.18	2.04	6.67	63.90	0.92	80.01	41.80	2.46	21.99	50.18	29.83	0.77	37.28	1.09	10.49	0.3	18.13	17.31	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
70	56	2.10	2.10	1.03	3.26	2.04	6.84	63.90	0.92	80.26	43.13	2.51	22.31	50.95	29.30	0.80	36.51	1.12	10.24	0.3	18.57	17.66	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	58	2.10	2.10	1.03	3.33	2.04	7.00	63.90	0.92	80.50	44.45	2.56	22.62	51.69	28.81	0.83	35.78	1.14	10.00	0.3	19.01	18.00	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	60	2.10	2.10	1.03	3.41	2.04	7.16	63.90	0.96	80.74	45.77	2.62	22.93	52.33	28.41	0.86	35.19	1.17	9.78	0.3	19.45	18.33	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	62	2.40	2.10	1.18	3.05	2.04	7.32	63.90	1.06	80.98	45.29	2.70	22.93	52.83	28.15	0.89	34.76	1.20	9.57	0.3	19.88	18.66	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	64	2.40	2.10	1.18	3.11	2.04	7.47	63.90	1.06	81.21	46.54	2.76	23.22	53.50	27.71	0.91	34.12	1.22	9.37	0.3	20.30	18.98	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	66	2.40	2.40	1.18	3.18	2.04	7.63	63.90	1.06	81.44	47.79	2.81	23.51	54.15	27.29	0.94	33.51	1.25	9.18	0.3	20.72	19.30	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	68	2.40	2.40	1.18	3.24	2.04	7.78	63.90	1.06	81.67	49.03	2.86	23.79	54.78	26.89	0.97	32.92	1.27	8.99	0.3	21.14	19.61	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	70	2.40	2.40	1.18	3.31	2.04	7.93	63.90	1.06	81.90	50.27	2.91	24.07	55.40	26.51	1.00	32.36	1.30	8.82	0.3	21.55	19.92	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	72	2.45	2.40	1.20	3.30	2.04	8.08	63.90	1.08	82.13	51.20	2.96	24.29	55.95	26.18	1.03	31.87	1.32	8.66	0.3	21.96	20.22	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	74	2.45	2.40	1.20	3.36	2.04	8.23	63.90	1.08	82.35	52.42	3.01	24.56	56.53	25.82	1.06	31.36	1.35	8.50	0.3	22.37	20.53	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	76	2.50	2.40	1.23	3.35	2.04	8.38	63.90	1.10	82.57	53.32	3.07	24.77	57.05	25.52	1.09	30.90	1.37	8.35	0.3	22.77	20.82	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	78	2.70	2.70	1.32	3.16	2.04	8.53	63.90	1.19	82.79	53.32	3.14	24.84	57.46	25.33	1.11	30.60	1.39	8.21	0.3	23.17	21.12	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	80	2.70	2.70	1.32	3.21	2.04	8.67	63.90	1.19	83.01	54.50	3.19	25.09	57.99	25.02	1.14	30.14	1.42	8.07	0.3	23.56	21.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	82	2.70	2.70	1.32	3.27	2.04	8.82	63.90	1.19	83.23	55.67	3.24	25.34	58.52	24.71	1.17	29.69	1.44	7.94	0.3	23.95	21.70	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	84	2.70	2.70	1.32	3.32	2.04	8.96	63.90	1.19	83.44	56.83	3.28	25.59	59.03	24.41	1.20	29.26	1.47	7.81	0.3	24.34	21.98	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	86	2.75	2.70	1.35	3.31	2.04	9.10	63.90	1.21	83.65	57.69	3.34	25.78	59.49	24.16	1.23	28.88	1.49	7.69	0.3	24.72	22.26	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	88	2.75	2.70	1.35	3.36	2.04	9.24	63.90	1.21	83.86	58.84	3.38	26.02	59.98	23.88	1.26	28.48	1.51	7.57	0.3	25.11	22.54	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	90	2.80	2.70	1.37	3.35	2.04	9.38	63.90	1.23	84.07	59.67	3.43	26.21	60.42	23.65	1.29	28.13	1.53	7.46	0.3	25.49	22.81	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	92	3.00	3.00	1.47	3.17	2.04	9.52	63.90	1.32	84.28	59.61	3.50	26.26	60.77	23.51	1.31	27.90	1.56	7.35	0.3	25.86	23.09	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	94	3.00	3.00	1.47	3.22	2.04	9.66	63.90	1.32	84.49	60.72	3.55	26.48	61.23	23.26	1.34	27.53	1.58	7.25	0.3	26.23	23.36	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	96	3.00	3.00	1.47	3.26	2.04	9.79	63.90	1.32	84.69	61.83	3.59	26.71	61.68	23.02	1.37	27.18	1.60	7.15	0.3	26.61	23.62	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	98	3.00	3.00	1.47	3.31	2.04	9.93	63.90	1.32	84.89	62.94	3.64	26.93	62.12	22.78	1.40	26.83	1.62	7.05	0.3	26.97	23.89	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	100	3.00	3.00	1.47	3.35	2.04	10.06	63.90	1.32	85.10	64.04	3.68	27.15	62.55	22.55	1.43	26.50	1.65	6.96	0.3	27.34	24.15	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	102	3.00	3.00	1.47	3.40	2.04	10.20	63.90	1.32	85.30	65.14	3.73	27.36	62.97	22.33	1.46	26.17	1.67	6.86	0.3	27.70	24.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	104	3.00	3.00	1.47	3.44	2.04	10.33	63.90	1.32	85.50	66.24	3.77	27.58	63.39	22.11	1.49	25.86	1.69	6.78	0.3	28.06	24.67	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	106	3.00	3.00	1.47	3.49	2.04	10.46	63.90	1.32	85.69	67.33	3.81	27.79	63.80	21.90	1.51	25.55	1.71	6.69	0.3	28.42	24.92	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	108	3.30	3.30	1.62	3.21	2.04	10.59	63.90	1.45	85.89	66.56	3.89	27.73	64.04	21.85	1.54	25.44	1.73	6.61	0.3	28.78	25.18	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	110	3.30	3.30	1.62	3.25	2.04	10.72	63.90	1.45	86.09	67.61	3.94	27.93	64.43	21.65	1.57	25.15	1.75	6.53	0.3	29.13	25.43	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	112	3.30	3.30	1.62	3.29	2.04	10.85	63.90	1.45	86.28	68.67	3.98	28.14	64.82	21.46	1.60	24.87	1.78	6.45	0.3	29.49	25.67	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	114	3.30	3.30	1.62	3.33	2.04	10.98	63.90	1.45	86.47	69.72	4.02	28.34	65.21	21.27	1.63	24.60	1.80	6.37	0.3	29.84	25.92	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	116	3.30	3.30	1.62	3.37	2.04	11.11	63.90	1.45	86.67	70.77	4.07	28.53	65.58	21.08	1.66	24.33	1.82	6.30	0.3	30.18	26.17	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	118	3.30	3.30	1.62	3.41	2.04	11.24	63.90	1.45	86.86	71.82	4.11	28.73	65.95	20.90	1.69	24.07	1.84	6.23	0.3	30.53	26.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
70	120	3.30	3.30	1.62	3.44	2.04	11.36	63.90	1.45	87.05	72.87	4.15	28.92	66.32	20.73	1.71	23.81	1.86	6.16	0.3	30.87	26.65	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí



V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.48		f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE														CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	θ °	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Δe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
80	40	1.80	1.50	0.86	3.04	2.08	5.46	64.36	0.78	88.20	33.16	2.02	19.83	46.00	42.19	0.50	47.84	0.89	14.64	0.3	14.85	15.10	RH sumergido	No cumple	N/A obra
80	42	1.80	1.80	0.86	3.14	2.08	5.64	64.36	0.78	88.47	34.58	2.08	20.22	47.20	41.27	0.53	46.65	0.92	14.17	0.3	15.34	15.51	RH sumergido	No cumple	N/A obra
80	44	1.80	1.80	0.86	3.23	2.08	5.82	64.36	0.78	88.73	35.99	2.14	20.60	48.34	40.39	0.55	45.52	0.95	13.74	0.3	15.83	15.90	RH sumergido	No cumple	N/A obra
80	46	1.80	1.80	0.86	3.33	2.08	6.00	64.36	0.78	89.00	37.39	2.19	20.97	49.43	39.57	0.58	44.46	0.98	13.34	0.3	16.30	16.29	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
80	48	2.10	1.80	1.01	2.94	2.08	6.17	64.36	0.91	89.25	37.09	2.29	21.00	50.07	39.19	0.60	43.90	1.01	12.97	0.3	16.77	16.67	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
80	50	2.10	1.80	1.01	3.02	2.08	6.34	64.36	0.91	89.51	38.41	2.34	21.35	51.07	38.44	0.63	42.95	1.04	12.62	0.3	17.24	17.04	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
80	52	2.10	2.10	1.01	3.10	2.08	6.51	64.36	0.91	89.76	39.73	2.40	21.68	52.03	37.74	0.65	42.04	1.06	12.29	0.3	17.69	17.40	RH desplazado	No cumple	Pozo de disipación
80	54	2.10	2.10	1.01	3.18	2.08	6.67	64.36	0.91	90.01	41.04	2.45	22.01	52.95	37.07	0.68	41.18	1.09	11.99	0.3	18.14	17.76	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	56	2.10	2.10	1.01	3.26	2.08	6.84	64.36	0.91	90.26	42.35	2.51	22.34	53.83	36.43	0.70	40.36	1.12	11.70	0.3	18.59	18.11	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	58	2.10	2.10	1.01	3.33	2.08	7.00	64.36	0.91	90.50	43.64	2.56	22.65	54.68	35.82	0.73	39.58	1.14	11.43	0.3	19.03	18.46	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	60	2.10	2.10	1.01	3.41	2.08	7.16	64.36	0.94	90.74	44.94	2.61	22.96	55.41	35.33	0.75	38.94	1.17	11.17	0.3	19.46	18.80	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	62	2.40	2.10	1.15	3.05	2.08	7.32	64.36	1.04	90.98	44.47	2.70	22.95	55.97	35.01	0.78	38.48	1.20	10.93	0.3	19.89	19.14	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	64	2.40	2.10	1.15	3.11	2.08	7.47	64.36	1.04	91.21	45.70	2.75	23.25	56.74	34.47	0.80	37.79	1.22	10.70	0.3	20.32	19.47	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	66	2.40	2.40	1.15	3.18	2.08	7.63	64.36	1.04	91.44	46.92	2.80	23.54	57.48	33.96	0.83	37.14	1.25	10.49	0.3	20.74	19.79	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	68	2.40	2.40	1.15	3.24	2.08	7.78	64.36	1.04	91.67	48.14	2.85	23.82	58.21	33.47	0.85	36.51	1.27	10.28	0.3	21.16	20.11	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	70	2.40	2.40	1.15	3.31	2.08	7.93	64.36	1.04	91.90	49.36	2.91	24.10	58.91	33.00	0.88	35.90	1.30	10.08	0.3	21.57	20.43	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	72	2.45	2.40	1.18	3.30	2.08	8.08	64.36	1.06	92.13	50.27	2.96	24.32	59.54	32.59	0.90	35.38	1.32	9.90	0.3	21.98	20.74	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	74	2.45	2.40	1.18	3.36	2.08	8.23	64.36	1.06	92.35	51.46	3.01	24.59	60.20	32.15	0.93	34.82	1.35	9.72	0.3	22.38	21.05	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	76	2.50	2.40	1.20	3.35	2.08	8.38	64.36	1.08	92.57	52.35	3.06	24.80	60.79	31.78	0.95	34.33	1.37	9.54	0.3	22.79	21.36	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	78	2.70	2.70	1.30	3.16	2.08	8.53	64.36	1.17	92.79	52.35	3.14	24.87	61.24	31.55	0.98	34.00	1.39	9.38	0.3	23.18	21.66	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	80	2.70	2.70	1.30	3.21	2.08	8.67	64.36	1.17	93.01	53.50	3.18	25.12	61.85	31.16	1.00	33.50	1.42	9.22	0.3	23.58	21.96	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	82	2.70	2.70	1.30	3.27	2.08	8.82	64.36	1.17	93.23	54.65	3.23	25.37	62.45	30.78	1.03	33.01	1.44	9.07	0.3	23.97	22.25	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	84	2.70	2.70	1.30	3.32	2.08	8.96	64.36	1.17	93.44	55.80	3.28	25.62	63.03	30.41	1.05	32.55	1.47	8.93	0.3	24.36	22.55	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	86	2.75	2.70	1.32	3.31	2.08	9.10	64.36	1.19	93.65	56.64	3.33	25.81	63.55	30.10	1.08	32.14	1.49	8.79	0.3	24.74	22.83	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	88	2.75	2.70	1.32	3.36	2.08	9.24	64.36	1.19	93.86	57.77	3.38	26.05	64.11	29.76	1.10	31.70	1.51	8.66	0.3	25.12	23.12	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	90	2.80	2.70	1.34	3.35	2.08	9.38	64.36	1.21	94.07	58.59	3.43	26.24	64.61	29.46	1.13	31.32	1.53	8.53	0.3	25.50	23.40	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	92	3.00	3.00	1.44	3.17	2.08	9.52	64.36	1.30	94.28	58.52	3.50	26.29	64.99	29.29	1.15	31.07	1.56	8.40	0.3	25.88	23.68	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	94	3.00	3.00	1.44	3.22	2.08	9.66	64.36	1.30	94.49	59.61	3.55	26.51	65.51	28.98	1.18	30.67	1.58	8.28	0.3	26.25	23.96	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	96	3.00	3.00	1.44	3.26	2.08	9.79	64.36	1.30	94.69	60.70	3.59	26.74	66.02	28.68	1.20	30.28	1.60	8.17	0.3	26.63	24.23	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	98	3.00	3.00	1.44	3.31	2.08	9.93	64.36	1.30	94.89	61.79	3.64	26.96	66.51	28.38	1.23	29.91	1.62	8.06	0.3	26.99	24.50	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	100	3.00	3.00	1.44	3.35	2.08	10.06	64.36	1.30	95.10	62.87	3.68	27.18	67.00	28.10	1.25	29.54	1.65	7.95	0.3	27.36	24.77	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	102	3.00	3.00	1.44	3.40	2.08	10.20	64.36	1.30	95.30	63.95	3.72	27.39	67.48	27.82	1.28	29.19	1.67	7.84	0.3	27.72	25.04	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	104	3.00	3.00	1.44	3.44	2.08	10.33	64.36	1.30	95.50	65.03	3.77	27.61	67.95	27.55	1.30	28.85	1.69	7.74	0.3	28.08	25.30	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	106	3.00	3.00	1.44	3.49	2.08	10.46	64.36	1.30	95.69	66.10	3.81	27.82	68.41	27.29	1.33	28.51	1.71	7.65	0.3	28.44	25.56	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	108	3.30	3.30	1.58	3.21	2.08	10.59	64.36	1.43	95.89	65.34	3.89	27.76	68.66	27.23	1.35	28.39	1.73	7.55	0.3	28.80	25.82	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	110	3.30	3.30	1.58	3.25	2.08	10.72	64.36	1.43	96.09	66.38	3.93	27.97	69.11	26.98	1.38	28.08	1.75	7.46	0.3	29.15	26.08	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	112	3.30	3.30	1.58	3.29	2.08	10.85	64.36	1.43	96.28	67.42	3.98	28.17	69.55	26.73	1.40	27.77	1.78	7.37	0.3	29.51	26.33	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	114	3.30	3.30	1.58	3.33	2.08	10.98	64.36	1.43	96.47	68.45	4.02	28.37	69.98	26.50	1.43	27.47	1.80	7.28	0.3	29.86	26.59	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	116	3.30	3.30	1.58	3.37	2.08	11.11	64.36	1.43	96.67	69.49	4.06	28.57	70.40	26.27	1.45	27.17	1.82	7.20	0.3	30.21	26.84	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	118	3.30	3.30	1.58	3.41	2.08	11.24	64.36	1.43	96.86	70.51	4.10	28.76	70.81	26.04	1.48	26.89	1.84	7.12	0.3	30.55	27.09	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
80	120	3.30	3.30	1.58	3.44	2.08	11.36	64.36	1.43	97.05	71.54	4.14	28.96	71.22	25.82	1.50	26.61	1.86	7.04	0.3	30.90	27.33	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.48		f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE														CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	θ °	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Λe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
90	40	1.80	1.50	0.86	3.04	2.08	5.46	64.36	0.78	98.20	33.16	2.02	19.83	47.22	50.98	0.44	51.92	0.89	16.47	0.3	14.85	15.44	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	42	1.80	1.80	0.86	3.14	2.08	5.64	64.36	0.78	98.47	34.58	2.08	20.22	48.57	49.90	0.47	50.67	0.92	15.95	0.3	15.34	15.86	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	44	1.80	1.80	0.86	3.23	2.08	5.82	64.36	0.78	98.73	35.99	2.14	20.60	49.86	48.88	0.49	49.50	0.95	15.46	0.3	15.83	16.26	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	46	1.80	1.80	0.86	3.33	2.08	6.00	64.36	0.78	99.00	37.39	2.19	20.97	51.09	47.91	0.51	48.39	0.98	15.01	0.3	16.30	16.66	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	48	2.10	1.80	1.01	2.94	2.08	6.17	64.36	0.91	99.25	37.09	2.29	21.00	51.80	47.46	0.53	47.81	1.01	14.59	0.3	16.77	17.04	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	50	2.10	1.80	1.01	3.02	2.08	6.34	64.36	0.91	99.51	38.41	2.34	21.35	52.93	46.58	0.56	46.81	1.04	14.20	0.3	17.24	17.42	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	52	2.10	2.10	1.01	3.10	2.08	6.51	64.36	0.91	99.76	39.73	2.40	21.68	54.01	45.75	0.58	45.86	1.06	13.83	0.3	17.69	17.80	RH sumergido	No cumple	N/A obra
90	54	2.10	2.10	1.01	3.18	2.08	6.67	64.36	0.91	100.01	41.04	2.45	22.01	55.05	44.96	0.60	44.95	1.09	13.49	0.3	18.14	18.16	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
90	56	2.10	2.10	1.01	3.26	2.08	6.84	64.36	0.91	100.26	42.35	2.51	22.34	56.05	44.20	0.62	44.09	1.12	13.16	0.3	18.59	18.52	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	58	2.10	2.10	1.01	3.33	2.08	7.00	64.36	0.91	100.50	43.64	2.56	22.65	57.02	43.48	0.64	43.27	1.14	12.86	0.3	19.03	18.88	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	60	2.10	2.10	1.01	3.41	2.08	7.16	64.36	0.94	100.74	44.94	2.61	22.96	57.83	42.91	0.67	42.59	1.17	12.57	0.3	19.46	19.22	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	62	2.40	2.10	1.15	3.05	2.08	7.32	64.36	1.04	100.98	44.47	2.70	22.95	58.46	42.51	0.69	42.10	1.20	12.30	0.3	19.89	19.57	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	64	2.40	2.10	1.15	3.11	2.08	7.47	64.36	1.04	101.21	45.70	2.75	23.25	59.33	41.88	0.71	41.38	1.22	12.04	0.3	20.32	19.91	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	66	2.40	2.40	1.15	3.18	2.08	7.63	64.36	1.04	101.44	46.92	2.80	23.54	60.18	41.27	0.73	40.68	1.25	11.80	0.3	20.74	20.24	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	68	2.40	2.40	1.15	3.24	2.08	7.78	64.36	1.04	101.67	48.14	2.85	23.82	60.99	40.68	0.76	40.01	1.27	11.56	0.3	21.16	20.57	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	70	2.40	2.40	1.15	3.31	2.08	7.93	64.36	1.04	101.90	49.36	2.91	24.10	61.78	40.12	0.78	39.37	1.30	11.34	0.3	21.57	20.89	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	72	2.45	2.40	1.18	3.30	2.08	8.08	64.36	1.06	102.13	50.27	2.96	24.32	62.49	39.63	0.80	38.81	1.32	11.13	0.3	21.98	21.21	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	74	2.45	2.40	1.18	3.36	2.08	8.23	64.36	1.06	102.35	51.46	3.01	24.59	63.24	39.11	0.82	38.21	1.35	10.93	0.3	22.38	21.53	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	76	2.50	2.40	1.20	3.35	2.08	8.38	64.36	1.08	102.57	52.35	3.06	24.80	63.91	38.66	0.84	37.69	1.37	10.74	0.3	22.79	21.84	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	78	2.70	2.70	1.30	3.16	2.08	8.53	64.36	1.17	102.79	52.35	3.14	24.87	64.41	38.38	0.87	37.34	1.39	10.55	0.3	23.18	22.15	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	80	2.70	2.70	1.30	3.21	2.08	8.67	64.36	1.17	103.01	53.50	3.18	25.12	65.10	37.91	0.89	36.80	1.42	10.38	0.3	23.58	22.46	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	82	2.70	2.70	1.30	3.27	2.08	8.82	64.36	1.17	103.23	54.65	3.23	25.37	65.77	37.46	0.91	36.29	1.44	10.21	0.3	23.97	22.76	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	84	2.70	2.70	1.30	3.32	2.08	8.96	64.36	1.17	103.44	55.80	3.28	25.62	66.42	37.02	0.93	35.79	1.47	10.04	0.3	24.36	23.06	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	86	2.75	2.70	1.32	3.31	2.08	9.10	64.36	1.19	103.65	56.64	3.33	25.81	67.01	36.64	0.96	35.35	1.49	9.89	0.3	24.74	23.35	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	88	2.75	2.70	1.32	3.36	2.08	9.24	64.36	1.19	103.86	57.77	3.38	26.05	67.64	36.23	0.98	34.88	1.51	9.74	0.3	25.12	23.64	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	90	2.80	2.70	1.34	3.35	2.08	9.38	64.36	1.21	104.07	58.59	3.43	26.24	68.20	35.87	1.00	34.47	1.53	9.59	0.3	25.50	23.93	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	92	3.00	3.00	1.44	3.17	2.08	9.52	64.36	1.30	104.28	58.52	3.50	26.29	68.61	35.67	1.02	34.20	1.56	9.45	0.3	25.88	24.22	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	94	3.00	3.00	1.44	3.22	2.08	9.66	64.36	1.30	104.49	59.61	3.55	26.51	69.20	35.29	1.04	33.77	1.58	9.32	0.3	26.25	24.50	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	96	3.00	3.00	1.44	3.26	2.08	9.79	64.36	1.30	104.69	60.70	3.59	26.74	69.77	34.92	1.07	33.36	1.60	9.19	0.3	26.63	24.78	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	98	3.00	3.00	1.44	3.31	2.08	9.93	64.36	1.30	104.89	61.79	3.64	26.96	70.33	34.57	1.09	32.95	1.62	9.06	0.3	26.99	25.06	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	100	3.00	3.00	1.44	3.35	2.08	10.06	64.36	1.30	105.10	62.87	3.68	27.18	70.87	34.22	1.11	32.56	1.65	8.94	0.3	27.36	25.33	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	102	3.00	3.00	1.44	3.40	2.08	10.20	64.36	1.30	105.30	63.95	3.72	27.39	71.41	33.89	1.13	32.18	1.67	8.83	0.3	27.72	25.60	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	104	3.00	3.00	1.44	3.44	2.08	10.33	64.36	1.30	105.50	65.03	3.77	27.61	71.94	33.56	1.16	31.81	1.69	8.71	0.3	28.08	25.87	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	106	3.00	3.00	1.44	3.49	2.08	10.46	64.36	1.30	105.69	66.10	3.81	27.82	72.45	33.24	1.18	31.45	1.71	8.60	0.3	28.44	26.14	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	108	3.30	3.30	1.58	3.21	2.08	10.59	64.36	1.43	105.89	65.34	3.89	27.76	72.72	33.17	1.20	31.32	1.73	8.50	0.3	28.80	26.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	110	3.30	3.30	1.58	3.25	2.08	10.72	64.36	1.43	106.09	66.38	3.93	27.97	73.22	32.87	1.22	30.98	1.75	8.39	0.3	29.15	26.67	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	112	3.30	3.30	1.58	3.29	2.08	10.85	64.36	1.43	106.28	67.42	3.98	28.17	73.71	32.57	1.24	30.65	1.78	8.29	0.3	29.51	26.93	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	114	3.30	3.30	1.58	3.33	2.08	10.98	64.36	1.43	106.47	68.45	4.02	28.37	74.19	32.28	1.27	30.32	1.80	8.19	0.3	29.86	27.19	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	116	3.30	3.30	1.58	3.37	2.08	11.11	64.36	1.43	106.67	69.49	4.06	28.57	74.66	32.00	1.29	30.00	1.82	8.10	0.3	30.21	27.45	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	118	3.30	3.30	1.58	3.41	2.08	11.24	64.36	1.43	106.86	70.51	4.10	28.76	75.13	31.73	1.31	29.69	1.84	8.01	0.3	30.55	27.70	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
90	120	3.30	3.30	1.58	3.44	2.08	11.36	64.36	1.43	107.05	71.54	4.14	28.96	75.58	31.46	1.33	29.39	1.86	7.92	0.3	30.90	27.95	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí



V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.47		f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE														CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	θ °	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Δe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
100	40	1.80	1.50	0.85	3.04	2.13	5.46	64.83	0.77	108.20	32.54	2.02	19.85	48.14	60.05	0.40	55.50	0.89	18.30	0.3	14.86	15.76	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	42	1.80	1.80	0.85	3.14	2.13	5.64	64.83	0.77	108.47	33.93	2.08	20.24	49.64	58.82	0.42	54.23	0.92	17.72	0.3	15.36	16.18	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	44	1.80	1.80	0.85	3.23	2.13	5.82	64.83	0.77	108.73	35.32	2.13	20.62	51.07	57.66	0.44	53.03	0.95	17.18	0.3	15.84	16.59	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	46	1.80	1.80	0.85	3.33	2.13	6.00	64.83	0.77	109.00	36.69	2.19	20.99	52.44	56.55	0.46	51.89	0.98	16.67	0.3	16.32	16.99	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	48	2.10	1.80	0.99	2.94	2.13	6.17	64.83	0.89	109.25	36.40	2.28	21.02	53.22	56.03	0.48	51.29	1.01	16.21	0.3	16.79	17.39	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	50	2.10	1.80	0.99	3.02	2.13	6.34	64.83	0.89	109.51	37.70	2.34	21.37	54.48	55.03	0.50	50.25	1.04	15.77	0.3	17.25	17.77	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	52	2.10	2.10	0.99	3.10	2.13	6.51	64.83	0.89	109.76	38.99	2.40	21.71	55.69	54.08	0.52	49.27	1.06	15.37	0.3	17.71	18.16	RH sumergido	No cumple	N/A obra
100	54	2.10	2.10	0.99	3.18	2.13	6.67	64.83	0.89	110.01	40.28	2.45	22.04	56.85	53.16	0.54	48.33	1.09	14.98	0.3	18.16	18.53	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
100	56	2.10	2.10	0.99	3.26	2.13	6.84	64.83	0.89	110.26	41.56	2.50	22.36	57.96	52.29	0.56	47.43	1.12	14.63	0.3	18.60	18.90	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
100	58	2.10	2.10	0.99	3.33	2.13	7.00	64.83	0.89	110.50	42.83	2.56	22.68	59.04	51.46	0.58	46.57	1.14	14.29	0.3	19.04	19.26	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
100	60	2.10	2.10	0.99	3.41	2.13	7.16	64.83	0.93	110.74	44.10	2.61	22.99	59.94	50.80	0.60	45.87	1.17	13.97	0.3	19.48	19.61	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
100	62	2.40	2.10	1.13	3.05	2.13	7.32	64.83	1.02	110.98	43.64	2.70	22.98	60.64	50.34	0.62	45.36	1.20	13.67	0.3	19.91	19.96	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
100	64	2.40	2.10	1.13	3.11	2.13	7.47	64.83	1.02	111.21	44.84	2.75	23.27	61.61	49.60	0.64	44.60	1.22	13.38	0.3	20.33	20.31	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	66	2.40	2.40	1.13	3.18	2.13	7.63	64.83	1.02	111.44	46.05	2.80	23.56	62.55	48.89	0.66	43.87	1.25	13.11	0.3	20.76	20.65	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	68	2.40	2.40	1.13	3.24	2.13	7.78	64.83	1.02	111.67	47.24	2.85	23.85	63.46	48.21	0.68	43.17	1.27	12.85	0.3	21.17	20.99	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	70	2.40	2.40	1.13	3.31	2.13	7.93	64.83	1.02	111.90	48.44	2.90	24.12	64.34	47.56	0.70	42.50	1.30	12.60	0.3	21.59	21.32	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	72	2.45	2.40	1.15	3.30	2.13	8.08	64.83	1.04	112.13	49.33	2.96	24.35	65.14	46.99	0.72	41.91	1.32	12.37	0.3	21.99	21.64	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	74	2.45	2.40	1.15	3.36	2.13	8.23	64.83	1.04	112.35	50.50	3.01	24.62	65.97	46.38	0.74	41.28	1.35	12.15	0.3	22.40	21.97	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	76	2.50	2.40	1.18	3.35	2.13	8.38	64.83	1.06	112.57	51.37	3.06	24.83	66.71	45.86	0.76	40.74	1.37	11.93	0.3	22.80	22.28	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	78	2.70	2.70	1.27	3.16	2.13	8.53	64.83	1.15	112.79	51.37	3.13	24.90	67.26	45.53	0.78	40.37	1.39	11.73	0.3	23.20	22.60	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	80	2.70	2.70	1.27	3.21	2.13	8.67	64.83	1.15	113.01	52.51	3.18	25.15	68.03	44.98	0.80	39.80	1.42	11.53	0.3	23.60	22.91	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	82	2.70	2.70	1.27	3.27	2.13	8.82	64.83	1.15	113.23	53.63	3.23	25.40	68.78	44.45	0.82	39.26	1.44	11.34	0.3	23.99	23.22	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	84	2.70	2.70	1.27	3.32	2.13	8.96	64.83	1.15	113.44	54.76	3.28	25.65	69.51	43.93	0.84	38.73	1.47	11.16	0.3	24.38	23.52	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	86	2.75	2.70	1.29	3.31	2.13	9.10	64.83	1.17	113.65	55.88	3.33	25.84	70.16	43.49	0.86	38.27	1.49	10.99	0.3	24.76	23.82	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	88	2.75	2.70	1.29	3.36	2.13	9.24	64.83	1.17	113.86	56.69	3.37	26.08	70.85	43.01	0.88	37.77	1.51	10.82	0.3	25.14	24.12	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	90	2.80	2.70	1.32	3.35	2.13	9.38	64.83	1.19	114.07	57.49	3.43	26.27	71.48	42.59	0.90	37.34	1.53	10.66	0.3	25.52	24.41	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	92	3.00	3.00	1.41	3.17	2.13	9.52	64.83	1.28	114.28	57.43	3.50	26.32	71.93	42.35	0.92	37.05	1.56	10.50	0.3	25.90	24.71	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	94	3.00	3.00	1.41	3.22	2.13	9.66	64.83	1.28	114.49	58.50	3.54	26.54	72.58	41.90	0.94	36.60	1.58	10.35	0.3	26.27	24.99	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	96	3.00	3.00	1.41	3.26	2.13	9.79	64.83	1.28	114.69	59.57	3.59	26.77	73.22	41.47	0.96	36.16	1.60	10.21	0.3	26.64	25.28	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	98	3.00	3.00	1.41	3.31	2.13	9.93	64.83	1.28	114.89	60.64	3.63	26.99	73.84	41.06	0.98	35.73	1.62	10.07	0.3	27.01	25.56	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	100	3.00	3.00	1.41	3.35	2.13	10.06	64.83	1.28	115.10	61.70	3.68	27.21	74.45	40.65	1.00	35.32	1.65	9.94	0.3	27.38	25.84	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	102	3.00	3.00	1.41	3.40	2.13	10.20	64.83	1.28	115.30	62.76	3.72	27.43	75.04	40.25	1.02	34.91	1.67	9.81	0.3	27.74	26.12	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	104	3.00	3.00	1.41	3.44	2.13	10.33	64.83	1.28	115.50	63.82	3.76	27.64	75.63	39.87	1.04	34.52	1.69	9.68	0.3	28.11	26.40	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	106	3.00	3.00	1.41	3.49	2.13	10.46	64.83	1.28	115.69	64.87	3.81	27.85	76.20	39.50	1.06	34.14	1.71	9.56	0.3	28.46	26.67	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	108	3.30	3.30	1.55	3.21	2.13	10.59	64.83	1.40	115.89	64.12	3.89	27.79	76.49	39.40	1.08	34.00	1.73	9.44	0.3	28.82	26.94	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	110	3.30	3.30	1.55	3.25	2.13	10.72	64.83	1.40	116.09	65.14	3.93	28.00	77.04	39.05	1.10	33.64	1.75	9.32	0.3	29.18	27.21	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	112	3.30	3.30	1.55	3.29	2.13	10.85	64.83	1.40	116.28	66.16	3.97	28.20	77.58	38.70	1.12	33.28	1.78	9.21	0.3	29.53	27.47	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	114	3.30	3.30	1.55	3.33	2.13	10.98	64.83	1.40	116.47	67.18	4.01	28.40	78.11	38.36	1.14	32.94	1.80	9.11	0.3	29.88	27.74	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	116	3.30	3.30	1.55	3.37	2.13	11.11	64.83	1.40	116.67	68.19	4.06	28.60	78.63	38.03	1.16	32.60	1.82	9.00	0.3	30.23	28.00	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	118	3.30	3.30	1.55	3.41	2.13	11.24	64.83	1.40	116.86	69.20	4.10	28.80	79.15	37.71	1.18	32.27	1.84	8.90	0.3	30.57	28.26	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
100	120	3.30	3.30	1.55	3.44	2.13	11.36	64.83	1.40	117.05	70.21	4.14	28.99	79.65	37.39	1.20	31.95	1.86	8.80	0.3	30.92	28.52	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.47		f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE														CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	θ °	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Δe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
110	40	1.80	1.50	0.85	3.04	2.13	5.46	64.83	0.77	118.20	32.54	2.02	19.85	48.50	69.70	0.36	58.97	0.89	20.13	0.3	14.86	16.04	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	42	1.80	1.80	0.85	3.14	2.13	5.64	64.83	0.77	118.47	33.93	2.08	20.24	50.14	68.32	0.38	57.67	0.92	19.49	0.3	15.36	16.47	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	44	1.80	1.80	0.85	3.23	2.13	5.82	64.83	0.77	118.73	35.32	2.13	20.62	51.71	67.02	0.40	56.45	0.95	18.89	0.3	15.84	16.89	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	46	1.80	1.80	0.85	3.33	2.13	6.00	64.83	0.77	119.00	36.69	2.19	20.99	53.22	65.78	0.42	55.28	0.98	18.34	0.3	16.32	17.30	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	48	2.10	1.80	0.99	2.94	2.13	6.17	64.83	0.89	119.25	36.40	2.28	21.02	54.06	65.19	0.44	54.67	1.01	17.83	0.3	16.79	17.70	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	50	2.10	1.80	0.99	3.02	2.13	6.34	64.83	0.89	119.51	37.70	2.34	21.37	55.44	64.07	0.45	53.61	1.04	17.35	0.3	17.25	18.10	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	52	2.10	2.10	0.99	3.10	2.13	6.51	64.83	0.89	119.76	38.99	2.40	21.71	56.77	62.99	0.47	52.59	1.06	16.90	0.3	17.71	18.49	RH sumergido	No cumple	N/A obra
110	54	2.10	2.10	0.99	3.18	2.13	6.67	64.83	0.89	120.01	40.28	2.45	22.04	58.05	61.96	0.49	51.63	1.09	16.48	0.3	18.16	18.87	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	56	2.10	2.10	0.99	3.26	2.13	6.84	64.83	0.89	120.26	41.56	2.50	22.36	59.28	60.97	0.51	50.70	1.12	16.09	0.3	18.60	19.24	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	58	2.10	2.10	0.99	3.33	2.13	7.00	64.83	0.89	120.50	42.83	2.56	22.68	60.47	60.03	0.53	49.82	1.14	15.72	0.3	19.04	19.61	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	60	2.10	2.10	0.99	3.41	2.13	7.16	64.83	0.93	120.74	44.10	2.61	22.99	61.47	59.27	0.55	49.09	1.17	15.36	0.3	19.48	19.97	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	62	2.40	2.10	1.13	3.05	2.13	7.32	64.83	1.02	120.98	43.64	2.70	22.98	62.23	58.75	0.56	48.56	1.20	15.03	0.3	19.91	20.33	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	64	2.40	2.10	1.13	3.11	2.13	7.47	64.83	1.02	121.21	44.84	2.75	23.27	63.30	57.91	0.58	47.78	1.22	14.72	0.3	20.33	20.68	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	66	2.40	2.40	1.13	3.18	2.13	7.63	64.83	1.02	121.44	46.05	2.80	23.56	64.34	57.10	0.60	47.02	1.25	14.42	0.3	20.76	21.03	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	68	2.40	2.40	1.13	3.24	2.13	7.78	64.83	1.02	121.67	47.24	2.85	23.85	65.35	56.33	0.62	46.29	1.27	14.13	0.3	21.17	21.37	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	70	2.40	2.40	1.13	3.31	2.13	7.93	64.83	1.02	121.90	48.44	2.90	24.12	66.32	55.58	0.64	45.59	1.30	13.86	0.3	21.59	21.71	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	72	2.45	2.40	1.15	3.30	2.13	8.08	64.83	1.04	122.13	49.33	2.96	24.35	67.19	54.93	0.65	44.98	1.32	13.61	0.3	21.99	22.04	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
110	74	2.45	2.40	1.15	3.36	2.13	8.23	64.83	1.04	122.35	50.50	3.01	24.62	68.12	54.24	0.67	44.33	1.35	13.36	0.3	22.40	22.37	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	76	2.50	2.40	1.18	3.35	2.13	8.38	64.83	1.06	122.57	51.37	3.06	24.83	68.94	53.63	0.69	43.76	1.37	13.12	0.3	22.80	22.69	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	78	2.70	2.70	1.27	3.16	2.13	8.53	64.83	1.15	122.79	51.37	3.13	24.90	69.53	53.26	0.71	43.37	1.39	12.90	0.3	23.20	23.01	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	80	2.70	2.70	1.27	3.21	2.13	8.67	64.83	1.15	123.01	52.51	3.18	25.15	70.38	52.63	0.73	42.78	1.42	12.68	0.3	23.60	23.33	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	82	2.70	2.70	1.27	3.27	2.13	8.82	64.83	1.15	123.23	53.63	3.23	25.40	71.21	52.01	0.75	42.21	1.44	12.48	0.3	23.99	23.64	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	84	2.70	2.70	1.27	3.32	2.13	8.96	64.83	1.15	123.44	54.76	3.28	25.65	72.02	51.42	0.76	41.66	1.47	12.28	0.3	24.38	23.95	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	86	2.75	2.70	1.29	3.31	2.13	9.10	64.83	1.17	123.65	55.58	3.33	25.84	72.74	50.91	0.78	41.17	1.49	12.09	0.3	24.76	24.26	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	88	2.75	2.70	1.29	3.36	2.13	9.24	64.83	1.17	123.86	56.69	3.37	26.08	73.51	50.36	0.80	40.65	1.51	11.90	0.3	25.14	24.56	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	90	2.80	2.70	1.32	3.35	2.13	9.38	64.83	1.19	124.07	57.49	3.43	26.27	74.19	49.88	0.82	40.20	1.53	11.73	0.3	25.52	24.86	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	92	3.00	3.00	1.41	3.17	2.13	9.52	64.83	1.28	124.28	57.43	3.50	26.32	74.69	49.59	0.84	39.90	1.56	11.55	0.3	25.90	25.16	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	94	3.00	3.00	1.41	3.22	2.13	9.66	64.83	1.28	124.49	58.50	3.54	26.54	75.41	49.08	0.85	39.43	1.58	11.39	0.3	26.27	25.45	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	96	3.00	3.00	1.41	3.26	2.13	9.79	64.83	1.28	124.69	59.57	3.59	26.77	76.11	48.58	0.87	38.96	1.60	11.23	0.3	26.64	25.74	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	98	3.00	3.00	1.41	3.31	2.13	9.93	64.83	1.28	124.89	60.64	3.63	26.99	76.79	48.10	0.89	38.51	1.62	11.08	0.3	27.01	26.03	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	100	3.00	3.00	1.41	3.35	2.13	10.06	64.83	1.28	125.10	61.70	3.68	27.21	77.47	47.63	0.91	38.08	1.65	10.93	0.3	27.38	26.32	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	102	3.00	3.00	1.41	3.40	2.13	10.20	64.83	1.28	125.30	62.76	3.72	27.43	78.12	47.17	0.93	37.65	1.67	10.79	0.3	27.74	26.60	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	104	3.00	3.00	1.41	3.44	2.13	10.33	64.83	1.28	125.50	63.82	3.76	27.64	78.77	46.73	0.95	37.24	1.69	10.65	0.3	28.11	26.88	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	106	3.00	3.00	1.41	3.49	2.13	10.46	64.83	1.28	125.69	64.87	3.81	27.85	79.40	46.30	0.96	36.83	1.71	10.51	0.3	28.46	27.16	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	108	3.30	3.30	1.55	3.21	2.13	10.59	64.83	1.40	125.89	64.12	3.89	27.79	79.70	46.19	0.98	36.69	1.73	10.38	0.3	28.82	27.43	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	110	3.30	3.30	1.55	3.25	2.13	10.72	64.83	1.40	126.09	65.14	3.93	28.00	80.31	45.77	1.00	36.30	1.75	10.26	0.3	29.18	27.71	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	112	3.30	3.30	1.55	3.29	2.13	10.85	64.83	1.40	126.28	66.16	3.97	28.20	80.91	45.37	1.02	35.93	1.78	10.13	0.3	29.53	27.98	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	114	3.30	3.30	1.55	3.33	2.13	10.98	64.83	1.40	126.47	67.18	4.01	28.40	81.50	44.98	1.04	35.56	1.80	10.02	0.3	29.88	28.25	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	116	3.30	3.30	1.55	3.37	2.13	11.11	64.83	1.40	126.67	68.19	4.06	28.60	82.07	44.59	1.05	35.21	1.82	9.90	0.3	30.23	28.51	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	118	3.30	3.30	1.55	3.41	2.13	11.24	64.83	1.40	126.86	69.20	4.10	28.80	82.64	44.22	1.07	34.86	1.84	9.79	0.3	30.57	28.78	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
110	120	3.30	3.30	1.55	3.44	2.13	11.36	64.83	1.40	127.05	70.21	4.14	28.99	83.19	43.85	1.09	34.52	1.86	9.68	0.3	30.92	29.04	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí



V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.47		f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE														CONDICIONES PARA QUE LA DISIPACIÓN NO SEA DESPRECIABLE			CONDICIÓN DE SUMERSIÓN			CHEQUEO POR VELOCIDAD	OBRA DE DISIPACIÓN
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	h asum (m)	hrec (m)	l (m)	hcr/h	h/l	hcr (m)	θ °	ks	Hmáx (m)	Li (m)	Yi (m)	Uw (m/s)	Hres (m)	Δe (m)	q/Hp	%	0.0764q <sup>2/3</sup> ≤ Ks	Hp/hcr ≥ 8	h/hcr ≥ 0.3	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Uw > 22 m/s	TIPO DE OBRA
120	40	1.80	1.50	0.85	3.04	2.13	5.46	64.83	0.77	128.20	32.54	2.02	19.85	48.51	79.68	0.33	62.16	0.89	21.96	0.3	14.86	16.31	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	42	1.80	1.80	0.85	3.14	2.13	5.64	64.83	0.77	128.47	33.93	2.08	20.24	50.29	78.18	0.35	60.85	0.92	21.26	0.3	15.36	16.75	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	44	1.80	1.80	0.85	3.23	2.13	5.82	64.83	0.77	128.73	35.32	2.13	20.62	51.99	76.74	0.37	59.62	0.95	20.61	0.3	15.84	17.17	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	46	1.80	1.80	0.85	3.33	2.13	6.00	64.83	0.77	129.00	36.69	2.19	20.99	53.62	75.38	0.38	58.43	0.98	20.01	0.3	16.32	17.59	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	48	2.10	1.80	0.99	2.94	2.13	6.17	64.83	0.89	129.25	36.40	2.28	21.02	54.53	74.73	0.40	57.81	1.01	19.45	0.3	16.79	18.00	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	50	2.10	1.80	0.99	3.02	2.13	6.34	64.83	0.89	129.51	37.70	2.34	21.37	56.03	73.48	0.42	56.74	1.04	18.93	0.3	17.25	18.40	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	52	2.10	2.10	0.99	3.10	2.13	6.51	64.83	0.89	129.76	38.99	2.40	21.71	57.48	72.28	0.43	55.70	1.06	18.44	0.3	17.71	18.80	RH sumergido	No cumple	N/A obra
120	54	2.10	2.10	0.99	3.18	2.13	6.67	64.83	0.89	130.01	40.28	2.45	22.04	58.87	71.14	0.45	54.72	1.09	17.98	0.3	18.16	19.18	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	56	2.10	2.10	0.99	3.26	2.13	6.84	64.83	0.89	130.26	41.56	2.50	22.36	60.21	70.04	0.47	53.77	1.12	17.55	0.3	18.60	19.56	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	58	2.10	2.10	0.99	3.33	2.13	7.00	64.83	0.89	130.50	42.83	2.56	22.68	61.51	68.99	0.48	52.87	1.14	17.14	0.3	19.04	19.94	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	60	2.10	2.10	0.99	3.41	2.13	7.16	64.83	0.93	130.74	44.10	2.61	22.99	62.59	68.15	0.50	52.12	1.17	16.76	0.3	19.48	20.31	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	62	2.40	2.10	1.13	3.05	2.13	7.32	64.83	1.02	130.98	43.64	2.70	22.98	63.42	67.56	0.52	51.58	1.20	16.40	0.3	19.91	20.67	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	64	2.40	2.10	1.13	3.11	2.13	7.47	64.83	1.02	131.21	44.84	2.75	23.27	64.59	66.62	0.53	50.77	1.22	16.06	0.3	20.33	21.03	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	66	2.40	2.40	1.13	3.18	2.13	7.63	64.83	1.02	131.44	46.05	2.80	23.56	65.73	65.71	0.55	49.99	1.25	15.73	0.3	20.76	21.38	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	68	2.40	2.40	1.13	3.24	2.13	7.78	64.83	1.02	131.67	47.24	2.85	23.85	66.83	64.84	0.57	49.25	1.27	15.42	0.3	21.17	21.72	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	70	2.40	2.40	1.13	3.31	2.13	7.93	64.83	1.02	131.90	48.44	2.90	24.12	67.90	64.00	0.58	48.52	1.30	15.12	0.3	21.59	22.07	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	72	2.45	2.40	1.15	3.30	2.13	8.08	64.83	1.04	132.13	49.33	2.96	24.35	68.85	63.27	0.60	47.89	1.32	14.84	0.3	21.99	22.41	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	74	2.45	2.40	1.15	3.36	2.13	8.23	64.83	1.04	132.35	50.50	3.01	24.62	69.86	62.49	0.62	47.21	1.35	14.57	0.3	22.40	22.74	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	76	2.50	2.40	1.18	3.35	2.13	8.38	64.83	1.06	132.57	51.37	3.06	24.83	70.76	61.81	0.63	46.62	1.37	14.32	0.3	22.80	23.07	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	78	2.70	2.70	1.27	3.16	2.13	8.53	64.83	1.15	132.79	51.37	3.13	24.90	71.41	61.38	0.65	46.22	1.39	14.07	0.3	23.20	23.40	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	80	2.70	2.70	1.27	3.21	2.13	8.67	64.83	1.15	133.01	52.51	3.18	25.15	72.34	60.67	0.67	45.61	1.42	13.84	0.3	23.60	23.72	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	82	2.70	2.70	1.27	3.27	2.13	8.82	64.83	1.15	133.23	53.63	3.23	25.40	73.25	59.98	0.68	45.02	1.44	13.61	0.3	23.99	24.04	RH sumergido	Sí cumple	Def. esquí
120	84	2.70	2.70	1.27	3.32	2.13	8.96	64.83	1.15	133.44	54.76	3.28	25.65	74.13	59.31	0.70	44.45	1.47	13.39	0.3	24.38	24.35	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	86	2.75	2.70	1.29	3.31	2.13	9.10	64.83	1.17	133.65	55.58	3.33	25.84	74.92	58.73	0.72	43.94	1.49	13.18	0.3	24.76	24.66	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	88	2.75	2.70	1.29	3.36	2.13	9.24	64.83	1.17	133.86	56.69	3.37	26.08	75.76	58.10	0.73	43.40	1.51	12.98	0.3	25.14	24.97	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	90	2.80	2.70	1.32	3.35	2.13	9.38	64.83	1.19	134.07	57.49	3.43	26.27	76.51	57.56	0.75	42.93	1.53	12.79	0.3	25.52	25.28	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	92	3.00	3.00	1.41	3.17	2.13	9.52	64.83	1.28	134.28	57.43	3.50	26.32	77.05	57.23	0.77	42.62	1.56	12.61	0.3	25.90	25.58	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	94	3.00	3.00	1.41	3.22	2.13	9.66	64.83	1.28	134.49	58.50	3.54	26.54	77.84	56.65	0.78	42.12	1.58	12.43	0.3	26.27	25.88	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	96	3.00	3.00	1.41	3.26	2.13	9.79	64.83	1.28	134.69	59.57	3.59	26.77	78.60	56.09	0.80	41.64	1.60	12.25	0.3	26.64	26.17	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	98	3.00	3.00	1.41	3.31	2.13	9.93	64.83	1.28	134.89	60.64	3.63	26.99	79.36	55.54	0.82	41.17	1.62	12.09	0.3	27.01	26.46	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	100	3.00	3.00	1.41	3.35	2.13	10.06	64.83	1.28	135.10	61.70	3.68	27.21	80.09	55.00	0.83	40.72	1.65	11.92	0.3	27.38	26.75	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	102	3.00	3.00	1.41	3.40	2.13	10.20	64.83	1.28	135.30	62.76	3.72	27.43	80.81	54.48	0.85	40.27	1.67	11.77	0.3	27.74	27.04	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	104	3.00	3.00	1.41	3.44	2.13	10.33	64.83	1.28	135.50	63.82	3.76	27.64	81.52	53.98	0.87	39.84	1.69	11.62	0.3	28.11	27.33	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	106	3.00	3.00	1.41	3.49	2.13	10.46	64.83	1.28	135.69	64.87	3.81	27.85	82.21	53.49	0.88	39.42	1.71	11.47	0.3	28.46	27.61	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	108	3.30	3.30	1.55	3.21	2.13	10.59	64.83	1.40	135.89	64.12	3.89	27.79	82.53	53.36	0.90	39.26	1.73	11.33	0.3	28.82	27.89	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	110	3.30	3.30	1.55	3.25	2.13	10.72	64.83	1.40	136.09	65.14	3.93	28.00	83.20	52.89	0.92	38.86	1.75	11.19	0.3	29.18	28.17	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	112	3.30	3.30	1.55	3.29	2.13	10.85	64.83	1.40	136.28	66.16	3.97	28.20	83.85	52.43	0.93	38.47	1.78	11.06	0.3	29.53	28.44	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	114	3.30	3.30	1.55	3.33	2.13	10.98	64.83	1.40	136.47	67.18	4.01	28.40	84.50	51.98	0.95	38.09	1.80	10.93	0.3	29.88	28.72	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	116	3.30	3.30	1.55	3.37	2.13	11.11	64.83	1.40	136.67	68.19	4.06	28.60	85.13	51.54	0.97	37.71	1.82	10.80	0.3	30.23	28.99	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	118	3.30	3.30	1.55	3.41	2.13	11.24	64.83	1.40	136.86	69.20	4.10	28.80	85.74	51.11	0.98	37.35	1.84	10.68	0.3	30.57	29.26	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí
120	120	3.30	3.30	1.55	3.44	2.13	11.36	64.83	1.40	137.05	70.21	4.14	28.99	86.35	50.69	1.00	36.99	1.86	10.56	0.3	30.92	29.52	RH desplazado	Sí cumple	Def. esquí

Anexo 2.

Análisis hidráulico para presas de HVC para roca de mala calidad  $f = 0.65$  y  $C = 100\text{KPa}$

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.42 θ ° 67.22			f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO					
			CONDICIONES A. ARRIBA					CONDICIONES A. ABAJO					DIS. DE ENERGÍA							
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>o</sub> (m)	hc (m)	z <sub>1</sub> (m)	v <sub>1</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)	
50	40	5.46	0.70	6.95	6.92	56.92	57.63	1.27	1.27	31.59	52.13	5.50	9.54	0.80	1.27	15.06	13.81	RH desplazado	68.98	
50	42	5.64	0.73	7.18	7.15	57.15	57.89	1.33	1.33	31.65	52.37	5.51	9.53	0.84	1.33	15.47	14.18	RH desplazado	70.74	
50	44	5.82	0.77	7.41	7.38	57.38	58.14	1.39	1.39	31.70	52.61	5.53	9.52	0.88	1.39	15.88	14.54	RH desplazado	72.45	
50	46	6.00	0.80	7.63	7.60	57.60	58.39	1.45	1.45	31.75	52.84	5.55	9.51	0.92	1.45	16.27	14.90	RH desplazado	74.12	
50	48	6.17	0.83	7.85	7.81	57.81	58.64	1.51	1.51	31.81	53.07	5.57	9.50	0.96	1.51	16.66	15.24	RH desplazado	75.75	
50	50	6.34	0.86	8.06	8.03	58.03	58.89	1.57	1.57	31.86	53.30	5.59	9.49	1.00	1.57	17.04	15.58	RH desplazado	77.34	
50	52	6.51	0.89	8.28	8.24	58.24	59.13	1.63	1.63	31.91	53.52	5.61	9.48	1.04	1.63	17.41	15.91	RH desplazado	78.90	
50	54	6.67	0.92	8.49	8.45	58.45	59.37	1.69	1.69	31.96	53.74	5.62	9.47	1.08	1.69	17.78	16.24	RH desplazado	80.43	
50	56	6.84	0.95	8.70	8.65	58.65	59.60	1.75	1.75	32.01	53.96	5.64	9.46	1.12	1.75	18.14	16.56	RH desplazado	81.93	
50	58	7.00	0.98	8.90	8.85	58.85	59.84	1.81	1.81	32.05	54.18	5.66	9.46	1.16	1.81	18.49	16.88	RH desplazado	83.40	
50	60	7.16	1.02	9.11	9.05	59.05	60.07	1.87	1.87	32.10	54.39	5.67	9.45	1.20	1.87	18.84	17.19	RH desplazado	84.85	
50	62	7.32	1.05	9.31	9.25	59.25	60.30	1.93	1.93	32.15	54.61	5.69	9.44	1.24	1.93	19.18	17.50	RH desplazado	86.26	
50	64	7.47	1.08	9.51	9.45	59.45	60.52	1.99	1.99	32.19	54.82	5.71	9.43	1.28	1.99	19.52	17.80	RH desplazado	87.66	
50	66	7.63	1.11	9.70	9.64	59.64	60.75	2.05	2.05	32.24	55.02	5.72	9.42	1.32	2.05	19.85	18.10	RH desplazado	89.03	
50	68	7.78	1.14	9.90	9.83	59.83	60.97	2.11	2.11	32.28	55.23	5.74	9.41	1.36	2.11	20.18	18.40	RH desplazado	90.38	
50	70	7.93	1.16	10.09	10.02	60.02	61.19	2.17	2.17	32.33	55.43	5.75	9.40	1.40	2.17	20.51	18.69	RH desplazado	91.71	
50	72	8.08	1.19	10.28	10.21	60.21	61.40	2.22	2.22	32.37	55.63	5.77	9.40	1.44	2.22	20.83	18.97	RH desplazado	93.01	
50	74	8.23	1.22	10.47	10.40	60.40	61.62	2.28	2.28	32.41	55.83	5.79	9.39	1.48	2.28	21.14	19.26	RH desplazado	94.30	
50	76	8.38	1.25	10.66	10.58	60.58	61.83	2.34	2.34	32.46	56.03	5.80	9.38	1.52	2.34	21.46	19.53	RH desplazado	95.57	
50	78	8.53	1.28	10.85	10.76	60.76	62.04	2.40	2.40	32.50	56.23	5.82	9.37	1.56	2.40	21.76	19.81	RH desplazado	96.82	
50	80	8.67	1.31	11.03	10.94	60.94	62.25	2.46	2.46	32.54	56.42	5.83	9.36	1.60	2.46	22.07	20.08	RH desplazado	98.06	
50	82	8.82	1.34	11.21	11.12	61.12	62.46	2.52	2.52	32.58	56.62	5.84	9.36	1.64	2.52	22.37	20.35	RH desplazado	99.28	
50	84	8.96	1.37	11.40	11.30	61.30	62.67	2.58	2.58	32.62	56.81	5.86	9.35	1.68	2.58	22.67	20.62	RH desplazado	100.48	
50	86	9.10	1.40	11.58	11.48	61.48	62.87	2.63	2.63	32.66	57.00	5.87	9.34	1.72	2.63	22.97	20.88	RH desplazado	101.66	
50	88	9.24	1.42	11.76	11.65	61.65	63.08	2.69	2.69	32.70	57.19	5.89	9.33	1.76	2.69	23.26	21.14	RH desplazado	102.84	
50	90	9.38	1.45	11.93	11.82	61.82	63.28	2.75	2.75	32.74	57.38	5.90	9.33	1.80	2.75	23.55	21.40	RH desplazado	103.99	
50	92	9.52	1.48	12.11	12.00	62.00	63.48	2.81	2.81	32.78	57.56	5.92	9.32	1.84	2.81	23.83	21.66	RH desplazado	105.14	
50	94	9.66	1.51	12.28	12.17	62.17	63.68	2.86	2.86	32.81	57.75	5.93	9.31	1.88	2.86	24.12	21.91	RH desplazado	106.27	
50	96	9.79	1.54	12.46	12.34	62.34	63.87	2.92	2.92	32.85	57.93	5.94	9.30	1.92	2.92	24.40	22.16	RH desplazado	107.38	
50	98	9.93	1.56	12.63	12.50	62.50	64.07	2.98	2.98	32.89	58.11	5.96	9.30	1.96	2.98	24.68	22.41	RH desplazado	108.49	
50	100	10.06	1.59	12.80	12.67	62.67	64.26	3.04	3.04	32.93	58.29	5.97	9.29	2.00	3.04	24.95	22.65	RH desplazado	109.58	
50	102	10.20	1.62	12.97	12.84	62.84	64.46	3.09	3.09	32.96	58.47	5.98	9.28	2.04	3.09	25.23	22.90	RH desplazado	110.66	
50	104	10.33	1.65	13.14	13.00	63.00	64.65	3.15	3.15	33.00	58.65	6.00	9.27	2.08	3.15	25.50	23.14	RH desplazado	111.73	
50	106	10.46	1.67	13.31	13.16	63.16	64.84	3.21	3.21	33.03	58.83	6.01	9.27	2.12	3.21	25.77	23.38	RH desplazado	112.79	
50	108	10.59	1.70	13.47	13.33	63.33	65.03	3.27	3.27	33.07	59.01	6.02	9.26	2.16	3.27	26.03	23.62	RH desplazado	113.84	
50	110	10.72	1.73	13.64	13.49	63.49	65.22	3.32	3.32	33.11	59.18	6.03	9.25	2.20	3.32	26.30	23.85	RH desplazado	114.88	
50	112	10.85	1.76	13.81	13.65	63.65	65.40	3.38	3.38	33.14	59.36	6.05	9.25	2.24	3.38	26.56	24.08	RH desplazado	115.90	
50	114	10.98	1.78	13.97	13.81	63.81	65.59	3.44	3.44	33.17	59.53	6.06	9.24	2.28	3.44	26.82	24.32	RH desplazado	116.92	
50	116	11.11	1.81	14.13	13.97	63.97	65.77	3.49	3.49	33.21	59.70	6.07	9.23	2.32	3.49	27.08	24.55	RH desplazado	117.93	
50	118	11.24	1.84	14.29	14.12	64.12	65.96	3.55	3.55	33.24	59.87	6.08	9.23	2.36	3.55	27.33	24.77	RH desplazado	118.93	
50	120	11.36	1.86	14.46	14.28	64.28	66.14	3.61	3.61	33.28	60.04	6.10	9.22	2.40	3.61	27.59	25.00	RH desplazado	119.92	



V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.42 θ ° 67.22		f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO						
		CONDICIONES A. ARRIBA						CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA								
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>o</sub> (m)	hc (m)	z <sub>1</sub> (m)	v <sub>1</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)	
60	40	5.46	0.60	6.95	6.93	66.93	67.53	1.17	1.17	34.28	61.06	6.47	9.58	0.67	1.17	15.73	14.30	RH desplazado	72.81	
60	42	5.64	0.63	7.18	7.16	67.16	67.78	1.22	1.22	34.33	61.29	6.49	9.57	0.70	1.22	16.16	14.68	RH desplazado	74.66	
60	44	5.82	0.65	7.41	7.38	67.38	68.04	1.28	1.28	34.38	61.53	6.51	9.57	0.73	1.28	16.57	15.05	RH desplazado	76.47	
60	46	6.00	0.68	7.63	7.60	67.60	68.28	1.34	1.34	34.43	61.76	6.53	9.56	0.77	1.34	16.98	15.42	RH desplazado	78.23	
60	48	6.17	0.71	7.85	7.82	67.82	68.53	1.39	1.39	34.48	61.98	6.55	9.55	0.80	1.39	17.38	15.78	RH desplazado	79.95	
60	50	6.34	0.73	8.06	8.04	68.04	68.77	1.45	1.45	34.53	62.21	6.56	9.54	0.83	1.45	17.77	16.13	RH desplazado	81.63	
60	52	6.51	0.76	8.28	8.25	68.25	69.01	1.50	1.50	34.57	62.43	6.58	9.54	0.87	1.50	18.16	16.48	RH desplazado	83.28	
60	54	6.67	0.79	8.49	8.46	68.46	69.25	1.56	1.56	34.62	62.65	6.60	9.53	0.90	1.56	18.54	16.82	RH desplazado	84.89	
60	56	6.84	0.82	8.70	8.66	68.66	69.48	1.62	1.62	34.66	62.86	6.62	9.52	0.93	1.62	18.91	17.15	RH desplazado	86.47	
60	58	7.00	0.84	8.90	8.87	68.87	69.71	1.67	1.67	34.71	63.07	6.63	9.52	0.97	1.67	19.28	17.48	RH desplazado	88.03	
60	60	7.16	0.87	9.11	9.07	69.07	69.94	1.73	1.73	34.75	63.29	6.65	9.51	1.00	1.73	19.64	17.80	RH desplazado	89.55	
60	62	7.32	0.89	9.31	9.27	69.27	70.16	1.78	1.78	34.80	63.49	6.67	9.50	1.03	1.78	19.99	18.12	RH desplazado	91.05	
60	64	7.47	0.92	9.51	9.46	69.46	70.38	1.84	1.84	34.84	63.70	6.68	9.50	1.07	1.84	20.34	18.43	RH desplazado	92.52	
60	66	7.63	0.95	9.70	9.66	69.66	70.60	1.89	1.89	34.88	63.91	6.70	9.49	1.10	1.89	20.69	18.74	RH desplazado	93.96	
60	68	7.78	0.97	9.90	9.85	69.85	70.82	1.95	1.95	34.92	64.11	6.72	9.48	1.13	1.95	21.02	19.04	RH desplazado	95.39	
60	70	7.93	1.00	10.09	10.04	70.04	71.04	2.00	2.00	34.96	64.31	6.73	9.48	1.17	2.00	21.36	19.34	RH desplazado	96.79	
60	72	8.08	1.02	10.28	10.23	70.23	71.25	2.06	2.06	35.00	64.51	6.75	9.47	1.20	2.06	21.69	19.64	RH desplazado	98.17	
60	74	8.23	1.05	10.47	10.42	70.42	71.47	2.11	2.11	35.04	64.70	6.76	9.46	1.23	2.11	22.02	19.93	RH desplazado	99.53	
60	76	8.38	1.08	10.66	10.60	70.60	71.68	2.17	2.17	35.08	64.90	6.78	9.46	1.27	2.17	22.34	20.22	RH desplazado	100.87	
60	78	8.53	1.10	10.85	10.78	70.78	71.89	2.22	2.22	35.12	65.09	6.79	9.45	1.30	2.22	22.66	20.51	RH desplazado	102.19	
60	80	8.67	1.13	11.03	10.97	70.97	72.09	2.28	2.28	35.16	65.29	6.81	9.44	1.33	2.28	22.97	20.79	RH desplazado	103.49	
60	82	8.82	1.15	11.21	11.15	71.15	72.30	2.33	2.33	35.20	65.48	6.82	9.44	1.37	2.33	23.29	21.07	RH desplazado	104.78	
60	84	8.96	1.18	11.40	11.33	71.33	72.50	2.38	2.38	35.24	65.67	6.84	9.43	1.40	2.38	23.59	21.35	RH desplazado	106.05	
60	86	9.10	1.20	11.58	11.50	71.50	72.70	2.44	2.44	35.27	65.85	6.85	9.42	1.43	2.44	23.90	21.62	RH desplazado	107.30	
60	88	9.24	1.23	11.76	11.68	71.68	72.90	2.49	2.49	35.31	66.04	6.87	9.42	1.47	2.49	24.20	21.89	RH desplazado	108.54	
60	90	9.38	1.25	11.93	11.85	71.85	73.10	2.55	2.55	35.35	66.22	6.88	9.41	1.50	2.55	24.50	22.16	RH desplazado	109.76	
60	92	9.52	1.28	12.11	12.03	72.03	73.30	2.60	2.60	35.38	66.41	6.89	9.40	1.53	2.60	24.79	22.42	RH desplazado	110.97	
60	94	9.66	1.30	12.28	12.20	72.20	73.50	2.65	2.65	35.42	66.59	6.91	9.40	1.57	2.65	25.09	22.68	RH desplazado	112.16	
60	96	9.79	1.32	12.46	12.37	72.37	73.69	2.71	2.71	35.45	66.77	6.92	9.39	1.60	2.71	25.38	22.94	RH desplazado	113.34	
60	98	9.93	1.35	12.63	12.54	72.54	73.89	2.76	2.76	35.49	66.95	6.93	9.39	1.63	2.76	25.66	23.20	RH desplazado	114.51	
60	100	10.06	1.37	12.80	12.70	72.70	74.08	2.82	2.82	35.52	67.13	6.95	9.38	1.67	2.82	25.95	23.45	RH desplazado	115.66	
60	102	10.20	1.40	12.97	12.87	72.87	74.27	2.87	2.87	35.56	67.31	6.96	9.37	1.70	2.87	26.23	23.71	RH desplazado	116.81	
60	104	10.33	1.42	13.14	13.04	73.04	74.46	2.92	2.92	35.59	67.48	6.97	9.37	1.73	2.92	26.51	23.96	RH desplazado	117.94	
60	106	10.46	1.45	13.31	13.20	73.20	74.65	2.98	2.98	35.62	67.66	6.99	9.36	1.77	2.98	26.79	24.20	RH desplazado	119.05	
60	108	10.59	1.47	13.47	13.36	73.36	74.83	3.03	3.03	35.66	67.83	7.00	9.36	1.80	3.03	27.06	24.45	RH desplazado	120.16	
60	110	10.72	1.49	13.64	13.53	73.53	75.02	3.08	3.08	35.69	68.01	7.01	9.35	1.83	3.08	27.33	24.69	RH desplazado	121.26	
60	112	10.85	1.52	13.81	13.69	73.69	75.21	3.14	3.14	35.72	68.18	7.03	9.34	1.87	3.14	27.60	24.93	RH desplazado	122.34	
60	114	10.98	1.54	13.97	13.85	73.85	75.39	3.19	3.19	35.76	68.35	7.04	9.34	1.90	3.19	27.87	25.17	RH desplazado	123.42	
60	116	11.11	1.56	14.13	14.01	74.01	75.57	3.24	3.24	35.79	68.52	7.05	9.33	1.93	3.24	28.14	25.41	RH desplazado	124.48	
60	118	11.24	1.59	14.29	14.17	74.17	75.75	3.29	3.29	35.82	68.69	7.06	9.33	1.97	3.29	28.40	25.65	RH desplazado	125.53	
60	120	11.36	1.61	14.46	14.32	74.32	75.93	3.35	3.35	35.85	68.86	7.08	9.32	2.00	3.35	28.66	25.88	RH desplazado	126.58	

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.42 θ ° 67.22		f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO					
		CONDICIONES A. ARRIBA					CONDICIONES A. ABAJO					DIS. DE ENERGÍA							
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>o</sub> (m)	hc (m)	z <sub>1</sub> (m)	v <sub>1</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)
70	40	5.46	0.52	6.95	6.94	76.94	77.46	1.09	1.09	36.77	70.01	7.45	9.61	0.57	1.09	16.33	14.72	RH desplazado	76.19
70	42	5.64	0.54	7.18	7.16	77.16	77.71	1.14	1.14	36.82	70.24	7.47	9.61	0.60	1.14	16.77	15.12	RH desplazado	78.12
70	44	5.82	0.57	7.41	7.39	77.39	77.96	1.19	1.19	36.87	70.47	7.48	9.60	0.63	1.19	17.20	15.50	RH desplazado	80.01
70	46	6.00	0.59	7.63	7.61	77.61	78.20	1.25	1.25	36.91	70.70	7.50	9.59	0.66	1.25	17.62	15.88	RH desplazado	81.85
70	48	6.17	0.62	7.85	7.83	77.83	78.44	1.30	1.30	36.96	70.92	7.52	9.59	0.69	1.30	18.03	16.25	RH desplazado	83.65
70	50	6.34	0.64	8.06	8.04	78.04	78.68	1.35	1.35	37.00	71.14	7.54	9.58	0.71	1.35	18.43	16.61	RH desplazado	85.41
70	52	6.51	0.66	8.28	8.26	78.26	78.92	1.40	1.40	37.05	71.36	7.56	9.58	0.74	1.40	18.83	16.97	RH desplazado	87.14
70	54	6.67	0.69	8.49	8.46	78.46	79.15	1.46	1.46	37.09	71.58	7.58	9.57	0.77	1.46	19.22	17.31	RH desplazado	88.82
70	56	6.84	0.71	8.70	8.67	78.67	79.38	1.51	1.51	37.13	71.79	7.59	9.56	0.80	1.51	19.60	17.66	RH desplazado	90.48
70	58	7.00	0.74	8.90	8.88	78.88	79.61	1.56	1.56	37.18	72.00	7.61	9.56	0.83	1.56	19.98	18.00	RH desplazado	92.10
70	60	7.16	0.76	9.11	9.08	79.08	79.84	1.61	1.61	37.22	72.21	7.63	9.55	0.86	1.61	20.35	18.33	RH desplazado	93.70
70	62	7.32	0.78	9.31	9.28	79.28	80.06	1.66	1.66	37.26	72.41	7.64	9.55	0.89	1.66	20.72	18.66	RH desplazado	95.27
70	64	7.47	0.80	9.51	9.47	79.47	80.28	1.72	1.72	37.30	72.62	7.66	9.54	0.91	1.72	21.08	18.98	RH desplazado	96.81
70	66	7.63	0.83	9.70	9.67	79.67	80.50	1.77	1.77	37.34	72.82	7.68	9.54	0.94	1.77	21.43	19.30	RH desplazado	98.32
70	68	7.78	0.85	9.90	9.86	79.86	80.71	1.82	1.82	37.38	73.02	7.69	9.53	0.97	1.82	21.78	19.61	RH desplazado	99.81
70	70	7.93	0.87	10.09	10.05	80.05	80.93	1.87	1.87	37.41	73.22	7.71	9.52	1.00	1.87	22.13	19.92	RH desplazado	101.28
70	72	8.08	0.90	10.28	10.24	80.24	81.14	1.92	1.92	37.45	73.42	7.72	9.52	1.03	1.92	22.47	20.22	RH desplazado	102.72
70	74	8.23	0.92	10.47	10.43	80.43	81.35	1.97	1.97	37.49	73.61	7.74	9.51	1.06	1.97	22.80	20.53	RH desplazado	104.14
70	76	8.38	0.94	10.66	10.62	80.62	81.56	2.03	2.03	37.53	73.80	7.75	9.51	1.09	2.03	23.13	20.82	RH desplazado	105.55
70	78	8.53	0.96	10.85	10.80	80.80	81.76	2.08	2.08	37.56	73.99	7.77	9.50	1.11	2.08	23.46	21.12	RH desplazado	106.93
70	80	8.67	0.99	11.03	10.98	80.98	81.97	2.13	2.13	37.60	74.18	7.78	9.50	1.14	2.13	23.79	21.41	RH desplazado	108.30
70	82	8.82	1.01	11.21	11.16	81.16	82.17	2.18	2.18	37.64	74.37	7.80	9.49	1.17	2.18	24.11	21.70	RH desplazado	109.64
70	84	8.96	1.03	11.40	11.34	81.34	82.37	2.23	2.23	37.67	74.56	7.81	9.49	1.20	2.23	24.42	21.98	RH desplazado	110.97
70	86	9.10	1.05	11.58	11.52	81.52	82.57	2.28	2.28	37.71	74.75	7.83	9.48	1.23	2.28	24.74	22.26	RH desplazado	112.28
70	88	9.24	1.08	11.76	11.70	81.70	82.77	2.33	2.33	37.74	74.93	7.84	9.48	1.26	2.33	25.05	22.54	RH desplazado	113.58
70	90	9.38	1.10	11.93	11.87	81.87	82.97	2.38	2.38	37.78	75.11	7.86	9.47	1.29	2.38	25.35	22.81	RH desplazado	114.86
70	92	9.52	1.12	12.11	12.04	82.04	83.17	2.43	2.43	37.81	75.29	7.87	9.46	1.31	2.43	25.66	23.09	RH desplazado	116.12
70	94	9.66	1.14	12.28	12.22	82.22	83.36	2.48	2.48	37.84	75.47	7.89	9.46	1.34	2.48	25.96	23.36	RH desplazado	117.37
70	96	9.79	1.16	12.46	12.39	82.39	83.55	2.53	2.53	37.88	75.65	7.90	9.45	1.37	2.53	26.26	23.62	RH desplazado	118.61
70	98	9.93	1.19	12.63	12.56	82.56	83.74	2.59	2.59	37.91	75.83	7.91	9.45	1.40	2.59	26.55	23.89	RH desplazado	119.83
70	100	10.06	1.21	12.80	12.73	82.73	83.93	2.64	2.64	37.94	76.01	7.93	9.44	1.43	2.64	26.84	24.15	RH desplazado	121.04
70	102	10.20	1.23	12.97	12.89	82.89	84.12	2.69	2.69	37.97	76.18	7.94	9.44	1.46	2.69	27.13	24.41	RH desplazado	122.24
70	104	10.33	1.25	13.14	13.06	83.06	84.31	2.74	2.74	38.01	76.36	7.95	9.43	1.49	2.74	27.42	24.67	RH desplazado	123.42
70	106	10.46	1.27	13.31	13.23	83.23	84.50	2.79	2.79	38.04	76.53	7.97	9.43	1.51	2.79	27.70	24.92	RH desplazado	124.59
70	108	10.59	1.29	13.47	13.39	83.39	84.68	2.84	2.84	38.07	76.70	7.98	9.42	1.54	2.84	27.99	25.18	RH desplazado	125.75
70	110	10.72	1.32	13.64	13.55	83.55	84.87	2.89	2.89	38.10	76.87	7.99	9.42	1.57	2.89	28.27	25.43	RH desplazado	126.90
70	112	10.85	1.34	13.81	13.71	83.71	85.05	2.94	2.94	38.13	77.04	8.01	9.41	1.60	2.94	28.54	25.67	RH desplazado	128.03
70	114	10.98	1.36	13.97	13.88	83.88	85.23	2.99	2.99	38.16	77.21	8.02	9.41	1.63	2.99	28.82	25.92	RH desplazado	129.16
70	116	11.11	1.38	14.13	14.04	84.04	85.41	3.04	3.04	38.19	77.38	8.03	9.40	1.66	3.04	29.09	26.17	RH desplazado	130.27
70	118	11.24	1.40	14.29	14.19	84.19	85.59	3.09	3.09	38.22	77.55	8.04	9.40	1.69	3.09	29.36	26.41	RH desplazado	131.38
70	120	11.36	1.42	14.46	14.35	84.35	85.77	3.14	3.14	38.25	77.72	8.06	9.39	1.71	3.14	29.63	26.65	RH desplazado	132.47

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.42 θ ° 67.22		f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO						
		CONDICIONES A. ARRIBA						CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA								
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>o</sub> (m)	hc (m)	z <sub>1</sub> (m)	v <sub>1</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)	
80	40	5.46	0.46	6.95	6.94	86.94	87.40	1.02	1.02	39.11	78.98	8.42	9.64	0.50	1.02	16.87	15.10	RH desplazado	79.22	
80	42	5.64	0.48	7.18	7.17	87.17	87.65	1.07	1.07	39.15	79.21	8.44	9.63	0.53	1.07	17.32	15.51	RH desplazado	81.23	
80	44	5.82	0.50	7.41	7.39	87.39	87.90	1.12	1.12	39.20	79.44	8.46	9.63	0.55	1.12	17.76	15.90	RH desplazado	83.19	
80	46	6.00	0.52	7.63	7.61	87.61	88.14	1.17	1.17	39.24	79.66	8.48	9.62	0.58	1.17	18.19	16.29	RH desplazado	85.10	
80	48	6.17	0.55	7.85	7.83	87.83	88.38	1.22	1.22	39.28	79.88	8.50	9.62	0.60	1.22	18.62	16.67	RH desplazado	86.97	
80	50	6.34	0.57	8.06	8.05	88.05	88.62	1.27	1.27	39.33	80.10	8.52	9.61	0.63	1.27	19.03	17.04	RH desplazado	88.80	
80	52	6.51	0.59	8.28	8.26	88.26	88.85	1.32	1.32	39.37	80.32	8.53	9.61	0.65	1.32	19.44	17.40	RH desplazado	90.60	
80	54	6.67	0.61	8.49	8.47	88.47	89.08	1.37	1.37	39.41	80.53	8.55	9.60	0.68	1.37	19.84	17.76	RH desplazado	92.35	
80	56	6.84	0.63	8.70	8.68	88.68	89.31	1.42	1.42	39.45	80.74	8.57	9.60	0.70	1.42	20.23	18.11	RH desplazado	94.07	
80	58	7.00	0.65	8.90	8.88	88.88	89.53	1.47	1.47	39.49	80.95	8.59	9.59	0.73	1.47	20.62	18.46	RH desplazado	95.76	
80	60	7.16	0.67	9.11	9.08	89.08	89.76	1.52	1.52	39.53	81.15	8.60	9.59	0.75	1.52	21.00	18.80	RH desplazado	97.42	
80	62	7.32	0.69	9.31	9.28	89.28	89.98	1.57	1.57	39.57	81.36	8.62	9.58	0.78	1.57	21.38	19.14	RH desplazado	99.05	
80	64	7.47	0.72	9.51	9.48	89.48	90.20	1.62	1.62	39.60	81.56	8.64	9.58	0.80	1.62	21.75	19.47	RH desplazado	100.65	
80	66	7.63	0.74	9.70	9.68	89.68	90.41	1.66	1.66	39.64	81.76	8.65	9.57	0.83	1.66	22.11	19.79	RH desplazado	102.23	
80	68	7.78	0.76	9.90	9.87	89.87	90.63	1.71	1.71	39.68	81.96	8.67	9.57	0.85	1.71	22.47	20.11	RH desplazado	103.78	
80	70	7.93	0.78	10.09	10.06	90.06	90.84	1.76	1.76	39.71	82.15	8.68	9.56	0.88	1.76	22.82	20.43	RH desplazado	105.30	
80	72	8.08	0.80	10.28	10.25	90.25	91.05	1.81	1.81	39.75	82.35	8.70	9.56	0.90	1.81	23.17	20.74	RH desplazado	106.81	
80	74	8.23	0.82	10.47	10.44	90.44	91.26	1.86	1.86	39.79	82.54	8.72	9.55	0.93	1.86	23.52	21.05	RH desplazado	108.29	
80	76	8.38	0.84	10.66	10.62	90.62	91.46	1.91	1.91	39.82	82.73	8.73	9.55	0.95	1.91	23.86	21.36	RH desplazado	109.75	
80	78	8.53	0.86	10.85	10.81	90.81	91.67	1.96	1.96	39.86	82.92	8.75	9.54	0.98	1.96	24.19	21.66	RH desplazado	111.19	
80	80	8.67	0.88	11.03	10.99	90.99	91.87	2.01	2.01	39.89	83.11	8.76	9.54	1.00	2.01	24.53	21.96	RH desplazado	112.61	
80	82	8.82	0.90	11.21	11.17	91.17	92.07	2.05	2.05	39.92	83.30	8.78	9.53	1.03	2.05	24.86	22.25	RH desplazado	114.01	
80	84	8.96	0.92	11.40	11.35	91.35	92.27	2.10	2.10	39.96	83.48	8.79	9.53	1.05	2.10	25.18	22.55	RH desplazado	115.39	
80	86	9.10	0.94	11.58	11.53	91.53	92.47	2.15	2.15	39.99	83.66	8.81	9.52	1.08	2.15	25.50	22.83	RH desplazado	116.76	
80	88	9.24	0.96	11.76	11.71	91.71	92.67	2.20	2.20	40.02	83.85	8.82	9.52	1.10	2.20	25.82	23.12	RH desplazado	118.10	
80	90	9.38	0.98	11.93	11.88	91.88	92.86	2.25	2.25	40.06	84.03	8.84	9.51	1.13	2.25	26.13	23.40	RH desplazado	119.44	
80	92	9.52	1.00	12.11	12.06	92.06	93.06	2.29	2.29	40.09	84.21	8.85	9.51	1.15	2.29	26.45	23.68	RH desplazado	120.75	
80	94	9.66	1.02	12.28	12.23	92.23	93.25	2.34	2.34	40.12	84.39	8.86	9.51	1.18	2.34	26.75	23.96	RH desplazado	122.05	
80	96	9.79	1.04	12.46	12.40	92.40	93.44	2.39	2.39	40.15	84.56	8.88	9.50	1.20	2.39	27.06	24.23	RH desplazado	123.34	
80	98	9.93	1.06	12.63	12.57	92.57	93.63	2.44	2.44	40.18	84.74	8.89	9.50	1.23	2.44	27.36	24.50	RH desplazado	124.61	
80	100	10.06	1.08	12.80	12.74	92.74	93.82	2.49	2.49	40.21	84.91	8.90	9.49	1.25	2.49	27.66	24.77	RH desplazado	125.87	
80	102	10.20	1.10	12.97	12.91	92.91	94.01	2.53	2.53	40.25	85.09	8.92	9.49	1.28	2.53	27.96	25.04	RH desplazado	127.11	
80	104	10.33	1.12	13.14	13.08	93.08	94.19	2.58	2.58	40.28	85.26	8.93	9.48	1.30	2.58	28.25	25.30	RH desplazado	128.35	
80	106	10.46	1.14	13.31	13.24	93.24	94.38	2.63	2.63	40.31	85.43	8.95	9.48	1.33	2.63	28.54	25.56	RH desplazado	129.56	
80	108	10.59	1.16	13.47	13.41	93.41	94.56	2.68	2.68	40.34	85.60	8.96	9.47	1.35	2.68	28.83	25.82	RH desplazado	130.77	
80	110	10.72	1.17	13.64	13.57	93.57	94.74	2.73	2.73	40.37	85.77	8.97	9.47	1.38	2.73	29.12	26.08	RH desplazado	131.97	
80	112	10.85	1.19	13.81	13.73	93.73	94.93	2.77	2.77	40.40	85.94	8.99	9.47	1.40	2.77	29.40	26.33	RH desplazado	133.15	
80	114	10.98	1.21	13.97	13.89	93.89	95.11	2.82	2.82	40.42	86.11	9.00	9.46	1.43	2.82	29.68	26.59	RH desplazado	134.32	
80	116	11.11	1.23	14.13	14.05	94.05	95.29	2.87	2.87	40.45	86.28	9.01	9.46	1.45	2.87	29.96	26.84	RH desplazado	135.48	
80	118	11.24	1.25	14.29	14.21	94.21	95.47	2.91	2.91	40.48	86.44	9.02	9.45	1.48	2.91	30.24	27.09	RH desplazado	136.63	
80	120	11.36	1.27	14.46	14.37	94.37	95.64	2.96	2.96	40.51	86.61	9.04	9.45	1.50	2.96	30.52	27.33	RH desplazado	137.77	



V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.42		f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO						
θ ° 67.22		CONDICIONES A. ARRIBA						CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA								
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>o</sub> (m)	hc (m)	z <sub>1</sub> (m)	v <sub>1</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)	
90	40	5.46	0.41	6.95	6.94	96.94	97.35	0.97	0.97	41.31	87.96	9.40	9.65	0.44	0.97	17.36	15.44	RH desplazado	81.96	
90	42	5.64	0.43	7.18	7.17	97.17	97.60	1.02	1.02	41.36	88.18	9.42	9.65	0.47	1.02	17.82	15.86	RH desplazado	84.05	
90	44	5.82	0.45	7.41	7.39	97.39	97.85	1.06	1.06	41.40	88.41	9.44	9.64	0.49	1.06	18.28	16.26	RH desplazado	86.08	
90	46	6.00	0.47	7.63	7.62	97.62	98.09	1.11	1.11	41.44	88.63	9.46	9.64	0.51	1.11	18.72	16.66	RH desplazado	88.06	
90	48	6.17	0.49	7.85	7.84	97.84	98.33	1.16	1.16	41.48	88.85	9.47	9.64	0.53	1.16	19.16	17.04	RH desplazado	89.99	
90	50	6.34	0.51	8.06	8.05	98.05	98.56	1.20	1.20	41.52	89.07	9.49	9.63	0.56	1.20	19.58	17.42	RH desplazado	91.89	
90	52	6.51	0.53	8.28	8.26	98.26	98.79	1.25	1.25	41.56	89.28	9.51	9.63	0.58	1.25	20.00	17.80	RH desplazado	93.74	
90	54	6.67	0.55	8.49	8.47	98.47	99.02	1.30	1.30	41.60	89.49	9.53	9.62	0.60	1.30	20.41	18.16	RH desplazado	95.56	
90	56	6.84	0.57	8.70	8.68	98.68	99.25	1.34	1.34	41.64	89.70	9.55	9.62	0.62	1.34	20.81	18.52	RH desplazado	97.34	
90	58	7.00	0.59	8.90	8.89	98.89	99.47	1.39	1.39	41.67	89.91	9.56	9.61	0.64	1.39	21.21	18.88	RH desplazado	99.09	
90	60	7.16	0.61	9.11	9.09	99.09	99.69	1.44	1.44	41.71	90.11	9.58	9.61	0.67	1.44	21.60	19.22	RH desplazado	100.81	
90	62	7.32	0.62	9.31	9.29	99.29	99.91	1.49	1.49	41.75	90.32	9.60	9.61	0.69	1.49	21.98	19.57	RH desplazado	102.49	
90	64	7.47	0.64	9.51	9.49	99.49	100.13	1.53	1.53	41.78	90.52	9.61	9.60	0.71	1.53	22.36	19.91	RH desplazado	104.15	
90	66	7.63	0.66	9.70	9.68	99.68	100.34	1.58	1.58	41.82	90.71	9.63	9.60	0.73	1.58	22.73	20.24	RH desplazado	105.78	
90	68	7.78	0.68	9.90	9.88	99.88	100.56	1.62	1.62	41.85	90.91	9.65	9.59	0.76	1.62	23.10	20.57	RH desplazado	107.39	
90	70	7.93	0.70	10.09	10.07	100.07	100.77	1.67	1.67	41.89	91.10	9.66	9.59	0.78	1.67	23.46	20.89	RH desplazado	108.97	
90	72	8.08	0.72	10.28	10.26	100.26	100.97	1.72	1.72	41.92	91.30	9.68	9.58	0.80	1.72	23.82	21.21	RH desplazado	110.52	
90	74	8.23	0.74	10.47	10.45	100.45	101.18	1.76	1.76	41.96	91.49	9.69	9.58	0.82	1.76	24.17	21.53	RH desplazado	112.06	
90	76	8.38	0.76	10.66	10.63	100.63	101.39	1.81	1.81	41.99	91.68	9.71	9.58	0.84	1.81	24.52	21.84	RH desplazado	113.57	
90	78	8.53	0.77	10.85	10.82	100.82	101.59	1.86	1.86	42.02	91.87	9.72	9.57	0.87	1.86	24.87	22.15	RH desplazado	115.06	
90	80	8.67	0.79	11.03	11.00	101.00	101.79	1.90	1.90	42.06	92.05	9.74	9.57	0.89	1.90	25.21	22.46	RH desplazado	116.53	
90	82	8.82	0.81	11.21	11.18	101.18	101.99	1.95	1.95	42.09	92.24	9.75	9.56	0.91	1.95	25.54	22.76	RH desplazado	117.98	
90	84	8.96	0.83	11.40	11.36	101.36	102.19	1.99	1.99	42.12	92.42	9.77	9.56	0.93	1.99	25.88	23.06	RH desplazado	119.41	
90	86	9.10	0.85	11.58	11.54	101.54	102.39	2.04	2.04	42.15	92.60	9.78	9.56	0.96	2.04	26.20	23.35	RH desplazado	120.82	
90	88	9.24	0.86	11.76	11.72	101.72	102.58	2.09	2.09	42.18	92.78	9.80	9.55	0.98	2.09	26.53	23.64	RH desplazado	122.22	
90	90	9.38	0.88	11.93	11.89	101.89	102.78	2.13	2.13	42.21	92.96	9.81	9.55	1.00	2.13	26.85	23.93	RH desplazado	123.60	
90	92	9.52	0.90	12.11	12.07	102.07	102.97	2.18	2.18	42.25	93.14	9.83	9.54	1.02	2.18	27.17	24.22	RH desplazado	124.96	
90	94	9.66	0.92	12.28	12.24	102.24	103.16	2.22	2.22	42.28	93.32	9.84	9.54	1.04	2.22	27.49	24.50	RH desplazado	126.31	
90	96	9.79	0.94	12.46	12.41	102.41	103.35	2.27	2.27	42.31	93.49	9.86	9.54	1.07	2.27	27.80	24.78	RH desplazado	127.64	
90	98	9.93	0.95	12.63	12.58	102.58	103.54	2.31	2.31	42.34	93.67	9.87	9.53	1.09	2.31	28.11	25.06	RH desplazado	128.96	
90	100	10.06	0.97	12.80	12.75	102.75	103.73	2.36	2.36	42.37	93.84	9.88	9.53	1.11	2.36	28.41	25.33	RH desplazado	130.26	
90	102	10.20	0.99	12.97	12.92	102.92	103.91	2.41	2.41	42.40	94.01	9.90	9.52	1.13	2.41	28.72	25.60	RH desplazado	131.55	
90	104	10.33	1.01	13.14	13.09	103.09	104.10	2.45	2.45	42.42	94.19	9.91	9.52	1.16	2.45	29.02	25.87	RH desplazado	132.83	
90	106	10.46	1.03	13.31	13.25	103.25	104.28	2.50	2.50	42.45	94.36	9.92	9.52	1.18	2.50	29.32	26.14	RH desplazado	134.09	
90	108	10.59	1.04	13.47	13.42	103.42	104.46	2.54	2.54	42.48	94.53	9.94	9.51	1.20	2.54	29.61	26.41	RH desplazado	135.34	
90	110	10.72	1.06	13.64	13.58	103.58	104.64	2.59	2.59	42.51	94.69	9.95	9.51	1.22	2.59	29.90	26.67	RH desplazado	136.58	
90	112	10.85	1.08	13.81	13.75	103.75	104.83	2.63	2.63	42.54	94.86	9.96	9.51	1.24	2.63	30.19	26.93	RH desplazado	137.80	
90	114	10.98	1.10	13.97	13.91	103.91	105.00	2.68	2.68	42.57	95.03	9.98	9.50	1.27	2.68	30.48	27.19	RH desplazado	139.02	
90	116	11.11	1.11	14.13	14.07	104.07	105.18	2.72	2.72	42.59	95.19	9.99	9.50	1.29	2.72	30.77	27.45	RH desplazado	140.22	
90	118	11.24	1.13	14.29	14.23	104.23	105.36	2.77	2.77	42.62	95.36	10.00	9.49	1.31	2.77	31.05	27.70	RH desplazado	141.41	
90	120	11.36	1.15	14.46	14.39	104.39	105.54	2.81	2.81	42.65	95.52	10.02	9.49	1.33	2.81	31.33	27.95	RH desplazado	142.59	

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.42 θ ° 67.22		f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO						
		CONDICIONES A. ARRIBA						CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA								
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>o</sub> (m)	hc (m)	z <sub>1</sub> (m)	v <sub>1</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)	
100	40	5.46	0.37	6.95	6.94	106.94	107.32	0.92	0.92	43.40	96.94	10.37	9.67	0.40	0.92	17.82	15.76	RH desplazado	84.49	
100	42	5.64	0.39	7.18	7.17	107.17	107.56	0.97	0.97	43.45	97.17	10.39	9.66	0.42	0.97	18.29	16.18	RH desplazado	86.63	
100	44	5.82	0.41	7.41	7.40	107.40	107.81	1.01	1.01	43.49	97.39	10.41	9.66	0.44	1.01	18.76	16.59	RH desplazado	88.73	
100	46	6.00	0.43	7.63	7.62	107.62	108.05	1.06	1.06	43.53	97.61	10.43	9.65	0.46	1.06	19.21	16.99	RH desplazado	90.77	
100	48	6.17	0.45	7.85	7.84	107.84	108.28	1.10	1.10	43.56	97.83	10.45	9.65	0.48	1.10	19.65	17.39	RH desplazado	92.76	
100	50	6.34	0.46	8.06	8.05	108.05	108.52	1.15	1.15	43.60	98.05	10.47	9.65	0.50	1.15	20.09	17.77	RH desplazado	94.72	
100	52	6.51	0.48	8.28	8.27	108.27	108.75	1.19	1.19	43.64	98.26	10.49	9.64	0.52	1.19	20.52	18.16	RH desplazado	96.63	
100	54	6.67	0.50	8.49	8.48	108.48	108.97	1.24	1.24	43.68	98.47	10.50	9.64	0.54	1.24	20.94	18.53	RH desplazado	98.50	
100	56	6.84	0.52	8.70	8.68	108.68	109.20	1.28	1.28	43.71	98.68	10.52	9.64	0.56	1.28	21.35	18.90	RH desplazado	100.34	
100	58	7.00	0.53	8.90	8.89	108.89	109.42	1.33	1.33	43.75	98.88	10.54	9.63	0.58	1.33	21.75	19.26	RH desplazado	102.14	
100	60	7.16	0.55	9.11	9.09	109.09	109.64	1.37	1.37	43.79	99.08	10.56	9.63	0.60	1.37	22.15	19.61	RH desplazado	103.91	
100	62	7.32	0.57	9.31	9.29	109.29	109.86	1.41	1.41	43.82	99.29	10.57	9.62	0.62	1.41	22.55	19.96	RH desplazado	105.65	
100	64	7.47	0.58	9.51	9.49	109.49	110.07	1.46	1.46	43.85	99.48	10.59	9.62	0.64	1.46	22.93	20.31	RH desplazado	107.36	
100	66	7.63	0.60	9.70	9.69	109.69	110.29	1.50	1.50	43.89	99.68	10.61	9.62	0.66	1.50	23.31	20.65	RH desplazado	109.05	
100	68	7.78	0.62	9.90	9.88	109.88	110.50	1.55	1.55	43.92	99.88	10.62	9.61	0.68	1.55	23.69	20.99	RH desplazado	110.70	
100	70	7.93	0.64	10.09	10.07	110.07	110.71	1.59	1.59	43.96	100.07	10.64	9.61	0.70	1.59	24.06	21.32	RH desplazado	112.33	
100	72	8.08	0.65	10.28	10.26	110.26	110.91	1.64	1.64	43.99	100.26	10.65	9.61	0.72	1.64	24.42	21.64	RH desplazado	113.94	
100	74	8.23	0.67	10.47	10.45	110.45	111.12	1.68	1.68	44.02	100.45	10.67	9.60	0.74	1.68	24.78	21.97	RH desplazado	115.52	
100	76	8.38	0.69	10.66	10.64	110.64	111.32	1.73	1.73	44.05	100.64	10.69	9.60	0.76	1.73	25.14	22.28	RH desplazado	117.08	
100	78	8.53	0.70	10.85	10.82	110.82	111.53	1.77	1.77	44.08	100.82	10.70	9.60	0.78	1.77	25.49	22.60	RH desplazado	118.61	
100	80	8.67	0.72	11.03	11.00	111.00	111.73	1.81	1.81	44.12	101.01	10.72	9.59	0.80	1.81	25.84	22.91	RH desplazado	120.13	
100	82	8.82	0.74	11.21	11.19	111.19	111.92	1.86	1.86	44.15	101.19	10.73	9.59	0.82	1.86	26.18	23.22	RH desplazado	121.63	
100	84	8.96	0.75	11.40	11.37	111.37	112.12	1.90	1.90	44.18	101.37	10.75	9.58	0.84	1.90	26.52	23.52	RH desplazado	123.10	
100	86	9.10	0.77	11.58	11.55	111.55	112.32	1.95	1.95	44.21	101.56	10.76	9.58	0.86	1.95	26.86	23.82	RH desplazado	124.56	
100	88	9.24	0.79	11.76	11.72	111.72	112.51	1.99	1.99	44.24	101.74	10.78	9.58	0.88	1.99	27.19	24.12	RH desplazado	126.00	
100	90	9.38	0.80	11.93	11.90	111.90	112.70	2.03	2.03	44.27	101.91	10.79	9.57	0.90	2.03	27.52	24.41	RH desplazado	127.43	
100	92	9.52	0.82	12.11	12.07	112.07	112.89	2.08	2.08	44.30	102.09	10.80	9.57	0.92	2.08	27.84	24.71	RH desplazado	128.83	
100	94	9.66	0.84	12.28	12.25	112.25	113.08	2.12	2.12	44.33	102.27	10.82	9.57	0.94	2.12	28.17	24.99	RH desplazado	130.22	
100	96	9.79	0.85	12.46	12.42	112.42	113.27	2.16	2.16	44.36	102.44	10.83	9.56	0.96	2.16	28.48	25.28	RH desplazado	131.60	
100	98	9.93	0.87	12.63	12.59	112.59	113.46	2.21	2.21	44.38	102.61	10.85	9.56	0.98	2.21	28.80	25.56	RH desplazado	132.96	
100	100	10.06	0.89	12.80	12.76	112.76	113.65	2.25	2.25	44.41	102.79	10.86	9.56	1.00	2.25	29.11	25.84	RH desplazado	134.30	
100	102	10.20	0.90	12.97	12.93	112.93	113.83	2.30	2.30	44.44	102.96	10.87	9.55	1.02	2.30	29.42	26.12	RH desplazado	135.63	
100	104	10.33	0.92	13.14	13.10	113.10	114.02	2.34	2.34	44.47	103.13	10.89	9.55	1.04	2.34	29.73	26.40	RH desplazado	136.95	
100	106	10.46	0.94	13.31	13.26	113.26	114.20	2.38	2.38	44.50	103.30	10.90	9.55	1.06	2.38	30.03	26.67	RH desplazado	138.25	
100	108	10.59	0.95	13.47	13.43	113.43	114.38	2.43	2.43	44.52	103.46	10.92	9.54	1.08	2.43	30.33	26.94	RH desplazado	139.54	
100	110	10.72	0.97	13.64	13.59	113.59	114.56	2.47	2.47	44.55	103.63	10.93	9.54	1.10	2.47	30.63	27.21	RH desplazado	140.82	
100	112	10.85	0.98	13.81	13.76	113.76	114.74	2.51	2.51	44.58	103.80	10.94	9.54	1.12	2.51	30.93	27.47	RH desplazado	142.08	
100	114	10.98	1.00	13.97	13.92	113.92	114.92	2.56	2.56	44.61	103.96	10.96	9.53	1.14	2.56	31.22	27.74	RH desplazado	143.34	
100	116	11.11	1.02	14.13	14.08	114.08	115.10	2.60	2.60	44.63	104.13	10.97	9.53	1.16	2.60	31.51	28.00	RH desplazado	144.58	
100	118	11.24	1.03	14.29	14.24	114.24	115.27	2.64	2.64	44.66	104.29	10.98	9.53	1.18	2.64	31.80	28.26	RH desplazado	145.81	
100	120	11.36	1.05	14.46	14.40	114.40	115.45	2.69	2.69	44.68	104.45	10.99	9.52	1.20	2.69	32.09	28.52	RH desplazado	147.03	

V: 1 m <sub>2</sub> o H: 0.42 θ ° 67.22		f= 0.11 <b>ROCA MALA</b>		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO						
		CONDICIONES A. ARRIBA						CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA								
Hp (m)	q (m <sup>3</sup> /s*m)	hcr (m)	v <sub>o</sub> (m/s)	H <sub>o</sub> (m)	H (m)	E (m)	E <sub>o</sub> (m)	hc (m)	z <sub>1</sub> (m)	v <sub>1</sub> (m/s)	H <sub>res</sub> =E <sub>o1</sub> (m)	ΔE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h <sub>2</sub>	h <sub>2</sub> > h'' o h <sub>2</sub> < h''	Lr (m)	
110	40	5.46	0.34	6.95	6.94	116.94	117.29	0.88	0.88	45.40	105.94	11.35	9.68	0.36	0.88	18.25	16.04	RH desplazado	86.83	
110	42	5.64	0.36	7.18	7.17	117.17	117.53	0.92	0.92	45.44	106.16	11.37	9.67	0.38	0.92	18.73	16.47	RH desplazado	89.03	
110	44	5.82	0.37	7.41	7.40	117.40	117.77	0.97	0.97	45.48	106.38	11.39	9.67	0.40	0.97	19.20	16.89	RH desplazado	91.18	
110	46	6.00	0.39	7.63	7.62	117.62	118.01	1.01	1.01	45.52	106.60	11.41	9.67	0.42	1.01	19.67	17.30	RH desplazado	93.28	
110	48	6.17	0.41	7.85	7.84	117.84	118.25	1.05	1.05	45.55	106.82	11.43	9.66	0.44	1.05	20.12	17.70	RH desplazado	95.33	
110	50	6.34	0.42	8.06	8.05	118.05	118.48	1.10	1.10	45.59	107.03	11.44	9.66	0.45	1.10	20.56	18.10	RH desplazado	97.34	
110	52	6.51	0.44	8.28	8.27	118.27	118.71	1.14	1.14	45.63	107.24	11.46	9.66	0.47	1.14	21.00	18.49	RH desplazado	99.31	
110	54	6.67	0.46	8.49	8.48	118.48	118.93	1.18	1.18	45.66	107.45	11.48	9.65	0.49	1.18	21.43	18.87	RH desplazado	101.23	
110	56	6.84	0.47	8.70	8.69	118.69	119.16	1.23	1.23	45.70	107.66	11.50	9.65	0.51	1.23	21.85	19.24	RH desplazado	103.12	
110	58	7.00	0.49	8.90	8.89	118.89	119.38	1.27	1.27	45.73	107.86	11.52	9.65	0.53	1.27	22.26	19.61	RH desplazado	104.97	
110	60	7.16	0.50	9.11	9.09	119.09	119.60	1.31	1.31	45.77	108.06	11.53	9.64	0.55	1.31	22.67	19.97	RH desplazado	106.79	
110	62	7.32	0.52	9.31	9.29	119.29	119.81	1.35	1.35	45.80	108.26	11.55	9.64	0.56	1.35	23.07	20.33	RH desplazado	108.58	
110	64	7.47	0.54	9.51	9.49	119.49	120.03	1.40	1.40	45.83	108.46	11.57	9.64	0.58	1.40	23.46	20.68	RH desplazado	110.34	
110	66	7.63	0.55	9.70	9.69	119.69	120.24	1.44	1.44	45.87	108.66	11.58	9.63	0.60	1.44	23.85	21.03	RH desplazado	112.07	
110	68	7.78	0.57	9.90	9.88	119.88	120.45	1.48	1.48	45.90	108.85	11.60	9.63	0.62	1.48	24.24	21.37	RH desplazado	113.77	
110	70	7.93	0.58	10.09	10.07	120.07	120.66	1.52	1.52	45.93	109.04	11.62	9.63	0.64	1.52	24.61	21.71	RH desplazado	115.45	
110	72	8.08	0.60	10.28	10.26	120.26	120.86	1.57	1.57	45.96	109.23	11.63	9.62	0.65	1.57	24.99	22.04	RH desplazado	117.10	
110	74	8.23	0.61	10.47	10.45	120.45	121.07	1.61	1.61	45.99	109.42	11.65	9.62	0.67	1.61	25.35	22.37	RH desplazado	118.72	
110	76	8.38	0.63	10.66	10.64	120.64	121.27	1.65	1.65	46.02	109.61	11.66	9.62	0.69	1.65	25.72	22.69	RH desplazado	120.33	
110	78	8.53	0.65	10.85	10.83	120.83	121.47	1.69	1.69	46.05	109.79	11.68	9.61	0.71	1.69	26.08	23.01	RH desplazado	121.91	
110	80	8.67	0.66	11.03	11.01	121.01	121.67	1.74	1.74	46.08	109.98	11.69	9.61	0.73	1.74	26.43	23.33	RH desplazado	123.47	
110	82	8.82	0.68	11.21	11.19	121.19	121.87	1.78	1.78	46.11	110.16	11.71	9.61	0.75	1.78	26.78	23.64	RH desplazado	125.01	
110	84	8.96	0.69	11.40	11.37	121.37	122.06	1.82	1.82	46.14	110.34	11.72	9.60	0.76	1.82	27.13	23.95	RH desplazado	126.53	
110	86	9.10	0.71	11.58	11.55	121.55	122.26	1.86	1.86	46.17	110.52	11.74	9.60	0.78	1.86	27.47	24.26	RH desplazado	128.03	
110	88	9.24	0.72	11.76	11.73	121.73	122.45	1.90	1.90	46.20	110.70	11.75	9.60	0.80	1.90	27.81	24.56	RH desplazado	129.51	
110	90	9.38	0.74	11.93	11.90	121.90	122.64	1.95	1.95	46.23	110.88	11.77	9.60	0.82	1.95	28.14	24.86	RH desplazado	130.97	
110	92	9.52	0.75	12.11	12.08	122.08	122.83	1.99	1.99	46.26	111.05	11.78	9.59	0.84	1.99	28.47	25.16	RH desplazado	132.42	
110	94	9.66	0.77	12.28	12.25	122.25	123.02	2.03	2.03	46.29	111.23	11.80	9.59	0.85	2.03	28.80	25.45	RH desplazado	133.85	
110	96	9.79	0.78	12.46	12.43	122.43	123.21	2.07	2.07	46.31	111.40	11.81	9.59	0.87	2.07	29.13	25.74	RH desplazado	135.26	
110	98	9.93	0.80	12.63	12.60	122.60	123.40	2.11	2.11	46.34	111.57	11.82	9.58	0.89	2.11	29.45	26.03	RH desplazado	136.66	
110	100	10.06	0.81	12.80	12.77	122.77	123.58	2.16	2.16	46.37	111.74	11.84	9.58	0.91	2.16	29.77	26.32	RH desplazado	138.04	
110	102	10.20	0.83	12.97	12.94	122.94	123.77	2.20	2.20	46.40	111.91	11.85	9.58	0.93	2.20	30.08	26.60	RH desplazado	139.41	
110	104	10.33	0.84	13.14	13.10	123.10	123.95	2.24	2.24	46.42	112.08	11.87	9.57	0.95	2.24	30.39	26.88	RH desplazado	140.77	
110	106	10.46	0.86	13.31	13.27	123.27	124.13	2.28	2.28	46.45	112.25	11.88	9.57	0.96	2.28	30.70	27.16	RH desplazado	142.11	
110	108	10.59	0.87	13.47	13.44	123.44	124.31	2.32	2.32	46.48	112.42	11.89	9.57	0.98	2.32	31.01	27.43	RH desplazado	143.43	
110	110	10.72	0.89	13.64	13.60	123.60	124.49	2.37	2.37	46.50	112.58	11.91	9.56	1.00	2.37	31.32	27.71	RH desplazado	144.75	
110	112	10.85	0.90	13.81	13.76	123.76	124.67	2.41	2.41	46.53	112.75	11.92	9.56	1.02	2.41	31.62	27.98	RH desplazado	146.05	
110	114	10.98	0.92	13.97	13.93	123.93	124.85	2.45	2.45	46.55	112.91	11.93	9.56	1.04	2.45	31.92	28.25	RH desplazado	147.34	
110	116	11.11	0.93	14.13	14.09	124.09	125.02	2.49	2.49	46.58	113.08	11.95	9.56	1.05	2.49	32.21	28.51	RH desplazado	148.62	
110	118	11.24	0.95	14.29	14.25	124.25	125.20	2.53	2.53	46.61	113.24	11.96	9.55	1.07	2.53	32.51	28.78	RH desplazado	149.88	
110	120	11.36	0.96	14.46	14.41	124.41	125.37	2.57	2.57	46.63	113.40	11.97	9.55	1.09	2.57	32.80	29.04	RH desplazado	151.13	



V: 1 m2 o H: 0.42		f= 0.11 ROCA MALA		ANÁLISIS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN UNA PRESA DE HORMIGÓN VIBRADO CONVENCIONAL CON ALTURA CONSTANTE Y CAUDAL UNITARIO VARIABLE										RESALTO HIDRÁULICO						
θ ° 67.22		CONDICIONES A. ARRIBA						CONDICIONES A. ABAJO				DIS. DE ENERGÍA								
Hp (m)	q (m3/s*m)	hcr (m)	vo (m/s)	Ho (m)	H (m)	E (m)	Eo (m)	hc (m)	z1 (m)	v1 (m/s)	Hres=Eo1 (m)	ΔE (m)	%	q/Hp	h'	h''	h2	h2 > h'' o h2 < h''	Lr (m)	
120	40	5.46	0.32	6.95	6.94	126.94	127.26	0.85	0.85	47.31	114.93	12.33	9.69	0.33	0.85	18.65	16.31	RH desplazado	89.01	
120	42	5.64	0.33	7.18	7.17	127.17	127.50	0.89	0.89	47.35	115.16	12.35	9.68	0.35	0.89	19.14	16.75	RH desplazado	91.27	
120	44	5.82	0.35	7.41	7.40	127.40	127.74	0.93	0.93	47.39	115.38	12.36	9.68	0.37	0.93	19.62	17.17	RH desplazado	93.47	
120	46	6.00	0.36	7.63	7.62	127.62	127.98	0.97	0.97	47.42	115.60	12.38	9.68	0.38	0.97	20.09	17.59	RH desplazado	95.62	
120	48	6.17	0.38	7.85	7.84	127.84	128.22	1.01	1.01	47.46	115.81	12.40	9.67	0.40	1.01	20.56	18.00	RH desplazado	97.73	
120	50	6.34	0.39	8.06	8.06	128.06	128.45	1.05	1.05	47.49	116.03	12.42	9.67	0.42	1.05	21.01	18.40	RH desplazado	99.78	
120	52	6.51	0.41	8.28	8.27	128.27	128.67	1.09	1.09	47.53	116.24	12.44	9.67	0.43	1.09	21.45	18.80	RH desplazado	101.80	
120	54	6.67	0.42	8.49	8.48	128.48	128.90	1.14	1.14	47.56	116.44	12.46	9.66	0.45	1.14	21.89	19.18	RH desplazado	103.77	
120	56	6.84	0.44	8.70	8.69	128.69	129.12	1.18	1.18	47.60	116.65	12.47	9.66	0.47	1.18	22.32	19.56	RH desplazado	105.71	
120	58	7.00	0.45	8.90	8.89	128.89	129.34	1.22	1.22	47.63	116.85	12.49	9.66	0.48	1.22	22.74	19.94	RH desplazado	107.61	
120	60	7.16	0.46	9.11	9.10	129.10	129.56	1.26	1.26	47.66	117.05	12.51	9.66	0.50	1.26	23.15	20.31	RH desplazado	109.48	
120	62	7.32	0.48	9.31	9.30	129.30	129.78	1.30	1.30	47.70	117.25	12.53	9.65	0.52	1.30	23.56	20.67	RH desplazado	111.31	
120	64	7.47	0.49	9.51	9.49	129.49	129.99	1.34	1.34	47.73	117.45	12.54	9.65	0.53	1.34	23.96	21.03	RH desplazado	113.12	
120	66	7.63	0.51	9.70	9.69	129.69	130.20	1.38	1.38	47.76	117.64	12.56	9.65	0.55	1.38	24.36	21.38	RH desplazado	114.89	
120	68	7.78	0.52	9.90	9.88	129.88	130.41	1.42	1.42	47.79	117.83	12.58	9.64	0.57	1.42	24.75	21.72	RH desplazado	116.63	
120	70	7.93	0.54	10.09	10.08	130.08	130.62	1.46	1.46	47.82	118.02	12.59	9.64	0.58	1.46	25.13	22.07	RH desplazado	118.35	
120	72	8.08	0.55	10.28	10.27	130.27	130.82	1.50	1.50	47.85	118.21	12.61	9.64	0.60	1.50	25.51	22.41	RH desplazado	120.05	
120	74	8.23	0.57	10.47	10.46	130.46	131.02	1.55	1.55	47.88	118.40	12.62	9.63	0.62	1.55	25.89	22.74	RH desplazado	121.71	
120	76	8.38	0.58	10.66	10.64	130.64	131.22	1.59	1.59	47.91	118.59	12.64	9.63	0.63	1.59	26.26	23.07	RH desplazado	123.36	
120	78	8.53	0.60	10.85	10.83	130.83	131.42	1.63	1.63	47.94	118.77	12.66	9.63	0.65	1.63	26.62	23.40	RH desplazado	124.98	
120	80	8.67	0.61	11.03	11.01	131.01	131.62	1.67	1.67	47.97	118.95	12.67	9.63	0.67	1.67	26.98	23.72	RH desplazado	126.58	
120	82	8.82	0.62	11.21	11.19	131.19	131.82	1.71	1.71	48.00	119.13	12.69	9.62	0.68	1.71	27.34	24.04	RH desplazado	128.16	
120	84	8.96	0.64	11.40	11.38	131.38	132.01	1.75	1.75	48.03	119.31	12.70	9.62	0.70	1.75	27.69	24.35	RH desplazado	129.72	
120	86	9.10	0.65	11.58	11.55	131.55	132.21	1.79	1.79	48.06	119.49	12.72	9.62	0.72	1.79	28.04	24.66	RH desplazado	131.26	
120	88	9.24	0.67	11.76	11.73	131.73	132.40	1.83	1.83	48.08	119.67	12.73	9.62	0.73	1.83	28.39	24.97	RH desplazado	132.78	
120	90	9.38	0.68	11.93	11.91	131.91	132.59	1.87	1.87	48.11	119.85	12.75	9.61	0.75	1.87	28.73	25.28	RH desplazado	134.28	
120	92	9.52	0.70	12.11	12.08	132.08	132.78	1.91	1.91	48.14	120.02	12.76	9.61	0.77	1.91	29.06	25.58	RH desplazado	135.76	
120	94	9.66	0.71	12.28	12.26	132.26	132.97	1.95	1.95	48.17	120.19	12.77	9.61	0.78	1.95	29.40	25.88	RH desplazado	137.23	
120	96	9.79	0.72	12.46	12.43	132.43	133.16	1.99	1.99	48.19	120.37	12.79	9.60	0.80	1.99	29.73	26.17	RH desplazado	138.68	
120	98	9.93	0.74	12.63	12.60	132.60	133.34	2.03	2.03	48.22	120.54	12.80	9.60	0.82	2.03	30.06	26.46	RH desplazado	140.11	
120	100	10.06	0.75	12.80	12.77	132.77	133.52	2.07	2.07	48.25	120.71	12.82	9.60	0.83	2.07	30.38	26.75	RH desplazado	141.53	
120	102	10.20	0.77	12.97	12.94	132.94	133.71	2.11	2.11	48.27	120.88	12.83	9.60	0.85	2.11	30.70	27.04	RH desplazado	142.94	
120	104	10.33	0.78	13.14	13.11	133.11	133.89	2.15	2.15	48.30	121.05	12.84	9.59	0.87	2.15	31.02	27.33	RH desplazado	144.33	
120	106	10.46	0.80	13.31	13.28	133.28	134.07	2.19	2.19	48.32	121.21	12.86	9.59	0.88	2.19	31.33	27.61	RH desplazado	145.70	
120	108	10.59	0.81	13.47	13.44	133.44	134.25	2.23	2.23	48.35	121.38	12.87	9.59	0.90	2.23	31.65	27.89	RH desplazado	147.07	
120	110	10.72	0.82	13.64	13.61	133.61	134.43	2.27	2.27	48.37	121.54	12.89	9.59	0.92	2.27	31.96	28.17	RH desplazado	148.41	
120	112	10.85	0.84	13.81	13.77	133.77	134.61	2.31	2.31	48.40	121.71	12.90	9.58	0.93	2.31	32.26	28.44	RH desplazado	149.75	
120	114	10.98	0.85	13.97	13.93	133.93	134.78	2.35	2.35	48.42	121.87	12.91	9.58	0.95	2.35	32.57	28.72	RH desplazado	151.07	
120	116	11.11	0.86	14.13	14.09	134.09	134.96	2.39	2.39	48.45	122.03	12.93	9.58	0.97	2.39	32.87	28.99	RH desplazado	152.38	
120	118	11.24	0.88	14.29	14.25	134.25	135.13	2.43	2.43	48.47	122.20	12.94	9.57	0.98	2.43	33.17	29.26	RH desplazado	153.68	
120	120	11.36	0.89	14.46	14.41	134.41	135.31	2.47	2.47	48.50	122.36	12.95	9.57	1.00	2.47	33.47	29.52	RH desplazado	154.97	

Anexo 3. Diseño preliminar del perfil teórico triangular para una presa de hormigón compactado (HC)

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Macizo de cimentación	ROCA BUENA		
Cohesión	C	400.00	KPa
Peso específico del hormigón	$\gamma_h$	24	KN/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	$\gamma_o$	10	KN/m <sup>3</sup>
Factor de fricción	f	0.80	
Altura de la presa	H <sub>p</sub>	100	m
Parámetro para cortina y drenaje	$\varepsilon_1$	0.37	
Parámetro para cortina y drenaje	$\alpha$	0.80	
Nivel de importancia de la obra hidráulica	I		
Factor de seguridad al deslizamiento permisible	FSD <sub>perm</sub>	1.30	

1. Altura de presa igual al NNE

$$\text{NNE} = 100.00 \text{ m}$$

2. Cálculo de la carga de diseño preliminar para el vertedero tipo Creager a partir del caudal unitario con la ecuación del vertedero, además se asume que:

$$m = 0.503$$

$$\varepsilon = 0.98$$

$$H_o = \left( \frac{q}{m * \varepsilon * \sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}} = 9.10 \text{ m}$$

$$v_o = \frac{q}{(Cs + H)} = 0.55 \text{ m/s}$$

$$H = H_o - \frac{v_o^2}{2g} = 9.10 \text{ m}$$

3. Perfil teórico triangular

3.1. “ $\eta$ ” es un parámetro que va a determinar la inclinación del perfil teórico triangular, este factor se variará en un proceso iterativo hasta determinar que la suma de los coeficientes de talud aguas arriba y aguas abajo sean igual a 0,75.

$\eta$	m1	m2	m1 + m2
0.15	0.11	0.61	0.72
0.13	0.09	0.63	0.73
0.06	0.05	0.71	0.75

3.2. Se obtiene la base del perfil teórico triangular con la siguiente expresión

$$\frac{b}{H} = \frac{FSD_{per}}{f * \left[ \frac{\gamma_H}{\gamma_o} + \xi - (1 - \alpha) - \frac{a}{b} \right]}$$

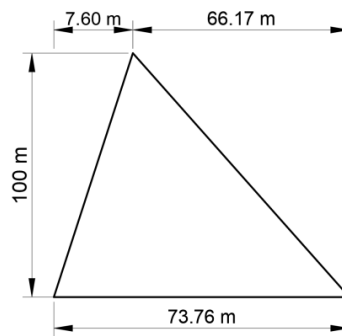
$$b = 75.23 \text{ m}$$



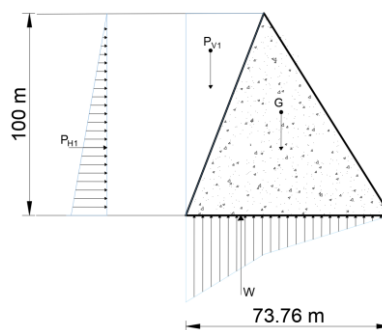
Se debe realizar un ajuste a los coeficientes de talud con el fin de que la presa no este sobredimensionada y aseguré un 20% del esfuerzo mínimo al pie del paramento aguas arriba, es por ello que la suma de coeficientes de talud definitiva es igual a 0,74

b (m)	m1 + m2	N (KN)	M (KN)	e	$\sigma_y'$ (MPa)	$\sigma_y''$ (MPa)	20% $\cdot\gamma_o\cdot H_p$
76.65	0.77	81049.06	659062.30	8.13	0.384	1.73	Perfil sobredimensionado
74.88	0.75	80943.09	752604.89	9.30	0.275	1.88	Perfil sobredimensionado
73.76	0.74	80875.78	812778.23	10.05	0.200	2.00	Perfil óptimo

$$m1 = \frac{\eta * b}{H_p} = 0.08 \quad m2 = \frac{(1 - \eta) * b}{H_p} = 0.66$$



#### 4. Verificación de la estabilidad al deslizamiento



##### 4.1. Fuerza de gravedad

$$G_{1,2} = \text{área}_{1,2} * \gamma_h$$

<b>Área<sub>1</sub></b>	<b>Área<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>total</sub></b>	<b>G<sub>1</sub></b>	<b>G<sub>2</sub></b>	<b>G<sub>total</sub></b>
379.88 m <sup>2</sup>	3308.27 m <sup>2</sup>	3368.15 m <sup>2</sup>	9117.11 KN	79398.55 KN	88515.66 KN

#### 4.2. Fuerzas de presión hidrostática

$$P_H = \frac{1}{2} * \gamma_o * H_p^2 = 50000 \text{ KN} \quad P_v = \frac{1}{2} * a_1 * H_p = 3798.80 \text{ KN}$$

#### 4.3. Fuerza de subpresión: “a” se asume igual a 8 m, para fines de diseño preliminar

$$W1 = \frac{1}{2} * a * \alpha * \gamma_o * H_p$$

$$W2 = \frac{1}{2} * (b - a) * (1 - \alpha) * \gamma_o * H_p$$

$$W3 = a * (1 - \alpha) * \gamma_o * H_p$$

<b>W1</b>	<b>W2</b>	<b>W3</b>	<b>ΣW</b>
3200 KN	6638.67 KN	1600 KN	11438.67 KN

#### Cuadro de fuerzas y momentos aplicados al PTT de una presa de HC

Fuerza	N	T	x	y	ΣM <sub>o</sub>
	KN	KN	m	m	KN*m
G <sub>1</sub> =	9117.11		31.82		-290074.284
G <sub>2</sub> =	79398.55		-7.23		-573954.547
P <sub>v</sub> =	3798.80		34.35		-130484.858
P <sub>H</sub> =		50000.00		33.33	1666666.67
W <sub>1</sub> =	3200.00		34.21		109487.547
W <sub>2</sub> =	6638.67		6.96		46208.5498
W <sub>3</sub> =	1600.00		32.88		52610.4403
Σ con subpresión	80875.78	50000.00			812778.232

#### 4.4. Cálculo del factor de seguridad al deslizamiento

$$FSD = \frac{f * \Sigma N + C * b}{\Sigma T} = 1.88 \quad FSD \geq FSD_{perm}$$

#### 5. Verificación de resistencias

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = 10.05$$

##### 5.1. Cálculo del esfuerzo máximo y esfuerzo mínimo

$$\sigma''_y = \frac{N}{b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right) \quad \sigma'_y = \frac{N}{b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right) = 0.20 \text{ MPa}$$

Parámetro		Condición	Ángulos de inclinación			Perfil teórico triangular		Perfil teórico triangular definitivo			
$\epsilon_1$	0.37	CORTINA Y DRENAJE	Aguas arriba	$\alpha$	87.00 °	n*B	5.24 m	n*B	7.60 m	$\alpha$	85.66 °
a/b	0.1		Aguas abajo	$\beta$	55.15 °	(1-n)*B	69.64 m	(1-n)*B	66.17 m	$\beta$	56.51 °
$\alpha$	0.8	CORTINA Y DRENAJE	Angulo complementario AAR	$\psi$	3.00 °	a <sub>1</sub>	5.24 m	a <sub>1</sub>	7.60 m	$\psi$	4.34 °
C	400.00 KPa	Cohesión				a <sub>3</sub>	2.10 m	a <sub>3</sub>	3.04 m		
1era corrida						a <sub>(cD)</sub>	8.00 m	a <sub>(cD)</sub>	8.00 m		
PTT ÓPTIMO											
DATOS											
VERIFICACIÓN DEL PERFIL TEORICO TRIANGULAR											
Hp (m)	FSDper	f	$\gamma_o$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (KN/m <sup>3</sup> )	m1	m2	m1 + m2	n	b (m)	b/H	
100.00 m	1.3	0.8	10	24	0.05	0.70	0.75	0.070	74.88	0.749	
					0.08	0.66	0.74	0.103			
									73.76	0.738	
N (KN)	X (m)	W (KN)		X (m)	T (KN)	X (m)	M (KN*m)		e		
G1	6290.32	33.95	W1	3200	34.78	PH	50000.00	33.33	M <sub>G1</sub>	-213542.44	
G2	83571.43	-8.99	W2	6739.63	7.15				M <sub>G2</sub>	-750987.492	
Pv	2620.97	35.70	W3	1600.00	33.44				M <sub>Pv</sub>	-93555.66	
$\Sigma N$	92482.72		$\Sigma W$	11539.63		$\Sigma PH$	50000.00		M <sub>W</sub>	144023.82	
									M <sub>PH</sub>	1666666.67	
									$\Sigma M$	752604.89	
N (KN)	X (m)	W (KN)		X (m)	T (KN)	X (m)	M (KN*m)		e		
G1	9117.11	31.82	W1	3200	34.21	PH	50000.00	33.33	M <sub>G1</sub>	-290074.28	
G2	79398.55	-7.23	W2	6638.67	6.96				M <sub>G2</sub>	-573954.547	
Pv	3798.80	34.35	W3	1600.00	32.88				M <sub>Pv</sub>	-130484.86	
$\Sigma N$	92314.46		$\Sigma W$	11438.67		$\Sigma PH$	50000.00		M <sub>W</sub>	140625.25	
									M <sub>PH</sub>	1666666.67	
									$\Sigma M$	812778.23	
PERFIL TEÓRICO DEFINITIVO			ESFUERZOS (1era corrida)		CONDICIÓN	FSD	ESFUERZOS ÓPTIMOS		FSD		
N	M	e	$\sigma_y'$	$\sigma_y''$	20%* $\gamma_o$ *H		$\sigma_y'$	$\sigma_y''$			
80875.78	812778.23	10.05	275.65	1886.15	200.00	1.89	200.14	1992.71	1.88		

Anexo 4. Diseño del perfil constructivo de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC) para combinación básica B1, especial E1 y especial E2

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal unitario	q	60	m <sup>3</sup> /s*m
Macizo de cimentación	ROCA BUENA		
Ángulo de fricción interna del suelo de cimentación	φc	38.65	°
Cohesión	C	400.00	KPa
Ángulo de fricción interna de los sedimentos	φsed	12	°
Peso específico del hormigón	γh	24	KN/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	γo	10	KN/m <sup>3</sup>
Peso específico seco de los sedimentos	γs.sed	16	KN/m <sup>3</sup>
Porosidad de los sedimentos	n	0.40	
Factor de fricción	f	0.80	
Altura de la presa	Hp	100.00	m
Parámetro para cortina y drenaje	ε1	0.37	
Parámetro para cortina y drenaje	α	0.80	
Coefficiente de talud aguas arriba	m1	0.08	
Coefficiente de talud aguas abajo	m2	0.66	
Ángulo entre la horizontal y el paramento aguas abajo	θ	56.51	°
FSDperm	Combinación básica	1.30	
FSDperm	Combinación especial E1	1.10	
FSDperm	Combinación especial E2	1.10	

1. Altura de presa igual al NNE

$$\text{NNE} = 100.00 \text{ m}$$

2. Cálculo de la carga de diseño preliminar para el vertedero tipo Creager a partir del caudal unitario con la ecuación del vertedero, además se asume que:

$$m = 0.503$$

$$\varepsilon = 0.98$$

$$H_o = \left( \frac{q}{m * \varepsilon * \sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}} = 9.10 \text{ m}$$

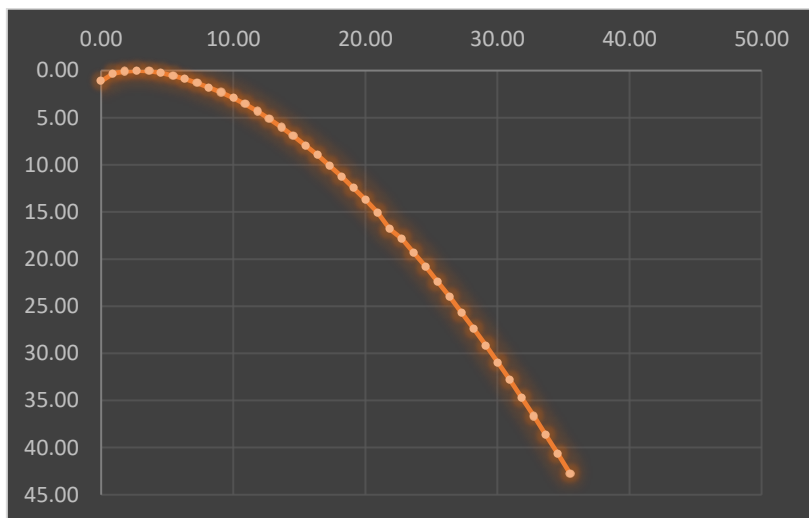
$$v_o = \frac{q}{(Cs + H)} = 0.55 \text{ m/s}$$

$$H = H_o - \frac{v_o^2}{2g} = 9.10 \text{ m}$$

3. Perfil hidráulico de la presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC)

x/H	y/H	H	x	y
0.00	0.126	9.09	0.00	1.15
0.10	0.036	9.09	0.91	0.33
0.20	0.007	9.09	1.82	0.06
0.30	0.000	9.09	2.73	0.00
0.40	0.006	9.09	3.64	0.05

0.50	0.027	9.09	4.55	0.25
0.60	0.060	9.09	5.46	0.55
0.70	0.100	9.09	6.37	0.91
0.80	0.146	9.09	7.28	1.33
0.90	0.198	9.09	8.19	1.80
1.00	0.256	9.09	9.10	2.33
1.10	0.321	9.09	10.02	2.92
1.20	0.394	9.09	10.93	3.59
1.30	0.475	9.09	11.84	4.32
1.40	0.564	9.09	12.75	5.14
1.50	0.661	9.09	13.66	6.02
1.60	0.764	9.09	14.57	6.96
1.70	0.873	9.09	15.48	7.95
1.80	0.987	9.09	16.39	8.99
1.90	1.108	9.09	17.30	10.09
2.00	1.235	9.09	18.21	11.24
2.10	1.369	9.09	19.12	12.46
2.20	1.508	9.09	20.03	13.73
2.30	1.653	9.09	20.94	15.05
2.40	1.847	9.09	21.85	16.82
2.50	1.960	9.09	22.76	17.85
2.60	2.122	9.09	23.67	19.32
2.70	2.289	9.09	24.58	20.84
2.80	2.462	9.09	25.49	22.42
2.90	2.640	9.09	26.40	24.04
3.00	2.824	9.09	27.31	25.71
3.10	3.013	9.09	28.23	27.43
3.20	3.207	9.09	29.14	29.20
3.30	3.405	9.09	30.05	31.00
3.40	3.609	9.09	30.96	32.86
3.50	3.818	9.09	31.87	34.76
3.60	4.031	9.09	32.78	36.70
3.70	4.249	9.09	33.69	38.69
3.80	4.471	9.09	34.60	40.71
3.90	4.698	9.09	35.51	42.78



#### 4. Verificación si es necesario diseñar el pozo de disipación

##### 4.1. Se realiza el calculo de la profundidad contraída

$$hc = \sqrt[3]{\frac{f * q^2}{8 * g * \text{sen}(\alpha)}} = 1.82 \text{ m}$$

4.2. Cálculo de la profundidad crítica

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 7.16 \text{ m}$$

4.3. Calculo de la primera conjugada

$$h_{cr} > h_c$$

$$7.16 > 1.82; \text{ por lo tanto: } h' = 1.82 \text{ m}$$

4.4. Cálculo de la segunda conjugada

$$h'' = \frac{h'}{2} * \left( \sqrt{1 + 8 * \left( \frac{h_{cr}}{h'} \right)^3} \right) - 1 = 19.17 \text{ m}$$

4.5. Se debe comparar la segunda conjugada con la profundidad aguas abajo  $h_2$

$$h_2 = 1.66 * H_p * \left( \frac{h_{cr}}{H_p} \right)^{0.81} = 19.61 \text{ m}$$

4.6. Se compara la segunda conjugada con la profundidad aguas abajo ( $h_2$ )

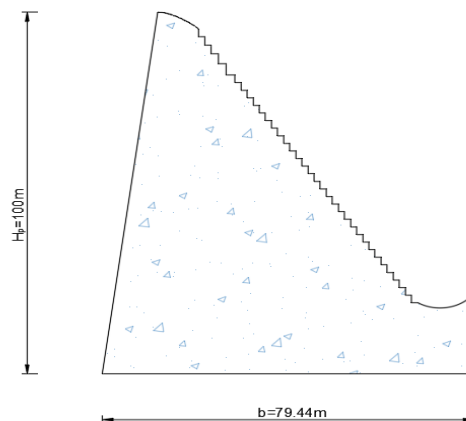
$$h'' > h_2; \text{ RESALTO DESPLAZADO}$$

$$h'' < h_2; \text{ RESALTO SUMERGIDO}$$

*Por lo tanto se presenta un resalto sumergido, lo que significa que no es necesario un pozo de disipación.*

5. Dimensionamiento del perfil constructivo de la presa vertedero de hormigón compactado (HC)

DATOS INICIALES	
Base de la presa	b = 79.44 m (AutoCAD)
Combinación de fuerzas	Básica B1



5.1. Profundidad de la cortina de impermeabilización: Se asume que la profundidad de la cortina de impermeabilización es el 40% de la altura de la presa.

$$h_{cor} = (0.4 \div 0.8) * H_p = 40 \text{ m}$$

$$J_{perm} = (10 \div 15), \text{ se adopta un promedio} = 12.50$$

5.2. Espesor de la cortina de impermeabilización

$$\delta_{cor} = \frac{H_p}{J_{perm}} = 8 \text{ m}$$

5.3. Profundidad del drenaje vertical

$$h_{dren} = 20\% * H_p = 20 \text{ m}$$

5.4. Cálculo de las galerías longitudinales, asumimos que por las galerías esta previsto el paso de equipos motorizados para mantenimiento y control.

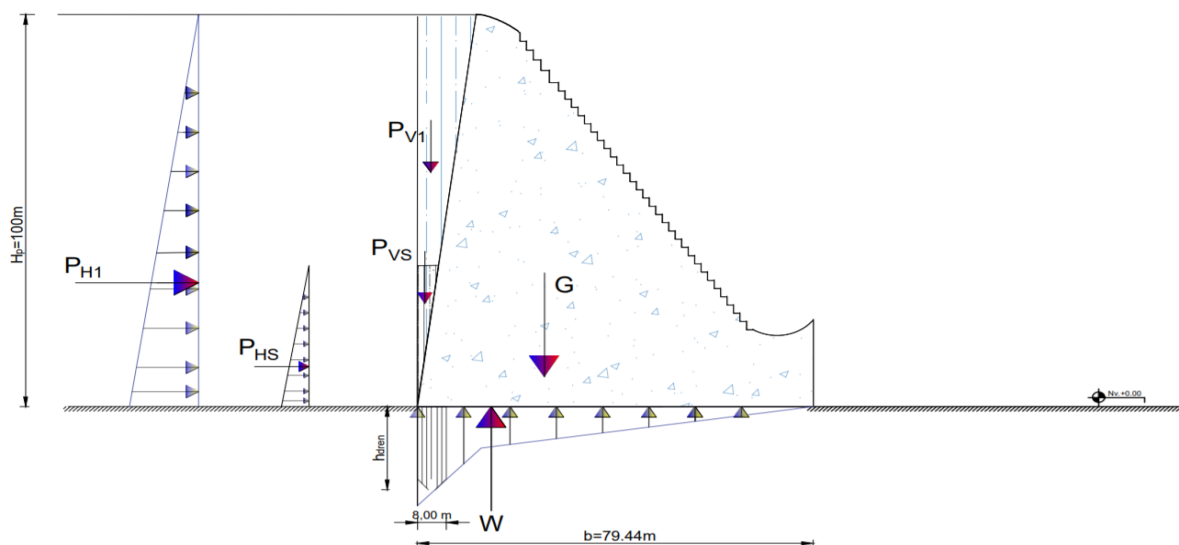
<b>Altura de la galería</b>	$H_{gal} =$	2.50 m
<b>Base de la galería</b>	$B_{gal} =$	3.00 m

*La distancia de galerías se estiman entre 10 – 15 metros, se adoptó para este caso cada 15 m. Por lo tanto se requieren 6 galerías.*

5.5. Cálculo del desnivel (z)

$$z = (Cs + H) - h_2 = 89.48$$

6. Verificación de la estabilidad al deslizamiento del perfil constructivo



Se debe calcular todas las fuerzas que actúan sobre la presa para combinación especial E2 de fuerzas

### 6.1. Fuerza de gravedad

$$G = Area * \gamma_h$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{\text{Área}} \\ 4375.89 \text{ m}^2 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{G} \\ 105021.36 \text{ KN} \end{array}$$

### 6.2. Fuerzas de presión hidrostática

$$P_{H1} = \frac{1}{2} * \gamma_o * H_p^2 = 50000 \text{ KN}$$

$$P_{V1} = 0.5 * (\xi * b) * H_p * \gamma_o = 4013.06 \text{ KN}$$

### 6.3. Fuerzas de presión de sedimentos

$$\xi_{sed} = \frac{\left(\frac{\cos(\alpha + \varphi)}{2}\right)^2}{\left(\frac{\cos(\alpha - \varphi)}{2}\right)^2} \quad \gamma_{sum,sed} = \gamma_{sed} - \gamma_o(1 - n) = 10 \text{ KN/m}^3$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{A} \\ 85.43^\circ \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \xi_{sed} \\ 0.68 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{hs} \\ 40.00 \text{ m} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{a3} \\ 3.20 \text{ m} \end{array}$$

$$P_{HS} = \frac{\xi * \gamma_{sum,sed} * h_s^2}{2} = 5419.97 \text{ KN} \quad P_{VS} = \frac{\xi * \gamma_{sum,sed} * h_s * a_3}{2} = 435.01 \text{ KN}$$

### 6.4. Fuerza de subpresión

a= espesor de la cortina de impermeabilización + 2.50 m

a= 10.50 m

$$W = \gamma_o * \{b * h_o + 0.5 * z * [a + b * (1 - \alpha_1)]\} = 13193.87 \text{ KN}$$



**Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para el perfil constructivo de una presa de HC para combinación básica (B1)**

Cuadro de fuerzas y momentos para COMBINACIÓN B1				
Hp = 100.00 m		q = 60.00 m <sup>3</sup> /s*m		
Fuerza	N (KN)	T (KN)	Brazo (m)	Mo (KN*m)
G	105021.26		10.78	-1132274.42
PH1		50000.00	33.33	1666666.67
Pv1	4013.07		37.04	-148659.89
PHs		5419.97	13.33	72266.23
Pvs	435.01		38.65	-16814.45
W	13193.87		13.24	174683.87
Σ	96275.47	55419.97		615868.00
FSD	1.97			
e	6.35			
σ'y	0.633 MPa			
σ''y	1.798 MPa			

**6.5. Cálculo del factor de seguridad al deslizamiento**

$$FSD = \frac{f * \Sigma N + C * b}{\Sigma T} = 1.97 \quad FSD \geq FSD_{perm}$$

**7. Verificación de resistencias**

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = 6.35$$

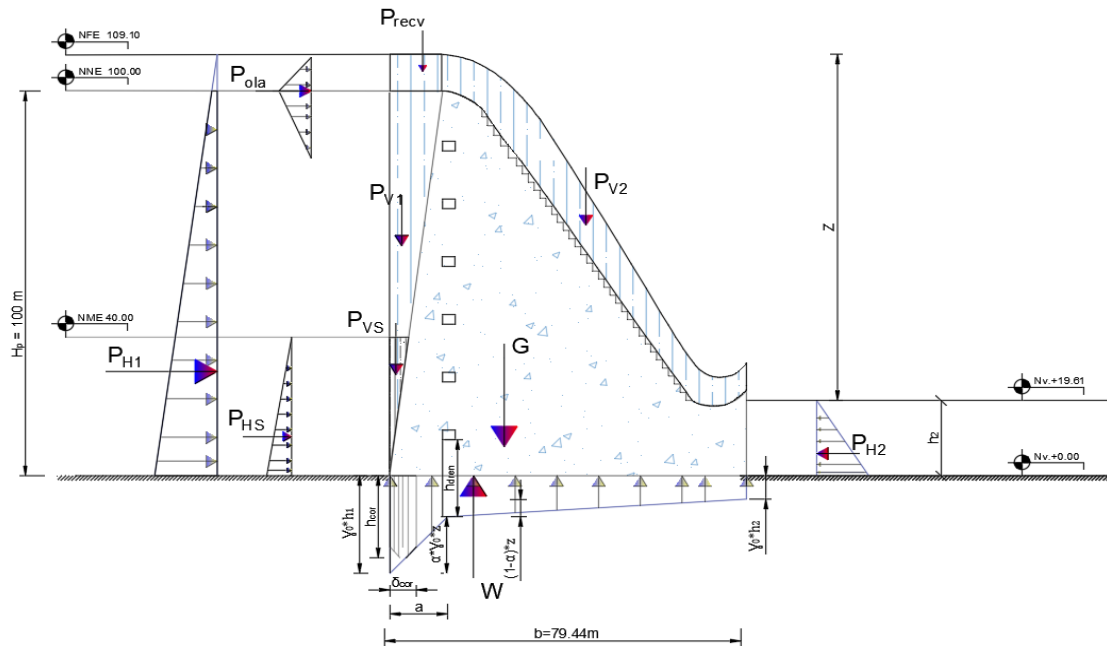
**7.1. Cálculo del esfuerzo máximo y esfuerzo mínimo**

$$\sigma''_y = \frac{N}{b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right) = 1.798 \text{ MPa} \quad \sigma'_y = \frac{N}{b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right) = -0.729 \text{ MPa}$$

**7.2. Verificación de la resistencia a compresión de la roca: f<sup>c</sup> = 250 Kg/cm<sup>2</sup> ; R<sub>comp</sub> = 17.50 MPa; FS = 2.50**

$$\sigma_{perm} = \frac{R_{comp}}{FS} \quad \sigma''_y \leq \sigma_{PERM} \quad 1.798 \text{ MPa} \leq 7.00 \text{ MPa}$$

## VERIFICACIÓN DEL PERFIL CONSTRUCTIVO DE LA PRESA DE HC PARA COMBINACIÓN ESPECIAL E1



Se debe calcular todas las fuerzas que actúan sobre la presa para combinación especial

E1 de fuerzas

1. Fuerzas de presión hidrostática: En este caso el diagrama de presión es trapezoidal

$$B_{mayor} = \gamma_o * (H_p + H_0) = 1091.06 \text{ KN}$$

$$B_{menor} = \gamma_o * H_0 = 91.06 \text{ KN}$$

$$P_{H1} = \frac{B_{mayor} + B_{menor}}{2} * \gamma_o * H_p = 59106.23 \text{ KN}$$

$$P_{H2} = \frac{1}{2} * \gamma_o * (h_2) = 1923.48$$

$$P_{V1} = 0.5 * (\xi * b) * H_p * \gamma_o = 4013.07 \text{ KN}$$

$$P_{V2} = \text{área}_{pv2} * \gamma_o = 2781.61 \text{ KN}$$

2. Fuerzas de presión de sedimentos

$$\xi_{sed} = \frac{\left(\frac{\cos(\alpha + \varphi)}{2}\right)^2}{\left(\frac{\cos(\alpha - \varphi)}{2}\right)^2} \quad \gamma_{sum,sed} = \gamma_{sed} - \gamma_o(1 - n) = 12 \text{ KN/m}^3$$

<b>A</b>	<b><math>\xi_{sed}</math></b>	<b>hs</b>	<b>a3</b>
85.43 °	0.68	40.00 m	3.20 m

$$P_{HS} = \frac{\xi * \gamma_{sum, sed} * h_s^2}{2} = 6503.96 \text{ KN} \quad P_{VS} = \frac{\xi * \gamma_{sum, sed} * h_s * a_3}{2} = 522.02 \text{ KN}$$

### 3. Fuerza de subpresión

a= espesor de la cortina de impermeabilización + 2.50 m

a= 10.50 m

$$W = \gamma_o * \{b * h_o + 0.5 * z * [a + b * (1 - \alpha_1)]\} = 27386.34 \text{ KN}$$

### 4. Cálculo de la presión y momento de oleaje

$$P_{ola} = kp * \gamma_o * h_{ola} * \left( (Hp - hs) + \frac{h_{ola}}{2} \right) = 30.79 \text{ KN}$$

$$M_{ola} = kM * \gamma_o * h_{ola} * \left( \frac{h_{ola}^2}{6} + \frac{h_{ola} * (Hp - hs)}{2} + \frac{(Hp - hs)^2}{2} \right) = 1855.31 \text{ KN}$$

## Análisis de estabilidad y verificación de resistencias para el perfil constructivo de una presa de HC para combinación especial (E1)

Cuadro de fuerzas y momentos para COMBINACIÓN E1				
Hp = 100.00 m		q = 60.00 m3/s*m		
Fuerza	N (KN)	T (KN)	Brazo (m)	Mo (KN*m)
G	105021.26		10.78	-1132274.42
PH1		59106.23	35.90	2121978.00
PH2		-1923.482621	6.54	-12575.53
Pv1	4013.07		37.04	-148659.89
Pv2	2781.61		-2.44	-6789.78
recv	829.23		35.71	-29608.84
PHs		6503.96	13.33	86719.47
Pola		30.79	60.26	1855.31
Pvs	522.02		38.65	-20177.34
W	-27386.34		13.24	362589.08
$\Sigma$	85780.84	63717.50		1223056.07
FSD	1.58			
e	14.26			
$\sigma'y$	-0.083 MPa			
$\sigma''y$	2.243 a			

### 5. Cálculo del factor de seguridad al deslizamiento

$$FSD = \frac{f * \Sigma N + C * b}{\Sigma T} = 1.58$$

$$FSD \geq FSD_{perm}; \text{ Sí cumple}$$

### 6. Verificación de resistencias

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = 14.26$$

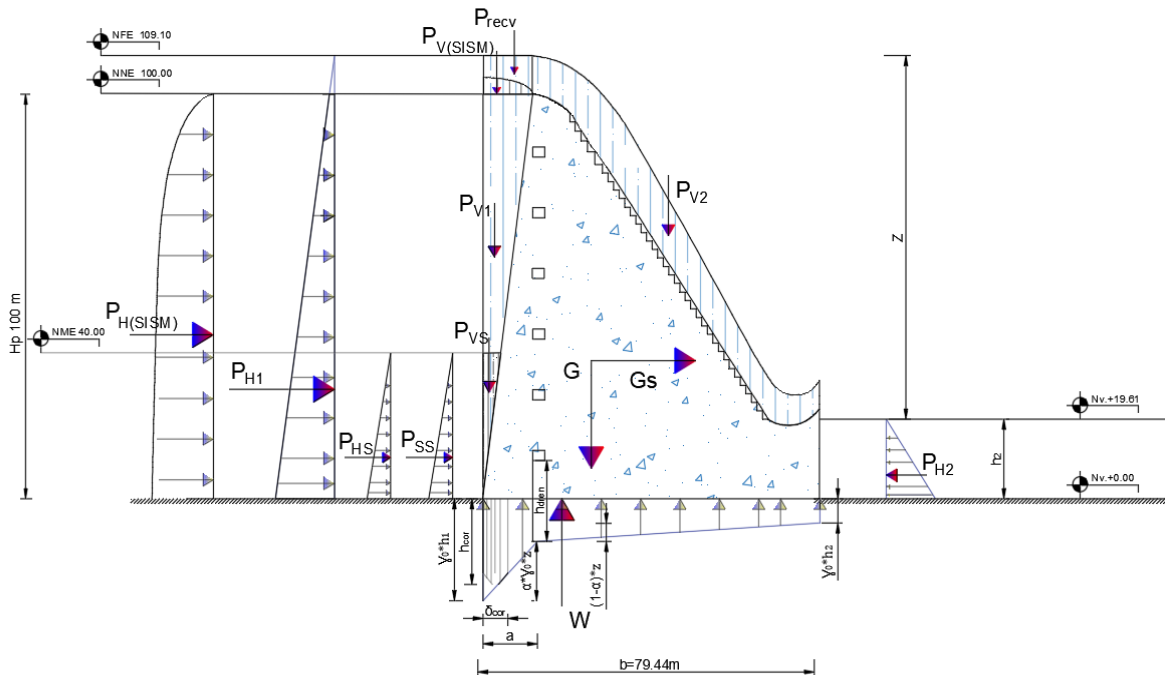
### 6.1. Cálculo del esfuerzo máximo y esfuerzo mínimo

$$\sigma''_y = \frac{N}{b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right) = 2.243 \text{ MPa} \quad \sigma'_y = \frac{N}{b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right) = -0.083 \text{ MPa}$$

### 6.2. Verificación de la resistencia a compresión de la roca

$$\sigma_{perm} = \frac{R_{comp}}{FS} = \frac{17.50}{2.50} = 7.00 \text{ Mpa} \quad \sigma''_y \leq \sigma_{PERM}; 2.243 < 7.00 ; \text{Sí cumple}$$

## VERIFICACIÓN DEL PERFIL CONSTRUCTIVO DE LA PRESA DE HC PARA COMBINACIÓN ESPECIAL E2



### 1. Cálculo de las fuerzas sísmicas en el cuerpo de la presa

$$\alpha_H = \frac{z}{1 + 3z} = 0.18 \quad G_s = G * \alpha_H = 20126.92 \text{ KN}$$

### 2. Cálculo de las fuerzas sísmicas en el agua del embalse

$$P_{H_{SISMO}} = \frac{2}{3} * C_e * \alpha_H * H_p^2 = 1088.01 \text{ KN}$$

$$P_{V_{SISMO}} = m_1 * P_{H_{SISMO}} = 87.04 \text{ KN}$$

Brazos de MOMENTO con respecto al centro de la base de la presa:

$$x = m1 * y = 3.40 \text{ m} \quad y = 0.425 * Hp = 42.50 \text{ m}$$

### 3. Cálculo de la fuerza sísmica en los sedimentos

$$P_{SSIMO} = 2.15 * \alpha_H * \gamma_{ssed} * hs^2 = 187.64 \text{ KN}$$

### Verificación del perfil constructivo de una presa de HC para combinación especial (E2)

Cuadro de fuerzas y momentos para COMBINACIÓN E2				
Hp = 100.00 m		q = 60.00 m3/s*m		
Fuerza	N (KN)	T (KN)	Brazo (m)	Mo (KN*m)
G	105021.26		10.78	-1132274.42
Gs		19094.77	33.33	636492.46
PH1		59106.23	35.90	2121978.00
PH2		-1923.48	6.54	-12575.53
PHSISMO		1088.01	42.5	46240.42
PvSISMO	87.04		36.19	-3150.01
Pv1	4013.07		37.04	-148659.89
Pv2	2781.61		-2.44	-6789.78
recv	829.23		35.71	-29608.84
PHs		6503.96	13.33	86719.47
Pvs	522.02		38.65	-20177.34
PSISMO		187.64	13.33	2501.82
W	-27386.34		13.24	362589.08
Σ	85867.88	84057.12		1903285.45
FSD	1.19			
e	22.17			
σ'y	-0.729 MPa			
σ''y	2.891 MPa			

#### 3.1. Cálculo del factor de seguridad al deslizamiento

$$FSD = \frac{f * \Sigma N + C * b}{\Sigma T} = 1.19 \quad FSD \geq FSD_{perm}; \text{ Sí cumple}$$

### 4. Verificación de resistencias

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = 22.17$$

#### 4.1 Cálculo del esfuerzo máximo y esfuerzo mínimo

$$\sigma''_y = \frac{N}{b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right) = -0.729 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_y = \frac{N}{b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right) = 2.891 \text{ MPa}$$

### 5. Verificación de la resistencia a compresión de la roca

$$\sigma_{perm} = \frac{Rcomp}{FS} = \frac{17.50}{2.50} = 7.00 \text{ Mpa} \quad \sigma''_y \leq \sigma_{PERM}; 2.891 < 7.00 ; \text{ Sí cumple}$$

Anexo 5. Diseño preliminar del perfil teórico triangular de una presa de hormigón vibrado convencional (HVC)

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Macizo de cimentación	ROCA BUENA		
Cohesión	C	400.00	KPa
Peso específico del hormigón	$\gamma_h$	24	KN/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	$\gamma_o$	10	KN/m <sup>3</sup>
Factor de fricción	f	0.80	
Altura de la presa	H <sub>p</sub>	100	m
Parámetro para cortina y drenaje	$\varepsilon_1$	0.37	
Parámetro para cortina y drenaje	$\alpha$	0.80	
Coefficiente de talud aguas arriba	m <sub>1</sub>	0.12	
Coefficiente de talud aguas abajo	m <sub>2</sub>	0.60	
Nivel de importancia de la obra hidráulica	I		
Factor de seguridad al deslizamiento permisible	FSD <sub>perm</sub>	1.30	

### 1. Altura de presa igual al NNE

$$\text{NNE} = 100.00 \text{ m}$$

### 2. Cálculo de la carga de diseño preliminar para el vertedero tipo Creager a partir del caudal unitario con la ecuación del vertedero, además se asume que:

$$m = 0.503$$

$$\varepsilon = 0.98$$

$$H_o = \left( \frac{q}{m * \varepsilon * \sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}} = 9.10 \text{ m}$$

$$v_o = \frac{q}{(Cs + H)} = 0.55 \text{ m/s}$$

$$H = H_o - \frac{v_o^2}{2g} = 9.10 \text{ m}$$

### 3. Perfil teórico triangular

#### 3.1. Se igualan las dos ecuaciones para obtener el parámetro $\xi$ , mediante aproximaciones

$$\frac{b}{H} = \frac{FSD_{per}}{f * \left[ \frac{\gamma_H}{\gamma_o} + \xi - (1 - \alpha) - \frac{a}{b} \right]} \quad \frac{b}{H} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma_H}{\gamma_o} * (1 - \xi) + \xi * (2 - \xi) - \varepsilon_1}}$$

#### 3.2. $\xi$ es un parametro que determina la inclinacion del perfil teórico triangular, este parametro se encontrará a través de iteraciones

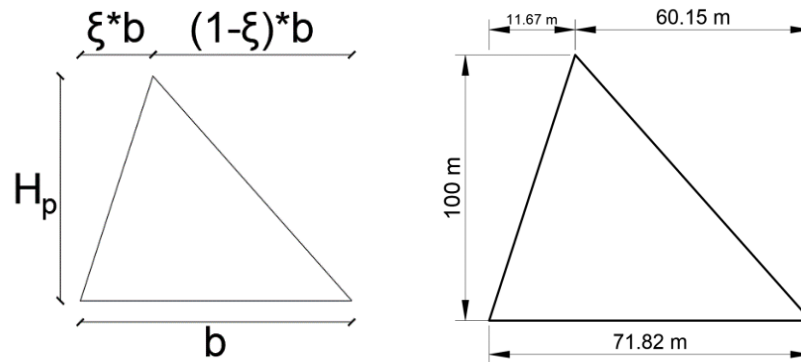
$\xi$	$b/h$		$\xi$	$b/h$
0.015	0.768		0.015	0.703
0.02	0.767		0.020	0.703
0.06	0.752	=	0.060	0.707
0.08	0.745		0.080	0.709
0.130	0.729		0.130	0.714
0.1625	0.718		0.1625	0.718

$\xi = 0.1625$

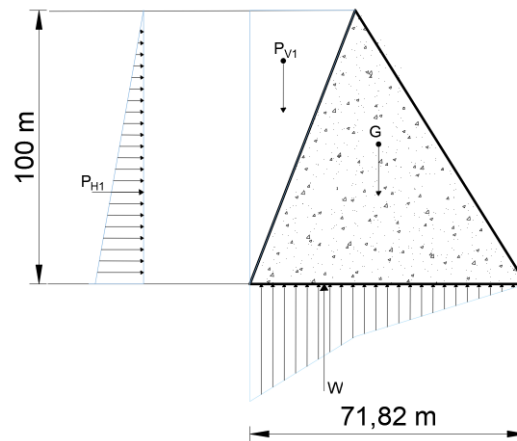
3.3. Se obtiene la base de la presa con las siguiente expresión:

$$\frac{b}{H} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma_H}{\gamma_0} * (1 - \xi) + \xi * (2 - \xi) - \epsilon_1}} = 71.82 \text{ m}$$

Nota: esta base esta calculada para estados límite con la condición  $\sigma_{min} =$



#### 4. Estabilidad al deslizamiento



##### 4.1. Fuerza de gravedad

$$G_{1,2} = \text{área}_{1,2} * \gamma_h$$

Área1	Área2	Atotal	G1	G2	Gtotal
583.66 m <sup>2</sup>	3007.45 m <sup>2</sup>	3591.11 m <sup>2</sup>	14007.92 KN	72178.79 KN	86186.70 KN

##### 4.2. Fuerzas de presión hidrostática

$$P_H = \frac{1}{2} * \gamma_0 * H_p^2 \quad P_v = \frac{1}{2} * (\xi * b) * H_p$$

$$PH= 50000.00 \text{ KN}$$

$$Pv= 5836.63 \text{ KN}$$

##### 4.3. Fuerza de subpresión: “a” se asume igual a 8 m, para fines de diseño preliminar

$$W1 = \frac{1}{2} * a * \alpha * \gamma_0 * H_p$$

$$W2 = \frac{1}{2} * (b - a) * (1 - \alpha) * \gamma_0 * H_p$$

$$W3 = a * (1 - \alpha) * \gamma_0 * H_p$$



<b>W1</b>	<b>W2</b>	<b>W3</b>	<b>ΣW</b>
3200 KN	6382.22533 KN	1436.44507 KN	11018.6704 KN

Cuadro de fuerzas y momentos aplicados al PTT de una presa de HVC

Fuerza	N KN	T KN	x m	y m	ΣMo (KN*m)
G <sub>1</sub> =	14007.92		28.13		-394028.03
G <sub>2</sub> =	72178.79		4.19		-302299.08
P <sub>v</sub> =	5836.63		32.02		-186889.20
P <sub>H</sub> =		50000.00		33.33	1666666.66
W <sub>1</sub> =	3200.00		33.24		106382.27
W <sub>2</sub> =	6382.23		6.64		42359.09
W <sub>3</sub> =	1436.45		31.91		45838.58
Σ	81004.67	50000.00			978030.29

#### 4.4. Clculo del factor de seguridad al deslizamiento

$$FSD = \frac{f * \Sigma N + C * b}{\Sigma T} \quad FSD \geq FSD_{perm}; \text{ Si cumple}$$

#### 5. Análisis de verificación de resistencias

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = 12.07$$

#### 5.1. Cálculo del esfuerzo máximo y esfuerzo mínimo

$$\sigma''_y = \frac{N}{b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right) = 2.27 \text{ MPa} \quad \sigma'_y = \frac{N}{b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right) = 0 \text{ MPa}$$

Cuadro resumen del análisis al perfil teórico triangular de la presa de hormigón vibrado convencional (HVC)

Parámetro		Condición	Ángulos de inclinación			Perfil teórico triangular	
ε <sub>1</sub>	0.37	CORTINA Y DRENAJE	Aguas arriba	α	83.34 °	ξ*B	11.67 m
a/b	0.1		Aguas abajo	β	58.97 °	(1-ξ)*B	60.15 m
α	0.8	CORTINA Y DRENAJE	Angulo complementario AAR	ψ	6.66 °	a <sub>1</sub>	11.67 m
C	400.00 KPa	Cohesión				a <sub>(c,d)</sub>	8.00 m

Llenar
Fórmula

Hp	FSDper	f	γ <sub>o</sub>	γ <sub>h</sub>	m1	m2	ec. Est	ξ	ec. Resist	b	b/H
100.00 m	1.30	0.80	10.00 KN/m3	24.00 KN/m3	0.12	0.60	0.718	0.1625	0.718	71.82 m	0.718

N	X <sub>(G,Pv)</sub>	W <sub>(CD)</sub>	X <sub>(W1,W2,W3)</sub>	T	X <sub>(PH)</sub>	M <sub>(CD)</sub>	e				
G <sub>1</sub>	14007.92 KN	28.13 m	W <sub>1</sub>	3200.00 KN	33.24 m	PH	50000.00 KN	33.33 m	M <sub>G1</sub>	-394028.04 KN*m	12.07
G <sub>2</sub>	72178.79 KN	-4.19 m	W <sub>2</sub>	6382.23 KN	6.64 m	PHS			M <sub>G2</sub>	-302299.08 KN*m	
P <sub>v</sub>	5836.63 KN	32.02 m	W <sub>3</sub>	1436.45 KN	31.91 m				M <sub>Pv</sub>	-186889.20 KN*m	
ΣN	92023.34 KN		ΣW	11018.67 KN		ΣPH	50000.00 KN		M <sub>W</sub>	194579.95 KN*m	
									M <sub>PH</sub>	1666666.67 KN*m	
									ΣM	978030.29 KN*m	

#### VERIFICACION DE ESFUERZOS

σ <sub>y</sub> '	σ <sub>y</sub> ''	20%*γ <sub>o</sub> *Hp	FSD
-9.74 KPa	2265.44 KPa	200.00 KPa	1.87

CALCULAR

GRABAR DATOS

Anexo 6. Diseño del perfil constructivo de la presa de hormigón vibrado convencional (HVC)

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal unitario	q	60	m <sup>3</sup> /s*m
Macizo de cimentación	ROCA BUENA		
Ángulo de fricción interna del suelo de cimentación	φ <sub>c</sub>	38.65	°
Cohesión	C	400.00	KPa
Ángulo de fricción interna de los sedimentos	φ <sub>sed</sub>	12	°
Peso específico del hormigón	γ <sub>h</sub>	24	KN/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	γ <sub>o</sub>	10	KN/m <sup>3</sup>
Peso específico seco de los sedimentos	γ <sub>s.sed</sub>	16	KN/m <sup>3</sup>
Porosidad de los sedimentos	n	0.40	
Factor de fricción	f	0.80	
Altura de la presa	H <sub>p</sub>	100.00	m
Parámetro para cortina y drenaje	ε <sub>1</sub>	0.37	
Parámetro para cortina y drenaje	α	0.80	
Coefficiente de talud aguas arriba	m <sub>1</sub>	0.12	
Coefficiente de talud aguas abajo	m <sub>2</sub>	0.60	

1. Altura de presa igual al NNE

$$\text{NNE} = 100.00 \text{ m}$$

2. Cálculo de la carga de diseño preliminar para el vertedero tipo Creager a partir del caudal unitario con la ecuación del vertedero, además se asume que:

$$m = 0.503$$

$$\varepsilon = 0.98$$

$$H_o = \left( \frac{q}{m * \varepsilon * \sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}} = 9.10 \text{ m}$$

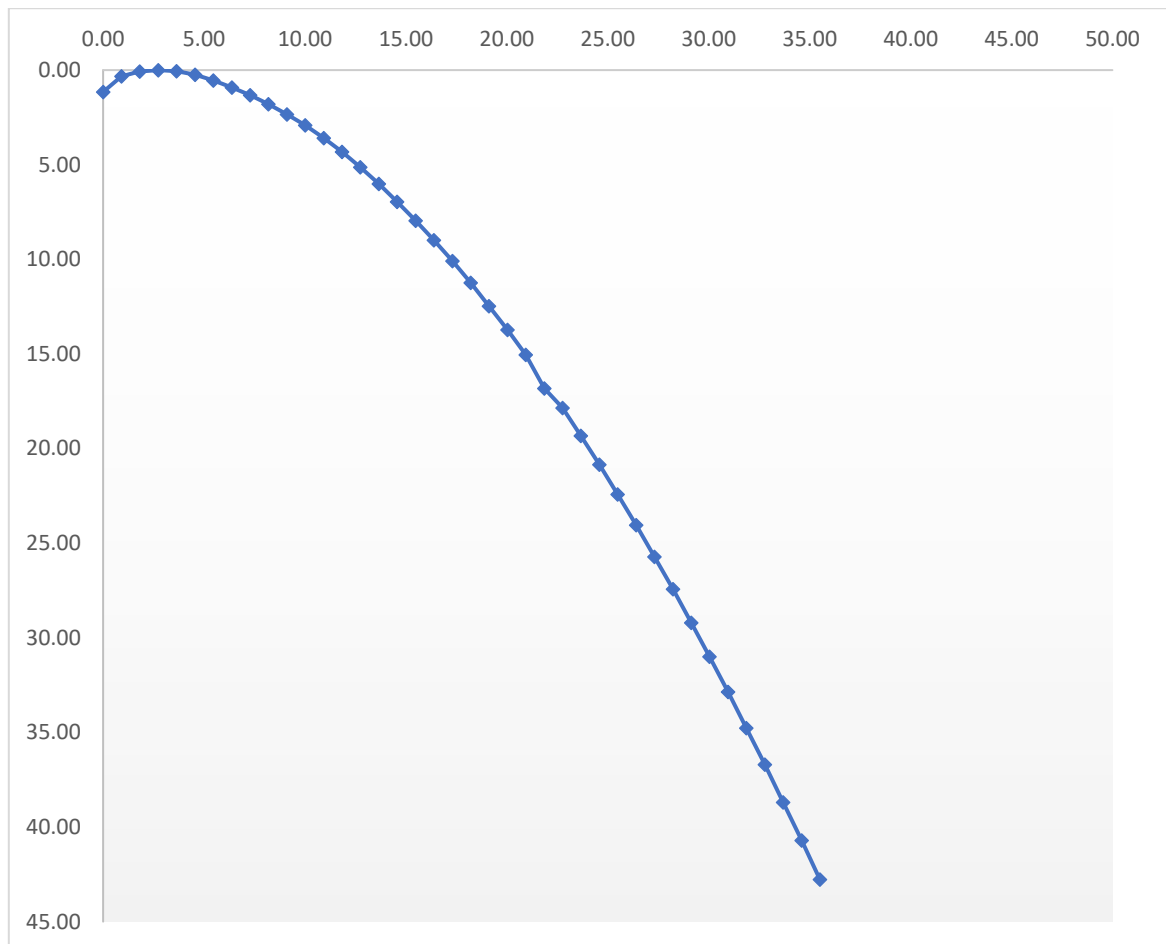
$$v_o = \frac{q}{(Cs + H)} = 0.55 \text{ m/s}$$

$$H = H_o - \frac{v_o^2}{2g} = 9.10 \text{ m}$$

3. El perfil hidráulico de la presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC), se obtiene mediante las coordenadas Creager - Offizyerov

x/H	y/H	H	x	y
0.00	0.126	9.10	0.00	1.15
0.10	0.036	9.10	0.91	0.33
0.20	0.007	9.10	1.82	0.06
0.30	0.000	9.10	2.73	0.00
0.40	0.006	9.10	3.64	0.05
0.50	0.027	9.10	4.55	0.25
0.60	0.060	9.10	5.46	0.55
0.70	0.100	9.10	6.37	0.91
0.80	0.146	9.10	7.28	1.33
0.90	0.198	9.10	8.19	1.80
1.00	0.256	9.10	9.10	2.33
1.10	0.321	9.10	10.02	2.92
1.20	0.394	9.10	10.93	3.59

1.30	0.475	9.10	11.84	4.32
1.40	0.564	9.10	12.75	5.14
1.50	0.661	9.10	13.66	6.02
1.60	0.764	9.10	14.57	6.96
1.70	0.873	9.10	15.48	7.95
1.80	0.987	9.10	16.39	8.99
1.90	1.108	9.10	17.30	10.09
2.00	1.235	9.10	18.21	11.24
2.10	1.369	9.10	19.12	12.46
2.20	1.508	9.10	20.03	13.73
2.30	1.653	9.10	20.94	15.05
2.40	1.847	9.10	21.85	16.82
2.50	1.960	9.10	22.76	17.85
2.60	2.122	9.10	23.67	19.32
2.70	2.289	9.10	24.58	20.84
2.80	2.462	9.10	25.49	22.42
2.90	2.640	9.10	26.40	24.04
3.00	2.824	9.10	27.31	25.71
3.10	3.013	9.10	28.23	27.43
3.20	3.207	9.10	29.14	29.20
3.30	3.405	9.10	30.05	31.00
3.40	3.609	9.10	30.96	32.86
3.50	3.818	9.10	31.87	34.76
3.60	4.031	9.10	32.78	36.70
3.70	4.249	9.10	33.69	38.69
3.80	4.471	9.10	34.60	40.71
3.90	4.698	9.10	35.51	42.78



4. Diseño y cálculo del pozo de disipación

4.1. Se realiza el cálculo de la profundidad contraída

$$E_o = hc + \frac{q^2}{hc^2 * \varphi^2 * 2g}$$

$\varphi = 0.95$

**Asumido**

$$E = H + Ci$$

$$E_o = E + \frac{v_o^2}{2g}$$

109.11

E= m

109.12

E<sub>o</sub>= m

$h_c$ (m)	$f(h_c)$ , (m)
1.050	185.46
1.100	169.12
1.150	154.88
1.190	144.76
1.200	142.39
1.374	109.13

**hc= 1.37 m**

4.2. Cálculo de la profundidad crítica

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 7.16$$

4.3. Cálculo de la primera conjugada

$$h_{cr} > h_c$$

$$7.16 > 1.37$$

h'= 1.37 m, se asume la  $h_c$  como 1<sup>era</sup> conjugada

4.4. Cálculo de la segunda conjugada

$$h'' = \frac{h'}{2} * \left( \sqrt{1 + 8 * \left( \frac{hcr}{h'} \right)^3} \right) - 1 = 22.13 \text{ m}$$

4.5. Se debe comparar la segunda conjugada con la profundidad aguas abajo  $h_2$

$$h_2 = 1.66 * H_p * \left( \frac{hcr}{H_p} \right)^{0.81} = 19.61 \text{ m}$$

4.6. Se compara la segunda conjugada con la profundidad aguas abajo ( $h_2$ )

$$h'' > h_2; \text{RESALTO DESPLAZADO}$$

$$h'' < h_2; \text{RESALTO SUMERGIDO}$$

Por lo tanto se presenta un resalto desplazado, lo que significa que es necesario un pozo de disipación.

4.7. Cálculo de la profundidad del pozo

$$tp = (h'' - h_0) = 2.51 \text{ m}$$

Es necesario volver a calcular la profundidad contraída con la nueva energía

$$E_{o1} = E_0 + tp = 111.62 \text{ m}$$

$$E_{o1} = hc + \frac{q^2}{hc^2 * \varphi^2 * 2g}$$

$$\varphi = 0.95 \quad \text{Asumido}$$

$h_c$ (m)	$f(h_c), (m)$
1.3	121.601
1.250	131.368
1.200	142.387
1.199	142.621
1.198	142.857
1.356	111.626

$$hc = 1.36 \text{ m}$$

tp (m)	E (m)	$E_{o1}$ (m)	$h_{cr}$ (m)	$h_c$ (m)	$h'$ (m)	$h''$ (m)	$1 < h_2 + t/h'' < 1.03$	condición de sumersión
0.50	109.11	109.61	7.16	1.370	1.370	22.156	0.91	no cumple
1.00	109.11	110.11	7.16	1.368	1.368	22.173	0.93	no cumple
1.50	109.11	110.61	7.16	1.366	1.366	22.190	0.95	no cumple
2.00	109.11	111.11	7.16	1.361	1.361	22.232	0.97	no cumple
2.25	109.11	111.36	7.16	1.359	1.359	22.249	0.98	no cumple
2.50	109.11	111.61	7.16	1.358	1.358	22.258	0.99	no cumple
2.70	109.11	111.81	7.16	1.356	1.356	22.275	1.00	sí cumple

4.8. Cálculo de la longitud del resalto

$$L_r = 5 * (h'' - h') = 104.2 \text{ m}$$

4.9. Cálculo de la longitud del pozo de disipación

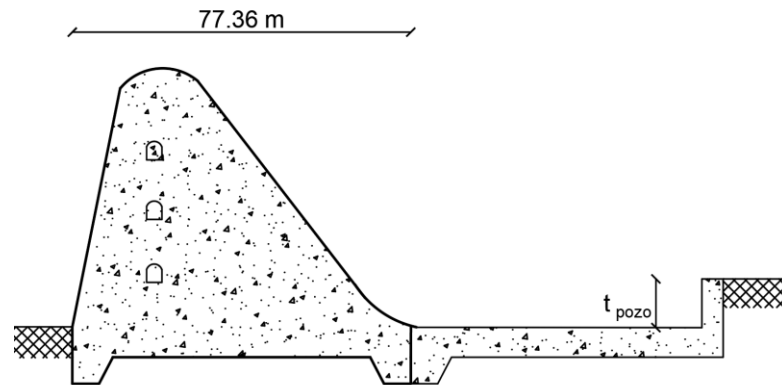
$$L_r = L_p = 104.02 \text{ m}$$

4.10. Cálculo del espesor del pozo de disipación,  $k=1$  (factor de mayoración)

$$\delta = 0.25 * \sqrt{q * \sqrt{t_p}} = 2.48 \text{ m}$$

5. Dimensionamiento del perfil constructivo de la presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC)

DATO INICIAL	
Base de la presa	B = 77.36 m (AutoCAD)



5.1. Dimensionamiento del dentellón

$$h_{den} = (0.05 \div 0.10) * H_p = 5.00$$

5.2. Profundidad de la cortina de impermeabilización: Se asume que la profundidad de la cortina de impermeabilización es el 40% de la altura de la presa.

$$h_{cor} = (0.4 \div 0.8) * H_p = 40 \text{ m}$$

$$J_{perm} = (10 \div 15), J_{perm} = 10$$

5.3. Espesor de la cortina de impermeabilización

$$\delta_{cor} = \frac{H_p}{J_{perm}} = 10 \text{ m}$$

5.4. Profundidad del drenaje vertical

$$h_{dren} = 20\% * H_p = 20 \text{ m}$$

5.5. Cálculo de las galerías longitudinales, asumimos que por las galerías esta previsto el paso de equipos motorizados para mantenimiento y control.

$$H_{gal} = 2.50 \text{ m}$$

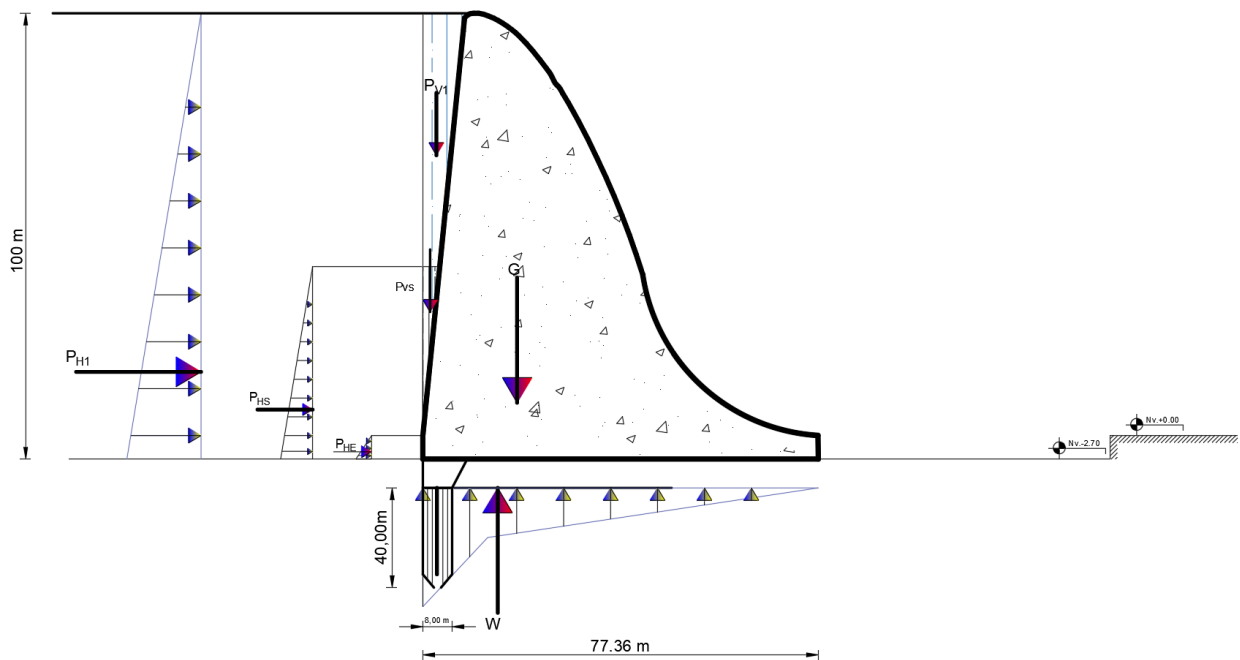
$$B_{gal} = 3.00 \text{ m}$$

La distancia de galerías se estiman entre 10 – 15 metros, se adoptó para este caso cada 15 m. Por lo tanto se requieren 6 galerías.

5.6. Cálculo del desnivel (z)

$$z = (Cs + H) - h_2 = 80.49 \text{ m}$$

## 6. Verificación de la estabilidad al deslizamiento del perfil constructivo



Se debe calcular todas las fuerzas que actúan sobre la presa para combinación básica de fuerzas

### 6.1. Fuerza de gravedad

$$G = Area * \gamma_h$$

Área (m <sup>2</sup> )	G (KN)
4268.99	102455.76

### 6.2. Fuerzas de presión hidrostática

$$P_{H1} = \frac{1}{2} * \gamma_o * H_p^2 = 50000 \text{ KN} \quad P_{V1} = 0.5 * (\xi * b) * H_p * \gamma_o = 5836.63 \text{ KN}$$

### 6.3. Fuerzas de presión de sedimentos

$$\xi_{sed} = \frac{\left(\frac{\cos(\alpha + \varphi)}{2}\right)^2}{\left(\frac{\cos(\alpha - \varphi)}{2}\right)^2} \quad \gamma_{sum, sed} = \gamma_{sed} - \gamma_o(1 - n) = 10 \text{ KN/m}^3$$

$\alpha$	$\xi_{sed}$	hs	a3
85.43 °	0.68	40.00 m	3.20 m

$$P_{HS} = \frac{\xi * \gamma_{sum, sed} * h_s^2}{2} = 5496.71 \text{ KN} \quad P_{VS} = \frac{\xi * \gamma_{sum, sed} * h_s * a_3}{2} = 641.65 \text{ KN}$$

### 6.4. Fuerza de presión de empuje de suelo saturado aguas arriba

$$\gamma_{sat} = 10.00 \text{ KN/m}^3$$

$$P_{HE} = \frac{\xi * \gamma_{sat} * t_p^2}{2} = 25.04 \text{ KN}$$

### 6.5. Fuerza de subpresión

**a**= espesor de la cortina de impermeabilización + 2.50 m

**a**= 10.50 m

$$W = \gamma_o * \{b * h_o + 0.5 * z * [a + b * (1 - \alpha_1)]\} = 12516.25 \text{ KN}$$

### Análisis de la presa vertedero de hormigón vibrado convencional (HVC)

Cuadro de fuerzas y momentos					
Fuerza	Hp= 100 m		q= 60 m <sup>3</sup> /s*m		
	N KN	T KN	x m	y m	ΣM <sub>o</sub> KN*m
G=	102455.76		9.19		-941568.43
PV <sub>1</sub> =	5836.63		34.79		-203050.14
PV <sub>S</sub> =	641.65		37.12		-23820.16
PH <sub>1</sub> =		50000.00		33.33	1666666.67
PH <sub>S</sub> =		5496.71		13.33	73289.41
P <sub>HE</sub> =		25.04		0.90	22.54
W=	12516.25			12.89	161376.18
ΣN,T,M <sub>o</sub> =	96417.79	55521.75			732916.06

### 6.6. Cálculo del factor de seguridad al deslizamiento

$$FSD = \frac{f * \Sigma N + C * b}{\Sigma T} \quad FSD \geq FSD_{perm}$$

### 7. Verificación de resistencias

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = 7.60$$

#### 7.1. Cálculo del esfuerzo máximo y esfuerzo mínimo

$$\sigma''_y = \frac{N}{b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right) = 1.981 \text{ MPa} \quad \sigma'_y = \frac{N}{b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right) = 0.511 \text{ MPa}$$

7.2. Verificación de la resistencia a compresión de la roca:  $f^c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ ;  $R_{comp} = 17.50 \text{ MPa}$ ;  $FS = 2.50$

$$\sigma_{perm} = \frac{R_{comp}}{FS}$$

$$\sigma''_y \leq \sigma_{PERM} \quad 1.981 \text{ MPa} \leq 7.00 \text{ MPa}$$



Anexo 7. Diseño del perfil escalonado de hormigón compactado (HC)

DISEÑO DEL PERFIL ESCALONADO PARA FLUJO RASANTE				
#	PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
1	Caudal unitario	q	m <sup>3</sup> /s/m	60
2	Altura de presa	H <sub>p</sub>	m	100
3	Coefficiente de talud aguas abajo	m <sub>2</sub>		0.66
4	Pendiente inicial	h/l		1.51
5	Ancho del frente del vertedero	B	m	1
6	Carga sobre el vertedero	H	m	9.10
7	Diferencia de niveles (aguas arriba, aguas abajo)	z	m	89.49
8	Aceleración de la gravedad	g	m/s <sup>2</sup>	9.81

1. Cálculo de la profundidad crítica

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 7.16$$

2. Cálculo del ángulo entre la horizontal y el talud aguas abajo de la presa vertedero escalonado de hormigón compactado (HC)

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{1}{m_2}\right) = 56.58$$

3. Cálculo de la profundidad normal

$$h_n = h_{cr} * 0.215 * \text{sen}(\beta)^{\frac{1}{3}} = 1.29$$

4. Cálculo de h<sub>cr</sub>/h según Chanson (2002) y Othsuda (1999).

$$\frac{h_{cr}}{h} = 1.2 - 0.325 * \left(\frac{h}{l}\right); \text{para } \frac{h}{l} = 0.5 \dots \dots 1.7; \text{Chanson 2002}$$

$$\frac{h_{cr}}{h} = 0.862 * \left(\frac{h}{l}\right)^{-0.165}; \text{si } 0.1 < \frac{h}{l} \leq 1.43; \text{Othsuda 1999}$$

h <sub>cr</sub> /h (Chanson 2002)	h <sub>cr</sub> /h	0.708
h <sub>cr</sub> /h (Othsuda 1999)	h <sub>cr</sub> /h	0.805
h <sub>cr</sub> /h (Adoptada)	h <sub>cr</sub> /h	0.805

5. Cálculo del peralte del escalón

$$h = \frac{h_{cr}}{\frac{h_{cr}}{h}} = 8.89 \text{ m}$$

6. Cálculo del peralte óptimo según Tozzi (1992)

$$h = 0.30 * h_{cr} = 2.15 \text{ m}$$

**En caso de la presente investigación, se adoptó un escalón de peralte máximo 2.10 m**

$$h_{adop} = 2.10 \text{ m}$$

7. Cálculo de la longitud de la huella del escalón

$$l = \frac{h}{\frac{1}{m^2}} = 1.42 \text{ m}$$

*se adoptó por motivos constructivos una huella igual a:*

$$l_{adop} = 1.40 \text{ m}$$

8. Se calcula el ángulo del escalón así como también la pendiente

$$\frac{h}{l} = \frac{2.10}{1.40} = 1.50$$

$$\beta_a = \tan^{-1}\left(\frac{h}{l}\right) = 56.31$$

Al realizar la sobreposición del perfil escalonado sobre la presa se debe conservar la inclinación de talud y se llegó a una configuración de 35 escalones. Como se muestra a continuación:

9. Número de contrahuellas

$$\# \text{ contrahuellas} = \frac{Hp - (0.4 * H) - h_2 - 2.50}{h_{adop}} = 35$$

10. Número de huellas

$$\# \text{ huellas} = \# \text{ contrahuellas} - 1 = 34$$

11. Comprobación del flujo rasante

$$\frac{hcr}{h} > 1.2 - 0.325 * \left(\frac{h}{l}\right) = 3.41 > 0.71 ; SI CUMPLE$$

12. Comprobación de la eficiencia del perfil escalonado:

$$\frac{z}{hcr} > 10 \quad \frac{z}{hcr} > 13.97; OK$$

13. Cálculo de la rugosidad de forma:

$$K = h * \cos(\beta_d) = 1.17$$

**14.** Longitud del punto de inyección:

$$L_i = \frac{9.72 * q^{0.86} * \cos(\beta_d)}{(g * \sin(\beta_d))^{0.42} * h^{0.29}} = 59.62 \text{ m}$$

**15.** Calado en el punto de inyección

Se calcula el número de Froude:

$$Fr = \frac{q}{\sqrt{g * \sin(\beta_d) * K^3}} = 16.70$$

**16.** Calado en el punto de inyección

$$y_i = K * \frac{0.4034}{\sin(\beta_d)^{0.04}} * Fr^{0.592} = 2.51 \text{ m}$$

**17.** Concentración media de aire en el punto de inyección:

$$\bar{C} = 0.9 * \sin(\beta_d) = 74.88 \%$$

**18.** Factor de fricción para flujo aireado

$$f=0.11$$

Dependiendo de las condiciones del material de los escalones este factor puede llegar a ser hasta 0.20. Si el factor de fricción es mayor, ocurre una mayor disipación de energía.

**19.** Ley de distribución de velocidades. El rango es  $3.5 \leq N \leq 4$  (según experimentos realizados por Frizell y Tozzy, (Chanson, 2000, pag. 73))

Por lo tanto se adoptó  $N=3.50$  y  $\alpha=1.1$

**20.** Energía total al inicio de la disipación:

$$E_1 = H_{\max} = (1.5 * h_{cr}) + H_p = 110.74 \text{ m}$$

**21.** Energía disipada

$$\frac{H_{res}}{H_{\max}} = \frac{\left(\frac{f}{8 * \sin(\beta_d)}\right)^{1/3} + \left(\frac{\alpha}{2}\right) * \left(\frac{f}{8 * \sin(\beta_d)}\right)^{-2/3}}{\frac{3}{2} + \frac{H_p}{h_{cr}}} = 61.11 \text{ m}$$

22. Porcentaje de energía disipada

$$\%disipación = \left(1 - \frac{H_{res}}{H_{máx}}\right) * 100\% = 44.81 \%$$

**CONDICIONES AGUAS DEBAJO DE LA PRESA**

23. Profundidad contraída

$$hc = \sqrt[3]{\frac{f * q^2}{8 * g * \text{sen}(\beta_d)}} = 1.82 \text{ m}$$

24. Velocidad máxima al pie de la rapida escalonada

$$Vmáx = \sqrt{2 * g * (E1 - hc * \cos(\beta_d))} = 46.40 \text{ m/s}$$

25. Relación  $E1/hcr = 15.47$

26. Relación  $Uw / Vmax = 0.49$  se obtiene de la siguiente grafica

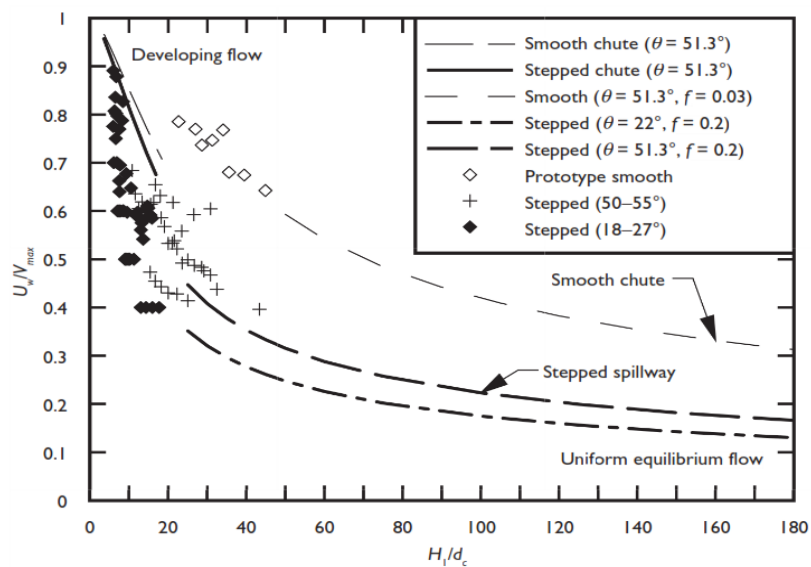


Figure 3.9 Flow velocity at the stepped spillway toe. Comparison between smooth and stepped spillway configurations.

27. Velocidad real al pie de la presa

$$v = Vmáx * \frac{Uw}{Vmáx} = 22.74 \text{ m/s}$$

28. Cálculo de la segunda conjugada

$$h'' = \frac{hc}{2} * \left( \sqrt{1 + 8 * \left(\frac{hcr}{hc}\right)^3} \right) - 1 = 19.17 \text{ m}$$

## 29. Cálculo de la profundidad aguas abajo

$$h_2 = 1.66 * H_p * \left(\frac{h_{cr}}{H_p}\right)^{0.81} = 19.61 \text{ m}$$

### CUADRO RESUMEN

DISEÑO PRELIMINAR PERFIL ESCALONADO PARA FLUJO RASANTE				
#	PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
1	Caudal unitario	q	m <sup>3</sup> /s/m	60
2	Altura de presa	H <sub>p</sub>	m	100
3	Coefficiente de talud aguas abajo	m <sub>2</sub>		0.66
4	Ancho del vertedero	B	m	1
5	Carga sobre el vertedero	H	m	9.10
6	Base de la presa	b	m	78.39
7	Dif. Cotas	z	m	89.49
8	Aceleración de la gravedad	g	m/s <sup>2</sup>	9.81

CÁLCULOS				
9	Profundidad crítica	h <sub>cr</sub>	m	7.16
10	Angulo inclinación del talud	α	°	56.58
11	Profundidad normal	h <sub>n</sub>	m	1.29
12	h <sub>cr</sub> /h (Chanson 2002)	h <sub>cr</sub> /h	-	0.708
13	h <sub>cr</sub> /h (Othsuda 1999)	h <sub>cr</sub> /h	-	0.805
14	h <sub>cr</sub> /h (Adoptada)	h <sub>cr</sub> /h	-	0.805
15	Peralte del escalón	h	m	8.89
16	Peralte optimo (Matos 2000)	hopt	m	2.15
17	Peralte (adoptado)	hasum	m	2.10
18	Longitud huella calculada	lcalc	m	1.42
19	Longitud huella (adoptado)	lasum	m	1.40
20	Pendiente del perfil escalonado	h/l	-	1.50
21	Angulo inclinación perfil escalonado	α <sub>d</sub>	°	56.31
22	# contrahuellas	#contrahuellas	#	35
23	# huellas	#huellas	#	34
24	Longitud vertical del perfil escalonado	L <sub>v</sub>	m	73.18
25	Longitud horizontal del perfil escalonado	L <sub>d</sub>	m	47.38
26	Longitud inclinada del perfil escalonado	L <sub>r</sub>	m	87.18
27	Comprobación de flujo rasante	h <sub>cr</sub> /h	3.41	0.71
		si cumple		
28	Comprobación de perfil escalonado	z/h <sub>cr</sub> <10	13.97	OK
LONGITUD HASTA EL PUNTO DE INCEPCIÓN				
29	Rugosidad relativa del escalón	K	rugosidad de forma	1.16
30	# Froude de rugosidad Chamani	F		12.44
31	Longitud hasta el punto incepción Chanson y Gonzales 1997)	L <sub>i</sub>	m	67.32

32	Longitud hasta el punto inyección (Boes, 2000)	$L_i$	m	59.62
<b>CALADO EN EL PUNTO DE INYECCIÓN</b>				
33	Froude de rugosidad Chanson	$F^*$		16.70
34	Calado en el punto de inyección	$y_i$	m	2.51
35	Concentración media de aire	$\hat{C}$	%	74.88
36	Factor de fricción para flujo aireado	$f_e$		0.11
37	Ley de distribución de velocidades	$N$		3.5
38	Ley de Distribución de Velocidades. El rango es $3.5 \leq N \leq 4$ (experimentos realizados por Frizell y Tozzy, (Chanson,2000, pag73)	$\alpha$		1.1
39	Energía total al inicio de la disipación	$E_1 / H_{max}$	m	110.74
40	Energía disipada	$H_{res}$	m	61.11
		$\Delta e$	m	49.63
41	Porcentaje de disipación		%	44.81
<b>CONDICIONES AGUAS ABAJO DE LA PRESA</b>				
42	Profundidad contraída		m	1.82
43	Velocidad max al pie de la rápida $V_{max}$		m/s	46.40
44	Relación $E_1/h_c$			15.47
45	Relación $U_w / V_{max}$	Del grafico 3.9		0.49
46	Velocidad real al pie $U_w$		m/s	22.74
47	Número de Froude			5.38
<b>SEGUNDA CONJUGADA</b>				
48	Segunda conjugada	$h''$	m	19.17
49	Profundidad normal	$h_2$	m	19.61

Anexo 8. Diseño del deflector tipo esquí y pozo de socavación de la presa vertedero escalonada de hormigón compactado (HC)

DISEÑO DEL DEFLECTOR TIPO ESQUÍ		
1	Caudal unitario (q)	60 m <sup>3</sup> /s*m
2	Profundidad aguas abajo (h <sub>2</sub> )	19,61 m
3	Factor de fricción para flujo aireado (f)	0,11
4	Segunda conjugada (h'')	19,10 m
5	Ángulo de inclinación del chorro (β)	30 ° (Sandoval W. , 2018)
6	Coefficiente de desprendimiento del flujo (k)	0,7 (tabla 2-15)
7	Diámetro de las partículas en la zona de impacto del chorro (d <sub>90%</sub> )	150 mm (tabla 2-15)
8	Altura del escalón medida desde la profundidad aguas abajo (Z <sub>s</sub> )	2,5 (Sandoval W. , 2018)

1. Cálculo de la profundidad crítica

$$h_c = \frac{f * q^2}{\sqrt[3]{8 * g * \sin \theta}} = 1.82 \text{ m}$$

2. Cálculo del radio de curvatura R

$$R = 5 * h_c = 9.11 \text{ m} \quad R = 1.27 * \left( \frac{p_2}{1.5 * h_{cr}} \right)^{0.4} = 2.87 \text{ m}$$

Por lo tanto el radio de curvatura puede estar entre (2.87 – 9.11) m

3. Cálculo de la velocidad en el deflector

$$v_{esq} = \frac{q}{h_c} = 32.96 \text{ m/s}$$

4. Número de Froude

$$Fr = \frac{v_{esq}}{\sqrt{g * h_c}} = 7.80$$

$$Fr^2 = 60.84$$

5. Coeficiente de aireación de flujo (ka)

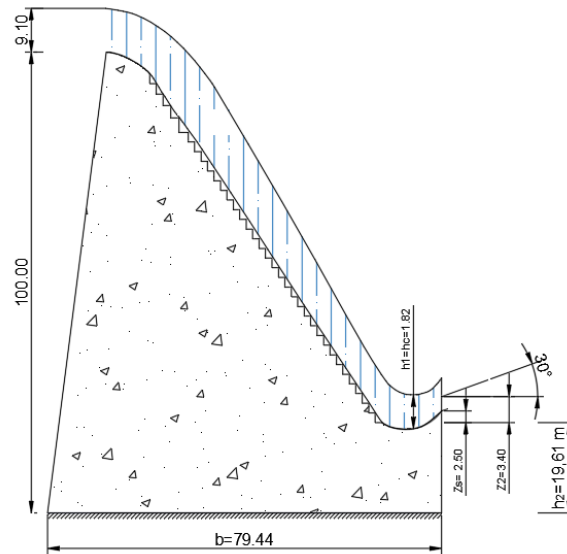
Numero de Froude	Ka
Fr <sup>2</sup> < 35	1
Fr <sup>2</sup> > 35	0,8 – 0,9

$$ka = 0.80$$

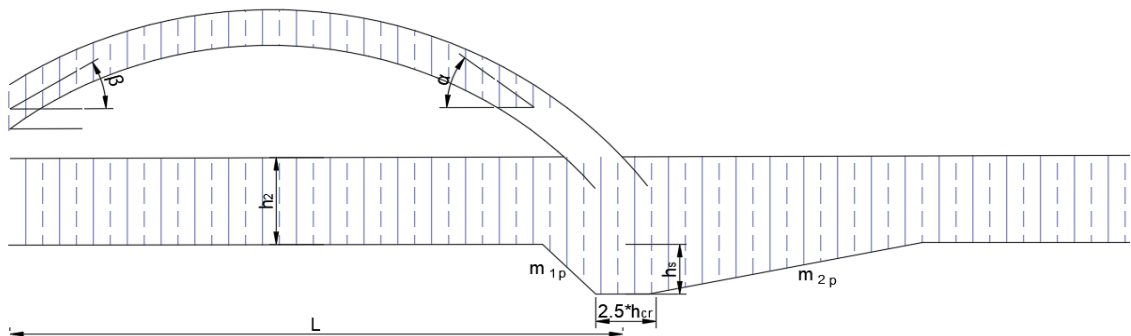
6. Distancia vertical entre la profundidad aguas abajo y el eje del chorro (z<sub>2</sub>)

$$z_2 = -1 * \left( 2.5 + \frac{h_c}{2} \right) = 3.41$$

## DISEÑO FINAL DEL DEFLECTOR TIPO ESQUÍ



DISEÑO DEL POZO DE SOCAVACIÓN		
1	Caudal unitario (q)	60 m <sup>3</sup> /s*m
2	Coeficiente de aireación de flujo (ka)	0,80 (tabla 2-15)
3	Velocidad en del deflector (vesq)	32,94 m/s
4	Aceleración de la gravedad (g)	9,81 m/s <sup>2</sup>
5	Ángulo de inclinación a la salida del chorro (β)	30° (Sandoval W. , 2018)
6	Distancia vertical entre la profundidad aguas abajo y el eje del chorro (z2)	3,41 m
7	Diferencia de cotas entre aguas arriba y aguas abajo (z)	89,49 m
8	Diámetro de las partículas en la zona de impacto del chorro (d90%)	150 mm (tabla 2-16)



1. Se calcula la distancia horizontal L

$$L = 6 * \sqrt[3]{q} = 120 \text{ m}$$

$$L = k_a * \frac{v_{esq}^2}{g} * \cos \beta * \left( \sin \beta + \sqrt{\sin^2 \beta - \frac{2 * g * z_2}{v_{esq}^2}} \right) = 116.35 \text{ m}$$



2. Angulo de inclinación de ingreso al chorro ( $\alpha$ )

$$\tan \alpha = \sqrt{\tan \beta^2 - \frac{2 * g * z_2}{v_{esq}^2 * \cos \beta^2}} = 38.82^\circ$$

3. Coeficiente de reducción de flujo ( $K_\alpha$ )

$$k_\alpha = \sin \alpha + \frac{\cos \alpha}{3} = 0.89$$

4. Profundidad de socavación ( $h_s$ )

$$h_s = -5.13 * \frac{q^{0.567} * \left(\frac{Z}{g}\right)^{0.15}}{(0.2 + d_{90\%})^{0.3}} = 10.51 \text{ m}$$

5. Profundidad máxima de socavación

$$h_{m\acute{a}x} = 0.45 * k_\alpha * Z = 35.70 \text{ m}$$

### DISEÑO FINAL DEL POZO DE SOCAVACIÓN

