

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

TEMA:

**“DISEÑO DE LOS CONDUCTOS SUPERFICIALES DE CARGA EN LOS
SISTEMAS HIDROELÉCTRICOS Y DE BOMBEO”**

AUTORES:

GAVILANES BOLAÑOS ANDREA ELIZABETH

GUERRERO PACHECO JORDY SHAKAIN

TUTOR:

JORGE IVÁN CALERO HIDALGO

Quito, Julio de 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE LOS AUTORES

Nosotros, Andrea Elizabeth Gavilanes Bolaños con documento de identificación N° 1716900012 y Jordy Shakain Guerrero Pacheco con documento de identificación N° 1722241062, 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: “DISEÑO DE LOS CONDUCTOS SUPERFICIALES DE CARGA EN LOS SISTEMAS HIDROELÉCTRICOS Y DE BOMBEO”, 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.



Andrea Gavilanes

C.I. 1716900012

Quito, julio del 2020



Jordy Guerrero

C.I. 1722241062

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “DISEÑO DE LOS CONDUCTOS SUPERFICIALES DE CARGA EN LOS SISTEMAS HIDROELÉCTRICOS Y DE BOMBEO”, realizado por los estudiantes Andrea Elizabeth Gavilanes Bolaños y Jordy Shakain Guerrero Pacheco, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio del 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge Iván Calero Hidalgo', is written over a faint rectangular stamp area.

Jorge Iván Calero Hidalgo

C.I.: 1800480434

Dedicatoria

Dedicamos a Dios porque fue la luz que nos guio en nuestro camino, a nuestros padres y hermanos que con su apoyo y amor incondicional logramos seguir adelante.

Andrea Gavilanes
Jordy Guerrero

Agradecimientos

A Dios porque en las pruebas más difíciles siempre ha sido fiel, porque experimentamos su fortaleza con nosotros. A nuestros padres por sus reproches, consejos y donde adquirimos los valores que hoy definen nuestras vidas.

Al ingeniero Iván Calero por su invaluable colaboración de este proyecto así como a lo largo de nuestro camino por las aulas de la universidad.

A nuestros amigos por estar a nuestro lado en los buenos y malos momentos brindándonos su apoyo.

Andrea Gavilanes
Jordy Guerrero

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 PROBLEMA.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	4
1.5 METODOLOGÍA	5
CAPÍTULO II	6
CONDUCCIÓN A PRESIÓN.....	6
2.1. FLUJO EN TUBERÍAS.....	6
2.1.1 Definición	6
2.1.2 Parámetros que intervienen en un flujo en tuberías.....	7
2.1.3 Tipos de flujo	7
2.2 GRADIENTE PIEZOMÉTRICA	8
2.3 GRADIENTE HIDRÁULICA.....	8
2.4 CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA Y ENERGÍA PARA FLUJO UNIFORME.....	9
2.6 ESQUEMA DE MODELO CON TURBINA.....	10
2.7 PÉRDIDAS DE CARGA.....	11
CAPÍTULO III.....	18
CONDUCTOS METÁLICOS DE CARGA	18
3.1 Definición de conductos	18

3.2 Tuberías de acero	18
3.3 POTENCIA HIDRÁULICA DE UNA TURBINA	19
3.4 TIPOS DE TURBINAS	20
3.4.1 TURBINAS DE ACCIÓN O IMPULSO	20
3.4.2 TURBINAS DE REACCIÓN.....	22
3.4.3 SELECCIÓN DE LA TURBINA	25
3.5 TANQUE DE PRESIÓN O CÁMARA DE CARGA	26
CAPÍTULO IV	30
DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL CONDUCTO DE CARGA	30
4.1 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO Y DEL ESPESOR DE LA PARED DEL CONDUCTO DE CARGA.....	30
4.2 DETERMINACIÓN DEL VALOR MEDIO CÚBICO DEL CAUDAL DEL CONDUCTO DE CARGA (CAUDAL DE CÁLCULO).....	38
4.3 DETERMINACIÓN DEL COSTO DE UNA TONELADA DE TUBERÍA INSTALADA.	40
CAPÍTULO V.....	41
CONDICIONES HIDRODINÁMICAS DE TRANSICIÓN.....	41
5.1 ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN LOS CONDUCTOS DE CARGA	41
5.2 MITIGACIÓN DEL GOLPE DE ARIETE	47
CAPÍTULO VI.....	51
ANÁLISIS MECÁNICO DEL CONDUCTO DE CARGA	51
6.1. COMBINACIONES DE FUERZAS.	51
6.1.1 Combinación básica.	51
6.1.2 Combinaciones especiales.....	51
6.2 APOYOS INTERMEDIOS Y CON ANCLAJES PARA CONDUCTOS A PRESIÓN	52
6.2.1 DISTANCIA ENTRE APOYOS.....	53
6.2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL APOYO INTERMEDIO	56

6.2.3 DIMENSIONAMIENTO DEL APOYO CON ANCLAJE	58
6.3 FUERZAS Y SOLICITACIONES ACTUANTES	59
6.3.1 APOYOS INTERMEDIOS	59
6.3.2 APOYOS CON ANCLAJE	63
6.4 CONDICIONES DE ESTABILIDAD Y RESISTENCIA EN LOS APOYOS	71
6.4.1 ESTABILIDAD Y RESISTENCIA DE LOS APOYOS INTERMEDIOS	73
6.4.2 ESTABILIDAD Y RESISTENCIA DE LOS APOYOS CON ANCLAJE	76
CAPÍTULO VII	77
ANÁLISIS MECÁNICO DE LAS PAREDES (CÁSCARA) DEL CONDUCTO DE CARGA	77
7.1 CARACTERÍSTICAS DE LA DEFORMACIÓN DEL ACERO	77
7.2 ESFUERZOS EN LA CÁSCARA	80
7.2 RESISTENCIA EN LA CÁSCARA	82
CAPÍTULO VIII.....	85
CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO DE CIMENTACIÓN Y PARÁMETROS GEO MECÁNICOS QUE INTERVIENEN EN LOS TRABAJOS DE LOS ELEMENTOS DE APOYO	85
CAPÍTULO IX.....	88
FORMULACIÓN Y APLICACIÓN DEL ALGORITMO PARA EL ANÁLISIS DE LOS CONDUCTOS DE CARGA.....	88
9.1 ALGORITMO DE CÁLCULO	89
9.2 PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE UN CONDUCTO DE CARGA DE ACERO	96
9.2.1 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO ECONÓMICO FAVORABLE DEL CONDUCTO DE CARGA DE UNA CH DE DERIVACIÓN.....	96
9.2.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DE CÁLCULO	99

9.2.3 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MEDIO CÚBICO DEL CONDUCTO DE CARGA.....	100
9.2.4 DETERMINACIÓN DEL COSTO DE UNA TONELADA DE TUBERÍA INSTALADA.....	101
9.2.5 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO ECONÓMICO FAVORABLE DEL CONDUCTO DE CARGA.....	103
9.2.6 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DEL CONDUCTO DE CARGA.....	106
9.2.7 DETERMINACIÓN DEL AUMENTO DE LA PRESIÓN HIDRODINÁMICA AL FINAL DEL CONDUCTO DE CARGA EN CASO DE SALIDA TOTAL DE LA POTENCIA.	107
9.3 APOYOS INTERMEDIOS	113
9.3.1 DETERMINACIÓN DE LAS FUERZAS ACTUANTES.....	113
9.3.2 DIMENSIONAMIENTO DEL APOYO.....	115
9.3.3 CONDICIONES DE ESTABILIDAD.....	119
9.4 APOYOS CON ANCLAJES	122
9.4.1 SOLICITACIONES ACTUANTES.....	122
9.4.2 DIMENSIONAMIENTO DEL ANCLAJE.....	126
9.4.3 CONDICIÓN DE ESTABILIDAD.....	127
9.5 ESFUERZOS EN LA CÁSCARA	129
CAPÍTULO X.....	132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	132
10.1 CONCLUSIONES	132
10.2 RECOMENDACIONES.....	138
REFERENCIAS.....	139
ARTÍCULOS ACADÉMICOS O CIENTÍFICOS	139
BIBLIOGRAFÍA	140

IMÁGENES.....	140
NORMAS DE CONSTRUCCIÓN.....	141
SITIOS WEB	141
ANEXOS.....	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Línea piezométrica y energía de flujo a presión. Líneas que resultan de unir los puntos hasta donde el líquido podría ascender.	9
Figura 2: Línea de energía para turbina. Es la energía total específica en la sección considerada.	10
Figura 3: Flujo hidráulicamente liso. Flujo donde las irregularidades son tan mínimas que no se consideran.	16
Figura 4: Flujo hidráulicamente rugoso. Flujo donde las irregularidades son considerables.	17
Figura 5: Conductos superficiales de carga de acero. En esta figura se muestran los elementos que conforman el conducto de carga.	19
Figura 6: Turbina Peltón de la central hidroeléctrica de Walchensee en Alemania.	20
Figura 7: Ejemplo de Turbina Michell – Banki y los elementos que la constituyen.	21
Figura 8: Ejemplo de Turbina Turgo y los elementos que la constituyen	22
Figura 9: Ejemplo de turbinas a reacción Kaplan vertical.	24
Figura 10: Ejemplo de Turbina Francis con sus componentes.	24
Figura 11: Vista del Tanque de presión en planta corte.....	27
Figura 12: Altura mínima del agua sobre la tubería de presión.	29
Figura 13: Esquema de implantación del conducto de carga.....	31
Figura 14: Esquema de análisis para determinar el diámetro y el espesor de la envoltura de acero del conducto de carga.....	32
Figura 15: Dispositivos para disminuir el Golpe de Ariete	48
Figura 16: Ejemplo de una Válvula de alivio y su funcionamiento.....	49
Figura 17: Ejemplo esquemático de una Chimenea de Equilibrio.....	50

Figura 18: Cámara de aire y componentes de un ariete hidráulico.....	50
Figura 19: Apoyos intermedios y con anclaje.....	53
Figura 20: Detalles del apoyo con anillo de rigidez y definición de variables.....	54
Figura 21: Esquema Geométrico del apoyo intermedio en el conducto de carga, vista lateral y frontal.....	57
Figura 22: Esquema Geométrico del apoyo con anclaje en el conducto de carga.....	58
Figura 23: Fuerzas y Solicitaciones Actuantes en apoyos intermedios.....	59
Figura 24: Esquema de las fuerzas que actúan por el peso del agua y la tubería.....	64
Figura 25: Fuerzas en compresión y tracción que actúan sobre el anclaje.....	70
Figura 26: Fuerzas por variación de la pendiente sobre el anclaje.....	71
Figura 27: Diagrama Esfuerzo – Deformación.....	79
Figura 28: Estructura geométrica del anillo de rigidez, en vista lateral.....	84
Figura 29: Esquema de implantación del conducto de carga de una turbina de una Central Hidroeléctrica.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ecuaciones empíricas para determinar el factor de fricción.....	15
Tabla 2: Rugosidad absoluta.....	17
Tabla 3: Selección de turbina según sus parámetros.....	25
Tabla 4: Diámetros estandarizados y espesor de la envoltura de las tuberías de acero.....	35
Tabla 5: Relación entre presión y caudal.....	46
Tabla 6: Coeficiente de fricción.....	62
Tabla 7: Constante de seguridad.....	73
Tabla 8. Valores referenciales de capacidad de carga de diferentes tipos de suelo.....	75
Tabla 9: Características de los aceros más comunes.....	78
Tabla 10: Esfuerzos permisibles de cálculo del acero.....	80
Tabla 11: Factores de seguridad.....	83
Tabla 12: Resistencia de suelos de granulometría gruesa y arenas.....	85
Tabla 13: Resistencia de suelos arcillosos.....	86
Tabla 14: Cohesión y ángulo de fricción para suelos arcillosos.....	86

Tabla 15: Cohesión y ángulo de fricción para suelos arenosos	87
Tabla 16. Resultados de cargas en los tramos del conducto	99
Tabla 17. Resultados del cálculo del costo del conducto de carga	102
Tabla 18. Resultados del cálculo del diámetro óptimo y del espesor del conducto de carga	107
Tabla 19. Determinación de los caudales relativos ponderados al final de cada fase	110
Tabla 20. Incremento de la presión hidrodinámica en el conducto de carga	112
Tabla 21. Resultados del cálculo para la geometría del apoyo	117
Tabla 22. Resultados del cálculo para verificar la condición del vuelco.....	120
Tabla 23. Resultados de las fuerzas que actúan sobre el anclaje por variación de la pendiente vertical.....	126
Tabla 24. Resultados del cálculo para la geometría del apoyo con anclaje	127
Tabla 25. Tabla referencial para cálculo en Apoyos, $f=0.20$	144
Tabla 26. Tabla referencial para cálculo en Apoyos, $f=0.35$	145
Tabla 27. Tabla referencial para cálculo en Apoyos, $f=0.60$	146
Tabla 28. Tabla referencial para cálculo en Apoyos, $f=0.75$	147
Tabla 29 Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.2$ y $L=100$ metros	148
Tabla 30. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.2$ y $L=500$ metros	149
Tabla 31. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.2$ y $L=1000$ metros	150
Tabla 32. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.35$ y $L=100$ metros	151
Tabla 33. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.35$ y $L=500$ metros	152
Tabla 34. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.35$ y $L=1000$ metros	153
Tabla 35. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.60$ y $L=100$ metros	154
Tabla 36. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.60$ y $L=500$ metros	155
Tabla 37. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.60$ y $L=1000$ metros	156
Tabla 38. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.75$ y $L=100$ metros	157
Tabla 39. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.75$ y $L=500$ metros	158
Tabla 40. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.75$ y $L=1000$ metros	159
Tabla 41. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.2$ y $L=100$ metros	160
Tabla 42. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.2$ y $L=500$ metros	161
Tabla 43. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.2$ y $L=1000$ metros	162
Tabla 44. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.35$ y $L=100$ metros	163

Tabla 45. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.35$ y $L=500$ metros	164
Tabla 46. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.35$ y $L=1000$ metros	165
Tabla 47. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.60$ y $L=100$ metros	166
Tabla 48. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.60$ y $L=500$ metros	167
Tabla 49. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.60$ y $L=1000$ metros	168
Tabla 50. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.75$ y $L=100$ metros	169
Tabla 51. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.75$ y $L=500$ metros	170
Tabla 52. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.75$ y $L=1000$ metros	171

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Diagrama de Moody	14
Gráfico 2: Ábaco de turbina. Permite seleccionar el tipo de turbina para su adecuado trabajo. .	23
Gráfico 3: Determinación del diámetro económico	31
Gráfico 4: Gráfico para determinar el caudal de cálculo de un conducto individual de la CH ...	38
Gráfico 5: Incremento relativo z y disminución relativa de la presión	45
Gráfico 6: Distancia de anillos de rigidez vs diámetro	55
Gráfico 7: Ejemplo de curva de duración de los caudales medios diarios.....	97
Gráfico 8. Curvas en Apoyos, Carga vs Diámetro.....	172
Gráfico 9. Curvas en Apoyos, Diámetro vs. Espesor	173
Gráfico 10. Curvas en Apoyos, Diámetro vs. Espesor	174
Gráfico 11. Curvas en Anclajes, Carga vs Diámetro	175
Gráfico 12. Curvas en Anclajes, Diámetro vs Espesor	176
Gráfico 13. Curvas en Anclajes, Diámetro vs Espesor	177
Gráfico 14. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; $L=100$ m	178
Gráfico 15. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; $L=500$ m	178
Gráfico 16. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; $L=1000$ m	178
Gráfico 17. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =45$; $L=100$ m	179
Gráfico 18. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =45$; $L=500$ m	179
Gráfico 19. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =45$; $L=1000$ m	179
Gráfico 20. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; $L=100$ m	180

Gráfico 21. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; $L=500$ m	180
Gráfico 22. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; $L=1000$ m	180
Gráfico 23. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =75$; $L=100$ m	181
Gráfico 24. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =75$; $L=500$ m	181
Gráfico 25. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =75$; $L=1000$ m	181
Gráfico 26. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; $L=100$ m	182
Gráfico 27. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; $L=500$ m	182
Gráfico 28. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; $L=1000$ m	182
Gráfico 29. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =45$; $L=500$ m	183
Gráfico 30. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =45$; $L=500$ m	183
Gráfico 31. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =45$; $L=1000$ m	183
Gráfico 32. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; $L=100$ m	184
Gráfico 33. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; $L=500$ m	184
Gráfico 34. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; $L=1000$ m	184
Gráfico 35. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =75$; $L=100$ m	185
Gráfico 36. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =75$; $L=500$ m	185
Gráfico 37. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =75$; $L=1000$ m	185
Gráfico 38. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; $L=100$ m	186
Gráfico 39. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; $L=500$ m	186
Gráfico 40. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; $L=1000$ m	186
Gráfico 41. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =45$; $L=100$ m	187
Gráfico 42. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =45$; $L=500$ m	187
Gráfico 43. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =45$; $L=1000$ m	187
Gráfico 44. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; $L=100$ m	188
Gráfico 45. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; $L=500$ m	188
Gráfico 46. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; $L=1000$ m	188
Gráfico 47. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =75$; $L=100$ m	189
Gráfico 48. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =75$; $L=500$ m	189
Gráfico 49. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =75$; $L=1000$ m	189
Gráfico 50. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $Q=50\text{m}^3/\text{s}$; $L=100$ m	190
Gráfico 51. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $Q=50\text{m}^3/\text{s}$; $L=500$ m	190

Gráfico 52. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $Q=50\text{m}^3/\text{s}$; $L=1000\text{ m}$	190
Gráfico 53. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $Q=100\text{m}^3/\text{s}$; $L=100\text{ m}$	191
Gráfico 54. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $Q=100\text{m}^3/\text{s}$; $L=500\text{ m}$	191
Gráfico 55. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $Q=100\text{m}^3/\text{s}$; $L=1000\text{ m}$	191
Gráfico 56. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $Q=150\text{m}^3/\text{s}$; $L=100\text{ m}$	192
Gráfico 57. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $Q=150\text{m}^3/\text{s}$; $L=500\text{ m}$	192
Gráfico 58. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $Q=150\text{m}^3/\text{s}$; $L=1000\text{ m}$	192
Gráfico 59. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $Q=200\text{m}^3/\text{s}$; $L=100\text{ m}$	193
Gráfico 60. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $Q=200\text{m}^3/\text{s}$; $L=500\text{ m}$	193
Gráfico 61. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $Q=200\text{m}^3/\text{s}$; $L=1000\text{ m}$	193

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Cálculo del diámetro óptimo	89
Diagrama 2: Cálculo del Golpe de Ariete	90
Diagrama 3: Fuerzas en los apoyos intermedios.....	92
Diagrama 4: Fuerzas en los apoyos con anclaje	94
Diagrama 5: Esfuerzos en la cáscara	95

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

CH: Central Hidroeléctrica

Hi: carga al inicio o final de cada tramo del conducto de carga (m)

Hc: Distancia vertical entre el nivel normal del talque de carga y el centro del bloque incluido el aumento por efecto del golpe de ariete (m)

ΔH : Incremento de carga por el golpe de ariete (m)

Li: Distancia entre apoyos de anclaje (m)

V: Velocidad de flujo (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s^2)

D: Diámetro del conducto de carga (m)

P: Potencia (KW)

η : Eficiencia de la turbina

Ca: Valor total de la energía perdida en un año

Cp: Valor anual debido a la energía consumida

C: Valor anual por amortización y mantenimiento de la tubería

δ_0 y δ_F : Espesores de la envoltura de acero al inicio y al final, respectivamente, del conducto de carga (mm)

δ_{mi} : Espesores de la envoltura de acero medio (mm)

Q_C : Caudal medio cúbico (m^3/s)

T_C : Tiempo de cálculo de operación del conducto (horas/año)

S^E : Costo de 1 KW hora de la energía reemplazada (US\$/KW.h)

η_g : Coeficiente de eficiencia promedio del grupo de generación hidroeléctrica

β : Coeficiente que considera la pérdida de energía durante el tránsito de crecidas, debido a la disminución de la carga y, por consiguiente, de la capacidad de flujo de la turbina

R: Resistencia de cálculo del material del conducto (MPa)

C_T : Costo de una tonelada del material del conducto, su montaje y acabado (US\$/Ton)

C_t : Costo de la tonelada de tubería instalada

C_{mno} : Costo de la mano de obra

C_{maq} : Costo de la maquinaria incluido el de operadores

C_{mat} : Costo de 1 tonelada de materiales, incluido transporte

T_{CR} : Tiempo de crecida (horas)

T_P : Tiempo pico (horas)

T_R : Tiempo de operación (horas)

T_F : Tiempo restante del año (horas)

W_n^{CH} : Volumen total anual de aguas utilizadas por todos los bloques de la central

Q_R^T : Caudal regulado para cada turbina (m^3/s)

n: Cantidad de conductos de carga

Q_{max}^T : Caudal máximo a través de un conducto de carga (m^3/s)

Q_{max}^{CH} : Caudal que pasa por toda la central (m^3/s)

Q_F^T : Caudal por cada conducto de carga (m^3/s)

$Q_{CUB.M}$: Caudal medio cúbico (m^3/s)

L_{EQV} : Longitud del conducto de carga equivalente (m)

D_{EQV} : Diámetro del conducto de carga equivalente (m)

δ_{EQV} : Espesor de la envoltura de acero del conducto de carga equivalente (mm)

v_{EQVmax} : Valor máximo de la velocidad del agua en el conducto de carga equivalente (m/s)

c_{EQV} : Velocidad de difusión en el conducto de carga equivalente del frente de la onda de golpe, en caso de golpe de ariete (m/s)

c_0 : Velocidad de difusión del sonido en un líquido en reposo (m/s)

ϵ : Módulo volumétrico de elasticidad del agua (GPa)

E: Módulo de elasticidad del material de la envoltura del conducto de carga (GPa)

T_S : Tiempo de cierre del elemento direccionado (segundos)

q_n : Magnitud del caudal relativo ponderado al final de la fase “n”.

z_1, z_i, z_n : Incremento relativo de la carga, respectivamente, al final de la fase 1, i, n.

I_{ar} : Distancia entre anillos de rigidez (m)

L_r : Distancia entre apoyos intermedios (m)

P: Presión de agua y el conducto (kN)

f_{agua} : Coeficiente del peso del agua

f_{acero} : Coeficiente del peso del acero

C, B: Base del apoyo (m)

T_1, T_2 : Altura del apoyo intermedio (m)

Vol: Volumen del apoyo (m³)

G_t : Peso propio de la tubería (kN)

G_a : Peso del agua (kN)

G_s : Peso propio del apoyo (kN)

F_S : Fuerza de fricción entre el conducto y el apoyo (kN)

F_{ab} : Fuerza de fricción entre el apoyo y el macizo de cimentación (kN)

F_{gtm} : Componente axial del peso de la tubería (kN)

F_{cm} : Fuerza de velocidad (kN)

F_{rm} : Fuerza de expansión radial (kN)

F_{tm} : Fuerza por variación de temperatura (kN)

F_{am} : Fuerza por fricción entre la tubería y el apoyo aguas arriba (kN)

F_{aj} : Fuerza por fricción entre la tubería y el apoyo aguas abajo (kN)

F_{yv} : Fuerzas que actúan sobre el anclaje por variación de la pendiente vertical en el eje y (kN)

F_{xv} : Fuerzas que actúan sobre el anclaje por variación de la pendiente vertical en el eje x (kN)

σ_{z1} (+): Esfuerzo normal en la cáscara debido a la presión hidrostática

W : Módulo de sección o momento de resistencia del tubo

σ_{xi} : Esfuerzo de compresión en la cáscara debido a fuerzas axiales (MPa)

σ_{pon} : Esfuerzo ponderado (MPa)

σ_{per} : Esfuerzo permisible (MPa)

γ_o : Peso específico del agua (KN/m³)

γ_{acero} : Peso específico del acero (KN/m³)

γ_{horm} : Peso específico del hormigón (KN/m³)

RESUMEN

Los conductos de carga son uno de los puntos más importantes en las centrales hidroeléctricas ya que además de su diseño, es necesario un estudio más profundo y minucioso por lo que es muy recomendable que se trate como un punto independiente dentro del proyecto, ya que si fallan pueden ocasionar grandes daños al entorno, y su infraestructura aparte de constituir una amenaza a la seguridad de las personas en radios de acción cuya magnitud o impacto depende del valor de la carga con la que fluye el agua en las tuberías, estos conductos de carga pueden ser de diferentes materiales en este caso se analiza para las tuberías de acero siendo uno de los más utilizados.

En el diseño de los conductos de carga es necesario tomar en cuenta el diámetro de la tubería, esto impacta directamente al costo de la misma, por lo que requiere un análisis técnico - económico, siempre tomando en cuenta el mínimo de los gastos sumatorios por compensación de la energía y pérdidas de potencia.

Los conductos de carga se encuentran principalmente instalados al aire libre en la superficie de la tierra y están conformados por apoyos intermedios con anclajes, sustentándose siempre en el fiel cumplimiento de las condiciones de estabilidad y resistencia para diferentes combinaciones de fuerzas básicas y combinaciones de fuerzas especiales.

ABSTRACT

The charging ducts are one of the most important points in hydroelectric power plants since, in addition to their design, a more in-depth and minuscule study is necessary, so it is highly recommended that it be treated as an independent point within the project, since if they fail, they can cause great damage to the environment, and their infrastructure apart from constituting a threat to the safety of people in radius of action whose magnitude or impact depends on the value of the load with which the water flows in the pipes, these conduits load can be of different materials in this case it is analyzed for steel pipes being one of the most used.

In the design of the load conduits it is necessary to take into account the diameter of the pipe, this directly impacts the cost of the same, which is why it requires a technical-economic analysis, always taking into account the minimum of the total expenses for compensation of energy and power losses.

The load conduits are mainly installed outdoors on the surface of the earth and are made up of intermediate supports with anchors, always based on faithful compliance with the conditions of stability and resistance for different combinations of basic forces and combinations of Special Forces.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Los conductos superficiales de carga en las construcciones hidráulicas tienen mucha importancia debido a que estos son los encargados de transportar agua, generalmente con alta energía potencial, desde el embalse o desde el tanque de presión hasta la casa de máquinas donde las turbinas y los generadores transforman la energía hidráulica a energía eléctrica.

Las centrales hidroeléctricas están abastecidas en la mayoría de los casos por conductos de agua que se encuentran libremente (abiertos) en forma de tuberías de acero colocadas en la superficie de la tierra. Estos conductos en su trayecto normalmente cuentan con apoyos de dos tipos: los apoyos de anclaje que sirven para la fijación de la tubería, particularmente en los sitios de cambio de dirección, reciben cargas radiales y axiales de la misma; los apoyos intermedios que sirven para mantener la tubería en los tramos entre los apoyos de anclaje y soportan solo cargas radiales. Por lo tanto, la sección de tubería está rígidamente incrustada en los soportes de anclaje y tiene la capacidad de desplazarse, dentro de límites aceptables, sobre los apoyos intermedios.

Cabe señalar que para la ejecución de un proyecto es necesario realizar estudios preliminares (topográficos, hidrogeológicos, geotécnicos) para tomar decisiones en el diseño del proyecto; es recomendable que el trazado de la tubería presente el menor número de cambios de dirección en planta y en perfil. La selección adecuada del perfil conduce a disminuir el número de apoyos y anclajes.

El diseño de los conductos de carga incluye, principalmente: dimensionamiento hidráulico de la tubería a partir de un análisis técnico- económico que considere, por una parte, el costo de la tubería y, por otra, el costo de la energía perdida debido por el trabajo de las fuerzas de fricción; determinación del espesor de la envoltura o cáscara en los diferentes tramos, a partir del análisis de resistencia; dimensionamiento de los apoyos con anclaje e intermedios, a partir de los análisis de estabilidad, resistencia y geo-mecánico.

En consecuencia, durante el diseño de los conductos de carga superficiales implantados a apoyos simples o con anclaje es necesario verificar las condiciones de resistencia mecánica y estabilidad para combinación básica y combinaciones especiales de fuerzas; por consiguiente, al no cumplirse dichos requerimientos es necesario adoptar medidas de diseño y/o constructivas que aseguren el cumplimiento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Formular y aplicar un algoritmo para analizar los conductos de carga en acero de los sistemas de bombeo e hidro-energéticos, respecto a su estabilidad y resistencia.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las solicitaciones actuantes en el conducto superficial y sus apoyos para cargas medianas (20-60) m y altas (60-120) m
- Identificar los escenarios de diseño de un conducto de carga superficial y sus apoyos.

- Elaborar el modelo de análisis de estabilidad y resistencia del conducto de carga superficial y sus apoyos.
- Realizar el cálculo de dos casos concretos del conducto de carga para combinación básica de fuerzas y al menos dos combinaciones especiales
- Analizar los resultados de cálculo.
- Verificar a través de un software de mercado.

1.3 PROBLEMA

Las tuberías de acero constituyen el tipo más difundido de conductos de carga en las construcciones hidráulicas. Por el tipo de implantación se clasifican en: superficiales, bajo relleno, subterráneas e implantadas en el cuerpo de las presas de hormigón. En los sitios de cambio de dirección del trazado, estos conductos son fijados a apoyos anclados de hormigón, en tanto que los tramos entre apoyos anclados yacen sobre apoyos libres, también de hormigón.

El diseño de los conductos metálicos y de sus elementos de apoyo debe sustentarse en el cumplimiento de las condiciones de estabilidad y resistencia para diferentes combinaciones de fuerzas. Las inobservancias de estas condiciones pueden originar la destrucción no solo de los elementos constructivos mencionados sino del entorno y su infraestructura, aparte de constituir una amenaza a la seguridad de las personas, en radios de acción cuya magnitud depende del valor de la carga con la que fluye el agua en las tuberías, incluido el efecto del Golpe de Ariete, para combinación básica y combinaciones especiales de fuerza.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo energético en la actualidad se caracteriza por una creciente preferencia en las fuentes renovables tanto no tradicionales (solar, geotérmica, eólica) como tradicionales entre las cuales la principal es la hidroeléctrica, dadas sus ventajas en costo y operatividad. El aprovechamiento energético de los cauces de agua, en la actualidad se presenta más eficaz a través de pequeñas centrales que pueden ser implantadas en ríos y cauces pequeños, desagües de sistemas hidráulicos de diferente orden, desagües de sistemas de alcantarillado pluvial, desagües de sistemas termoeléctricos. Por otra parte, cada vez es más frecuente el déficit de los recursos suficientes para abastecer poblaciones y centros de producción ubicados en cotas altas de los sistemas hidrográficos; este problema es evidente en algunas regiones de nuestro país. Entre las alternativas para enfrentar este tipo de problemas están aquellas que incluyen importantes sistemas de bombeo para derivaciones y trasvases.

En este contexto el tema actual del proyecto es formular y aplicar los criterios y procedimientos de diseño relativos a los diferentes componentes de los sistemas hidroeléctricos y de bombeo, mediante la utilización de un algoritmo a través de un software de mercado. Uno de los componentes fundamentales es el de conducción. Precisamente este proyecto busca plantear propuestas para el análisis del comportamiento de los conductos de acero en sistemas de bombeo o hidroeléctricos, en diferentes condiciones físicas de implantación, es decir diferentes tipos de suelo y sus características geo-mecánicas; asegurando la estabilidad y resistencia del conducto y de los apoyos tanto de anclaje como intermedios que, conjuntamente con la tubería de acero y el macizo de cimentación intervienen en un trabajo mecánico conjunto, bajo la acción de diferentes estados de carga y sus combinaciones.

1.5 METODOLOGÍA

La metodología que se utilizará en el ANÁLISIS EN LOS CONDUCTOS METÁLICOS DE CARGA SUPERFICIALES EN LOS SISTEMAS DE BOMBEO E HIDROELÉCTRICOS, constará de lo siguiente:

- Bases de diseño
- Métodos de cálculo
- Modelos de análisis
- Análisis de los resultados
- Conclusiones y recomendaciones

La base de diseño constara de información básica obtenida de fuentes bibliográficas para la realización de los respectivos cálculos para el diseño óptimo de los conductos metálicos, así como también de sus elementos de apoyos anclados e intermedios.

Se elaborará un algoritmo a través de un software de mercado para analizar dichos conductos respecto a su estabilidad y resistencia. Estos análisis estarán bajo dos escenarios combinación básica de fuerzas y combinación especial de fuerzas.

Una vez obtenido todos los resultados se procederá a analizar los resultados de cálculo con el fin de cumplir el objetivo principal.

CAPÍTULO II

CONDUCCIÓN A PRESIÓN

2.1. FLUJO EN TUBERÍAS

2.1.1 Definición

“Es un fluido en movimiento en un sistema de coordenadas (x,y,z) ubicado generalmente en un entorno sólido”. (SALDARRIAGA, 2016)

Los fluidos están constituidos por líquidos y gases sin embargo la hidráulica de fluidos estará enfocado a lo que se refiere exclusivamente a los líquidos.

Líquido: Es un estado de la materia, los líquidos se asemejan a los sólidos en tanto en cuando son prácticamente incompresibles bajo la acción de fuerzas externas y son semejantes a los gases en tanto en cuando no tienen forma propia y adoptan la forma en el lugar en el que se encuentren.

Las principales propiedades de los líquidos son:

- Fluidez
- Viscosidad

Fluidez: Propiedad de los líquidos de no generar esfuerzos tangenciales cuando están en reposo lo que determina que no tengan forma propia.

Viscosidad: Propiedad de los líquidos de generar esfuerzos tangenciales cuando están en movimiento. La viscosidad tiene dos formas de expresión:

- Viscosidad cinemática
- Viscosidad dinámica o absoluta

2.1.2 Parámetros que intervienen en un flujo en tuberías

- Caudal
- Carga o potencia
- Diámetro de la tubería
- Rugosidad absoluta
- Longitud de la tubería
- Viscosidad del líquido o temperatura
- Coeficientes de resistencia local

2.1.3 Tipos de flujo

Estos se pueden clasificar en: (SALDARRIAGA, 2016)

Respecto al espacio:

- Uniformes
- No uniformes

Respecto al tiempo

- Permanentes o estacionarios
- No permanentes

Otra clasificación de flujo:

- Flujo a presión: Cuando el conducto es cerrado y el líquido fluye con sección completa
- Flujo a superficie libre: Es aquel que se caracteriza por cuando el conducto no trabaja a sección llena y la sección de flujo en la parte superior tiene una superficie libre donde la presión es igual a la atmosférica.

2.2 GRADIENTE PIEZOMÉTRICA

Es la relación de la variación elemental de la energía potencial específica $(z + \frac{p}{\gamma})$ en un punto de la línea piezométrica a la distancia elemental (ds) que produce dicha variación.

$$J = - \frac{d(z + \frac{p}{\gamma})}{ds} \quad (2.1)$$

α : Coeficiente corrector de la energía cinética específica

$z + \frac{p}{\gamma}$: Energía potencial específica de la sección considerada

2.3 GRADIENTE HIDRÁULICA

Es la variación elemental de la energía total específica $d(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g})$ en un punto de la línea de energía a la longitud elemental (ds) en lo que se produce dicha variación.

$$JH = - \frac{d(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g})}{ds} \quad (2.2)$$

α : Coeficiente corrector de la energía cinética específica

$z + \frac{p}{\gamma}$: Energía potencial específica de la sección considerada

2.4 CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA Y ENERGÍA PARA FLUJO UNIFORME

- Flujo a presión

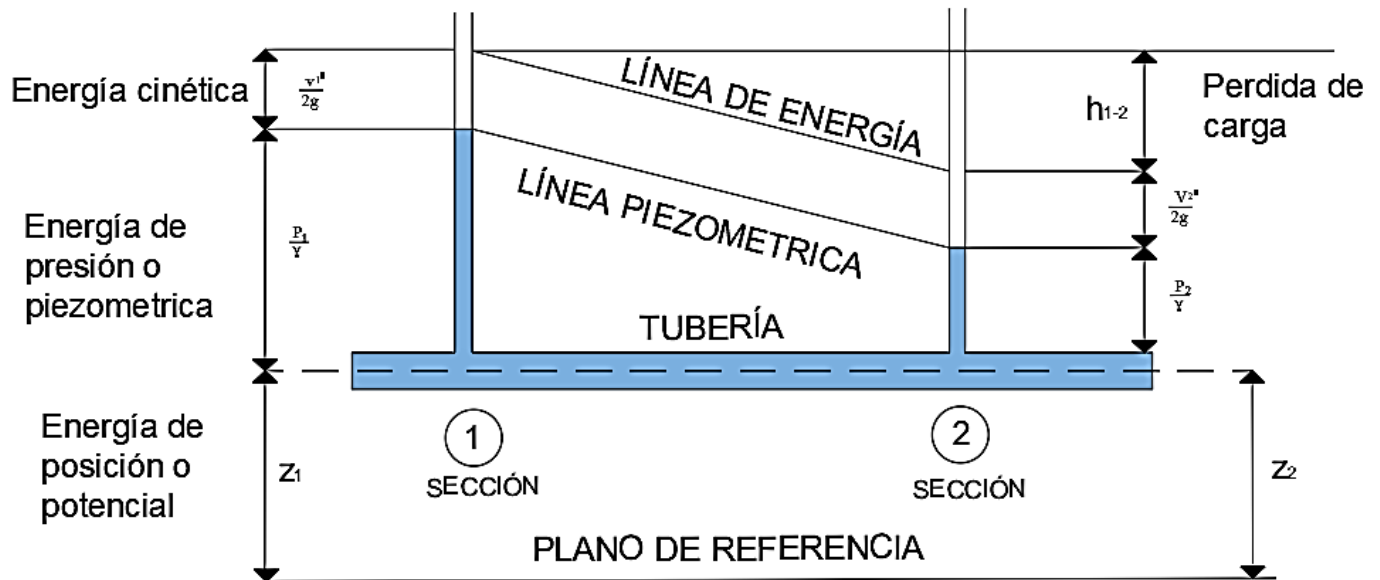


Figura 1: Línea piezométrica y energía de flujo a presión. Líneas que resultan de unir los puntos hasta donde el líquido podría ascender.

Fuente: Cortez, R. (2018). *Ilustración de la línea piezométrica y energía de flujo a presión* (ites.google.com/site/201808rodrigocortes/apuntes/semana-3).

2.6 ESQUEMA DE MODELO CON TURBINA

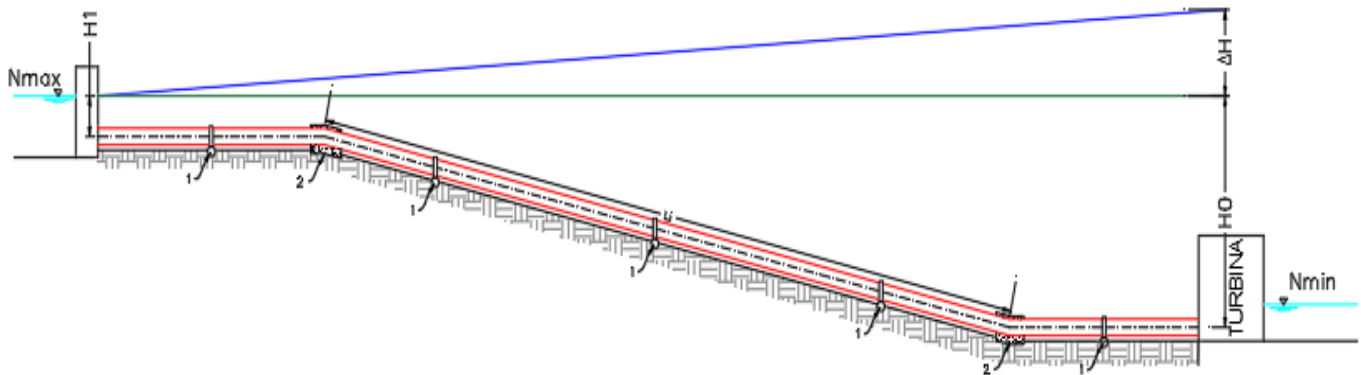


Figura 2: Línea de energía para turbina. Es la energía total específica en la sección considerada.
Elaborado por: Autores

Donde:

H_0 : Carga estática

H_1 : Carga al inicio del conducto

ΔH : Incremento de carga por Golpe de Ariete

1: Apoyos intermedios

2: Apoyos con anclaje

L_i : Distancia entre apoyos de anclaje

2.7 PÉRDIDAS DE CARGA

La pérdida de carga es la energía específica por unidad de peso del líquido que pierde el líquido en movimiento debido al trabajo de las fuerzas de fricción. La pérdida de carga está constituida por dos componentes:

Pérdidas de carga longitudinal: Son pérdidas de carga que producen a lo largo de la red de conducción debido a la fricción entre el líquido y las paredes del conducto.

Una de las ecuaciones más utilizadas para determinar las pérdidas de carga es la ecuación de Darcy- Weisbach:

$$hl = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.3)$$

Donde:

hl: Pérdida de carga longitudinal

λ : Factor de fricción

L: Longitud del conducto

D: Diámetro de la tubería

V: Velocidad de flujo

g: Aceleración de la gravedad

Pérdidas de cargas locales o puntuales: Son pérdidas de carga que se producen como consecuencia de los cambios bruscos de la forma o dirección de las líneas de flujo.

$$hj = k \frac{V^2}{2g} \quad (2.4)$$

Donde:

h_j: Pérdida de carga local

V: Velocidad de flujo

g: Aceleración de la gravedad

k: Coeficiente de resistencia hidráulica.

Regímenes de los flujos líquidos:

- Régimen laminar
- Régimen turbulento

En el régimen laminar prevalecen las fuerzas originadas por la viscosidad y en el régimen turbulento prevalecen las fuerzas inerciales.

Reynolds estableció el criterio (Número de Reynolds) para determinar si el régimen es laminar o turbulento

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.5)$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

V: Velocidad de flujo

D: diámetro de la tubería

ν : Viscosidad cinemática

Un flujo es laminar cuando $Re \leq 2000$

Un flujo es turbulento cuando $Re > 2000$

Sin embargo, como evidencian las investigaciones experimentales, en el flujo líquido en tuberías se pueden distinguir tres campos de variación del Número de Reynolds, separados uno de otro por sus valores críticos mínimo $Re_{cr.min}$ y máximo $Re_{cr.max}$. Como evidencian los hechos, cuando $Re \leq Re_{cr.min}$, es decir en los casos de pequeñas velocidades, en tubos de diámetro pequeño y líquidos viscosos se presentará régimen laminar estable. En casos de altos valores del Número de Reynolds, $Re \geq Re_{cr.max}$, no puede presentarse régimen laminar. En cambio, en los casos cuando $Re_{cr.min} \leq Re \leq Re_{cr.max}$, puede presentarse el régimen laminar, pero inestable.

Para tubos circulares $Re_{cr.min} = 2300$, en tanto que $Re_{cr.max} = 4000-100000$.

- Flujo laminar

En este caso el factor de fricción depende exclusivamente del número de Reynolds

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.6)$$

- Flujo turbulento

Para este tipo de flujo aún no ha sido posible obtener expresiones analíticas para determinar el factor de fricción y por consiguiente las ecuaciones son empíricas.

Considerando en una parte que un flujo turbulento puede ser de tubo liso o tubo rugoso, por otra parte, los resultados de las investigaciones de Nikuradze se ha establecido que un flujo turbulento puede permanecer a una de las tres zonas:

- Zona de tubo liso
- Zona pre cuadrática
- Zona cuadrática

Se puede utilizar el diagrama de Moody que es una representación gráfica en escala doblemente logarítmica para obtener el factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería.

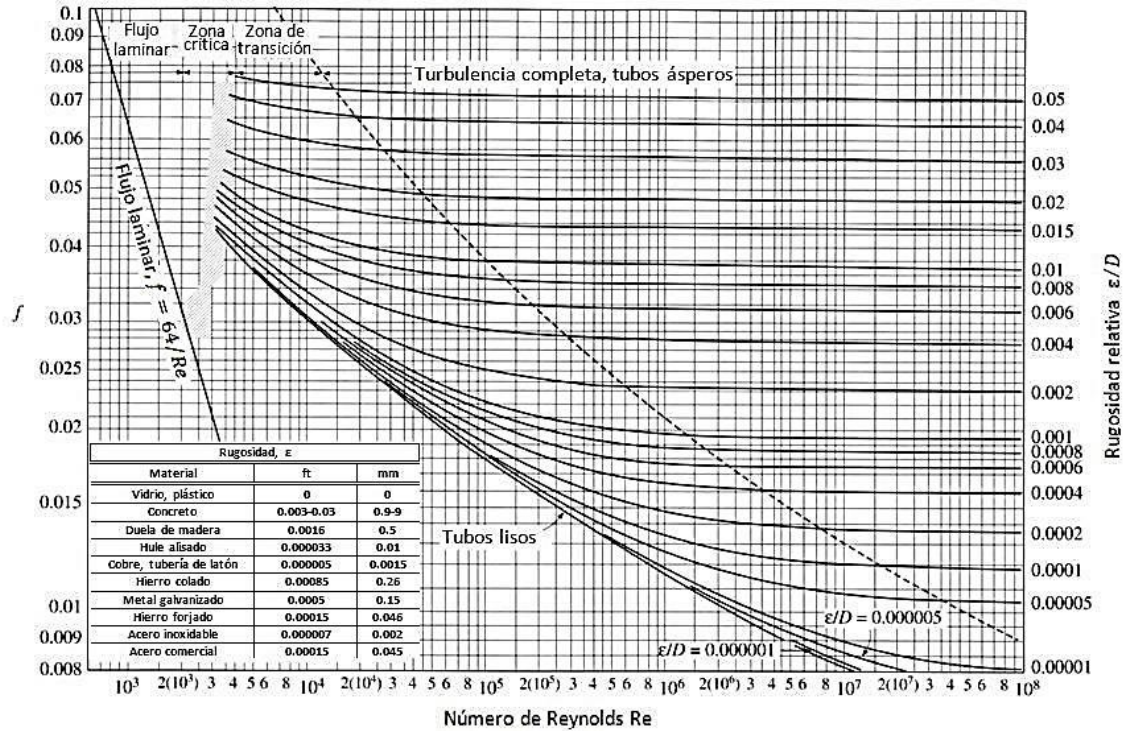


Gráfico 1: Diagrama de Moody
 Fuente: Saldarriaga, J. (1994). Hidráulica de tuberías, pág. 52

- En los flujos turbulentos de flujo liso el factor de fricción depende exclusivamente del número de Reynolds.
- En los flujos turbulentos de la zona pre cuadrática el factor de fricción depende tanto del número de Reynolds como de la rugosidad.
- En flujos turbulentos de la zona cuadrática el factor de fricción depende exclusivamente de la rugosidad.

Sobre la base de la investigación de *Nikuradze* durante años han sido utilizadas algunas ecuaciones empíricas para determinar el factor de fricción en cada una de las zonas de turbulencia:

- **Tubos lisos**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log(\sqrt{\lambda} Re) - 0.8 \quad (2.7)$$

Sin embargo existen otras ecuaciones empíricas para determinar el factor de fricción para tubos lisos de diferentes autores como pueden ser:

Tabla 1: Ecuaciones empíricas para determinar el factor de fricción

Autor	Ecuación	Número de Reynolds
Blasius H. (1914)	$\lambda = 0.3164 Re_{Dh}^{-0.25}$	No especificado
Jones y Leung (1981)	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10} Re \sqrt{\lambda} - 0.8$	$10^4 - 10^6$
Gnielinski V. (2009)	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.8 \log_{10} Re - 1.5$	No especificado
Kaneda y col (2003)	$\frac{\lambda}{8} = \left[1.61 + \frac{1}{0.436} \ln \left(\frac{Re_{Dh}}{\sqrt{\frac{\lambda}{8}}} \right) - \frac{550}{Re_{Dh} \sqrt{\frac{\lambda}{8}}} \right]^{-2}$	$>10^4$

Elaborado por: Autores

- **Flujos pre-cuadráticos**

Colebrook-White basado en las investigaciones de Prandtl – Von Karman y de Nikuradze formula una sola ecuación, que es válido para todo tipo de flujo y rugosidades.

Es la más exacta y se utiliza universalmente, pero el problema radica en su complejidad de utilizar dicha ecuación, ya que para la obtención del coeficiente de fricción es necesario el uso de métodos iterativos. El campo de aplicación de esta fórmula se encuentra en la zona de transición de flujo laminar a flujo turbulento.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta r}{3.7} \right) \quad (2.8)$$

- **Flujos de zona cuadrática**

Swamee-Jain determino una ecuación para el cálculo del factor de fricción que ofrece resultados muy parecidos a la ecuación de Colebrook-White para flujos de turbulencia completa.

$$\Lambda = \frac{0.25}{(\log_{3.7} \frac{\Delta r}{\epsilon})^2} \quad (2.9)$$

Tubería lisa

Un tubo es liso cuando el espesor de las irregularidades es inferior al espesor de la capa laminar en este caso las rugosidades del conducto no tienen contacto con el flujo turbulento que incluye a la mayor parte a la sección de flujo.

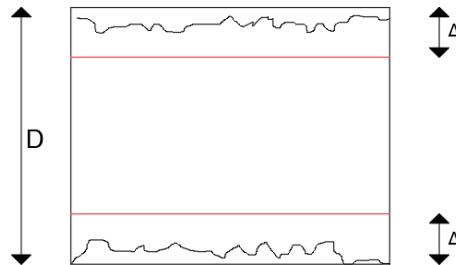


Figura 3: Flujo hidráulicamente liso. Flujo donde las irregularidades son tan mínimas que no se consideran.
Fuente: Carrera, J. (2017). *Flujo hidráulico* (<https://www.slideshare.net>)

Tubería rugosa

Es aquel que el espesor de las rugosidades es mayor que el espesor de las sub- capa laminar, en este caso el flujo turbulento tiene contacto con las rugosidades del conducto

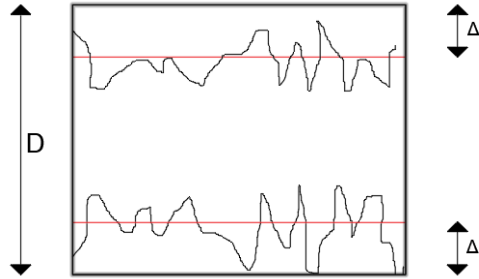


Figura 4: Flujo hidráulicamente rugoso. Flujo donde las irregularidades son considerables.
 Fuente: Carrera, J. (2017). *Flujo hidráulico* (<https://www.slideshare.net>)

Rugosidad relativa

Es la relación entre la rugosidad absoluta y el diámetro un $V^2/2g$

$$\Delta r = \frac{\Delta}{D} \quad (2.10)$$

Donde:

Δr : Rugosidad Relativa

Δ : Rugosidad Absoluta

D: Diámetro

Tabla 2: Rugosidad absoluta

MATERIAL	Δ (mm)
Vidrio	0,0003
PVC	0,0015
Polietileno	0,002
Acero nuevo	0,046
Hierro forjado	0,06
Hierro fundido	0,12
Hierro galvanizado	0,15
Hierro dúctil	0,25
Concreto	0,3-3
Acero bridado	0,9-9

Fuente: Saldarriaga .J. (2016). Hidraulica de tuberias, pag. 113

CAPÍTULO III

CONDUCTOS METÁLICOS DE CARGA

3.1 Definición de conductos

Son tuberías que cumple la función de transportar agua (energía) u otros fluidos desde la fuente hasta el lugar que se requiere. Dentro de las construcciones hidráulicas las tuberías más difundidas son las tuberías de acero.

El dimensionamiento hidráulico de una tubería tiene como objetivo principal determinar el diámetro de la misma bajo condicionantes básicos de diseño.

- Caudal
- Presión
- Velocidad de flujo
- Pérdidas de carga
- Las características de los materiales de la red (rugosidad)

3.2 Tuberías de acero

Son los más difundidos en los sistemas hidroeléctricos y de bombeo. Estas tuberías están fijadas a apoyos anclados e intermedios de hormigón; para el diseño de las tuberías de acero y sus elementos de apoyo, se debe considerar las características geo-mecánicas del macizo de cimentación y verificar el cumplimiento de las condiciones de estabilidad y resistencia tanto de la

tubería, como de los apoyos y del macizo de cimentación para combinaciones de fuerzas básica y especiales.

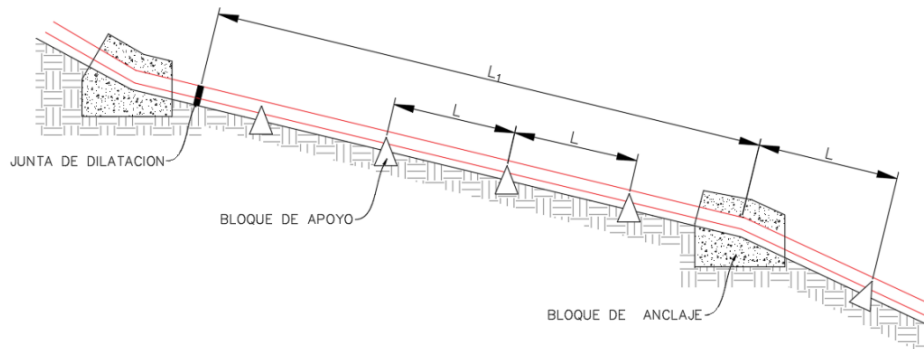


Figura 5: Conductos superficiales de carga de acero. En esta figura se muestran los elementos que conforman el conducto de carga.

Fuente: Kev (2011).). *Sistemas de apoyos*. <https://www.monografias.com>

3.3 POTENCIA HIDRÁULICA DE UNA TURBINA

Es la energía del agua aprovechada por la máquina hidráulica para transformar la energía hidráulica a energía eléctrica, que depende del caudal y la carga hidráulica que posee el sistema.

Se debe tomar en cuenta que a través de la tubería existen pérdidas de carga longitudinales y puntuales lo cual produce pérdidas de energía, se debe considerar el diámetro adecuado de la tubería para que no existan pérdidas de energía considerables y tampoco el costo de la tubería sea muy elevado.

Para el cálculo de potencia la expresión utilizada es:

$$P = \gamma_o QHn \quad (3.1)$$

Donde:

P: Potencia (KW)

γ_o : Peso específico del agua (KN/m³)

Q: Caudal (m³/s)

H: Carga hidráulica (m)

n: Eficiencia de la turbina (90-95%)

3.4 TIPOS DE TURBINAS

3.4.1 TURBINAS DE ACCIÓN O IMPULSO

Turbinas Peltón

Las turbinas Peltón también conocidas como rueda hidráulica tangencial son las más difundidas y utilizadas por su eficacia. Se utilizan para cargas altas 300-2000 metros y un trabajo con una eficiencia mayor del 92 %. La turbina Peltón se selecciona para cargas altas y caudales pequeños.

Posee un diseño simple y compacto, tiene forma de rueda y sus elementos principales son: el distribuidor, rodete, alabes móviles.



Figura 6: Turbina Peltón de la central hidroeléctrica de Walchensee en Alemania.
Fuente: Wikipedia (2013). https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Pelton

Turbina Michell – Banki

Es una turbina de acción de flujo radial centrífugo de flujo transversal, de doble acción y admisión parcial. Los elementos de esta turbina son el distribuidor y el rodete; el flujo de caudal del rodete de esta turbina es de sección rectangular.

La turbina opera generalmente a presión atmosférica sin embargo en el caso de saltos bajos suele utilizar un tubo de aspiración cilíndrico para recuperar parte de la altura de montaje; hay que tomar en cuenta que estas turbinas son de eje horizontal.

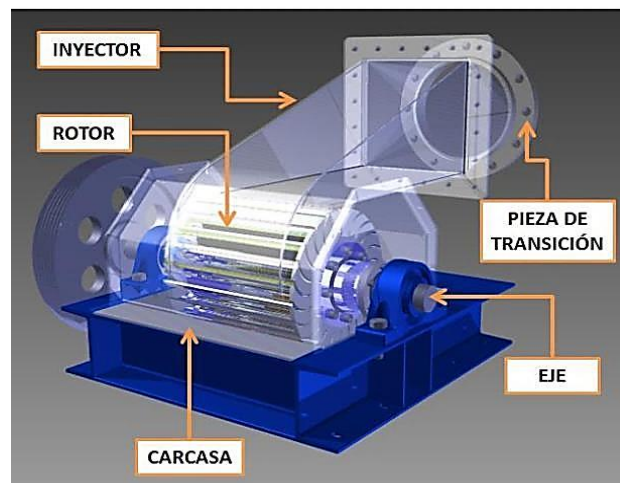


Figura 7: Ejemplo de Turbina Michell – Banki y los elementos que la constituyen.

Fuente: Zuloeta, R. (2012). *Diseño de un grupo hidroenergético con una turbina Michell-Banki de 40 kw.*
<https://docplayer.es/75706598-Pontificia-universidad-catolica-del-peru.html>

Turbina Turgo

Es una turbina de acción, de flujo axial y admisión parcial cuyos elementos más importantes son el distribuidor o inyector y el rodete. Otros elementos son la carcasa, el eje y la tubería de presión.

Comparando esta turbina con la turbina Peltón ofrece la ventaja de igualdad de diámetro del rodete, puede operar con mayor caudal debido a que el chorro del agua ingresa por un lado y sale por el otro, sin interferir en las cucharas adyacentes. De igual manera con un mismo diámetro de chorro y potencia el rodete resulta ser más pequeño que una turbina Peltón.

Estas turbinas pueden instalarse con eje vertical u horizontal y cubren el campo de aplicación de las turbinas Peltón, turbina Michell – Banki.

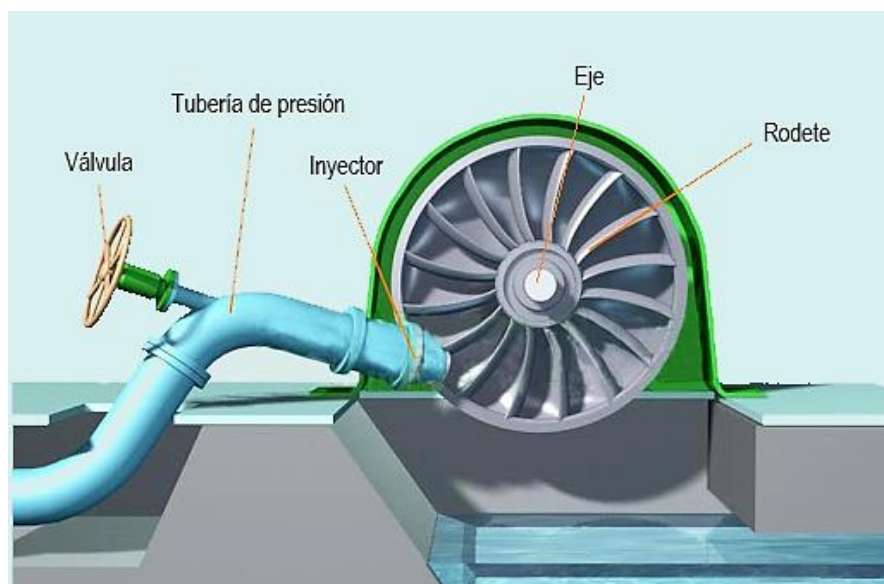


Figura 8: Ejemplo de Turbina Turgo y los elementos que la constituyen
Fuente: Francis (2017). *Gis procedure for preliminary evaluation of potential hydropower sites*.
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/mini-water-turbine-jet-nozzle-1239208239.html>

3.4.2 TURBINAS DE REACCIÓN

Son las más difundidas e incluyen sistemas axiales, diagonales y radial-axiales.

Para la selección de la turbina se puede obtener a través de un ábaco que está en función de la carga y el caudal.

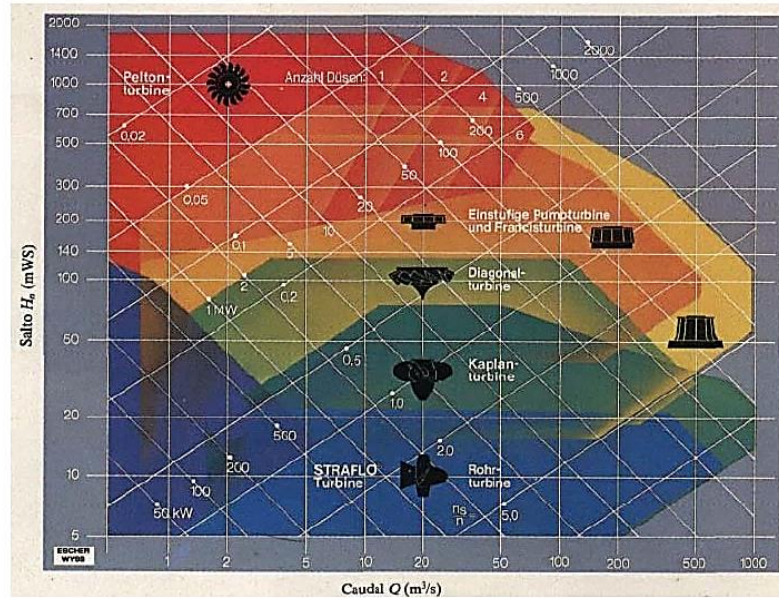


Gráfico 2: Ábaco de turbina. Permite seleccionar el tipo de turbina para su adecuado trabajo.
Fuente: Escher Wyss. Catálogo de fabricante

Turbinas Kaplan

Las turbinas Kaplan son de flujo axial con un rodete que opera a manera de una hélice. Normalmente se adoptan en casos de cargas pequeñas y caudales altos. Pueden operar con muy buena eficiencia dentro de un amplio rango de caudales gracias a que los álabes del rotor son orientables.

Los elementos que conforman son similares a los de la turbina Francis en particular los siguientes: la cámara espiral, el distribuidor, el tubo de aspiración, el rodete, que está conformado por 4 – 8 álabes móviles.

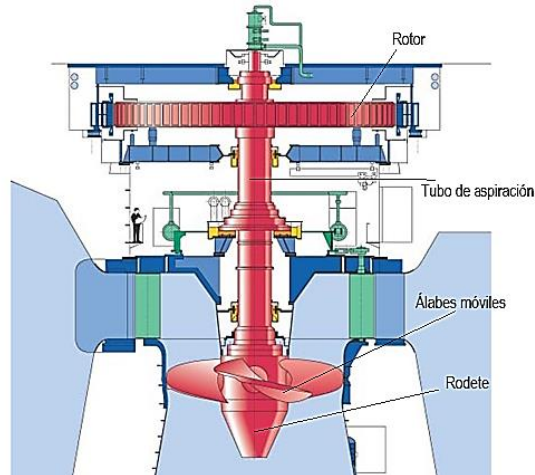


Figura 9: Ejemplo de turbinas a reacción Kaplan vertical.
 Fuente: Wikipedia (2013). https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Kaplan

Turbinas Francis

Turbinas a reacción Francis, son las más difundidas, para amplios rangos de cargas y caudales y la más usada para generación de energía eléctrica. Incluyen el distribuidor constituido por álabes móviles directrices del flujo, el rodete es el núcleo de la turbina donde se produce el intercambio energético entre el agua y la máquina, el conducto de aspiración (tubo de aspiración) a la salida de la turbina, permite recuperar parte de la energía potencial del flujo.

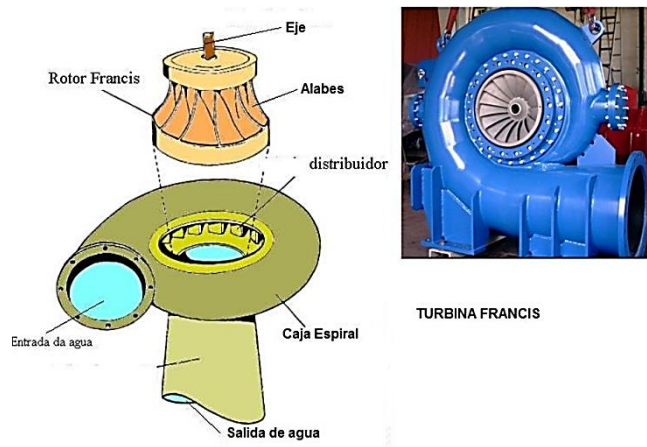


Figura 10: Ejemplo de Turbina Francis con sus componentes.
 Fuente: Área y Tecnología. <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>

3.4.3 SELECCIÓN DE LA TURBINA

Para establecer la selección de la turbina se toman en cuenta los siguientes parámetros:

- Carga neta
- Caudal
- Velocidad de flujo
- Cavitación
- Costo por unidad

El parámetro más importante en tomar en cuenta es la carga neta. Las turbinas de acción son las más utilizadas debido a su relación con altas cargas y las de reacción por bajas y medias cargas.

Tabla 3: Selección de turbina según sus parámetros

	Tipo de turbina	Carga (m)	Caudal (m³/s)	Potencia (kW)	Eficiencia (%)
Acción	Peltón	50<H<1300	0.05 – 50	0.1 - 3*10 ⁵	70 – 92
	Turgo	50<H<250	0.025 - 10	5 – 1*10 ⁴	85 – 90
	Michell - Banki	3<H<250	0.05 – 5	1 – 2*10 ³	65 - 84
Reacción	Francis	10<H<350	0.5 - 100	1 – 7.5*10 ⁵	80 - 93
	Kaplan y Hélice	2<H<40	0.8 - 1000	2 – 2*10 ⁵	88 - 93

Fuente: Ortiz, R. (2011). Pequeñas centrales hidroeléctricas, pág. 347 y Morales, S (2013). Obtenido de Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/rt/printerFriendly/39757/53963>

3.5 TANQUE DE PRESIÓN O CÁMARA DE CARGA

El tanque de presión es una estructura que fundamentalmente permite la conexión entre la conducción y tubería de presión. El tanque de presión se ubica junto al conducto de carga, con el propósito de reducir su longitud y por consiguiente, disminuir las pérdidas de energía y la sobrepresión por el golpe de ariete.

El tanque de presión cumple las siguientes funciones: (ORTIZ, 2011)

- Crear un volumen de reserva de agua que permita satisfacer las necesidades de las turbinas durante los aumentos bruscos de demanda.
- Impide la entrada a la tubería de presión de elementos sólidos de arrastre y flotantes los cuales al llegar a la turbina pueden afectar a su funcionamiento.
- Produce la sedimentación de los materiales sólidos en suspensión en el canal y permite su eliminación.
- Desaloja el exceso de agua en las horas en las que el caudal de agua consumido por las tuberías es inferior al caudal de diseño.
- Mantiene sobre la tubería una altura de agua suficiente para evitar la entrada de aire.
- Dispone de un volumen que le permite amortiguar el golpe de ariete, originado por las paradas bruscas.

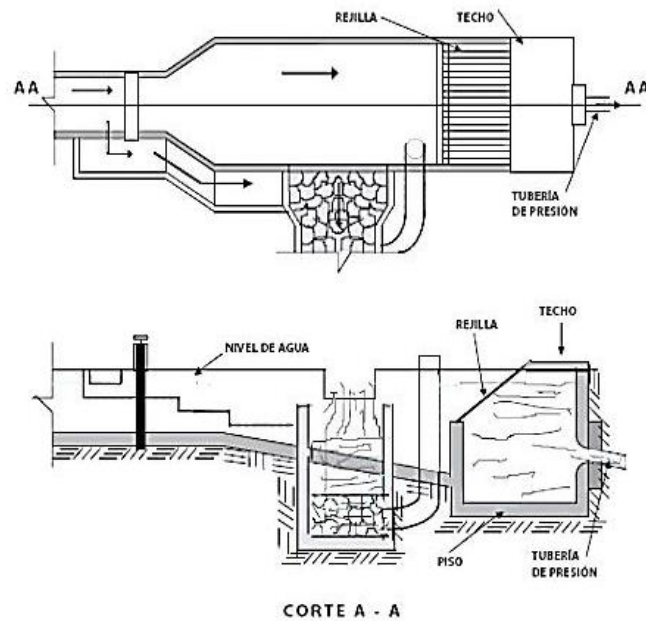


Figura 11: Vista del Tanque de presión en planta y corte.

Fuente: Obras Civiles (2014). *Cámara de carga y tubería de presión.*

https://es.slideshare.net/8ange10/camara-de-carga-central-hidroelectrica-de-pasada?qid=8c308f5a-67de-4546-93aa-115158d0b14e&v=&b=&from_search=1

Para el dimensionamiento del tanque de presión se debe considerar principalmente el volumen y la altura mínima del agua sobre la tubería de presión.

Volumen del tanque de presión

Para calcular el volumen del tanque de presión con el fin de mantener constante el caudal y evitar el ingreso de aire se determina con la siguiente ecuación de E.J. Low:

$$Vol = \frac{0.693 (AV^2)}{ig} \quad (3.2)$$

Donde:

A: Sección de la tubería de presión (m²)

V: Velocidad de agua del sistema de conducción (m)

i: Pendiente del canal de conducción

g: Aceleración de la gravedad (m/s^2)

Altura mínima del agua sobre la tubería

El costo de la estructura del tanque de presión depende con el aumento de la profundidad a la que se colocara la tubería de presión, por otro lado, esta situación es poco peligrosa debido a que se pueden formar remolinos que permitan la entrada de aire a tubería ocasionando problemas en la misma y afectando la eficiencia de la turbina.

Entonces se debe establecer una altura bajo el nivel del agua considerando un aspecto económico y evitando la zona en que se producen remolinos para alcanzar una eficiencia hidráulica.

La altura mínima de agua de la tubería de presión se puede calcular según Arechua de la Cruz (2018), “la experiencia de diseño se ha corroborado utilizar las siguientes fórmulas:”

- Salida frontal de flujo

$$h = 0.543(V * \sqrt{D}) \quad (3.3)$$

- Salida lateral de flujo

$$h = 0.724(V * \sqrt{D}) \quad (3.4)$$

Donde:

h: Altura mínima

V: Velocidad en el conducto de carga

D: Diámetro interior del conducto de carga

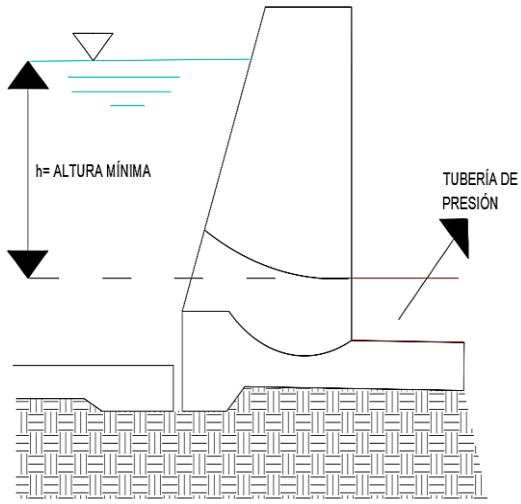


Figura 12: Altura mínima del agua sobre la tubería de presión.
Elaborado por: Autores

CAPÍTULO IV

DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL CONDUCTO DE CARGA

4.1 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO Y DEL ESPESOR DE LA PARED DEL CONDUCTO DE CARGA.

El diámetro económico óptimo del conducto de carga para cada tramo entre los apoyos de anclaje (Figura 13 y 14) se determina sobre la base de un análisis técnico- económico, para la condición del mínimo de los gastos sumatorios por compensación de la energía y pérdidas de potencia.

Las pérdidas de potencia y a su vez de energía se reducen con el incremento del diámetro, pero esto incrementa el costo de la tubería; por lo tanto el diámetro debe ser elegido adecuadamente para que no existan pérdidas monetarias por la no venta de energía eléctrica y el costo de la amortización de la tubería.

Una mejor apreciación se indica en la (Grafico 3); donde se observa que el aumento del diámetro de la tubería aumenta su costo, y se reducen sus pérdidas; la selección del diámetro se encuentra en el punto mínimo y a su vez este se determina con base en las pérdidas mínimas de energía. De igual manera se indica que para el diseño de esta tubería se usa como material el acero, aplicando las normativas de construcción las mismas que se tomaron de la norma ASTM, (ver CAPÍTULO 7).

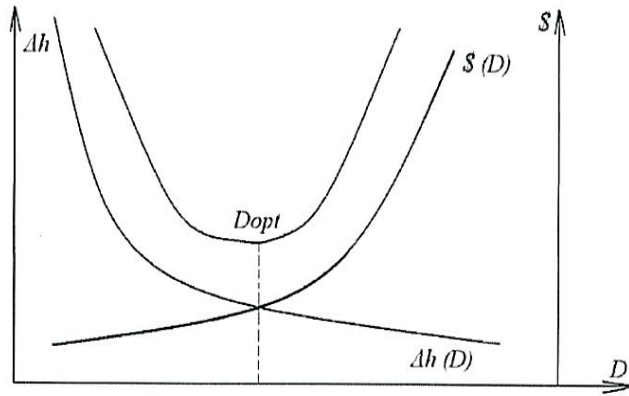


Gráfico 3: Determinación del diámetro económico
 Fuente: Ortiz, R. (2011). Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, pág. 239

$$Ca = Cp + C \quad (4.1)$$

Ca: valor total de la energía perdida en un año

Cp: valor anual debido a la energía consumida

C: valor anual por amortización y mantenimiento de la tubería

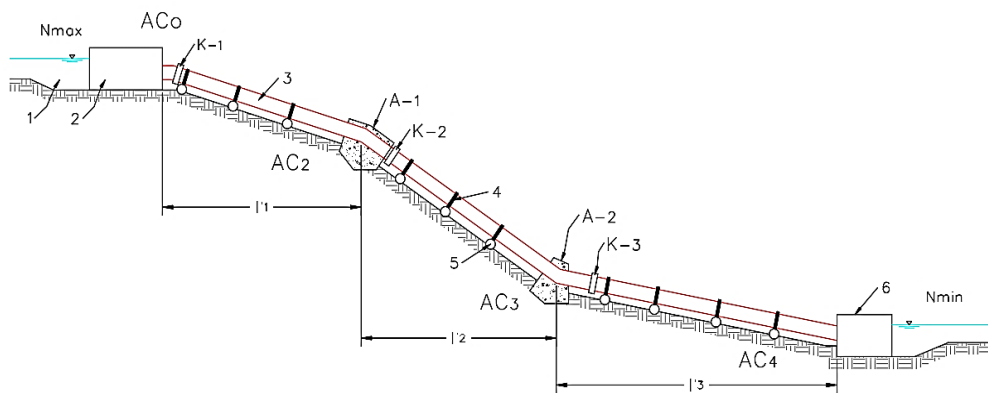


Figura 13: Esquema de implantación del conducto de carga.

Elaborado por: Autores

- 1- Tanque se presión;
- 2- Captación;
- 3- Conducto de carga;
- 4- Anillo de soporte del apoyo intermedio de rodillo;
- 5- elemento de cimentación del apoyo intermedio;
- 6- casa de máquinas;

A-1, A-2: Apoyos de anclaje 1 y 2

K-1, K-2, K-3: Compensadores de asentamientos térmicos

AC₀, AC₂, AC₃, AC_F: Cotas de los apoyos del conducto de carga

l₁' , l₂' , l₃' : Distancias horizontales entre las cotas AC₀, AC₂, AC₃, AC_F

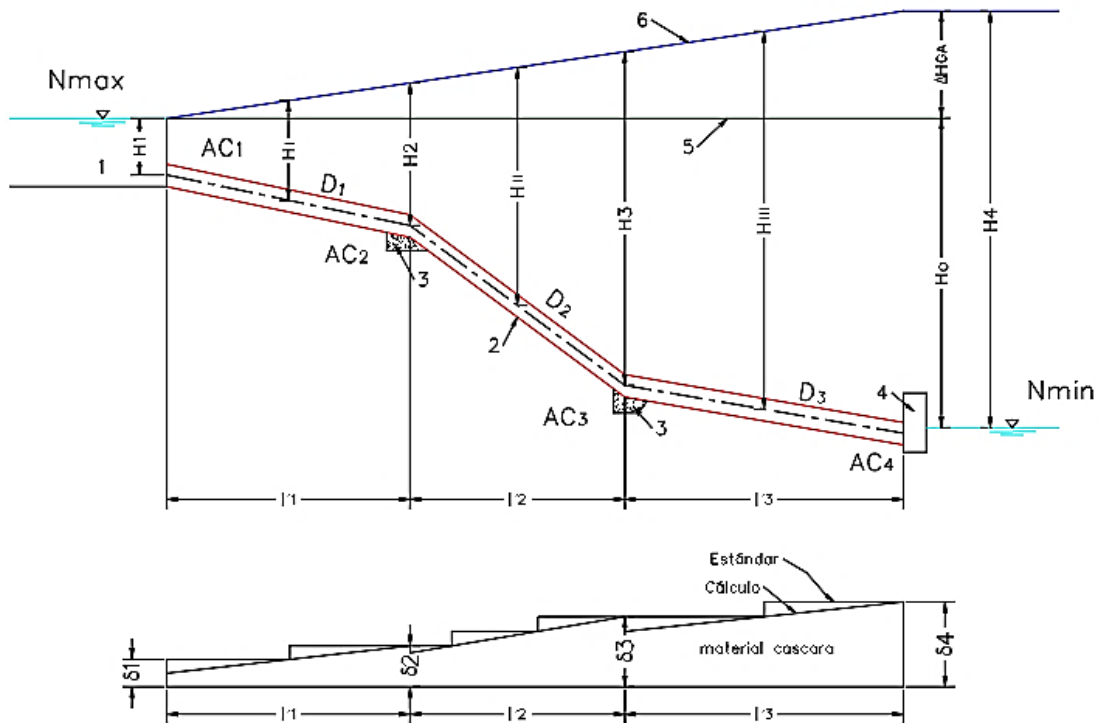


Figura 14: Esquema de análisis para determinar el diámetro y el espesor de la envoltura de acero del conducto de carga

Elaborado por: Autores

- 1- Tanque de presión
- 2- Eje del conducto de carga
- 3- Apoyo de anclaje
- 4- Casa de máquinas
- 5- Nivel hidrostático
- 6- Diagrama de sobre elevación de la carga hidrostática por el golpe de ariete

En la figura 14 se muestra el esquema geométrico utilizado para determinar el diámetro económico óptimo y el espesor de la pared del conducto de carga de una CH de derivación, donde:

H_0, H_2, H_3, H_F : Cargas de cálculo en los límites de los tramos del conducto

H_0 y H_F : Cargas al inicio y final, respectivamente, del conducto de carga

H_I, H_{II}, H_{III} : Cargas de cálculo en la mitad de cada tramo del conducto de carga

δ_0 y δ_F : Espesores de la envoltura de acero al inicio y al final, respectivamente, del conducto de carga

D_0, l_1 : Diámetro y longitud del conducto en el tramo I

D_2, l_2 : Diámetro y longitud del conducto en el tramo II

D_F, l_3 : Diámetro y longitud del conducto en el tramo III

AC_0, AC_2, AC_3, AC_F : Cotas de cálculo en los quiebres en el trayecto del conducto de carga

ΔH_{GA} : Incremento de cálculo de la carga por el golpe de ariete

l'_1, l'_2, l'_3 : Distancias horizontales entre los apoyos de anclaje del conducto de carga

Como se aprecia en la figura 14, el diámetro del conducto de carga se asume constante a lo largo de cada tramo entre los apoyos anclados.

En las etapas iniciales de formulación del proyecto de una CH, para determinar el diámetro del conducto de carga cercano al económico óptimo, pueden aplicarse las ecuaciones analíticas que se presentan a continuación.

El diámetro económico más favorable del conducto de carga en los tramos con cargas pequeñas ($H \leq 30$ m), en los cuales el espesor de la envoltura de acero del conducto es constante, puede ser determinado con la ecuación:

$$D_{Eci} = \sqrt[6]{\frac{Q_C^3 T_C S^E \eta_g \beta}{\delta C_T}} \quad (4.2)$$

El espesor de la envoltura de acero del conducto con carga pequeña se determina por condiciones de rigidez. Algunos diámetros generalmente estandarizados de las tuberías de acero y los correspondientes espesores mínimos de la envoltura de acero, por condición de rigidez, se indican en la siguiente tabla.

Diámetros estandarizados y espesor de la envoltura de las tuberías de acero

Tabla 4: Diámetros estandarizados y espesor de la envoltura de las tuberías de acero

D, mm	δ, mm
2000	10
2500	10
2800	10
3000	10
3200	10
3400	10
3600	10
3800	10
4000	10
4200	12
4400	12
4600	12
4800	12
5000	12
5200	12
5400	12
5600	12
5800	12
6000	12
6200	12
6400	12
6600	12
6800	12
7000	14
7500	14
8000	14
8500	14
9000	16

Fuente: Calero .I. (2019). Determinación del diámetro y espesor de la pared del conducto de carga. Clases presenciales UPS-Quito- Campus Sur

Para los tramos del conducto de cargas mayores ($H > 30$ m), en los cuales el espesor de la envoltura de acero varía en la longitud del tramo y se determina por condiciones de resistencia, el diámetro económico más favorable se determina con la siguiente ecuación:

$$D_{ECi} = \sqrt[7]{\frac{Q_C^3 T_C S^E \eta_g \beta R}{c_T H_i}} \quad (4.3)$$

Donde:

Q_C : Caudal medio cúbico (m^3/s)

T_C : Tiempo de cálculo de operación del conducto (horas/año)

S^E : Costo de 1 KW hora de la energía reemplazada (US\$/KW.h)

η_g : Coeficiente de eficiencia promedio del grupo de generación hidroeléctrica ($\eta_g = 0,85-0,90$)

β : Coeficiente que considera la pérdida de energía durante el tránsito de crecidas, debido a la disminución de la carga y, por consiguiente, de la capacidad de flujo de la turbina ($\beta = 1,00 - 1,15$)

R: Resistencia de cálculo del material del conducto (MPa)

δ : Espesor de la envoltura de acero (cm)

C_T : Costo de una tonelada del material del conducto, su montaje y acabado (US\$/Ton)

H_i : Carga de cálculo en la mitad del tramo considerado, tomando en cuenta el golpe de ariete (m)

Para análisis preliminar el espesor de la envoltura de acero del conducto, al inicio y al final del tramo, con carga $H > 30$ m, puede ser determinado considerando únicamente la magnitud de la presión interna del agua y su incremento debido al golpe de ariete, con ayuda de la siguiente ecuación:

$$\delta_j \geq \frac{\gamma_o H_j D}{2R} \quad (4.4)$$

Donde:

δ_j : Espesor de la envoltura de acero en el límite del tramo considerado del conducto de carga (m)

D: Diámetro del tramo del conducto (m)

R: Resistencia de cálculo del acero (MPa)

H_j : Carga de cálculo en el límite del tramo del conducto, considerando el incremento por el golpe de ariete (m)

$$H_j = [H_0, H_2, \dots, H_F].$$

$j=k+1$: Cantidad de límites de los tramos del conducto de carga

El valor del diámetro económico más favorable, obtenido con las ecuaciones (4.2) y (4.3), se aproxima al valor inmediatamente menor del diámetro estandarizado.

El espesor de la cáscara del conducto de carga al inicio y al final se determina de la condición de resistencia con la ecuación:

$$\delta_i \geq \frac{5H_i D_{EC}}{R} \quad (4.5)$$

Donde:

H_i : carga al inicio o final de cada tramo

D_{EC} : Diámetro económico

R: Resistencia del material

Para determinar el diámetro hidráulico óptimo de un conducto de carga es necesario considerar el incremento de la carga al final del conducto, debido al golpe de ariete. Por su parte, para calcular el incremento de la carga debido al golpe de ariete se requiere conocer los diámetros y espesores de la envoltura del conducto en cada uno de sus tramos. Por esta razón, se parte de la condición preliminar $\Delta H_{GA} = 0,3H_0$ se asume una carga 1,3.

4.2 DETERMINACIÓN DEL VALOR MEDIO CÚBICO DEL CAUDAL DEL CONDUCTO DE CARGA (CAUDAL DE CÁLCULO).

En caso de entrega independiente del agua a cada turbina, todos los conductos de la CH son similares. En consecuencia, todos los conductos operan aproximadamente la misma extensión de tiempo y transportan aproximadamente el mismo volumen de agua. Si W_n^{CH} es el volumen total anual de agua utilizados por todos los bloques de la central, o el volumen sumatorio transportado por todos los conductos de carga, en un año promedio por la disponibilidad de agua, (gráfico 4, superficie de la figura $Oabcd$), en consecuencia, el volumen de agua que transporte un conducto de carga en dicho año es:

$$W^T = \frac{W_n^{CH}}{n} \quad (4.6)$$

Donde:

n: Cantidad de conductos de carga

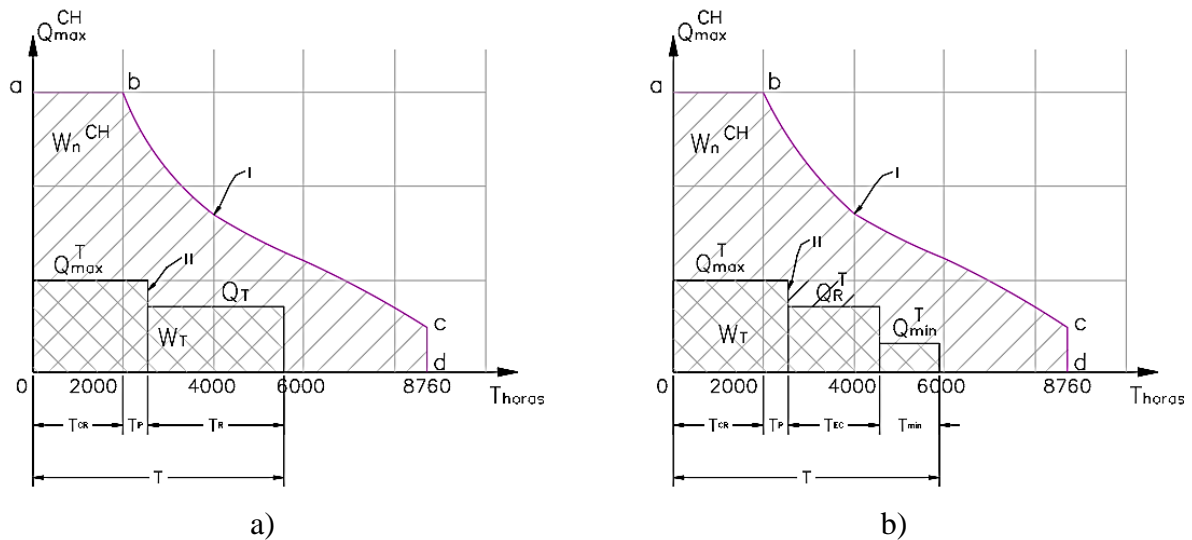


Gráfico 4: Gráfico para determinar el caudal de cálculo de un conducto individual de la CH
Elaborado por: Autores

- a) cuando no se considera un caudal básico Q_{min}^T
- b) cuando se entrega aguas abajo un caudal Q_{min}^T

En forma análoga se puede determinar el caudal máximo a través de un conducto de carga Q_{max}^T , si es conocido el caudal Q_{max}^{CH} que pasa por toda la central

$$Q_{max}^T = \frac{Q_{max}^{CH}}{n} \quad (4.7)$$

En primera aproximación, para las cuencas hidrográficas ecuatorianas de la cuenca del Pacífico se puede considerar que, en los sistemas fluviales con embalse de regulación, en el año promedio por disponibilidad hídrica, cada turbina opera con carga máxima y, por consiguiente, con el caudal Q_{max}^T .

Durante el periodo de crecidas (enero, febrero, marzo, abril) el $T_{CR} \cong (2900 \div 2950) horas$, así como durante el periodo de los meses de mayo y junio, para cubrir picos $T_P = (1400 \div 1500) horas$.

En el periodo de operación del embalse, sin excedentes ni déficit, la CH operaría con el caudal regulado del sistema que, en principio tendría un nivel de garantía en tiempo y volumen de $0,90\% \div 0,95\%$, $T_R = (3300 \div 3500) horas$; en el periodo T_R la CH operaría con el máximo coeficiente de eficiencia para una potencia que representaría el (70%-80%) de la potencia nominal, es decir con un caudal por conducto de carga (caudal regulado por cada turbina):

$$Q_R^T = (0,70\% \div 0,80\%)Q_{max}^T \quad (4.8)$$

En el periodo restante del año $T_F = (220 \div 450) horas$ la CH operaría con un caudal deficitario, en un (5% ÷ 10%), respecto al caudal regulado, es decir con caudal por cada conducto de carga:

$$Q_F^T = (0,90 \div 0,95)Q_R^T \quad (4.9)$$

En consecuencia, el caudal medio cúbico del conducto de carga (caudal de diseño es):

$$Q_D = Q_{CUB.M} = \sqrt[3]{\frac{(Q_{max}^T)^3(T_{CR}+T_P)+(Q_R^T)^3T_R+(Q_F^T)^3T_F}{T_{CR}+T_P+T_R+T_F}} \quad (4.10)$$

Reemplazando valores y expresando en función de Q_{max}^T :

$$Q_{CUB.M} \cong \sqrt[3]{\frac{(Q_{max}^T)^3(4400)+(0,75Q_{max}^T)^3 4050+(0,694Q_{max}^T)^3 310}{8760}} \quad (4.11)$$

$$Q_{CUB.M} \cong 0,956Q_{max}^T \cong Q_{max}^T \quad (4.12)$$

La relación obtenida se explica por tratarse de un sistema con regulación con alto nivel de garantía.

En la etapa preliminar de formulación se puede asumir que el caudal medio cúbico del conducto de carga es aproximadamente un 20% mayor que el caudal medio aritmético del conducto:

$$Q_D = Q_{CUB.M} = 1,2Q_M \quad (4.13)$$

4.3 DETERMINACIÓN DEL COSTO DE UNA TONELADA DE TUBERÍA INSTALADA.

El costo preliminar de una tonelada de tubería instalada puede ser determinado de acuerdo a una estructura referencial del precio unitario, a partir de información actualizada de proyectos similares, con ayuda de ecuaciones semejantes a la siguiente:

$$C_t = C_{mno} + C_{maq} + C_{mat} \quad (4.14)$$

Donde:

C_t : Costo de la tonelada de tubería instalada

C_{mno} : Costo de la mano de obra

C_{maq} : Costo de la maquinaria incluido el de operadores

C_{mat} : Costo de 1 tonelada de materiales, incluido transporte

CAPÍTULO V

CONDICIONES HIDRODINÁMICAS DE TRANSICIÓN

5.1 ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN LOS CONDUCTOS DE CARGA

Para determinar las magnitudes aproximadas del golpe de ariete en un conducto de carga con diámetro variable (telescopicos), a éste se lo reemplaza por un conducto imaginario equivalente de diámetro constante D_{EQV} con espesor de las paredes δ_{EQV} . Si el conducto de carga de longitud L está constituido por k tramos de longitud l_i , en los cuales las velocidades máximas del agua son v_{imax} y las velocidades de desplazamiento de la onda de golpe en caso de golpe de ariete son c_i , en este caso, de la igualdad de la energía cinética y de la duración de las fases del golpe de ariete, para el conducto equivalente pueden ser obtenidas las siguientes expresiones:

$$L_{EQV} = \sum_{i=1}^{i=k} l_i \quad (5.1)$$

$$D_{EQV} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} D_i}{L_{EQV}} \quad (5.2)$$

$$\delta_{EQV} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} \delta_i}{L_{EQV}} \quad (5.3)$$

$$v_{EQV.max} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} v_{imax}}{L_{EQV}} \quad (5.4)$$

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{1 + \frac{\epsilon D_{EQV}}{E \delta_{EQV}}}} \quad (5.5)$$

Donde:

L_{EQV} : Longitud del conducto de carga equivalente (m)

l_i : Longitud del tramo i del conducto de carga, entre dos apoyos (m)

D_{EQV} : Diámetro del conducto de carga equivalente (m)

D_i : Diámetro del conducto de carga en el tramo i (m)

δ_{EQV} : Espesor de la envoltura de acero del conducto de carga equivalente

δ_i : Valor medio aritmético del espesor de la envoltura de acero del conducto de carga en el tramo i;

$$\delta_i = 0,5(\delta_{i0} + \delta_{iF});$$

δ_{i0} : Espesores de la envoltura de acero al inicio, del tramo i del conducto de carga

δ_{iF} : Espesores de la envoltura de acero al final, del tramo i del conducto de carga

v_{EQVmax} : Valor máximo de la velocidad del agua en el conducto de carga equivalente (m/s)

v_{imax} : Valor máximo de la velocidad del agua en cada uno de los tramos del conducto de carga (m/s)

c_{EQV} : Velocidad de difusión en el conducto de carga equivalente del frente de la onda de golpe, en caso de golpe de ariete (m/s)

c_0 : Velocidad de difusión del sonido en un líquido en reposo (para el agua $c_0=1425$ m/s)

ϵ : Módulo volumétrico de elasticidad del agua (MPa)

E: Módulo de elasticidad del material de la envoltura del conducto de carga (para el acero $E=2*10^5$ MPa)

La velocidad máxima del agua en cada tramo de conducto de carga se determina con la ecuación:

$$v_{imax} = \frac{4Q_{max}^T}{\pi D_i^2} \quad (5.6)$$

Donde:

Q_{max}^T : Valor máximo del caudal de agua que fluye a través de uno de los ramales del conducto de carga (m³/s).

Para el conducto de carga equivalente la primera y la segunda característica, respectivamente, son iguales a:

$$\zeta = \frac{cv_{eqv.max}}{gH_o} \quad (5.7)$$

$$\sigma = \frac{L_{EQV}V_{EQVmax}}{gH_oT_S} \quad (5.8)$$

Donde:

H_o : Carga estática al final del conducto (m)

T_S : Tiempo se cierre del elemento direccionado (s)

El incremento relativo de la presión en caso de golpe de ariete al final del conducto de carga se puede determinar por la cadena de ecuaciones:

Al final de la primera fase:

$$q_1\sqrt{1+z_1} = z_0 - \frac{z_1}{\zeta} \quad (5.9)$$

Al final de la fase “n”:

$$q_n \sqrt{1 + z_n} = z_0 - \frac{z_n}{\zeta} - \frac{2}{\zeta} \sum_{i=1}^{i=n-1} z_i \quad (5.10)$$

Donde:

q_0 : Magnitud del caudal relativo ponderado inicial del agua (o apertura inicial relativa hidráulica).

q_1 : Magnitud del caudal relativo ponderado al final de la primera fase del golpe de ariete.

q_n : Magnitud del caudal relativo ponderado al final de la fase “n”.

z_1, z_i, z_n : Incremento relativo de la carga, respectivamente, al final de la fase 1, i, n.

La solución del sistema de ecuaciones (5.9) y (5.10) es posible si es conocido el carácter de la variación en el tiempo del caudal relativo ponderado q , es decir si es conocida la función $q = q(t)$. En caso de que la ley o función de cierre del elemento direccionador no esté dada, se requiere ejecutar una serie de cálculos del golpe de ariete para diferentes posibles funciones $q=q(t)$. El tiempo de la fase del golpe de ariete se determina con la ecuación:

$$T_F = \frac{2L_{EQV}}{c_{EQV}} \quad (5.11)$$

La distribución de la presión hidrodinámica a lo largo del conducto se realiza en forma proporcional al producto $L_{EQV}V_{EQVmax}$. La descomposición de $\Delta H = zH_0$ sumandos se realiza en forma proporcional a las sumas de los productos $l_i v_{imax}$, para los diferentes tramos, con la ecuación:

$$z_{bmax} = \frac{\sum_{i=1}^{i=b} l_i v_i}{L_{EQV}V_{EQVmax}} \quad (5.12)$$

Donde:

z_{bmax} : Incremento relativo máximo de la presión del agua en el punto b del conducto de carga.

En caso de salida (pérdida) de pequeñas cargas el incremento de la presión debido al golpe de ariete, en el conducto de carga de una CH puede superar el valor que se presenta en caso de salida total de la carga. El siguiente gráfico muestra el aumento y disminución de la presión hidrodinámica, en caso de pérdida o elevación cargas parciales por el bloque generador.

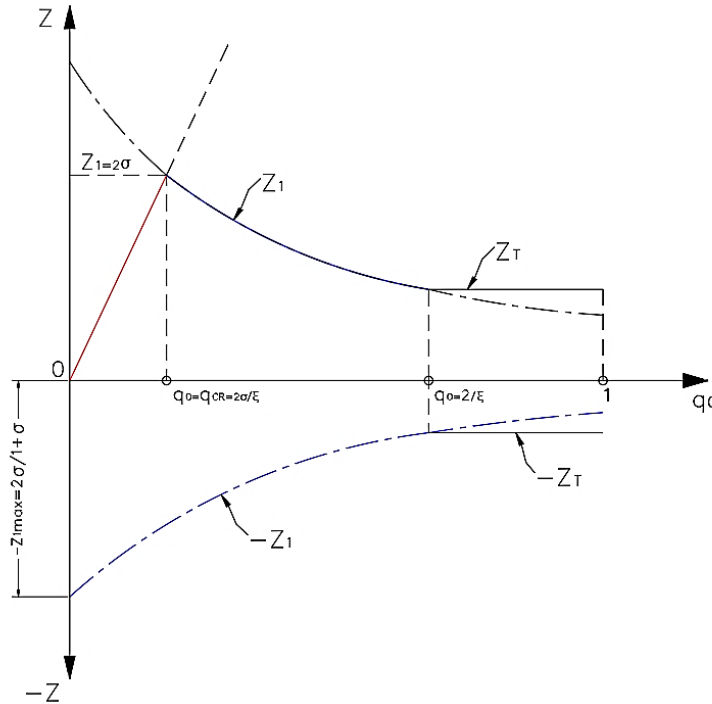


Gráfico 5: Incremento relativo z y disminución relativa de la presión
 Elaborado por: Autores

En caso de relación lineal $q = f(t)$ el aumento de la presión en la primera fase Z_1 , puede ser presentado como una función $Z_1 = F_1(q_0, \sigma, \xi)$. En una fase alejada el incremento de la presión es $Z_m = F_2(\sigma)$, en tanto que el aumento de la presión en caso de golpe de ariete directo es $Z_{dir} =$

ξq_0 . Para determinar el aumento relativo de la presión $z = f(q_0)$ se utilizan las expresiones de cálculo mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 5: Relación entre presión y caudal

Aumento relativo de la presión z		Caudal inicial relativo
$Z_{dir} = \zeta q_0$	(5.13)	$0 \leq q_0 \leq q_{CR}$
$Z_1 = \frac{2\sigma}{1+0,5\zeta q_0 - \sigma}$	(5.14)	$q_{CR} < q_0 < \frac{2}{\zeta}$
$Z_T = \frac{2\sigma}{2-\sigma}$	(5.15)	$\frac{2}{\zeta} \leq q_0 \leq 1$

Elaborado por: Autores

La intersección de las líneas Z_{dir} y Z_1 tiene lugar con caudal crítico $q_0 = q_{CR}$; en caso de variación lineal en el tiempo de la caudal q , el valor del caudal crítico es:

$$q_{CR} = \frac{T_F}{T_S} = \frac{2\sigma}{\zeta} \quad (5.16)$$

En caso de apertura de la compuerta en el conducto de carga tiene lugar caída de la presión. El valor aproximado de la disminución relativa, en la entrada al elemento direccional, en la primera fase:

$$-Z_1 \approx \frac{2\sigma}{1+0,5q_0\zeta+\sigma} \quad (5.17)$$

El valor máximo Z_{1max} se presenta, en caso de $q_0 = 0$, cuando en el momento inicial es cerrado el elemento direccional. En este caso:

$$-Z_{1max} = \frac{2\sigma}{1+\sigma} \quad (5.18)$$

La disminución relativa de la presión en fases alejadas se determina con la ecuación:

$$-Z_{1max} = \frac{2\sigma}{2+\sigma} \quad (5.19)$$

La variación de la presión hidrodinámica en un conducto de carga, como consecuencia de la variación brusca de la velocidad de flujo, puede ocurrir debido al cierre o apertura brusca de una compuerta o válvula. En el primer caso al golpe de ariete se lo denomina positivo, en tanto que, en el segundo caso, negativo.

El golpe de ariete positivo es una onda de sobrepresión originada por el cierre brusco de la válvula, el cual produce que las partículas de agua se empiezan a detener y una vez detenidas son empujadas por las que vienen inmediatamente atrás y que sigue aún en movimiento.

Esto origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería a la velocidad del sonido del agua. Esta sobrepresión tiene dos efectos:

- Comprime ligeramente el agua, reduciendo el volumen
- Dilata ligeramente la tubería

Cuando el agua en la tubería se detiene, cesa el impulso que la comprimía, por lo tanto, esta tiende a expandirse.

Por consiguiente, el golpe de ariete es fundamental en el dimensionamiento de las tuberías debido a que puede romper dicha tubería.

5.2 MITIGACIÓN DEL GOLPE DE ARIETE

Para contrarrestar los efectos del golpe de ariete en los conductos de carga, debido a causas incontrolables en el sistema como el cierre brusco de las válvulas, se utiliza diferentes tipos de alternativas para reducir sus efectos.

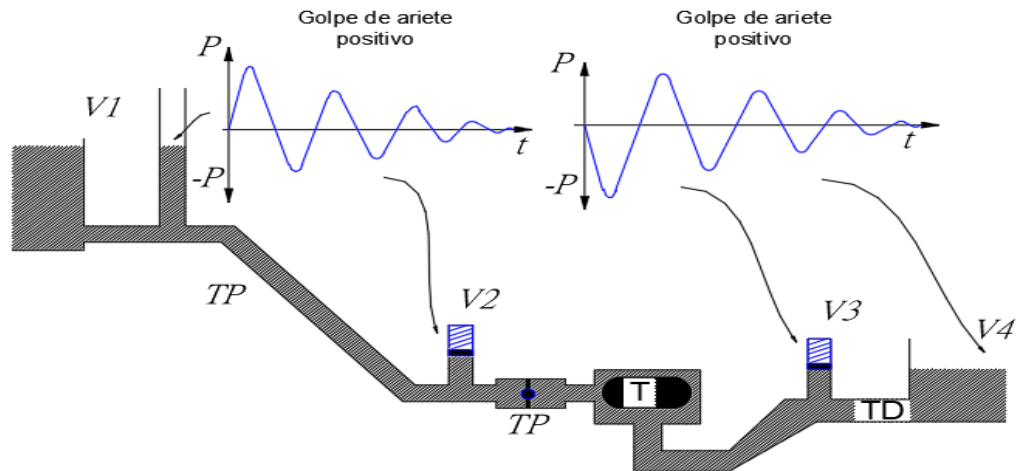


Figura 15: Dispositivos para disminuir el Golpe de Ariete
 Fuente: Ortiz, R. (2011). Pequeñas centrales hidroelectricas, pág. 220

Donde:

V1: chimenea de equilibrio

V2: válvula de seguridad

V3: válvula de sobrepresión, puede ser automática

V4: válvula de maniobra controlable

TP: tubería de presión

TD: tubería de desagüe

T: turbina

Válvulas de alivio

Disminuyen la presión de trabajo excedido en los conductos de carga, evitando el fallo por expansión de las paredes de la tubería. Son válvulas que operan con resortes.

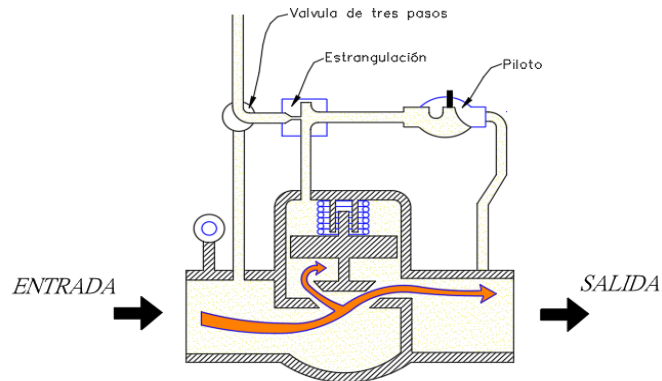


Figura 16: Ejemplo de una Válvula de alivio y su funcionamiento
Fuente: Sotelo (1994). Hidráulica General.

Chimeneas de equilibrio

Es una de las alternativas más seguras para contrarrestar el efecto del golpe de ariete ya que no están expuestos a fallas mecánicas. La ubicación de las chimeneas de equilibrio debe estar por encima de la línea piezométrica del sistema.

Controlan los aumentos repentinos de presión, también proporcionan agua adicional durante una carga de presión.

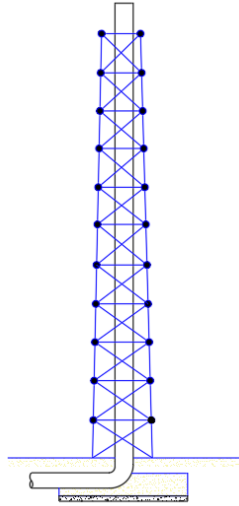


Figura 17: Ejemplo esquemático de una Chimenea de Equilibrio
Elaborado por: Autores

Cámaras de aire

Son estructuras pequeñas que están ubicadas en sitios estratégicos del sistema para reducir la presión en los conductos de carga.

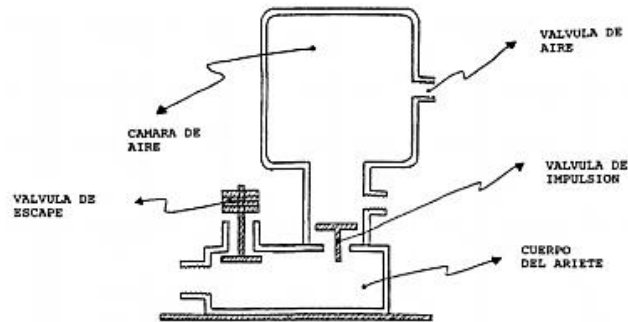


Figura 18: Cámara de aire y componentes de un ariete hidráulico.
Fuente: Ortega, L. (1995). *Selección e Instalacion del Ariete Hidraulico*.
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boltec/NR18414.pdf>

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS MECÁNICO DEL CONDUCTO DE CARGA

A partir de este capítulo, incluyendo el capítulo 7, las ecuaciones utilizadas para el cálculo se basaron en el libro de: (ORTIZ, 2011).

6.1. COMBINACIONES DE FUERZAS.

6.1.1 Combinación básica.

Incluye las cargas y solicitaciones originadas en:

- El peso propio de la construcción del conducto y del agua contenida en él;
- La presión interna del agua para nivel normal de operación, tomando en cuenta el máximo incremento dinámico de la carga originado en el golpe de ariete en condiciones de operación normal de la CH y de la CB.
- El empuje activo del suelo;
- Las oscilaciones de la temperatura;
- Las fuerzas centrífugas en las curvaturas;
- Los asentamientos diferenciales de los apoyos del conducto.

6.1.2 Combinaciones especiales.

A más de las referidas en el literal anterior, se incluyen las fuerzas y solicitaciones originadas en:

- Presión interna del agua con nivel forzado de operación, tomando en cuenta el incremento dinámico máximo de la carga originada por el golpe de ariete en condiciones extraordinarias de operación: carga total de la potencia y otros estados de emergencia (en lugar de la presión interna para combinación básica).
- Efectos del golpe de ariete para condiciones extraordinarias de operación;
- Fuerzas sísmicas;
- Cargas durante los periodos de construcción y montaje;
- Cargas de prueba;
- Efectos de asentamientos en el hormigón;
- Deformaciones plásticas del hormigón o del macizo natural de cimentación;
- Llenado parcial del conducto de carga.

Las combinaciones especiales de cálculo se conforman con las cargas enumeradas arriba, en correspondencia con la posibilidad práctica de su presencia simultánea; en este marco cabe seleccionar las combinaciones menos favorables para la construcción del conducto de carga, durante el periodo de construcción, durante la operación normal y en estados de emergencias, tanto para conducto lleno de agua, como para conducto vaciado.

6.2 APOYOS INTERMEDIOS Y CON ANCLAJES PARA CONDUCTOS A PRESIÓN

Los conductos de carga a presión instalados a nivel superficial, están apoyados sobre estructuras de hormigón los mismos que le dan la estabilidad necesaria para poder ejecutar su trabajo de manera óptima. Estos apoyos pueden ser:

- a) Apoyos Intermedios
- b) Apoyos con anclajes

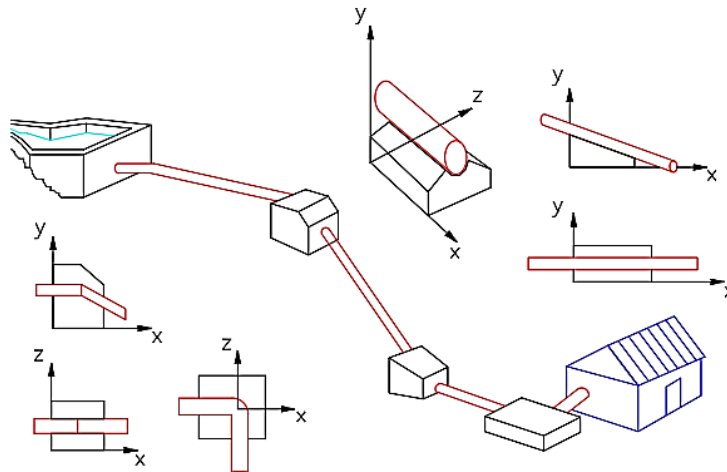


Figura 19: Apoyos intermedios y con anclaje

Fuente: Ortiz, R. (2011). Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, pág. 269

6.2.1 DISTANCIA ENTRE APOYOS.

Apoyos con anclaje: En las abscisas de cambio de dirección, en los tramos rectos, en caso de pendientes altas cada 150-200 metros; en caso de pendientes bajas cada 300- 400 metros

Apoyos intermedios: Comparando variantes de ubicación y considerando factores como esfuerzos en la cáscara, dimensiones constructivas, reacciones en la superficie de cimentación, generalmente la distancia oscila entre 15- 25 metros aplicando el uso de anillos de rigidez. Sin embargo, para el cálculo sin anillos de rigidez la distancia critica oscila entre 7.5 – 8 metros.

ANILLOS DE RIGIDEZ

Las tuberías de acero instaladas superficialmente por lo general están apoyadas sobre soportes, estas tuberías se comportan como una viga de refuerzo que tiene una configuración en forma de anillo que esta soldada alrededor de la superficie exterior de la tubería.

Este anillo evita que se deforme radialmente la tubería en el sitio de apoyo y hace que se comporte como una viga. La carga por peso de la tubería y el agua que esta contiene, provoca un esfuerzo tangencial uniformemente distribuido a lo largo del anillo.

Estos anillos por lo general se encuentran ubicados a una distancia que va entre 15-25 metros, a lo largo de la tubería.

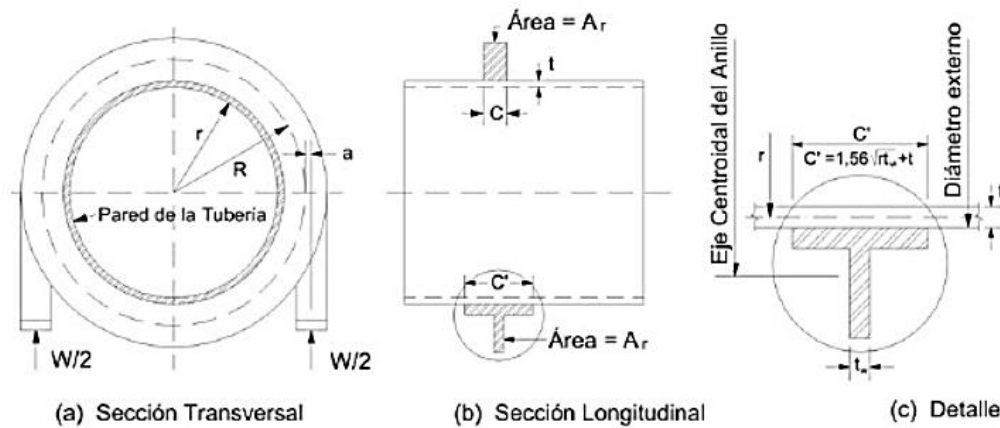


Figura 20: Detalles del apoyo con anillo de rigidez y definición de variables
Fuente: Schorer, H. (1933). Design of Large Pipelines. Trans. ASCE, pp. 98-101.

En Price et al. 1964; Cates, 1950; Troitsky, 1986 y Gilmor, 1989, se hace referencia a Schorer (1933) como: «un diseño racional satisfactorio para la construcción de los soportes tipo anillo-viga, basado en la teoría de la elasticidad».

En el presente trabajo sin embargo no se trabajará con el uso de estos anillos.

Cálculo de la distancia estimada entre apoyos intermedios

$$L = 2,7 * D^{\frac{1}{2}} * \sqrt{\frac{\delta R_{acero}}{q}} \quad (6.1)$$

Donde:

$$q = \pi D (f * D * \gamma_o + \delta * \gamma_{acero}) \cos \alpha \quad (6.2)$$

En la relación diámetro – espesor (r/δ):

$$\frac{r}{\delta} = \frac{D}{2\delta} \quad (6.3)$$

En la relación distancia de anillos de rigidez - diámetro (I_{ar}/D), esta relación se obtiene mediante el siguiente gráfico:

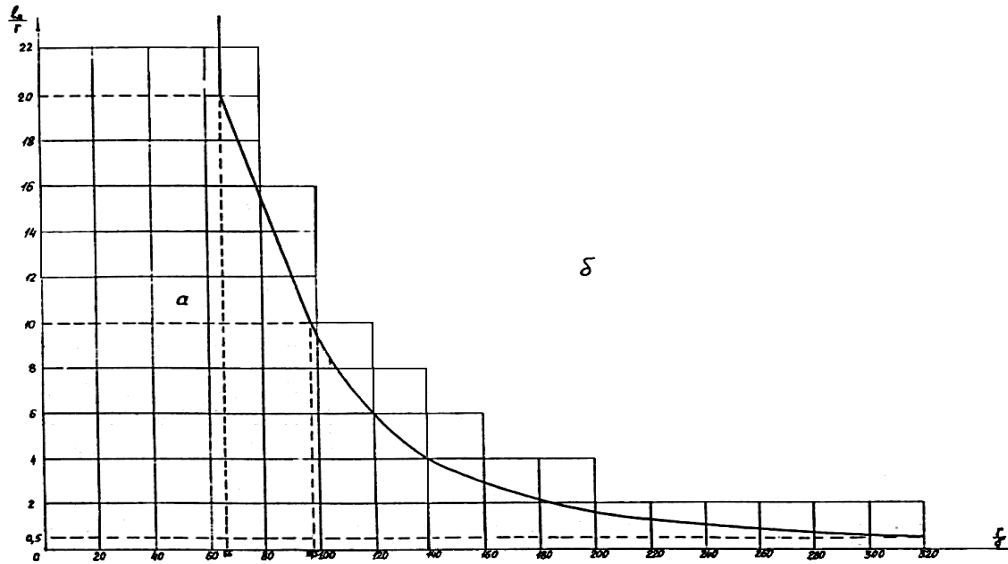


Gráfico 6: Distancia de anillos de rigidez vs diámetro
 Fuente: Calero .I. (2019). Análisis mecánico del conducto de carga. Clases presenciales UPS-Quito- Campus Sur

Distancia de anillos de rigidez

$$I_{ar} = 0.5 * \frac{I_{ar}}{r} * D \quad (6.4)$$

Se debe cumplir la siguiente condición:

$$I_{ar} \leq L$$

En la que se indica el uso de anillos de rigidez.

En consecuencia, se adopta una distancia crítica que esta entre 7,5 – 8 metros, a fin de excluir los anillos de rigidez.

Para el recalcu de la distancia entre apoyos (Lr), una vez asumida la distancia crítica se utilizará la siguiente formula:

$$Lr = X * \sqrt[3]{\frac{(D+2\delta)^4 - D^4}{P}} \quad (6.5)$$

Donde:

$$P = f_{agua} * D^2 + f_{acero} * \delta * (D + \delta) \quad (6.6)$$

P: Presión de agua y el conducto (MN/m)

f_{agua} : Coeficiente del peso del agua

f_{acero} : Coeficiente del peso del acero

X: Es una variable para el cálculo

$$X = \frac{182,61}{\sqrt[3]{\frac{1000000}{g}}} \quad (6.7)$$

Donde se verificará la distancia adecuada para el cálculo sin anillos de rigidez.

6.2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL APOYO INTERMEDIO

Son bloques de hormigón que soportan al conducto de carga en el tramo entre dos apoyos anclados; sus características constructivas deben permitir al conducto desplazarse en caso de deformaciones axiales; en suelos compresibles los mecanismos del apoyo deben permitir la regulación altimétrica del conducto en el tramo. El dimensionamiento de estos debe ser de bajo costo para su construcción.

El apoyo debe tener el siguiente esquema geométrico:

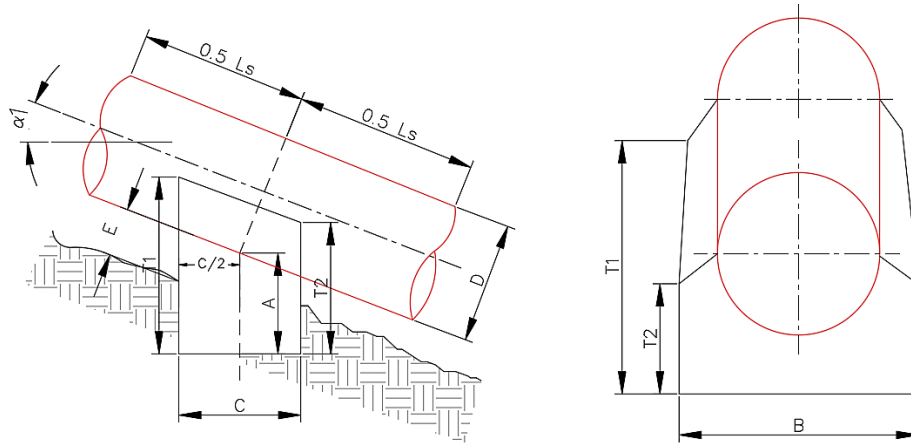


Figura 21: Esquema Geométrico del apoyo intermedio en el conducto de carga, vista lateral y frontal.

Fuente: Ortiz, R. (2011). Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, pág. 271

Para determinar las dimensiones se utilizará:

La sección de la base C y B son de iguales medidas (m):

$$C = B = 1,5D \quad (6.8)$$

La dimensión de A (m), tomando en cuenta el tipo de suelo, será:

$$A = 1,2D \quad (6.9)$$

Estos valores para el diseño del apoyo son referenciales, ya que depende del diseñador tomar las medidas adecuadas, siendo importante verificar que las dimensiones adoptadas permitan cumplir las condiciones o criterios de diseño.

Dimensiones T1 y T2 (m):

$$T_1 = A + 0,5C \tan \alpha \quad (6.10)$$

$$T_2 = A - 0,5C \tan \alpha \quad (6.11)$$

Volumen (m³):

$$V = 0,5(T_1 + T_2) * B * C \quad (6.12)$$

6.2.3 DIMENSIONAMIENTO DEL APOYO CON ANCLAJE

Los anclajes son bloques de hormigón que impiden el movimiento de la tubería, ajustan a la tubería al perfil topográfico del terreno y permiten variar la pendiente en forma horizontal o vertical, así como sus cambios de dirección.

Para el pre diseño se toma las siguientes recomendaciones al final se debería verificar si sus dimensiones son las adecuadas.

$$B = 3D \quad (6.13)$$

$$C = 3D \quad (6.14)$$

$$H = 4D \quad (6.15)$$

$$\text{Volumen total} = B * C * H \quad (6.16)$$

$$\text{Volumen de la tubería} = \frac{\pi D^2}{4} * C \quad (6.17)$$

$$\text{Volumen del anclaje} = \text{Volumen total} - \text{Volumen de la tubería}$$

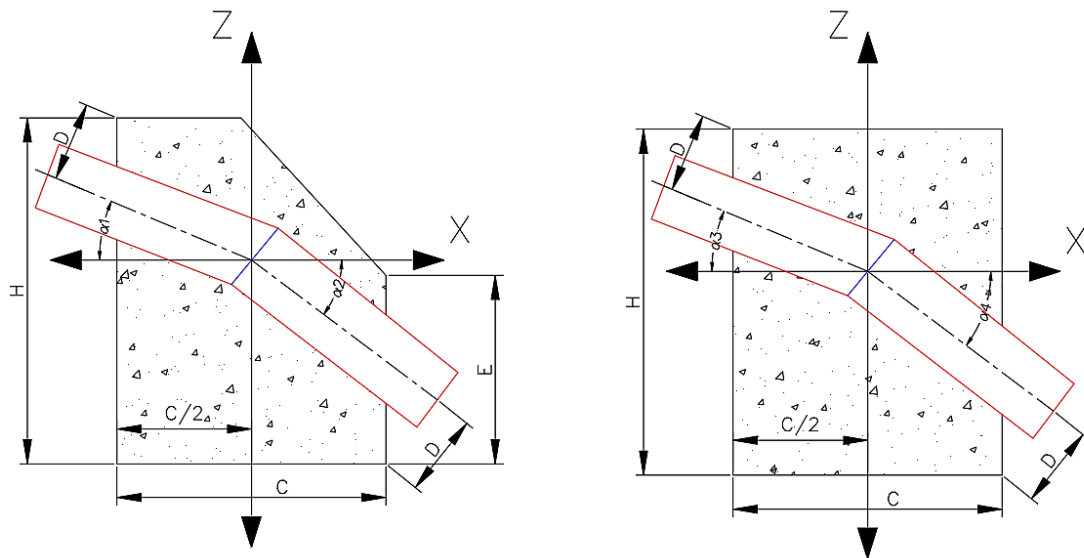


Figura 22: Esquema Geométrico del apoyo con anclaje en el conducto de carga.
Fuente: Ortiz, R. (2011). Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, pág. 277

Los valores del dimensionamiento son tomados en base a la experiencia del diseñador y a proyectos ya ejecutados.

6.3 FUERZAS Y SOLICITACIONES ACTUANTES

Los apoyos tanto intermedios como de anclaje son los encargados de absorber los esfuerzos que se aplican debido a la variación de la pendiente del terreno.

6.3.1 APOYOS INTERMEDIOS

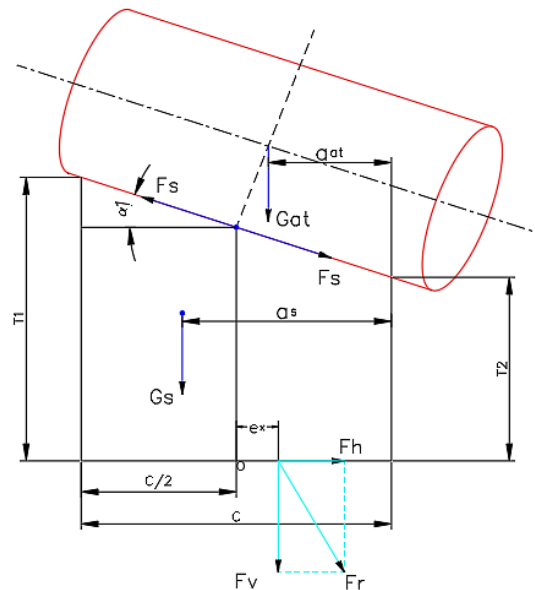


Figura 23: Fuerzas y Solicitaciones Actuantes en apoyos intermedios
Fuente: Ortiz, R. (2011). Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, pág. 273

Cargas debidas al peso propio de la tubería

El peso propio del conducto de carga se asume en forma de carga vertical uniformemente distribuida a lo largo del eje del conducto, con intensidad. Para el cálculo se puede realizar con anillos de rigidez o sin anillos de rigidez:

a) Con anillos de rigidez:

$$G_t = \gamma_{acero} F_{cas}^{pond} \quad (6.18)$$

Donde:

F_{cas}^{pond} : Área ponderada de la superficie transversal de la cáscara o envoltura de acero del conducto, tomando en cuenta el efecto del área F_{AR} del anillo de rigidez instalado sobre ella cada l metros:

$$F_{cas}^{pond} = F_{cas} + \frac{\pi D F_{AR}}{l} = \pi D \delta + \frac{\pi D F_{AR}}{l} \quad (6.19)$$

De donde:

$$G_t = \pi D \gamma_{acero} \left(\delta + \frac{F_{AR}}{l} \right) \quad (6.20)$$

Con mayor exactitud el peso del anillo de rigidez puede ser considerado en forma de una serie de cargas puntuales. Precisamente de esta manera cabe considerar el efecto de elementos de mayor peso como, por ejemplo, válvulas.

Sin embargo, para el estudio se ha decidido realizar el diseño sin el uso de anillos de rigidez, debido a que este involucraría un estudio adicional de dichos anillos el cual implica un diseño mecánico más profundo de esta rama de la ingeniería (mecánica). Es por ello que se tomara la distancia crítica entre apoyos la misma que se encuentra entre 7.5 y 8 metros, para tener un rango de seguridad óptimo.

b) Sin anillos de rigidez:

$$G_t = \pi D \delta L \gamma_{acero} \quad (6.21)$$

Donde:

D : Diámetro óptimo de la tubería (m)

δ : Espesor de la cáscara (mm)

L : longitud entre apoyos (m)

Cargas debidas al peso del agua que llena el conducto.

En forma análoga al peso propio de la construcción metálica del conducto, el peso del agua contenida en éste también origina flexión transversal del conducto como una viga que soporta una carga uniformemente distribuida de intensidad:

$$G_a = \gamma_o \frac{\pi D_o^2}{4} L \quad (6.22)$$

$$\gamma_o = \rho_o g \quad (6.23)$$

Donde:

ρ_o : Densidad del agua

g : Aceleración de la carga libre

Cargas por el peso propio del apoyo

El peso propio del apoyo se determinará como su valor medio obtenido a partir de las dimensiones nominales y de los pesos específicos medios indicados:

$$G_s = V \gamma_H \quad (6.24)$$

Donde:

V : Volumen del apoyo (m^3)

γ_H : Peso específico del material del bloque, hormigón (kN/m^3)

Cargas debido a la fricción entre el conducto y el apoyo

La fricción existente entre el conducto y el apoyo es debido al rozamiento entre el acero y el hormigón, que utiliza un coeficiente de fricción tomado de la tabla 6 según el material utilizado.

$$F_s = f_{ac/hor} (G_a + G_t) \cos \alpha \quad (6.25)$$

Donde:

$f_{ac/hor}$: Coeficiente de fricción del material (acero – hormigón)

α : Pendiente del terrero

Descomponiendo la carga en sus componentes horizontal y vertical al eje del conducto, se obtiene la expresión para determinar la sumatoria de fuerzas horizontales que actúa sobre la cáscara y es transmitida a través de ésta:

$$\sum F_h = F_s \cos \alpha \quad (6.26)$$

Y la expresión para la sumatoria del componente vertical de la carga uniformemente distribuida, que origina flexión del conducto como viga continua:

$$\sum F_v = G_a + G_t + G_s + F_s \sin \alpha \quad (6.27)$$

El coeficiente de fricción f para diferentes materiales de contacto, para análisis preliminar puede ser asumido dentro de los siguientes rangos:

Tabla 6: Coeficiente de fricción

MATERIAL	f
Acero sobre acero en apoyo deslizante sin lubricación permanente	0,5
Acero sobre acero en apoyo deslizante con lubricación permanente	0,25
Acero sobre hormigón seco	0,42-0,49
Acero sobre roca seca	0,65-0,70
Hormigón sobre roca seca	0,65-0,75
Hormigón sobre suelo duro seco	0,40-0,60
Hormigón sobre arcilla fresca	0,30
Hormigón sobre arcilla húmeda	0,15-0,20
Hormigón sobre arena húmeda	0,35-0,45
Hormigón sobre arena seca	0,55
Hormigón sobre limo arcilloso seco	0,45
Hormigón sobre limo arcilloso húmedo	0,15-0,20
Hormigón sobre limo arenoso seco	0,50
Hormigón sobre limo arenoso húmedo	0,35

Fuente: Ortiz. R. Pequeñas centrales hidroeléctricas, pág. 272

Cargas debido a la fricción entre el apoyo y el macizo de cimentación

El macizo de cimentación por donde pasará los conductos será verificado por el tipo de terreno en el que se ejecute el proyecto, seleccionando el coeficiente de fricción adecuado para el estudio.

$$F_{ab} = f * \sum F_v \quad (6.28)$$

Donde:

f : Coeficiente de fricción del material

$\sum F_v$: Sumatoria de fuerzas verticales

6.3.2 APOYOS CON ANCLAJE

Carga debido al peso del agua

En forma análoga al peso propio de la construcción metálica del conducto, el peso del agua contenida en éste también origina flexión transversal del conducto como una viga que soporta una carga uniformemente distribuida de intensidad:

$$G_{ai} = \gamma_o * \frac{\pi D^2}{4} * L_{si} \quad (6.29)$$

Donde:

G_{ai} : Peso del agua

γ_o : Peso específico del agua (KN/m³)

D : Diámetro (m)

L_{si} : Longitud entre anclajes (m)

Carga debido al peso de la tubería

$$G_{ti} = \gamma_{acero} * \frac{\pi \delta (D + \delta)}{4} * L_{si} \quad (6.30)$$

Donde:

γ_{acero} : Peso específico del acero (KN/m³)

δ : Espesor de la cáscara de la tubería (m)

D: Diámetro (m)

L_{si} : Longitud entre anclajes (m)

Carga debido al peso de la tubería y peso del agua

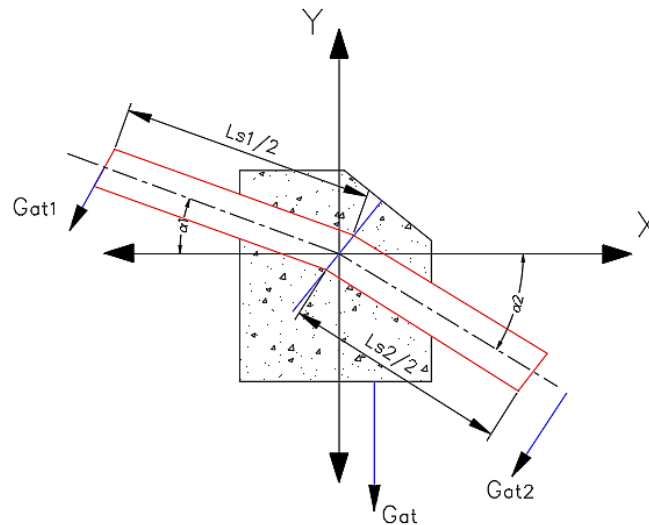


Figura 24: Esquema de las fuerzas que actúan por el peso del agua y la tubería
Fuente: Ortiz, R. (2011). Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, pág. 278

$$G_{ati} = G_{ai} + G_{ti} \quad (6.31)$$

NOTA: El subíndice i es igual a 1 cuando corresponde aguas arriba del anclaje y 2 si corresponde aguas abajo.

COMPONENTE AXIAL DEL PESO DE LA TUBERÍA

AGUAS ARRIBA

$$F_{gtm} = Gt_1 * \text{Sen}(\alpha_1) \quad (6.32)$$

AGUAS ABAJO

$$F_{gtj} = Gt_2 * \text{Sen}(\alpha_2) \quad (6.33)$$

Donde:

α : Pendiente del terreno

Fuerza de presión hidrostática

La fuerza axial en el interior del conducto originada por la presión hidrostática se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$F_{pm} = \gamma_0 * \frac{\pi D^2}{4} * H_c \quad (6.34)$$

Donde:

F_{pm}: Fuerza de presión hidrostática

γ_0 : Peso específico del agua (KN/m³)

D: Diámetro (m)

H_c: Distancia vertical entre el nivel normal del talque de carga y el centro del bloque incluido el aumento de altura por efecto del golpe de ariete (m)

Como carga de cálculo H_c se asume la suma de la carga hidrostática H_{est} de cálculo y el incremento hidrodinámico de carga ΔH por el golpe de ariete; o sea:

$$H_c = H_{est} + \Delta H \quad (6.35)$$

Para el cálculo de la presión interna del agua, en la mayoría de los casos, con un grado de aproximación suficiente para fines prácticos, se puede asumir una variación lineal de la distribución de presión por el golpe de ariete, a lo largo del conducto.

De esta manera la carga de cálculo H_c en cualquier sección del conducto de carga se determina con la expresión:

$$H_c = H_{est} + \frac{\Delta H}{\sum L} x \quad (6.36)$$

Donde:

H_{est} : Carga estática en la sección considerada;

ΔH : Incremento de cálculo de la carga al final del conducto

$\sum L$: Longitud sumatoria de los tramos, a lo largo del eje del conducto, en los cuales se extiende el incremento de la carga;

x : Distancia desde el inicio de la línea de incremento de carga (donde $\Delta H=0$) hasta la sección considerada, en el eje del conducto.

En un tramo recto de longitud L la carga de cálculo en cualquier sección, ubicada a la distancia x desde el extremo superior, se determina con la ecuación:

$$H_c = H_s + \frac{H_i - H_s}{L} x \quad (6.37)$$

Donde:

H_s y H_i : Cargas de cálculo en los puntos superior e inferior del tramo.

Fuerza de velocidad

$$F_{cm} = \gamma_o * Q * V \quad (6.38)$$

Donde:

F_{cm}: Fuerza de velocidad

γ_o : Peso específico del agua (kgf/m³)

Q: Caudal de diseño (m³/s)

V: Velocidad (m/s)

Fuerza por expansión radial

Cuando la tubería recibe una presión de agua, se expanden radialmente y se contraen longitudinalmente, provocando tracción en el bloque.

Esta fuerza se considera cuando la tubería no tiene junta de expansión.

$$F_{rm} = \gamma_o * \frac{\pi D^2}{2m} * H * 1.3 \quad (6.39)$$

Donde:

F_{rm}: Fuerza de expansión radial

γ_o : Peso específico del agua (KN/m³)

D: Diámetro (m)

H: Distancia vertical entre el nivel normal del talque de carga y el centro del bloque incluido el aumento de altura por efecto del golpe de ariete (m)

m: Módulo de presión del material de la tubería (en el caso del acero m=3.3)

Fuerza por variación de temperatura

Los esfuerzos causados por la variación de temperatura en la cáscara de la tubería pueden ser de compresión, cuando la temperatura aumenta o de tracción cuando la temperatura disminuye, estos esfuerzos pueden llegar al anclaje por fallas en la junta de expansión.

Para que la tubería pueda deformarse libremente, se instala un compensador de temperatura entre los apoyos de anclaje, lo que permite que la cáscara de la tubería se extienda.

Con pequeñas fluctuaciones estacionales en la temperatura del agua y el aire circundante, incluida la disminución artificial de la carga de temperatura, que se crea cuando la tubería se encuentra en la galería, al llenar la tubería, etc., la deformación longitudinal de la cáscara es insignificante.

$$F_{tm} = \pm \alpha E \pi \delta (D + \delta) \Delta t \quad (6.40)$$

Donde:

F_{tm} : Fuerza por variación de temperatura

α : Coeficiente de dilatación del material (para el acero= 0.00001)

E : Módulo de elasticidad del material (MPa)

δ : Espesor de la cáscara de la tubería (m)

D : Diámetro (m)

Δt : Variación de temperatura

Compensadores de Dilatación

En la construcción de tuberías tendidas libremente, se utilizan varios diseños de compensadores de temperatura, que pueden reducir significativamente (prácticamente eliminar) las tensiones de temperatura en la cáscara de la tubería.

Uno de los compensadores más utilizados son los compensadores de caja de relleno, pero también existen otros como:

- Compensadores elásticos: Son de forma de placa (diafragma) o corrugado (ondulado).
- Compensadores sedimentarios de temperatura: Se utilizan en el caso de que se espere un asentamiento desigual del suelo debajo de los anclajes y soportes intermedios, permite que la cubierta de la tubería se alargue y acorte libremente debido a las deformaciones de la temperatura, y también permite una precipitación vertical desigual de los apoyos de la tubería sin violar su densidad y resistencia.

Fuerza generada por la fricción de la tubería con el apoyo

AGUAS ARRIBA

$$F_{am} = f (Ga_1 + Gt_1) * \text{Cos} (\alpha_1) \quad (6.41)$$

AGUAS ABAJO

$$F_{aj} = f (Ga_2 + Gt_2) * \text{Cos} (\alpha_2) \quad (6.42)$$

f: Coeficiente de fricción entre el tubo y el anclaje

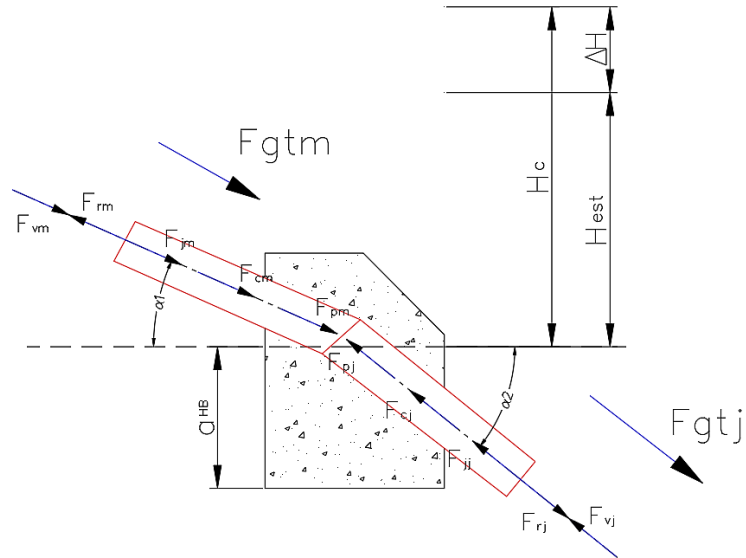


Figura 25: Fuerzas en compresión y tracción que actúan sobre el anclaje
Fuente: Ortiz, R. (2011). Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, pág. 279

Fuerzas que actúan sobre el anclaje por variación de la pendiente vertical

Componente vertical en el eje x

$$F_{xv} = -Gat_1 \text{ Sen} (\alpha_1) + Fem \text{ Cos} (\alpha_1) - Gat_2 \text{ Sen} (\alpha_2) - Fej \text{ Cos} (\alpha_2) \quad (6.43)$$

Componente vertical en el eje y

$$F_{yv} = -Gat_1 \text{ Cos} (\alpha_1) - Fem \text{ Sen} (\alpha_1) - Gat_2 \text{ Cos} (\alpha_2) + Fej \text{ Sen} (\alpha_2) \quad (6.44)$$

Fuerzas que actúan sobre el anclaje por variación de la pendiente horizontal

Componente vertical en el eje x

$$F_{xh} = Fem \text{ Cos} (\alpha_3) - Fej \text{ Cos} (\alpha_4) \quad (6.45)$$

Componente vertical en el eje y

$$F_{zh} = Fem \text{ Sen} (\alpha_3) - Fej \text{ Sen} (\alpha_4) \quad (6.46)$$

α_1, α_2 : Ángulos horizontales de la tubería de presión

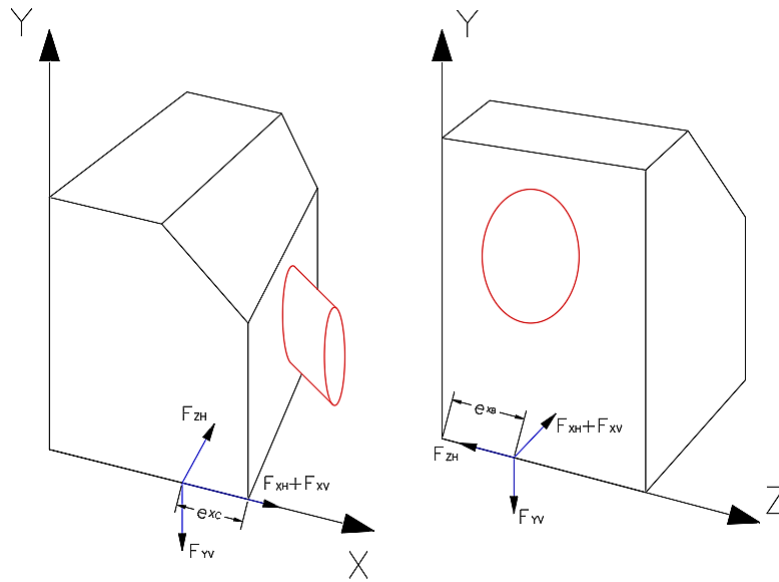


Figura 26: Fuerzas por variación de la pendiente sobre el anclaje
Fuente: Ortiz, R. (2011). Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, pág. 281

Peso del anclaje

$$G_s = \text{Volumen del anclaje} * \gamma_H \quad (6.47)$$

G_s : Peso del anclaje

γ_H : Peso específico del hormigón (KN/m^3)

6.4 CONDICIONES DE ESTABILIDAD Y RESISTENCIA EN LOS APOYOS

El anclaje al igual que el apoyo debe ser estable al deslizamiento, volteo y asentamiento.

La capacidad de carga de los elementos de la tubería debe garantizarse tanto en condiciones de operación como en condiciones de transporte e instalación en la construcción.

Los esquemas de diseño y los requisitos previos principales para los cálculos de resistencia deben estar lo más cerca posible de las condiciones operativas reales de la tubería o sus elementos

y deben seleccionarse de modo que las simplificaciones introducidas en los cálculos den valores deliberadamente subestimados de esfuerzos, tensiones o fuerzas finales.

Las fuerzas de diseño, tensiones o deformaciones pueden determinarse tanto por la etapa elástica del material como por su etapa plástica. La admisión o inadmisibilidad del trabajo plástico del material depende de los requisitos operativos para el diseño, la disponibilidad de métodos confiables para determinar las cargas finales, justificadas teóricamente y de acuerdo con experimentos realizados tanto en condiciones naturales como en modelos que están muy cerca de la naturaleza del trabajo de la estructura real.

Al asignar tamaños de elementos de tubería, teniendo en cuenta la etapa plástica del material, se debe prestar especial atención a:

- La calidad de la soldadura, es decir la resistencia igual de la unión soldada y el metal base debe asegurarse deliberadamente;
- La posibilidad de pérdida de estabilidad a la tracción, especialmente para estructuras de paredes delgadas en lugares de formas geométricas cambiantes;
- La posibilidad de falla prematura con una influencia significativa del componente variable de la carga.
- La elección de materiales que en los productos terminados de los elementos de la tubería deben tener suficientes propiedades plásticas en condiciones de operación y no adquirir una tendencia a fracturas frágiles.

6.4.1 ESTABILIDAD Y RESISTENCIA DE LOS APOYOS INTERMEDIOS

La estabilidad del apoyo estará asegurada si cumple la condición:

$$\frac{F_{ab}}{\sum F_h} \geq 1,5$$

Donde la carga de fricción entre el apoyo y el macizo de cimentación, entre la sumatoria de fuerzas horizontales debe ser mayor a 1,5 para evitar el deslizamiento, si esta condición no se cumple se deberá aumentar la dimensión (C) del apoyo, se realizará nuevamente el cálculo hasta que cumpla la condición de estabilidad.

Para evitar el deslizamiento, la sumatoria de fuerzas horizontales debe ser menor a la fricción entre el apoyo y el macizo de cimentación:

$$\sum F_h < F_{ab}$$

Para una mejor condición de estabilidad al deslizamiento:

$$K * \sum F_h < F_{ab} = f_{hor/arc} \sum F_v$$

Donde K es una constante de seguridad tomada de la tabla:

Tabla 7: Constante de seguridad

Material	k
Tubo de acero nuevo	1,15
Tubo de hierro fundido nuevo	2,5
Tubo de acero corroído en operación	5
Tubo plástico	0,5

Fuente: Ortiz, R. (2011). Pequeñas centrales hidroeléctricas, pág. 244

Se determinan los esfuerzos para garantizar la estabilidad al vuelco del apoyo, considerando los momentos desde el punto O.

Brazos de momentos

- **Centro de gravedad del apoyo**

$$a_s = \frac{(T_1 - T_2) \frac{C}{3} + T_2 C}{T_1 + T_2} \quad (6.48)$$

- **Distancia:**

$$a_{at} = \frac{(T_1 + T_2) C a_s}{2} \quad (6.49)$$

- **Distancia entre en punto O y el peso del apoyo**

$$x_s = \frac{C}{2} - a_s \quad (6.50)$$

Sumatoria de momentos

$$\sum M = G_s x_s \quad (6.51)$$

Sumatoria de fuerzas

$$\sum N = \text{Sum } F_v \quad (6.52)$$

Excentricidad

$$e = \frac{\sum M}{\sum N} \quad (6.53)$$

Donde la relación entre los momentos restauradores y la sumatoria de fuerzas verticales deben cumplir la siguiente condición para evitar el vuelco:

$$e < \frac{C}{6}$$

Al igual que en la condición del deslizamiento, si esta condición no se cumple se deberá aumentar la dimensión (C) del apoyo y se realizará nuevamente el cálculo hasta cumplir con dicha condición.

Esfuerzos de tracción y compresión

- **Esfuerzo de compresión transmitida por el apoyo**

$$\sigma'_y = \frac{\Sigma N}{B.C} * \left(1 + \frac{6e}{c}\right) \quad (6.54)$$

- **Esfuerzo de tracción transmitida por el apoyo**

$$\sigma''_y = \frac{\Sigma N}{B.C} * \left(1 - \frac{6e}{c}\right) \quad (6.55)$$

Para verificar que el suelo soporta los esfuerzos transmitidos por los elementos constructivos debe cumplir la condición:

$$\sigma'_y \leq Q_{adm}$$

Donde el Q_{adm} se tomará de acuerdo al estudio de suelos realizado para el proyecto, pero se puede tomar valores referenciales de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 8. Valores referenciales de capacidad de carga de diferentes tipos de suelo

VALORES REFERENCIALES DE CAPACIDAD DE CARGA DE SUELOS	
TIPOS DE SUELO	CAPACIDAD ADMISIBLE (Mpa)
Roca, dura y sana (Granito, basalto)	4
Roca, medio dura y sana (calcárea)	2
Roca blanda o fisurada	0,7
Mezcla de arena y grava	0,2
Arena gruesa	0,2
Arena fina a media	0,15
Arcilla dura	0,15
Arcilla blanda	0,05
Limo inorgánico	0,015

Fuente: civilgeeks (2011). *Valores referenciales de esfuerzos admisibles en suelos y rocas*
(<https://civilgeeks.com/2011/11/29/valores-referenciales-de-esfuerzos-admisibles-en-suelos-y-rocas/>)

6.4.2 ESTABILIDAD Y RESISTENCIA DE LOS APOYOS CON ANCLAJE

Para que el anclaje no se voltee se debe garantizar simultáneamente que la suma de las fuerzas pasa por un tercio medio de la base con relación a sus dimensiones B y C.

$$e < \frac{C}{3}$$

$$e = \frac{\sum M}{\sum N} \quad (6.56)$$

Esta condición se cumple, cuando la relación entre la suma de los momentos y la componente vertical es:

$$\frac{M}{Fyv} \geq 1.5 \quad (6.57)$$

Donde la suma de los momentos es igual a:

$$\sum M = Fyv * \frac{Ls_1}{2} - (F xv + F xh) * \frac{C}{2} \quad (6.58)$$

La estabilidad al deslizamiento en la base se garantiza si simultáneamente se cumple que:

$$FSD = \frac{f * Fyv}{F vx + F zh} > 1.5$$

Para controlar el asentamiento del bloque del hormigón este no debe superar la capacidad portante del suelo.

$$\sigma = \frac{\sum N}{B * C} \left(1 \pm \frac{6e}{C}\right) \quad (6.59)$$

De igual manera se debe verificar que el suelo soporta los esfuerzos transmitidos por los elementos constructivos debe cumplir la condición:

$$\sigma'_y \leq Qadm$$

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS MECÁNICO DE LAS PAREDES (CÁSCARA) DEL CONDUCTO DE CARGA

7.1 CARACTERÍSTICAS DE LA DEFORMACIÓN DEL ACERO

El elemento principal de la tubería es su cáscara, que generalmente está hecha de láminas de acero laminadas conectadas por soldadura eléctrica.

El acero utilizado para tuberías de alta presión, además de la resistencia estática, debe tener buena ductilidad, alta viscosidad, resistencia al frío y resistencia suficiente al envejecimiento. En la práctica, en la fabricación de tuberías de acero soldadas de alta presión, se utilizan aceros de bajo carbono de alta calidad, que tienen buena soldabilidad, resistencia al frío y ductilidad.

Como se conoce el acero es la mezcla principalmente entre el hierro y el carbono donde el hierro es el elemento predominante, un porcentaje de carbono menor al 2% y además de otros elementos en menor proporción; al aumentar el carbono en el acero aumenta también su resistencia a la tracción, pero disminuye su ductilidad.

Según la ASTM los aceros se clasifican en:

Ejemplos

A36: especificación para aceros estructurales al carbono.

A285: especificación para aceros al carbono de baja e intermedia resistencia para uso en planchas de recipientes a presión.

A325: especificación para pernos estructurales de acero con tratamiento térmico y una resistencia a la tracción mínima de 120/105 KSI.

A514: especificación para planchas aleadas de acero templadas y revenidas con alta resistencia a la tracción, adecuadas para soldar.

Tabla 9: Características de los aceros más comunes

Clasificación de los aceros, según ASTM	Límite elástico		Tensión de rotura	
	Ksi	MPa	Ksi	Mpa
ASTM A36	36	250	58-80	400-550
ASTM A53 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A106 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A131 Gr A, B, CS, D, DS, E	34	235	58-71	400-490
ASTM A139 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A381 Grado Y35	35	240	>60	>415
ASTM A500 Grado A	33	228	>45	>310
Grado B	42	290	>58	>400
ASTM A501	36	250	>58	>400
ASTM A516 Grado 55	30	205	55-75	380-515
Grado 60	32	220	60-80	415-550
ASTM A524 Grado I	35	240	60-85	415-586
Grado II	30	205	55-80	380-550
ASTM A529	42	290	60-85	415-550
ASTM A570 Grado 30	30	205	>49	>340
Grado 33	33	230	>52	>360
Grado 36	36	250	>53	>365
Grado 40	40	275	>55	>380
Grado 45	45	310	>60	>415
Grado 50	50	345	>65	>450
ASTM A709 Grado 36	36	250	58-80	400-550
API 5L Grado B	35	240	60	415
Grado X42	42	290	60	415

Fuente: Norma ASTM. *Estudio y clasificación de los aceros* (<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html>)

Estado tensión deformación del acero

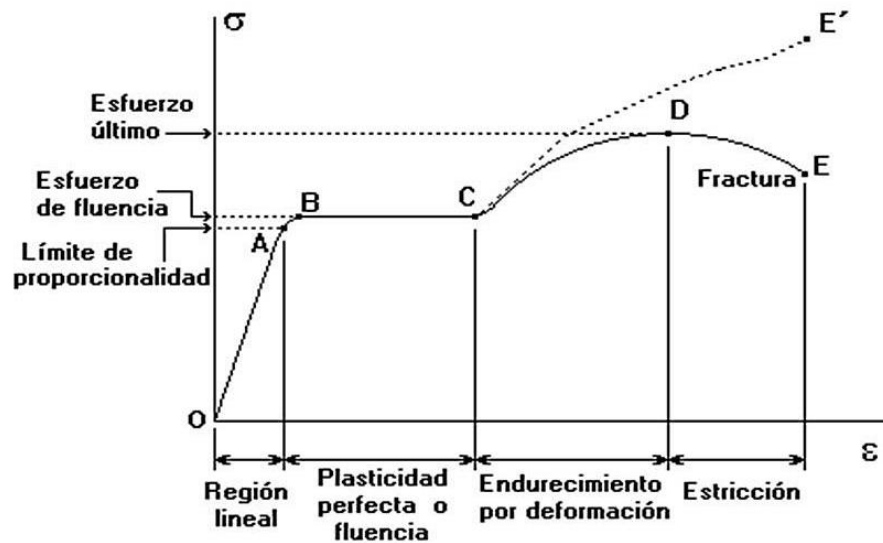


Figura 27: Diagrama Esfuerzo – Deformación

Fuente: Vélez (2009). *Materiales de construcción*.

<http://materialesparaconstruir.blogspot.com/2009/03/el-acero.html>

Zona elástica o región lineal

Zona donde al momento de cesar la carga el material regresa a su forma y tamaño original, en esta zona se presenta una relación lineal entre la tensión y la deformación; la pendiente en este tramo es el módulo de Young del material.

Zona de plasticidad perfecta o fluencia

Zona donde el material se comporta de forma plástica; es decir, continúa deformándose bajo la aplicación de una carga constante, alrededor de un valor promedio llamado límite de fluencia.

Endurecimiento por deformación

Zona en donde el material retoma tensión para seguir deformándose; llega a su punto máximo o resistencia última.

Zona de tensión post-máxima

En éste última zona el material pierde resistencia hasta llegar a la rotura del material.

Para la siguiente tabla se ha tomado valores referenciales de esfuerzos permisibles del acero en su rango elástico.

Tabla 10: Esfuerzos permisibles de cálculo del acero

MARCA DEL ACERO	ESPESOR DE LA LÁMINA mm	ESF. PERMIS, MPa
A235	De 2 a 8 mm	230
A235	De 20 a 40 mm	220
A245	De 2 a 20 mm	240
A245	De 20 a 40 mm	230
A255	De 2 a 20 mm	240
A255	De 20 a 40 mm	230
A285	De 2 a 20 mm	270

Fuente: Calero .I. (2019). *Ánisis mecánico del espesor de las paredes del conducto de carga*. Clases presenciales UPS-Quito- Campus Sur

7.2 ESFUERZOS EN LA CÁSCARA

Los conductos de carga son instalados a cielo abierto para mayor facilidad de montaje, apoyada sobre estructuras de concreto. Esta construcción genera tensiones adicionales a los conductos de carga que esta debe soportar como: Tensión debido a la variación de temperatura, tensión de flexión; tensión longitudinal.

En los conductos de carga es importante tomar en cuenta la relación entre el espesor de la tubería y a distancia entre los bloques de apoyos, decisión que se toma en base al análisis técnico-económico.

Las principales tensiones que debe soportar el espesor de la tubería son:

- Tensión tangencial ejercida por golpe de ariete
- Tensión tangencial debida a la variación de temperatura
- Tensión longitudinal debido al peso propio de la tubería y el peso del agua
- Tensión longitudinal debido a la inclinación por variación de la pendiente del terreno

Presión hidrostática

Esta fuerza del fluido ejerce presión en la cáscara del conducto de carga y se determina:

$$P = \gamma_o * Hc \quad (7.1)$$

Esfuerzo normal en la cáscara debido a la presión hidrostática

$$\sigma_{z1} (+) = \frac{P*D}{2*\delta*1000} \quad (7.2)$$

$$q = \frac{Gat}{Ls_1} * Cos(\alpha_1) \quad (7.3)$$

Diámetro medio

$$Dm = 0.5(2D + \delta) \quad (7.4)$$

Módulo de sección o momento de resistencia del tubo

$$W = \frac{\pi D^2}{4} * \delta \quad (7.5)$$

Sección transversal de la cáscara

$$Fcas = \pi * Dm * \delta \quad (7.6)$$

Esfuerzo de compresión en la cáscara debido a fuerzas axiales

$$\sigma_{x2} = \frac{F_{em}}{F_{cas}} \quad (7.7)$$

Esfuerzo axial sumatorio en la cáscara

$$\sigma_x = \sigma_{x1}(\pm) + \sigma_{x2} \quad (7.8)$$

$$\sigma_{x1}(\pm) = \frac{q^*L}{10W} \quad (7.9)$$

Donde:

L: longitud entre apoyos (m)

La selección de un espesor adecuado permite disminuir la distancia entre los bloques de apoyo, a su vez reducir el número de apoyos con anclaje.

Por esta razón los esfuerzos del acero deben ser verificados para controlar que los conductos de carga no fallen.

7.2 RESISTENCIA EN LA CÁSCARA

Esfuerzo ponderado

Debido a que en el sistema existe una variedad de esfuerzos que se generan en el conducto de carga se determina un esfuerzo ponderado

$$\sigma_{pon} = \sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2 - \sigma_{x1}\sigma_{x2}} \quad (7.10)$$

Para garantizar la resistencia de la cáscara debe cumplir la condición:

$$\sigma_{per} \leq \sigma_{pon}$$

$$\sigma_{per} = \frac{R}{K_{res}} \quad (7.11)$$

Donde:

R: Resistencia del material

Kres: Factor de seguridad de resistencia que depende del nivel de importancia y combinación de fuerzas.

Tabla 11: Factores de seguridad

COMBINACIÓN	NIVEL DE IMPORTANCIA		
	I	II	III
BÁSICA	2,4	2,2	2,1
ESPECIAL	2	1,7	1,7

Elaborado por: Autores

Para asegurar su estabilidad la cáscara debería ser reforzada con anillos de rigidez.

Los anillos de rigidez aseguran la estabilidad de la carcasa durante el funcionamiento de la tubería, así como la rigidez de los enlaces individuales durante su transporte e instalación.

Las dimensiones de los anillos de rigidez son adoptadas tales que, en el análisis de estabilidad del anillo se observe la condición:

$$p_{ext}^{CR}/p \geq m \geq 2$$

El valor de la presión crítica p_{ext}^{CR} para el anillo de rigidez se determina con la expresión:

$$p_{ext}^{CR} = \frac{3EJ_{AR}}{R_{AR}^3 l} + \frac{3E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{\delta}{r}\right)^3 \quad (7.12)$$

Donde:

J_{AR} : Momento de inercia del anillo de rigidez y del tramo de la cáscara en la longitud l_{cas}

$$l_{cas} = 1,56\sqrt{R\delta} + a \quad (7.13)$$

R_{AR} : Radio de la circunferencia que pasa por el centro de gravedad del anillo de rigidez

l : Distancia entre los anillos de rigidez ($l = l_{cas}$)

a : Longitud de contacto del elemento de rigidez con la cáscara

r : Radio medio de la cáscara

μ : Coeficiente de Poisson

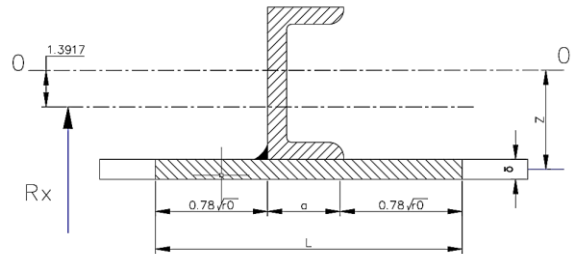


Figura 28: Estructura geométrica del anillo de rigidez, en vista lateral.
Fuente: United States Department of the Interior (1977). Welded Steel Penstocks

CAPÍTULO VIII

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO DE CIMENTACIÓN Y PARÁMETROS GEO MECÁNICOS QUE INTERVIENEN EN LOS TRABAJOS DE LOS ELEMENTOS DE APOYO

El estudio geológico de la región para el proyecto es muy importante, porque garantiza la elección de un punto óptimo para la implementación y cimentación de la obra, así como el tipo de material disponible para ser empleado como recurso natural de construcción.

Las características físicas y mecánicas de los suelos tienen influencia sobre el diseño y construcción del proyecto y deben ser obtenidos en campo o laboratorio.

A continuación, se muestran tablas referenciales de las características geo-mecánicas de los suelos a partir de diferentes fuentes bibliográficas:

Tabla 12: Resistencia de suelos de granulometría gruesa y arenas

RESISTENCIA DE CÁLCULO ESTIMADAS DE SUELOS DE CIMENTACIÓN DE GRANULOMETRÍA GRUESA Y ARENAS

Suelo	Resistencia de cálculo R_o , kPa	
Granulometría gruesa con agregado de arena	600	
Granulometría gruesa con agregado de arcilloso	450	
	Compacta	Semi- compacta
Arena gruesa	600	500
Arena media	500	400
Arena fina poco húmeda	400	300
Arena fina húmedas y saturadas	300	200

Fuente: Gonzales (2004). Ingeniería geológica. Pág 112-175

Tabla 13: Resistencia de suelos arcillosos
**RESISTENCIA DE CÁLCULO ESTIMADAS DE SUELOS DE CIMENTACIÓN
 ARCILLOSOS**

Suelo	Resistencia de cálculo R_o , kPa	
	IL=0	IL=1
Limos arenosos, con relación de poros:		
e=0,5	300	300
e=0,7	250	250
Limos arcillosos con relación de poros:		
e=0,5	300	250
e=0,7	250	180
e=1,0	200	100
Arcillas con relación de poros:		
e=0,5	600	400
e=0,6	500	300
e=0,8	300	200
e=1,1	250	100

Fuente: Gonzales (2004). Ingeniería geológica. Pág 112-175

Tabla 14: Cohesión y ángulo de fricción para suelos arcillosos
**VALORES DE LA COHESIÓN ESPECÍFICA (kPa) Y ÁNGULO DE FRICCIÓN
 INTERNA ϕ (GRADOS) PARA SUELOS ARCILLOSOS**

TIPO DE SUELO	CONSISTENCIA	SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS ARCILLOSOS PARA RELACIÓN DE VACÍOS IGUAL:						
			0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Limo arenoso	$0 \leq J \leq 0,25$	C	0,15	0,11	0,08	-	-	-	-
		ϕ	30	29	27	-	-	-	-
	$0,25 \leq J \leq 0,75$	C	0,13	0,09	0,06	0,03	-	-	-
		ϕ	28	26	24	21	-	-	-
Limo arcilloso	$0 \leq J \leq 0,25$	C	0,47	0,37	0,31	0,25	0,22	0,19	-
		ϕ	26	25	24	23	22	20	-
	$0,25 \leq J \leq 0,50$	C	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15	-
		ϕ	24	23	22	21	17	13	-
	$0,50 \leq J \leq 0,75$	C	-	-	0,25	0,2	0,16	0,14	0,12
		ϕ	-	-	19	18	16	14	12
Arcilla	$0 \leq J \leq 0,25$	C	-	0,81	0,68	0,54	0,47	0,41	0,36
		ϕ	-	21	20	19	18	16	14
	$0,25 \leq J \leq 0,50$	C	-	-	0,57	0,5	0,43	0,37	0,32
		ϕ	-	-	18	17	16	14	11
	$0,50 \leq J \leq 0,75$	C	-	-	0,45	0,41	0,36	0,33	0,29
		ϕ	-	-	15	14	12	10	7

Fuente: Gonzales (2004). Ingeniería geológica. Pág 112-175

Tabla 15: Cohesión y ángulo de fricción para suelos arenosos

VALORES DE LA COHESIÓN ESPECÍFICA (kPa) Y ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ϕ (GRADOS) PARA SUELOS ARENOSOS

TIPO DE SUELO	SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS PARA RELACIÓN DE VACÍOS IGUAL:			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Arenas gruesas y con gravas	C	-	-	-	-
	ϕ	40	40	38	-
Arenas medias	C	-	-	-	-
	ϕ	40	38	35	-
Arenas finas	C	-	-	-	-
	ϕ	38	36	32	28
Arenas muy finas	C	-	-	-	-
	ϕ	36	34	30	26

Fuente: Gonzales (2004). Ingeniería geológica. Pág 112-175

CAPÍTULO IX

FORMULACIÓN Y APLICACIÓN DEL ALGORITMO PARA EL ANÁLISIS DE LOS CONDUCTOS DE CARGA

En este capítulo se formula y aplica el algoritmo para el análisis de los diferentes componentes del diseño de un conducto de carga, sobre las bases teóricas establecidas en los capítulos precedentes.

La aplicación del algoritmo ha permitido establecer algunos criterios aplicables a diferentes condiciones:

- **Geo-mecánicas**
- **Topográficas**
- **Energéticas**

9.1 ALGORITMO DE CÁLCULO

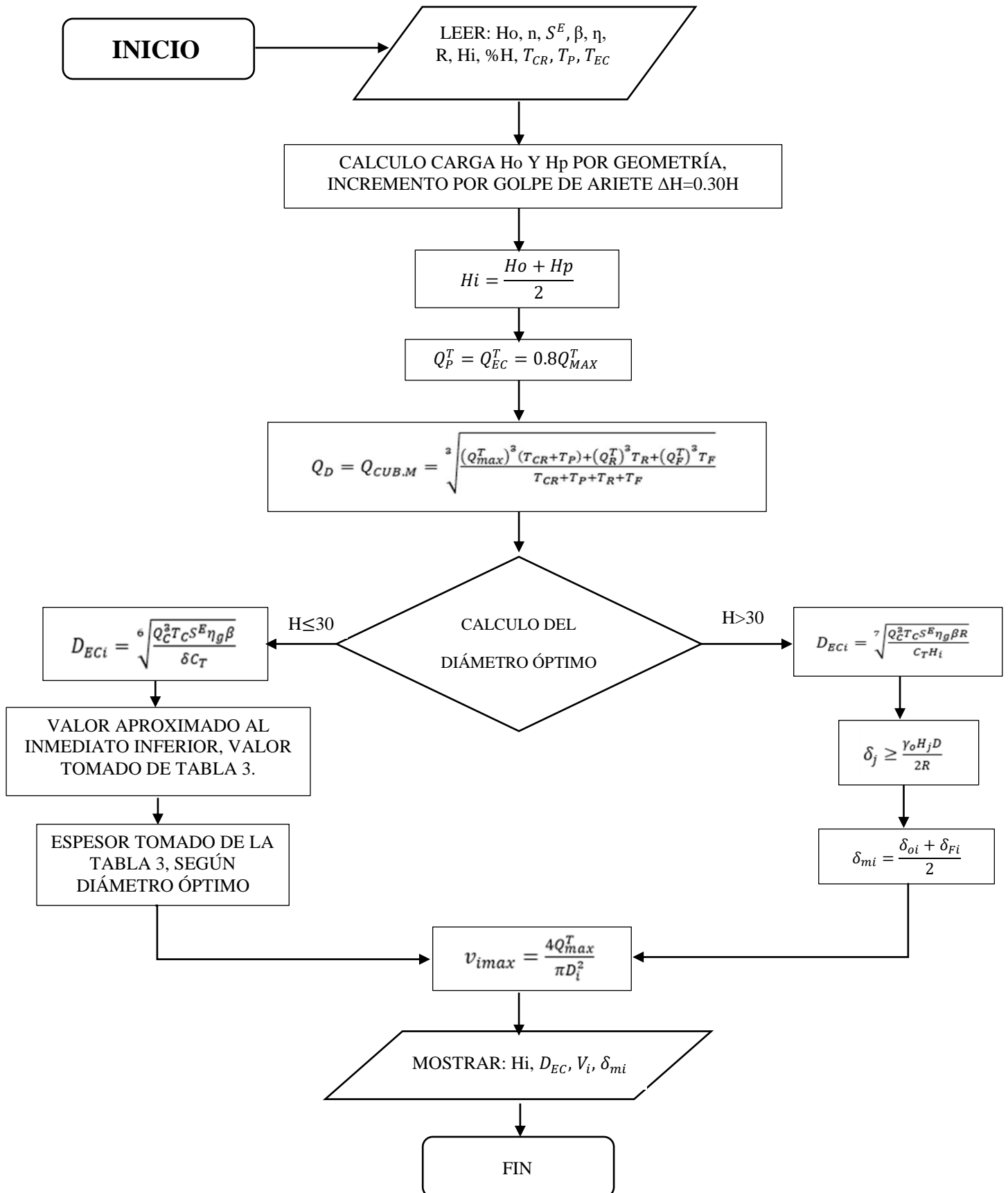


Diagrama 1: Cálculo del diámetro óptimo
Fuente: Autores

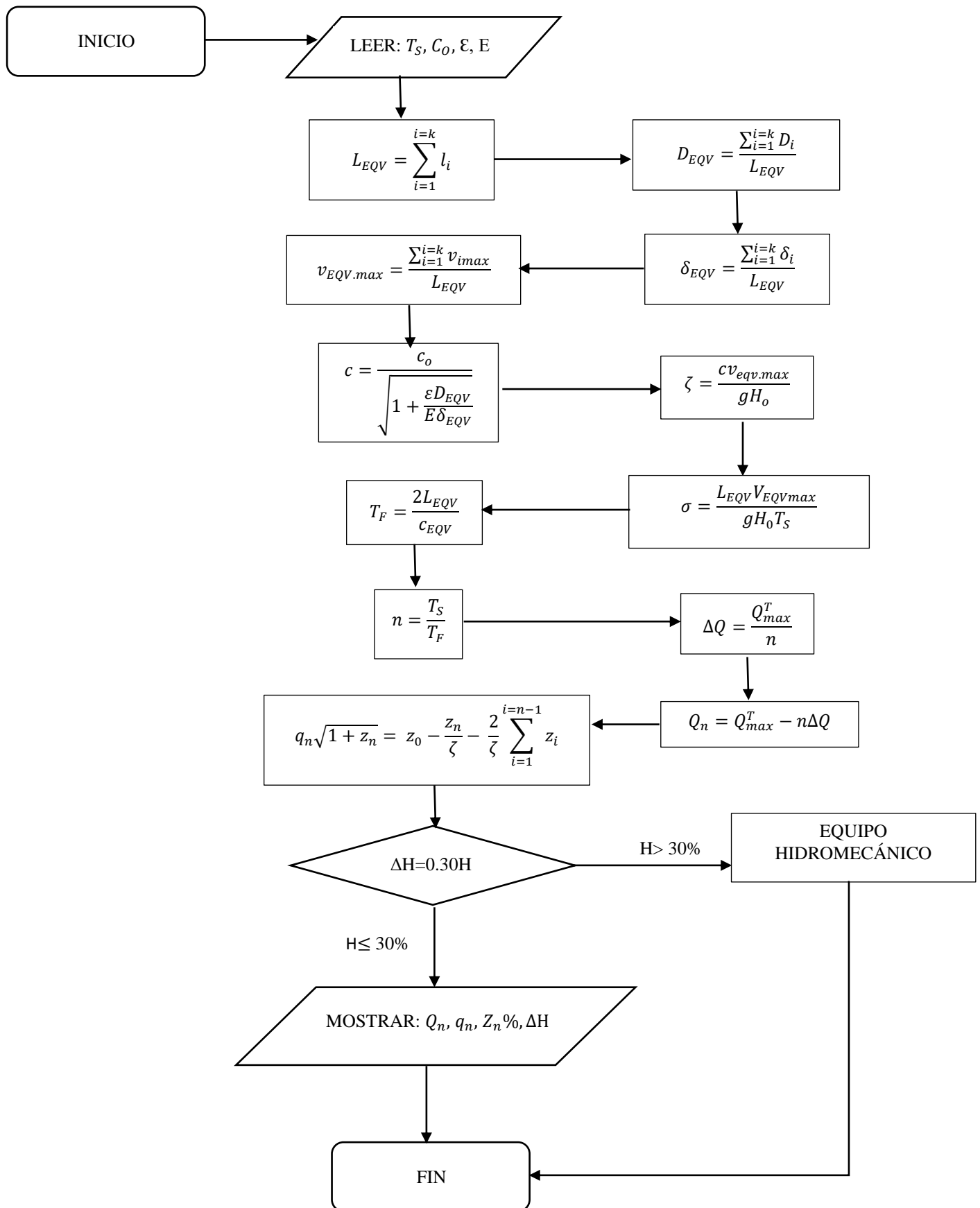
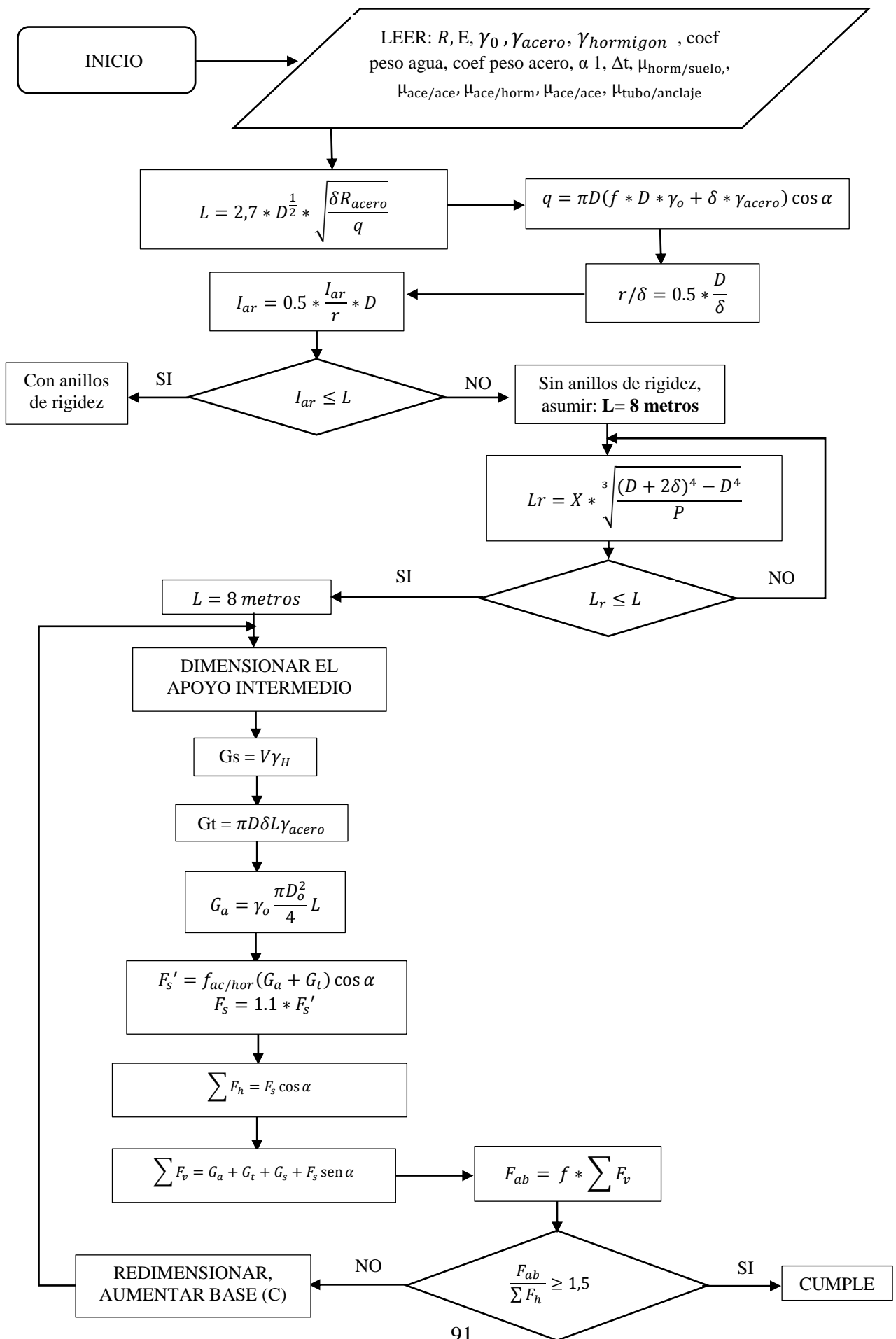


Diagrama 2: Cálculo del Golpe de Ariete

Fuente: Autores



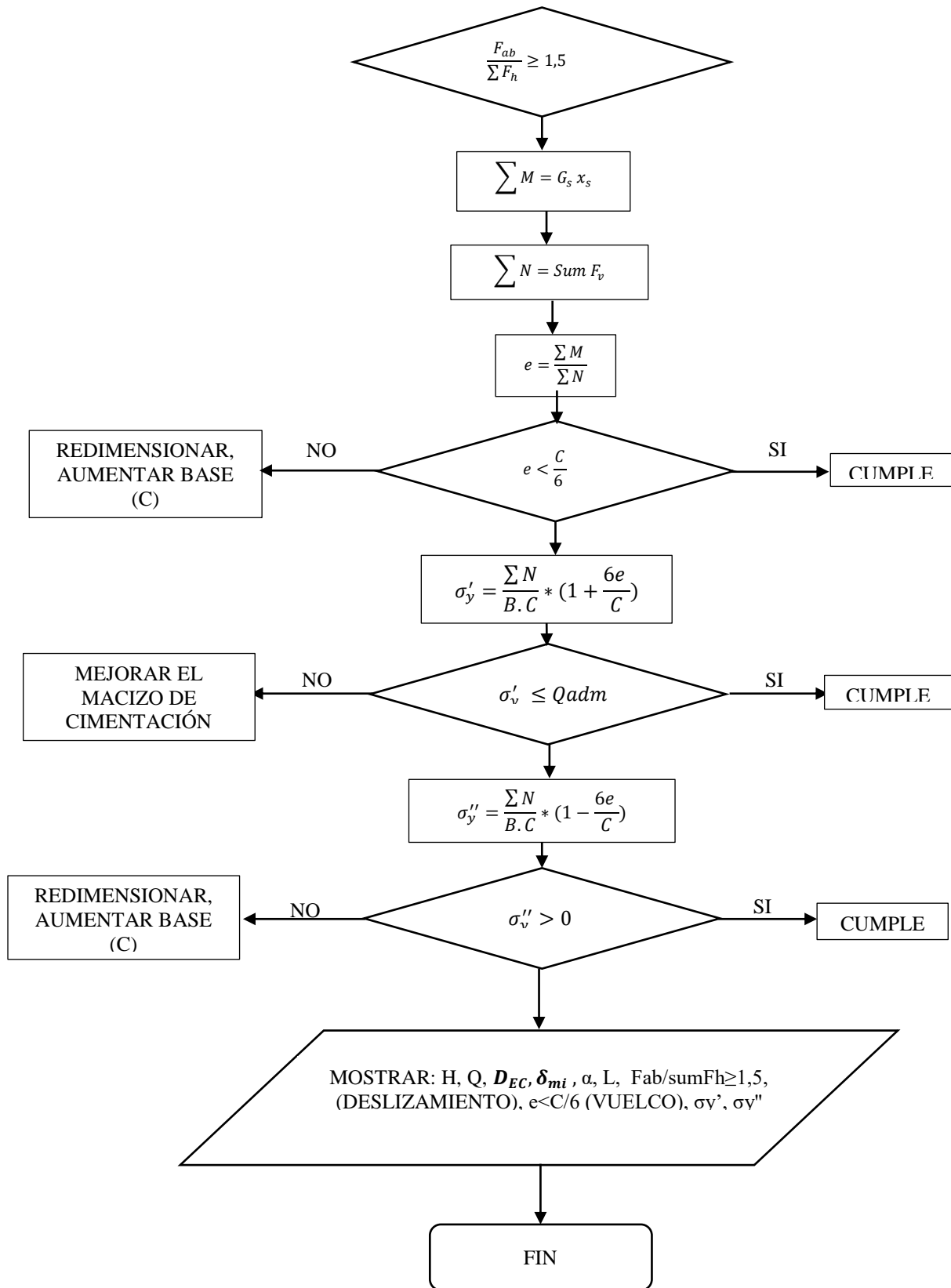
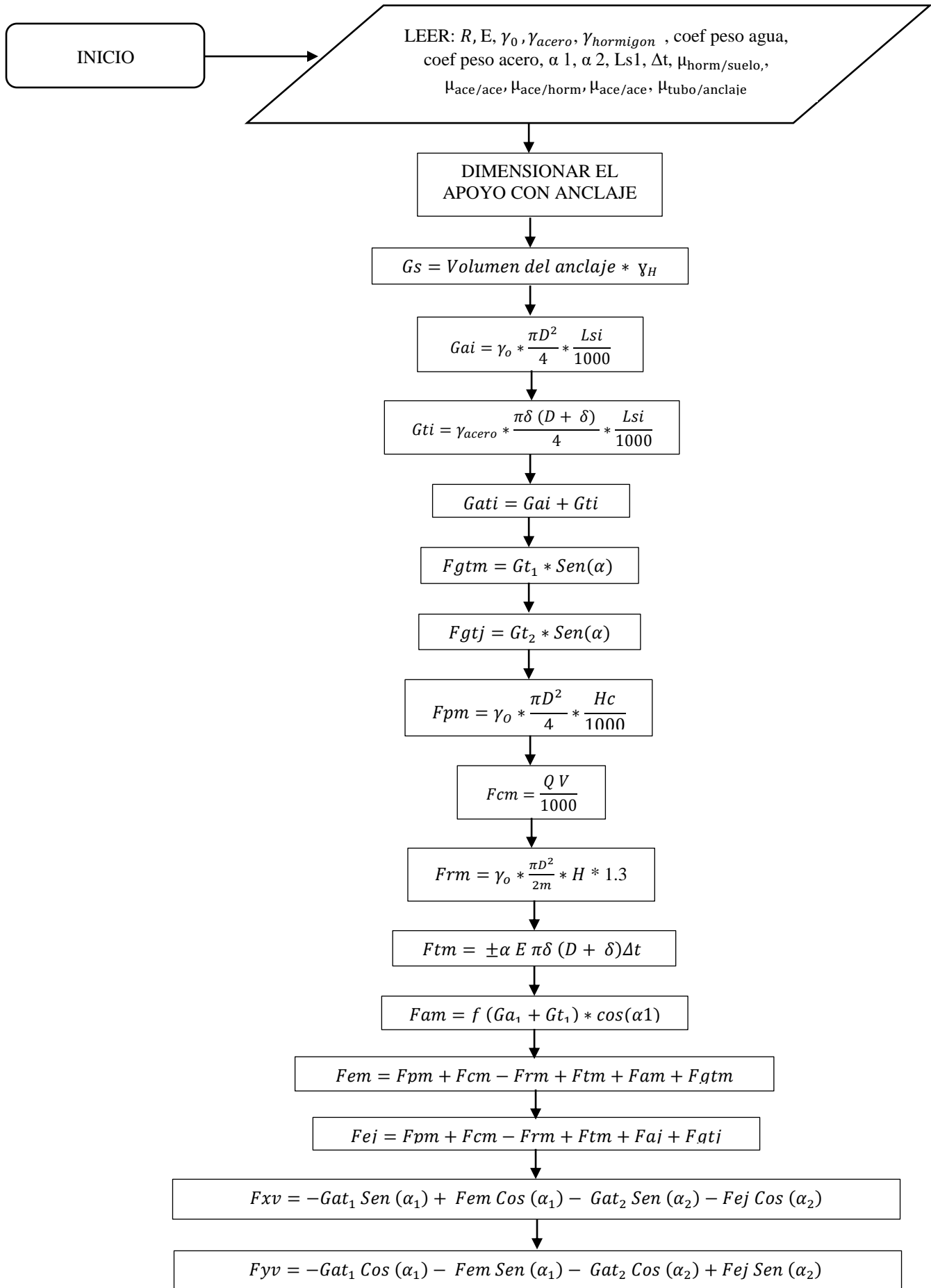


Diagrama 3: Fuerzas en los apoyos intermedios
Fuente: Autores



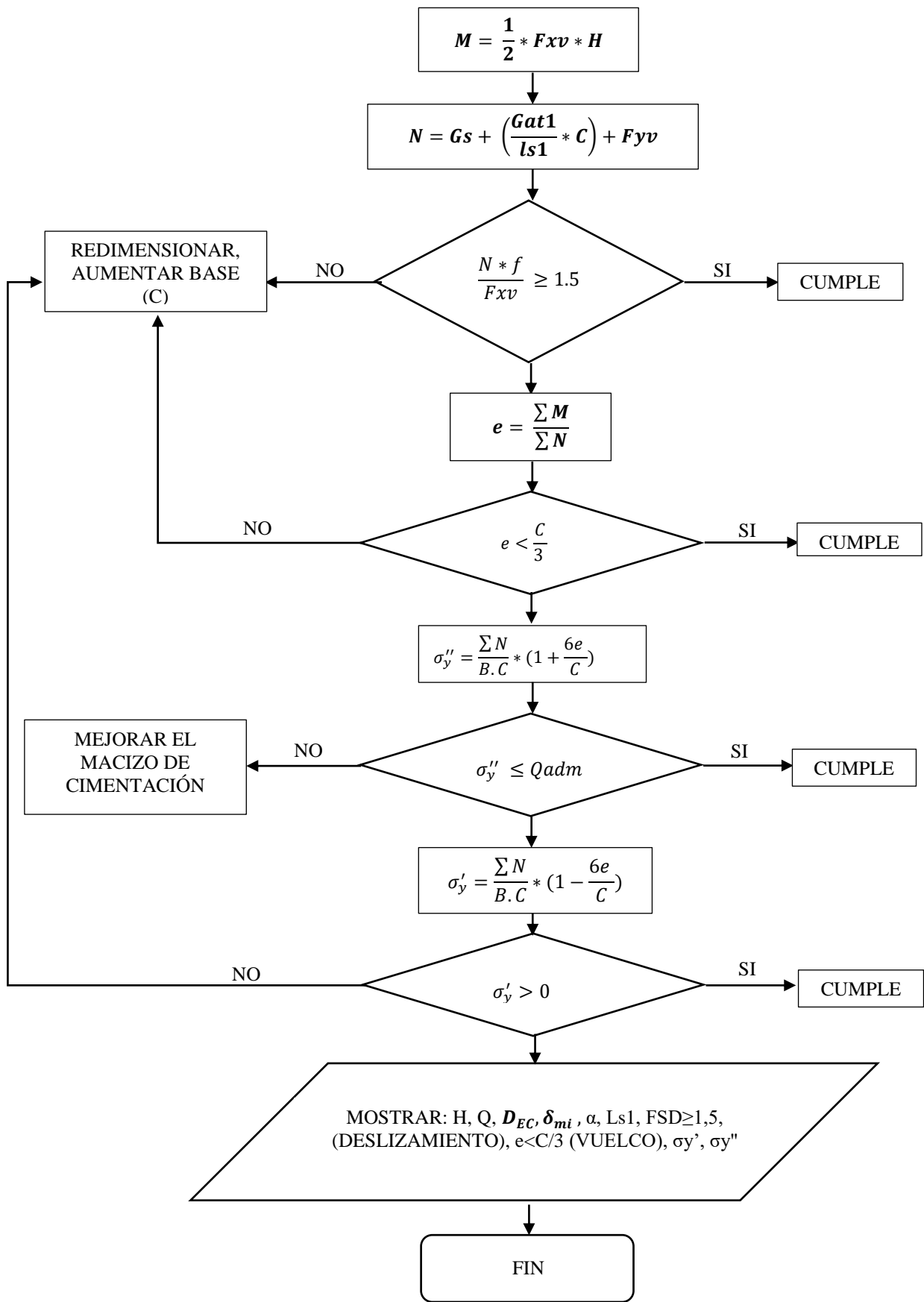
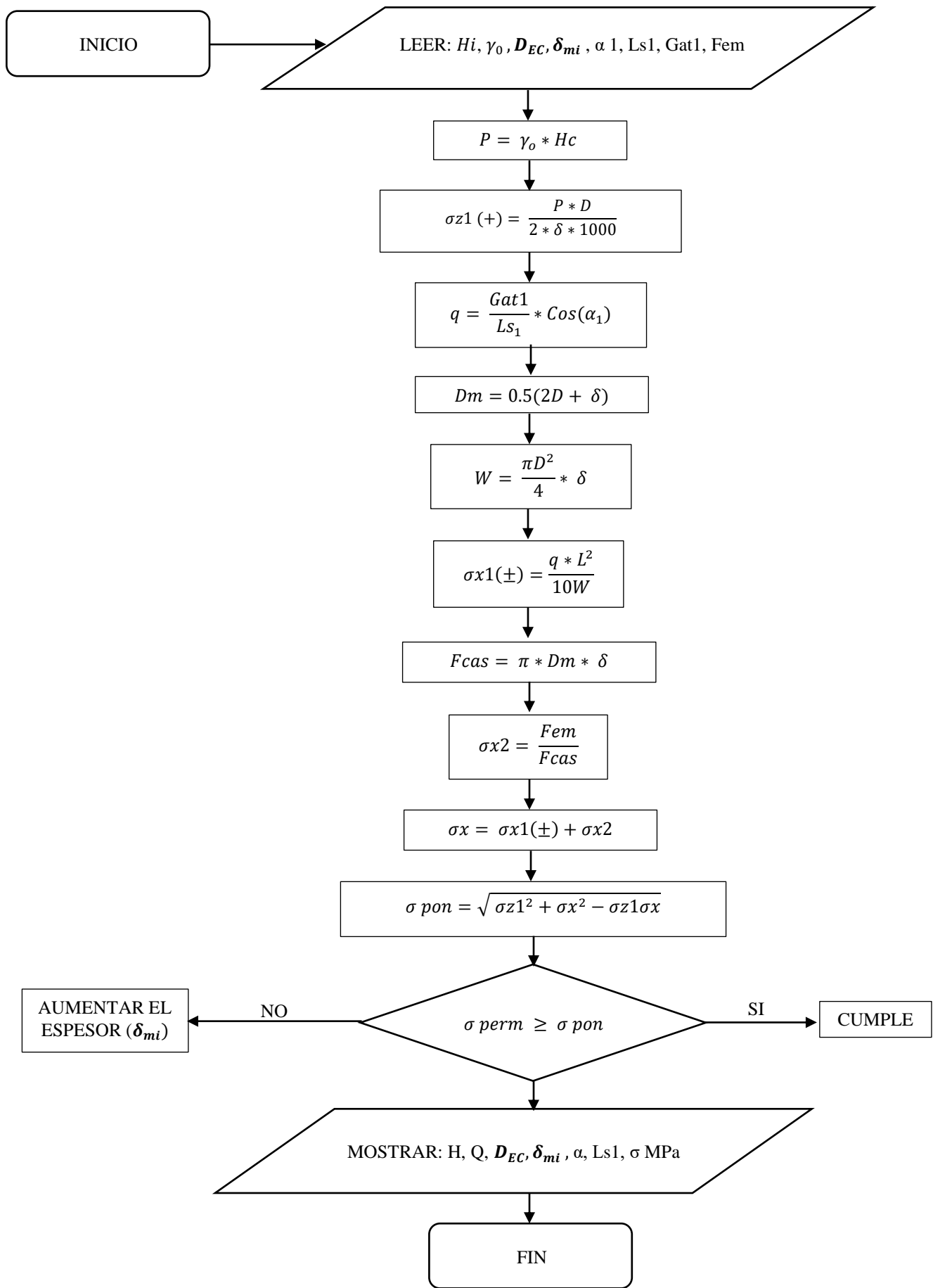


Diagrama 4: Fuerzas en los apoyos con anclaje
Fuente: Autores



9.2 PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE UN CONDUCTO DE CARGA DE ACERO

A continuación, se muestran en un ejemplo los cálculos de los conductos de carga de acero de las CH. En consecuencia, se aplicarán las ecuaciones formuladas en el acápite anterior. Por otra parte, estos cálculos serán útiles para verificar los resultados que se obtengan a partir de un paquete computacional de mercado.

9.2.1 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO ECONÓMICO FAVORABLE DEL CONDUCTO DE CARGA DE UNA CH DE DERIVACIÓN.

INFORMACIÓN DE ENTRADA			
DATOS			
NÚMERO DE RAMALES	n =	3	
COSTO DE 1 KW - h DE ENERGÍA ELÉCTRICA	S ^E =	0,05	US\$/KW-h
COEF. PERDIDA DE CARGA DURANTE PERÍODOS DE CRECIDA	β=	1,1	
COEF. EFICIENCIA DE LA TURBINA	η _g =	0,92	
TIEMPO DE CRECIDA	T _{cr} =	2900	horas
TIEMPO PICO	T _p =	1500	horas
TIEMPO DE OPERACIÓN DEL EMBALSE	T _R =	3500	horas
TIEMPO ANUAL DE OPERACIÓN DEL CONDUCTO	T _C =	7900	horas
COSTO DE LA TUBERÍA INSTALADA	C _T =	2472	US\$/ton
RESISTENCIA DE TRACCIÓN DEL ACERO	R=	230	MPa
PESO ESPECIFICO DEL AGUA	γ _o =	10	kN/m ³
PESO ESPECIFICO DEL ACERO	γ _{acero} =	77	kN/m ³
PESO ESPECIFICO DEL HORMIGÓN	γ _{hor} =	24	kN/m ³
VARIACIÓN DE TEMPERATURA	ΔT=	5	
PENDIENTE AGUAS ABAJO	α ₂ =	0	
CAUDAL MEDIO	Q _c =	200	m ³ /s
CARGA ESTÁTICA	H _o =	120	m
PENDIENTE AGUAS ARRIBA	α ₁ =	75	
LONGITUD ENTRE APOYOS DE ANCLAJE	L _{s1} =	1000	m
LONGITUD TRAMO INFERIOR	L _{s2} =	5	m

La información del caudal, tiempo de crecida, tiempo pico, tiempo de operación del embalse se obtiene a partir de estudios hidrológicos preliminares a través de la curva de duración de general de caudales medios del sitio del proyecto.

A continuación, se muestra un ejemplo de caudales medios diarios:

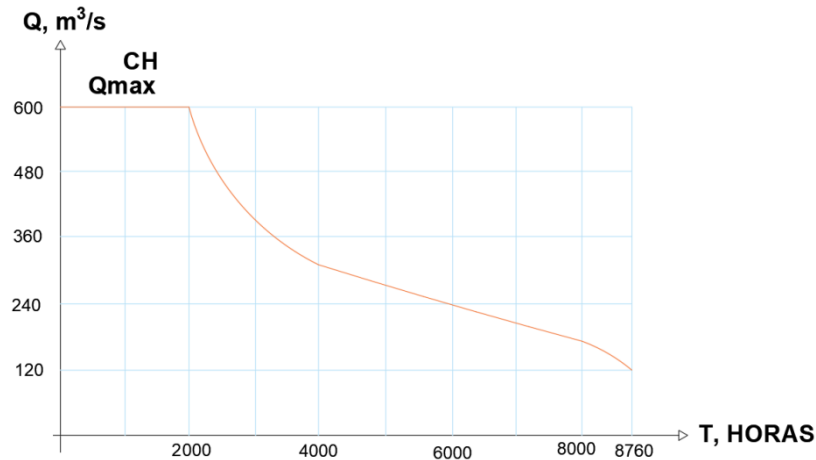


Gráfico 7: Ejemplo de curva de duración de los caudales medios diarios

Elaborado por: Autores

Para determinar el diámetro económico favorable del conducto de carga es necesario seleccionar el esquema de entrega de agua a las turbinas de la CH. En este caso se adopta el esquema de entrega independiente, es decir a cada turbina por su conducto de carga. El esquema de implantación referido en la superficie vertical se muestra en la siguiente figura:

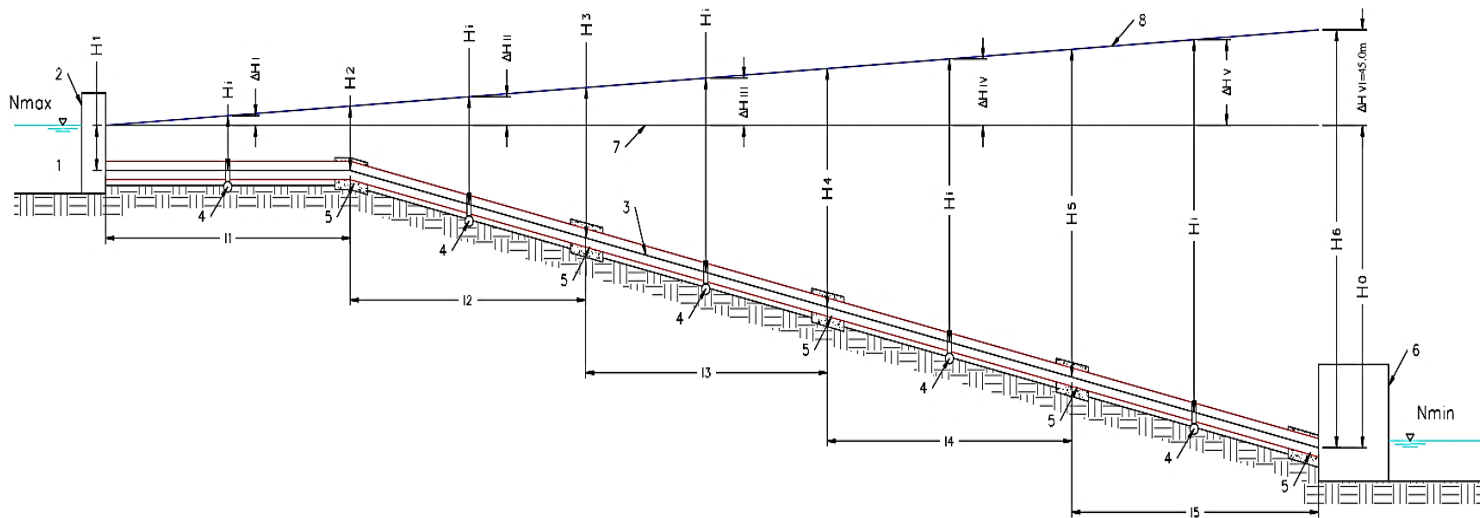


Figura 29: Esquema de implantación del conducto de carga de una turbina de una Central Hidroeléctrica
Elaborado por: Autores

Donde:

1- Tanque de presión; 2- captación; 3- conducto de carga de una turbina; 4- apoyo intermedio; 5- apoyo de anclaje; 6- casa de máquinas; 7- nivel hidrostático; 8- diagrama de incremento de la presión en caso de golpe de ariete.

9.2.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DE CÁLCULO

Para determinar el diámetro hidráulico óptimo de un conducto de carga es necesario considerar el incremento de la carga al final del conducto, debido al golpe de ariete. Por su parte, para calcular el incremento de la carga debido al golpe de ariete se requiere conocer los diámetros y espesores de la envoltura del conducto en cada uno de sus tramos. Por esta razón, a partir de la condición preliminar:

$$\Delta H_{GA} = 0,3H_0$$

$$\Delta H_{GA} = 0,3 * 120$$

$$\Delta H_{GA} = 36 \text{ m}$$

Las magnitudes de las cargas de cálculo de cada tramo pueden determinarse en forma gráfica y geométrica.

En la siguiente tabla constan los valores obtenidos de las cargas de cálculo en los extremos de los tramos del conducto de carga H_j y las cargas de cálculo en la mitad de los tramos del conducto H_i .

Tabla 16. Resultados de cargas en los tramos del conducto
CARGAS INCLUYENDO EL GOLPE DE ARIETE

TRAMO	li (m)	Hj (m)		Hi (m)
		Ho	Hf	
1	200	0	7,20	3,60
2	200	7,20	44,40	25,80
3	200	44,40	81,60	63,00
4	200	81,60	118,80	100,20
5	200	118,80	156	137,40

Elaborado por: Autores

9.2.3 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MEDIO CÚBICO DEL CONDUCTO DE CARGA.

El siguiente ejemplo de análisis se realiza a partir de los datos de entrada formulados de la curva de duración general de caudales de una CH:

El volumen medio anual utilizado por un bloque de la CH:

$$W^T = \frac{W_n^{CH}}{n} \quad (4.6)$$

$$W_n^{CH} = \frac{600m^3}{s} * 2000horas * \frac{3600s}{hora} + \frac{120m^3}{s} * 1000horas * \frac{3600s}{hora} * 15,89$$

$$W_n^{CH} = 11186 * 10^6 m^3/año$$

$$W^T = \frac{11186 * 10^6 m^3/año}{3} = 3728,7 * 10^6 m^3/año$$

De acuerdo al *Gráfico 7.*, el caudal máximo de agua que pasa por todos los bloques de la CH es $Q_{max}^{CH} = 600 m^3/s$; en consecuencia, el caudal máximo a través del conducto de carga de cada turbina se calcula con la ecuación (4.7):

$$Q_{max}^T = \frac{600m^3/s}{3} = 200m^3/s$$

El caudal que corresponde al máximo coeficiente de eficiencia de la turbina, calculado con la ecuación (4.8):

$$Q_R^T = Q_{EC}^T = 0,8 * 200 = 160m^3/s$$

Para determinar el tiempo de operación del conducto de carga con el caudal Q_{EC}^T , en primera aproximación se podría asumir que, para el caso de un sistema de derivación como el analizado,

en los meses fuera del período de crecida se cubren picos en alrededor del 10% del tiempo (por ejemplo 500 horas). Ver gráfico (4)

$$T_{EC} = \frac{3728,7 * 10^6 - 200(2000 + 500) * 3600}{160 * 3600} = 3350 \text{ horas/año}$$

En consecuencia, el caudal medio cúbico del conducto de carga de una turbina es:

$$Q_D = Q_{CUB.M} = \sqrt[3]{\frac{(Q_{max}^T)^3 (T_{CR}+T_P) + (Q_R^T)^3 T_R + (Q_F^T)^3 T_F}{T_{CR}+T_P+T_R+T_F}} \quad (4.10)$$

$$Q_{CUBM} = \sqrt[3]{\frac{(200^3(2000 + 500) + 160^3 * 3350)}{2000 + 500 + 3350}} = 179,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

$$T_C = 2000 + 500 + 3350 = 5850$$

Tc: Tiempo de cálculo de operación anual del conducto de carga (en los sistemas con regulación: tiempo de crecidas, tiempo de cobertura de picos y tiempo de caudal regulado).

Para el caso de que se tratara de un sistema de regulación, de acuerdo a la ecuación (4.12):

$$Q_{CUBM} = 0,956 Q_{max}^T = 0,956 * 200 = 191 \text{ m}^3/\text{s}$$

9.2.4 DETERMINACIÓN DEL COSTO DE UNA TONELADA DE TUBERÍA INSTALADA

El costo preliminar de una tonelada de tubería instalada puede ser determinado de acuerdo a una estructura referencial del precio unitario, a partir de información actualizada de proyectos similares, con ayuda de ecuaciones semejantes a la siguiente:

$$C_t = C_{mno} + C_{maq} + C_{mat} \quad (4.14)$$

Donde:

C_t : Costo de la tonelada de tubería instalada

C_{mno} : Costo de la mano de obra

C_{maq} : Costo de la maquinaria incluido el de operadores

C_{mat} : Costo de 1 tonelada de materiales, incluido transporte

Para estimación preliminar se asume la siguiente estructura del costo unitario:

RUBRO	Mano de obra	Maquinaria	Material
COSTO %	5	10	85

En consecuencia, en relación al precio CIF del acero:

RUBRO	Mano de obra	Maquinaria	Material
COSTO (fracción)	0,0588	0,1176	1

Tomando un precio referencial CIF del conducto prefabricado de acero:

$$C_{mat} = US\$ 2100$$

Tabla 17. Resultados del cálculo del costo del conducto de carga

RUBRO	COSTO (US\$/ton)
Material (CIF)	2100
Mano de obra	124
Maquinaria	248
TOTAL	2472

Elaborado por: Autores

9.2.5 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO ECONÓMICO FAVORABLE DEL CONDUCTO DE CARGA

Como se conoce se requiere datos de los estudios preliminares, para este trabajo se obtienen datos de información de fuentes bibliográficas ya que no se realizaron estudios hidrológicos, geotécnicos y topográficos.

En primera aproximación, para las cuencas hidrográficas ecuatorianas de la cuenca del Pacífico se puede considerar que, en los sistemas fluviales con embalse de regulación, en el año promedio por disponibilidad hídrica, cada turbina opera con carga máxima y, por consiguiente, con el caudal Q_{max}^T .

Durante el periodo de crecidas (enero, febrero, marzo, abril) el $T_{CR} \cong (2900 \div 2950) \text{ horas}$, así como durante el periodo de los meses de mayo y junio, para cubrir picos $T_P = (1400 \div 1500) \text{ horas}$.

En el periodo de operación del embalse, sin excedentes ni déficit, la CH operaría con el caudal regulado del sistema que, en principio tendría un nivel de garantía en tiempo y volumen de 0,90% ÷ 0,95%, $T_R = (3300 \div 3500) \text{ horas}$; en el periodo T_R la CH operaría con el máximo coeficiente de eficiencia para una potencia que representaría el (70%-80%) de la potencia nominal, es decir con un caudal por conducto de carga.

El caudal que corresponde al máximo coeficiente de eficiencia de la turbina:

$$Q_R^T = Q_{EC}^T = 0,8 * 200 = 160 m^3/s$$

Se determina el caudal medio cúbico

$$Q_D = Q_{CUB.M} = \sqrt[3]{\frac{(Q_{max}^T)^3 (T_{CR} + T_P) + (Q_R^T)^3 T_R + (Q_F^T)^3 T_F}{T_{CR} + T_P + T_R + T_F}} \quad (4.10)$$

$$Q_D = Q_{CUB.M} = \sqrt[3]{\frac{(200)^3(2900 + 1500) + (160)^3 * 3500}{2900 + 1500 + 3500}}$$

$$Q_D = Q_{CUB.M} = 184.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para obtener el diámetro económico existen dos casos:

- **PARA $H \leq 30 \text{ m}$**

$$D_{ECi} = \sqrt[6]{\frac{Q_C^3 T_C S^E \eta_g \beta}{\delta C_T}} \quad (4.2)$$

Se debe tomar en cuenta que para los tramos del conducto con cargas pequeñas el espesor de la cáscara se asume constante ($\delta = \text{const}$) para toda la longitud del tramo y se determina para la condición de rigidez, en concordancia con la tabla de diámetros y espesores estandarizados (Tabla 4).

$$D_{ECi} = \sqrt[6]{\frac{184.4^3 * 7900 * 0.05 * 0.92 * 1.1}{16 * 0.1 * 2472}}$$

$$D_{ECi} = 9.28 \text{ m}$$

Se aproxima al inmediato inferior según la tabla de diámetros y espesores estandarizados

$$D_{ECi} = 9 \text{ m}$$

- **PARA $H > 30 \text{ m}$**

$$D_{ECi} = \sqrt[7]{\frac{Q_C^3 T_C S^E \eta_g \beta R}{C_T H_i}} \quad (4.3)$$

$$D_{ECi} = \sqrt[7]{\frac{184.4^3 * 7900 * 0.05 * 0.92 * 1.1 * 230}{2472 * 118.18}}$$

$$D_{ECi} = 7.9 \text{ m}$$

$$D_{ECi} = \sqrt[7]{\frac{184.4^3 * 7900 * 0.05 * 0.92 * 1.1 * 230}{2472 * 156}}$$

$$D_{ECi} = 7.6 \text{ m}$$

Se calcula la media

$$D_{ECi} = \frac{7.9 + 7.6}{2}$$

$$D_{ECi} = 7.8 \text{ m}$$

De igual manera se aproxima al inmediato inferior según la tabla de diámetros y espesores estandarizados. (Tabla 4.)

D, mm	δ, mm
2000	10
2500	10
2800	10
3000	10
3200	10
3400	10
3600	10
3800	10
4000	10
4200	12
4400	12
4600	12
4800	12
5000	12
5200	12
5400	12
5600	12
5800	12
6000	12
6200	12
6400	12
6600	12
6800	12
7000	14
7500	14
8000	14
8500	14
9000	16

El diámetro seleccionado debe ser verificado en relación a la velocidad de flujo en el conducto, debido a que en los casos de velocidades altas pueden desmejorar las condiciones de regulaciones de las unidades hidromecánicas de la CH. En estos casos cabe incrementar el valor del diámetro del conducto de carga. En ocasiones es favorable disminuir el diámetro a fin de disminuir el volumen de acero y por consiguiente el costo; este tipo de modificaciones, dentro de rangos relativamente pequeños son permisibles.

$$v_2 = \frac{4 \cdot Q_{max}^T}{\pi D_2^2} = \frac{4 \cdot 200}{3,14 \cdot 7,5^2} = 4,53 \text{ m/s} \quad (5.6)$$

Por cuanto la velocidad de flujo en el tramo considerado es pequeña no se requiere incrementar el diámetro debido a la magnitud de la velocidad; en consecuencia, definitivamente se adopta el diámetro de 7,5 metros para el último tramo del conducto de carga.

9.2.6 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DEL CONDUCTO DE CARGA

En consecuencia, para el tramo I y II del conducto de carga para cargas menores de 30 metros se adopta $D_1=9$ m y $\delta_1=16$ mm.

Para determinar el espesor de la cáscara del conducto de carga al inicio y al final para cargas mayores a 30 metros se utiliza la condición de resistencia con la ecuación:

$$\delta_i \geq \frac{5H_i D_{EC}}{R} \quad (4.5)$$

$$\delta_{0i} = \frac{5 \cdot 118,18 \cdot 7,5}{230} = 19,23 \text{ mm}$$

$$\delta_{Fi} = \frac{5 \cdot 156 \cdot 7,5}{230} = 25,43 \text{ mm}$$

Se calcula la media

$$\delta_{mi} = \frac{19 + 25}{2} = 22 \text{ mm}$$

De manera análoga se realiza el análisis para los restantes tramos y los resultados se los presenta en una tabla como como la siguiente:

Tabla 18. Resultados del cálculo del diámetro óptimo y del espesor del conducto de carga

TRAMO	H _i (m)	D _o (m)	D _{EC} (m)	δ _{0i} (mm)	δ _{Fi} (mm)	δ _{mi} (mm)	v _i (m/s)
I	3,62	9,0	9	16	16	16	3,14
II	25,31	9,0	9	16	16	16	3,14
III	61,87	8,6	8,5	14	15	14,5	3,52
IV	99,27	8,0	8	14	21	17,5	3,98
V	137,09	7,8	7,5	19	25	22,0	4,53

Elaborado por: Autores

ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN LOS CONDUCTOS DE CARGA

Para determinar el incremento de la presión hidrodinámica debido al Golpe de Ariete se utilizan los datos obtenidos en los análisis considerados anteriormente, conjuntamente con nuevos valores que se requiere de los siguientes parámetros:

- a) Tiempo de cierre del elemento direccionador, Ts=15 segundos;
- b) Velocidad de desplazamiento del sonido en el agua c_o=1425 m/s;
- c) Módulo de elasticidad volumétrica del agua ε=2,1 GPa;
- d) Módulo de elasticidad del acero E=210 GPa.

9.2.7 DETERMINACIÓN DEL AUMENTO DE LA PRESIÓN HIDRODINÁMICA AL FINAL DEL CONDUCTO DE CARGA EN CASO DE SALIDA TOTAL DE LA POTENCIA.

Los parámetros del conducto equivalente se determinan de acuerdo a las ecuaciones:

$$L_{EQV} = \sum_{i=1}^{i=k} l_i \quad (5.1)$$

Donde:

L_{EQV} : Sumatoria de todas las longitudes de cada tramo

Cada tramo es la distancia de un apoyo anclado hasta el siguiente apoyo anclado. En las abscisas de cambio de dirección en los tramos rectos, en caso de pendientes altas cada 150-200 metros; en caso de pendientes bajas cada 300- 400 metros

En este caso se asume que cada tramo es 200m.

$$L_{EQV} = 1000 \text{ m}$$

$$D_{EQV} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} D_i}{L_{EQV}} \quad (5.2)$$

$$D_{EQV} = \frac{200 * 9 + 200 * 9 + 200 * 8.5 + 200 * 8 + 200 * 7.5}{1000} = 8.4 \text{ m}$$

$$\delta_{EQV} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} \delta_i}{L_{EQV}} \quad (5.3)$$

$$\delta_{EQV} = \frac{200 * 16 + 200 * 16 + 200 * 14.5 + 200 * 17.5 + 200 * 22}{1000} = 17.2 \text{ mm}$$

$$v_{EQV.max} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} v_{imax}}{L_{EQV}} \quad (5.4)$$

$$V_{EQV} = \frac{200 * 3,14 + 200 * 3,14 + 200 * 3.52 + 200 * 3.98 + 200 * 4.53}{1000} = 3.67 \text{ m/s}$$

La velocidad de desplazamiento del frente de la onda de golpe del Golpe de Ariete en el tubo equivalente se determina con la ecuación:

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon D_{EQV}}{E \delta_{EQV}}}} \quad (5.5)$$

$$c = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{2,1 * 10^4 * 8.4}{2,1 * 10^6 * 17.2 * 0.001}}} = 587.5 \text{ m/s}$$

La primera característica del conducto de carga, en correspondencia con la ecuación:

$$\zeta = \frac{c v_{eqv,max}}{g H_0} \quad (5.7)$$

$$\zeta = \frac{587.5 * 3,67}{9,81 * 120} = 1,83$$

La segunda característica del conducto de carga, en correspondencia con la ecuación:

$$\sigma = \frac{L_{EQV} V_{EQV,max}}{g H_0 T_S} \quad (5.8)$$

$$\sigma = \frac{1000 * 3.67}{9,81 * 120 * 15} = 0,21$$

La fase del Golpe de Ariete

$$T_F = \frac{2 L_{EQV}}{c_{EQV}} \quad (5.11)$$

$$T_F = \frac{2 * 1000}{587.5} = 3,42 \text{ s}$$

En consecuencia, el número de fases se determina a partir del tiempo de cierre del elemento direccionador:

$$n = \frac{15}{3,42} = 4,39$$

Se puede asumir que, cuando se produce el cierre del elemento direccionador, la disminución del caudal de agua en cada fase tiene lugar en fracciones iguales ΔQ ; en consecuencia:

$$\Delta Q = \frac{Q_{max}^T}{n} = \frac{200}{4,39} = 45.56 \text{ m}^3/\text{s}$$

En consecuencia, el caudal de agua en el conducto de carga al final de la fase n del Golpe de Ariete se puede determinar con la ecuación:

$$Q_n = Q_{max}^T - n\Delta Q$$

Donde n es el número de la fase del Golpe de Ariete.

Luego del cierre completo de elemento direccional, es decir al inicio de la fase 5, en el momento de tiempo T_S , el caudal en el conducto de carga es 0.

Conociendo el valor de los caudales correspondientes a cada fase del resalto hidráulico, es posible determinar la magnitud de los caudales relativos ponderados al final de cada fase (ver la tabla siguiente):

Tabla 19. Determinación de los caudales relativos ponderados al final de cada fase

Nº FASE	Tiempo (s)	Caudal Q_n (m3/s)	Caudal relativo ponderado al final de la fase n (q_n)
0	0	200	1
1	3,42	154,43	0,77
2	6,84	108,86	0,54
3	10,25	63,29	0,32
4	13,67	17,72	0,09
5	17,09	0	0

Elaborado por: Autores

El incremento relativo de la presión hidrodinámica al final del conducto de carga, en caso de golpe de ariete, se determina con la cadena de ecuaciones, para el final de la primera fase (5.9) y (5.10) para las fases subsiguientes.

$$q_1\sqrt{1+z_1} = z_0 - \frac{z_1}{\zeta}$$

$$q_n\sqrt{1+z_n} = z_0 - \frac{z_n}{\zeta} - \frac{2}{\zeta} \sum_{i=1}^{i=n-1} z_i$$

Reemplazando en la ecuación (5.9) los valores calculados del caudal relativo ponderado inicial q_0 y del caudal relativo ponderado al final de la fase 1 del golpe de ariete $q_1 = 0,77$, así como el valor de la primera característica del conducto de carga $\zeta = 1,83$, se obtiene la siguiente expresión:

$$0,77\sqrt{1+z_1} = 1 - \frac{z_1}{1,83}$$

Resolviendo esta ecuación cuadrática se obtiene el valor del incremento relativo de la presión hidrodinámica al final de la primera fase del Golpe de Ariete $z_1 = 0,253$. El incremento de la presión será igual a:

$$\Delta H_1 = z_1 H_0 = 0,253 * 120 = 30.4 \text{ m}$$

Para determinar el incremento de la presión hidrodinámica en las fases subsiguientes, en el conducto de carga, se aplica la ecuación (5.10). Reemplazado en ella los valores q_n y ζ , se obtiene para el final de la segunda fase:

$$0,54\sqrt{1+Z_2} = 1 - \frac{Z_2}{1,83} - \frac{2}{1,83} * 0,253$$

$$Z_2 = 0.228$$

$$\Delta H_2 = 0.228 * 120 = 27.36 \text{ m}$$

De manera análoga se determinan Z_n y ΔH_n para fase subsiguiente del Golpe de Ariete.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

$$0,32\sqrt{1+Z_3} = 1 - \frac{Z_3}{1,83} - \frac{2}{1,83} * (0,253 + 0,228)$$

$$Z_3 = 0,221$$

$$\Delta H_3 = 0.221 * 120 = 26.5 \text{ m}$$

$$0,09\sqrt{1 + Z_4} = 1 - \frac{Z_4}{1,83} - \frac{2}{1,83}(0.253 + 0.228 + 0.221)$$

$$Z_4 = 0,242$$

$$\Delta H_4 = 0.242 * 120 = 29 \text{ m}$$

$$\frac{Z_5}{1,83} + \frac{2}{1,83}(0.253 + 0.228 + 0.221 + 0.242) - 1 = 0$$

$$\Delta H_5=0$$

Tabla 20. Incremento de la presión hidrodinámica en el conducto de carga

Nº FASE	Tiempo (s)	Caudal Qn (m3/s)	Zn %	ΔHi (m)
0	0	200	0	0
1	3,54	154,43	25.3	30.4
2	7,08	108.86	22.8	27.4
3	10,62	63.29	22.1	26.5
4	14,16	17.72	24.2	29
5	17,70	0	0	0

Elaborado por: Autores

Como se puede apreciar en la tabla, el mayor incremento de la presión hidrodinámica en el conducto es 25,3% inferior al 30% asumido para el análisis hidráulico del conducto, en el 14%.

Sin embargo, cabe advertir que, con frecuencia, mayores incrementos de la presión hidrodinámica, con presencia de Golpe de Ariete, se presentan no precisamente en caso de salida total de la potencia, sino en caso de salida parcial de la potencia, tampoco se considera el tema de disminución de la presión hidrodinámica en caso de incremento parcial de la potencia, puesto que ese material es importante para el equipo hidromecánico, mas no para los conductos de carga, a los que hace refiere el presente proyecto.

9.3 APOYOS INTERMEDIOS

En este caso se realiza el análisis del tramo V del conducto de carga

9.3.1 DETERMINACIÓN DE LAS FUERZAS ACTUANTES

9.3.1.1 DISTANCIA ESTIMADA ENTRE APOYOS INTERMEDIOS

La distancia entre apoyos intermedios se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L = 2,7 * D^{\frac{1}{2}} * \sqrt{\frac{\delta R_{acero}}{q}} \quad (6.1)$$

$$L = 2,7 * 7.5^{\frac{1}{2}} * \sqrt{\frac{22 * 0.001 * 230 * 1000}{124.67}}$$

$$L = 47.1 \text{ m}$$

Donde:

$$q = \pi D (f * D * \gamma_o + \delta * \gamma_{acero}) \cos \alpha \quad (6.2)$$

$$q = \pi * 7.5 * (0.25 * 7.5 * 10 + 22 * 0.001 * 77) * \cos 75$$

$$q = 124.67 \text{ kN/m}$$

f: coeficiente del peso del agua y acero

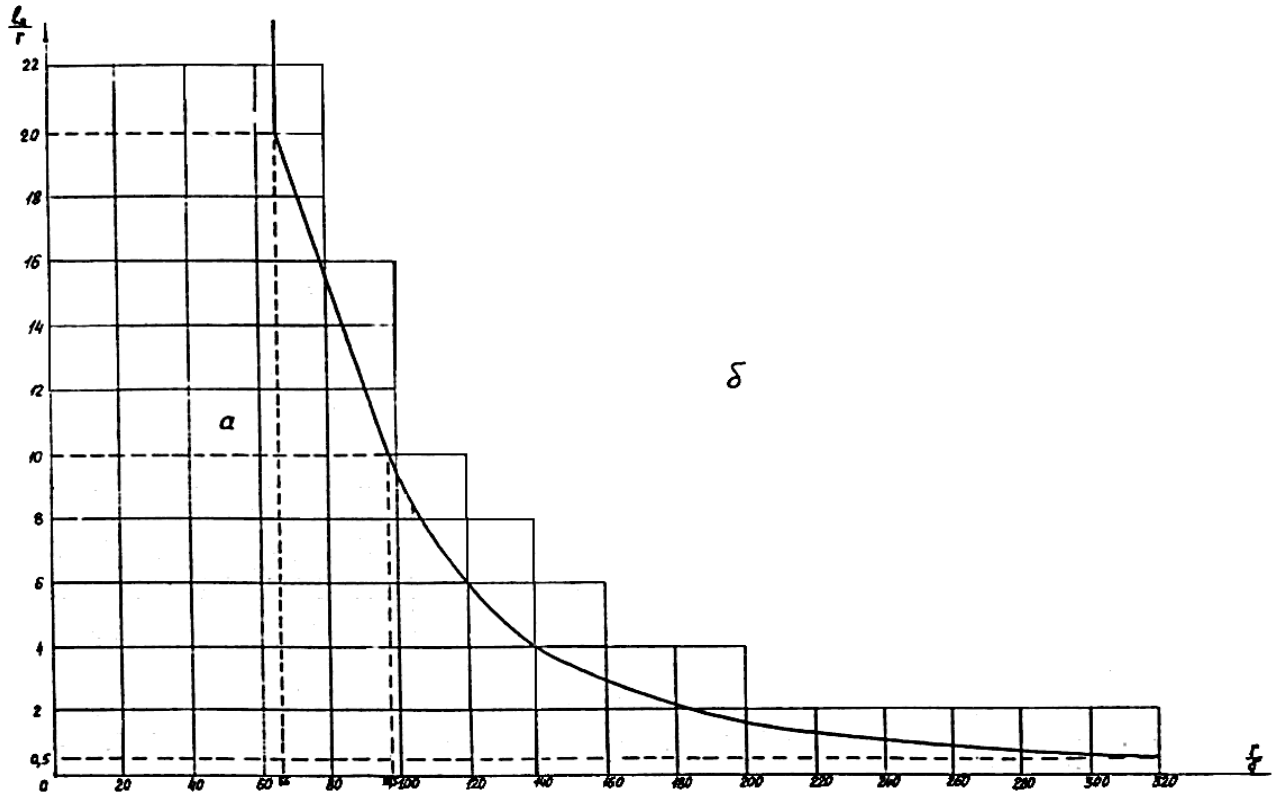
A continuación, se verifica si se requiere anillos de rigidez

$$r/\delta = 0.5 * \frac{D}{\delta} \quad (6.3)$$

$$r/\delta = 0.5 * \frac{7.5 * 1000}{22}$$

$$r/\delta = 170.45$$

En la relación distancia de anillos de rigidez - diámetro (l_{ar}/D), esta relación se obtiene mediante el gráfico 6:



Donde I_{ar}/r es igual 2.2 según el grafico

Se calcula la distancia entre anillos de rigidez

$$I_{ar} = 0.5 * \frac{I_{ar}}{r} * D \quad (6.4)$$

$$I_{ar} = 0.5 * 2.2 * 7.5$$

$$I_{ar} = 8.25 \text{ m}$$

Para verificar si requiere el uso de anillos de rigidez debe cumplir la siguiente condición:

$$I_{ar} \leq L$$

$$8.25 \leq 47.59$$

En la que se indica el uso de anillos de rigidez.

Como en la teoría se indica para excluir el uso de anillos de rigidez la distancia crítica entre apoyos se encuentra entre (7.5 – 8) m.

Para el recalcu de la distancia entre apoyos (L_r), una vez asumida la distancia crítica se utilizará la siguiente formula:

$$L_r = X * \sqrt[3]{\frac{(D+2\delta)^4 - D^4}{P}} \quad (6.5)$$

$$L_r = 3.91 * \sqrt[3]{\frac{(7.5 + 2 * 22 * 0.001)^4 - 7.5^4}{0.473}}$$

$$L_r = 21.15 \text{ m}$$

Donde:

$$P = f_{agua} * D^2 + f_{acero} * \delta * (D + \delta) \quad (6.6)$$

$$P = 0.0077 * 7.5^2 + 0.242 * 22 * 0.001 * (7.5 + 17.5 * 0.001)$$

$$P = 0.474$$

$$X = \frac{182,61}{\sqrt[3]{\frac{1000000}{g}}} \quad (6.7)$$

$$X = \frac{182,61}{\sqrt[3]{\frac{1000000}{3.91}}}$$

$$X = 3.91$$

En consecuencia, $L_r=21.15 \text{ m}$ por lo que reitera que requiere anillos de rigidez por lo tanto se adopta una distancia crítica de 8 metros para excluir los anillos de rigidez.

9.3.2 DIMENSIONAMIENTO DEL APOYO

Para determinar las dimensiones ver *figura 21*:

La sección de la base C y B son de iguales medidas (m):

$$C = B = 1,5D \quad (6.8)$$

$$C = B = 1,5 * 7.5$$

$$C = B = 11.25 \text{ m}$$

La dimensión de A (m), tomando en cuenta el tipo de suelo, será:

$$A = 1,2D \quad (6.9)$$

$$A = 1,2 * 7.5$$

$$A = 9$$

Dimensiones T1 y T2 (m):

$$T_1 = A + 0.5C \tan \alpha \quad (6.10)$$

$$T_1 = 9 + 0.5 * 11.25 * \tan 75$$

$$T_1 = 29.99 \text{ m}$$

$$T_2 = A - 0.5C \tan \alpha \quad (6.11)$$

$$T_2 = 9 - 0.5 * 11.25 \tan 75$$

$$T_2 = -11.99 \text{ m}$$

Volumen (m³):

$$V = 0,5(T_1 + T_2) * B * C \quad (6.12)$$

$$V = 0,5(29.99 - 11.99) * 11.25 * 11.25$$

$$V = 1139.06 \text{ m}^3$$

Cargas por el peso propio del apoyo

$$G_s = V\gamma_H \quad (6.24)$$

$$G_s = 1139.06 * 24$$

$$G_s = 27337.5 \text{ kN}$$

Tabla 21. Resultados del cálculo para la geometría del apoyo

C (m)	B (m)	T1 (m)	T2 (m)	Volumen (m3)	Gs (kN)
11,25	11,25	29.99	-11.99	1139.06	27337.5

Elaborado por: Autores

Cargas debidas al peso propio de la tubería

Sin anillos de rigidez:

$$G_t = \pi D \delta L \gamma_{acero} \quad (6.21)$$

$$G_t = \pi * 7.5 * 22 * 0.001 * 8 * 77$$

$$G_t = 319.31 \text{ kN}$$

Cargas debidas al peso del agua que llena el conducto.

$$G_a = \gamma_o \frac{\pi D_o^2}{4} L \quad (6.22)$$

$$G_a = 10 * \frac{\pi 7.5^2}{4} * 8$$

$$G_a = 3534.29 \text{ kN}$$

Cargas debido a la fricción entre el conducto y el apoyo

La fricción existente entre el conducto y el apoyo es debido al rozamiento entre el acero y el hormigón, que utiliza un coeficiente de fricción tomado de la siguiente tabla según el material utilizado. (Tabla 6.)

MATERIAL	f
Acero sobre acero en apoyo deslizante sin lubricación permanente	0,5
Acero sobre acero en apoyo deslizante con lubricación permanente	0,25
Acero sobre hormigón seco	0,42-0,49
Acero sobre roca seca	0,65-0,70
Hormigón sobre roca seca	0,65-0,75
Hormigón sobre suelo duro seco	0,40-0,60
Hormigón sobre arcilla fresca	0,30
Hormigón sobre arcilla húmeda	0,15-0,20
Hormigón sobre arena húmeda	0,35-0,45
Hormigón sobre arena seca	0,55
Hormigón sobre limo arcilloso seco	0,45
Hormigón sobre limo arcilloso húmedo	0,15-0,20
Hormigón sobre limo arenoso seco	0,50
Hormigón sobre limo arenoso húmedo	0,35

$$F_s' = f_{ac/hor}(G_a + G_t) \cos \alpha \quad (6.25)$$

$$F_s' = 0.5 * (3534.29 + 319.31) \cos 75$$

$$F_s' = 498.69 \text{ kN}$$

El apoyo ofrece una resistencia al deslizamiento de la tubería y es mayor que la fuerza de fricción, la tomaremos igual a:

$$F_s = 1.1 * 498.69$$

$$F_s = 548.55 \text{ kN}$$

Descomponiendo la carga en sus componentes horizontal y vertical al eje del conducto, se obtiene la expresión para determinar la sumatoria de fuerzas horizontales que actúa sobre la cáscara y es transmitida a través de ésta:

$$\sum F_h = F_s \cos \alpha \quad (6.26)$$

$$\sum F_h = 548.55 * \cos 75$$

$$\sum F_h = 141.98 \text{ kN}$$

Y la expresión para la sumatoria del componente vertical de la carga uniformemente distribuida, que origina flexión del conducto como viga continua:

$$\sum F_v = G_a + G_t + G_s + F_s \text{ sen } \alpha \quad (6.27)$$

$$\sum F_v = 3534.29 + 319.31 + 27337.44 + 548.55 * \text{Sen } 75$$

$$\sum F_v = 31720.9 \text{ kN}$$

Cargas debido a la fricción entre el apoyo y el macizo de cimentación

El macizo de cimentación por donde pasará los conductos será verificado por el tipo de terreno en el que se ejecute el proyecto, seleccionando el coeficiente de fricción adecuado para el estudio.

$$F_{ab} = f * \sum F_v \quad (6.28)$$

$$F_{ab} = 0.35 * 31720.9$$

$$F_{ab} = 11102.3 \text{ kN}$$

9.3.3 CONDICIONES DE ESTABILIDAD

La estabilidad del apoyo estará asegurada si cumple la condición:

$$\frac{F_{ab}}{\sum F_h} \geq 1,5$$

$$\frac{11102.3}{141.98} \geq 1,5$$

$$78.1 > 1,5 ; \text{ SI CUMPLE}$$

Para evitar el deslizamiento, también se podría verificar que la sumatoria de fuerzas horizontales debería ser menor a la fricción entre el apoyo y el macizo de cimentación:

$$\sum F_h < F_{ab}$$

Se determinan los esfuerzos para garantizar la estabilidad al vuelco del apoyo, considerando los momentos desde el punto O:

Brazos de momentos

- **Centro de gravedad del apoyo**

$$a_s = \frac{(T_1 - T_2) \frac{C}{3} + T_2 C}{T_1 + T_2} \quad (6.48)$$

- **Distancia:**

$$a_{at} = \frac{(T_1 + T_2) C a_s}{2} \quad (6.49)$$

- **Distancia entre en punto O y el peso del apoyo**

$$x_s = \frac{C}{2} - a_s \quad (6.50)$$

Sumatoria de momentos

$$\sum M = G_s x_s \quad (6.51)$$

Sumatoria de fuerzas

$$\sum N = \text{Sum } F_v \quad (6.52)$$

Excentricidad

$$e = \frac{\sum M}{\sum N} \quad (6.53)$$

Tabla 22. Resultados del cálculo para verificar la condición del vuelco

TRAMO	as (m)	aat (m)	xs (m)	Sum M (kN.m)	Sum N (kN)	e (m)
V	1,252	126,715	4,373	119560,47	31720.9	3,76

Elaborado por: Autores

En este caso no cumple la condición al vuelco, por lo que se recomienda aumentar C.

Esfuerzos de tracción y compresión

- **Esfuerzo de compresión transmitida por el apoyo**

$$\sigma'_y = \frac{\sum N}{B.C} * \left(1 + \frac{6e}{C}\right) \quad (6.54)$$

$$\sigma'_y = \frac{31720.9}{11.25 * 11.25} * \left(1 + \frac{6 * 3.76}{11.25}\right)$$

$$\sigma'_y = 753.24 \text{ kPa}$$

- **Esfuerzo de tracción transmitida por el apoyo**

$$\sigma''_y = \frac{\sum N}{B.C} * \left(1 - \frac{6e}{C}\right) \quad (6.55)$$

$$\sigma''_y = \frac{31720.9}{11.25 * 11.25} * \left(1 - \frac{6 * 3.768}{11.25}\right)$$

$$\sigma''_y = -251.97 \text{ kPa}$$

Para verificar que el suelo soporta los esfuerzos transmitidos por los elementos constructivos debe cumplir la condición:

$$\sigma'_y \leq Q_{adm}$$

9.4 APOYOS CON ANCLAJES

9.4.1 SOLICITACIONES ACTUANTES

Carga debido al peso del agua

$$G_{ai} = \gamma_o * \frac{\pi D^2}{4} * \frac{Lsi}{1000} \quad (6.29)$$

Aguas arriba

$$G_{a1} = 10 * \frac{\pi 7.5^2}{4} * \frac{1000}{1000}$$

$$G_{a1} = 441.79 \text{ MN}$$

Aguas abajo

$$G_{a2} = 10 * \frac{\pi 7.5^2}{4} * \frac{5}{1000}$$

$$G_{a2} = 2.21 \text{ MN}$$

Carga debido al peso de la tubería

$$G_{ti} = \gamma_{acero} * \frac{\pi \delta (D + \delta)}{4} * \frac{Lsi}{1000} \quad (6.30)$$

Aguas arriba

$$G_{t1} = 77 * \frac{\pi * 22 * 0.001 (7.5 + 22 * 0.001)}{4} * \frac{1000}{1000}$$

$$G_{t1} = 10.01 \text{ MN}$$

Aguas abajo

$$G_{t2} = 77 * \frac{\pi * 22 * 0.001 (7.5 + 22 * 0.001)}{4} * \frac{5}{1000}$$

$$G_{t2} = 0.05 \text{ MN}$$

Carga debido al peso de la tubería y peso del agua

$$G_{ati} = G_{ai} + G_{ti} \quad (6.31)$$

$$G_{at1} = 441.79 + 10.01 = 451.8 \text{ MN}$$

$$G_{at2} = 2.21 + 0.05 = 2.26 \text{ MN}$$

NOTA: El subíndice i es igual a 1 cuando corresponde aguas arriba del anclaje y 2 si corresponde aguas abajo.

COMPONENTE AXIAL DEL PESO DE LA TUBERÍA

Aguas arriba

$$F_{gtm} = G_{t_1} * \text{Sen}(\alpha) \quad (6.32)$$

$$F_{gtm} = 10.01 * \text{Sen}(75)$$

$$F_{gtm} = 9.66 \text{ MN}$$

Aguas abajo

$$F_{gtj} = G_{t_2} * \text{Sen}(\alpha) \quad (6.33)$$

$$F_{gtj} = 0.05 * \text{Sen}(75)$$

$$F_{gtj} = 0.048 \text{ MN}$$

Fuerza de presión hidrostática

$$F_{pm} = \gamma_o * \frac{\pi D^2}{4} * \frac{Hc}{1000} \quad (6.34)$$

$$F_{pm} = 10 * \frac{\pi 7.5^2}{4} * \frac{137.4}{1000}$$

$$F_{pm} = 60.7 \text{ MN}$$

Fuerza de velocidad

$$F_{cm} = \gamma_o * \frac{Qv}{1000000} \quad (6.38)$$

$$F_{cm} = \frac{200 * 4.53}{1000}$$

$$F_{cm} = 0.905 \text{ MN}$$

Fuerza por expansión radial

$$F_{rm} = \gamma_o * \frac{\pi D^2}{2m} * H * 1.3 \quad (6.39)$$

$$F_{rm} = 10 * \frac{\pi 7.5^2}{2 * 3.3} * 137.4 * 1.3$$

$$F_{rm} = \frac{47825.39}{1000} = 47.82 \text{ MN}$$

m: Módulo de presión del material de la tubería (en el caso del acero m=3.3)

Fuerza por variación de temperatura

$$F_{tm} = \pm \alpha E \pi \delta (D + \delta) \Delta t \quad (6.40)$$

$$F_{tm} = \pm 0.00001 * 210000 \pi * 22 * 0.001 (7.5 + 22 * 0.001) * 5$$

$$F_{tm} = 5.46 \text{ MN}$$

α : Coeficiente de dilatación del material (para el acero= 0.00001)

Fuerza generada por la fricción de la tubería con el apoyo

Aguas arriba

$$F_{am} = f (G a_1 + G t_1) * \text{Cos} (\alpha_1) \quad (6.41)$$

$$F_{am} = 0.25 (441.79 + 10.01) * \text{Cos} (75)$$

$$F_{am} = 29.23 \text{ MN}$$

Aguas abajo

$$F_{aj} = f (G_{a_2} + G_{t_2}) * \text{Cos} (\alpha_2) \quad (6.42)$$

$$F_{aj} = 0.25(2.21 + 0.05) * \text{Cos} (0)$$

$$F_{aj} = 0.56 \text{ MN}$$

f: Coeficiente de fricción entre el tubo y el anclaje que se indicó en la tabla 6

A continuación, se realiza la sumatoria vectorial de las fuerzas internas (Compresión o tensión) que se producen sobre el anclaje:

AGUAS ARRIBA

$$F_{em} = F_{pm} + F_{cm} - F_{rm} + F_{tm} + F_{am} + F_{gtm}$$

$$F_{em} = 58.14 \text{ MN}$$

AGUAS ABAJO

$$F_{ej} = F_{pm} + F_{cm} - F_{rm} + F_{tm} + F_{aj} + F_{gtj}$$

$$F_{ej} = 19.85 \text{ MN}$$

Fuerzas que actúan sobre el anclaje por variación de la pendiente vertical

Componente vertical en el eje x

$$F_{xv} = -G_{at_1} \text{Sen} (\alpha_1) + F_{em} \text{Cos} (\alpha_1) - G_{at_2} \text{Sen} (\alpha_2) - F_{ej} \text{Cos} (\alpha_2) \quad (6.43)$$

Componente vertical en el eje y

$$F_{yv} = -G_{at_1} \text{Cos} (\alpha_1) - F_{em} \text{Sen} (\alpha_1) - G_{at_2} \text{Cos} (\alpha_2) + F_{ej} \text{Sen} (\alpha_2) \quad (6.44)$$

Tabla 23. Resultados de las fuerzas que actúan sobre el anclaje por variación de la pendiente vertical

TRAMO	F _{XV} MN	F _{YV} MN
V	441.16	175.35

Elaborado por: Autores

9.4.2 DIMENSIONAMIENTO DEL ANCLAJE

Para el pre diseño se toma las siguientes recomendaciones al final se debería verificar si sus dimensiones son las adecuadas.

$$B = C = 3D \quad (6.13)$$

$$B = C = 3 * 7.5$$

$$B = C = 22.5 \text{ m}$$

$$H = 4D \quad (6.15)$$

$$H = 4 * 7.5$$

$$H = 30 \text{ m}$$

$$\text{Volumen total} = B * C * H \quad (6.16)$$

$$\text{Volumen total} = 22.5 * 22.5 * 30$$

$$\text{Volumen total} = 15187.5 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de la tubería} = \frac{\pi D^2}{4} * C \quad (6.17)$$

$$\text{Volumen de la tubería} = \frac{\pi 7.5^2}{4} * 22.5$$

$$\text{Volumen de la tubería} = 994.02 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del anclaje} = \text{Volumen total} - \text{Volumen de la tubería}$$

$$\text{Volumen del anclaje} = 15187.5 - 994.02$$

$$\text{Volumen del anclaje} = 14193.48 \text{ m}^3$$

Peso del anclaje

$$G_s = \text{Volumen del anclaje} * \gamma_H \quad (6.47)$$

$$G_s = 14193.48 * 24$$

$$G_s = \frac{340643.52}{1000} = 340.64 \text{ MN}$$

Tabla 24. Resultados del cálculo para la geometría del apoyo con anclaje

B (m)	C (m)	H (m)	VOL. Total (m3)	VOL. TUBO (m3)	VOL. Anclaje (m3)	PESO ancla Gan (MN)
22,5	22,5	30	15187,5	994,020	14193,480	340,644

Elaborado por: Autores

9.4.3 CONDICIÓN DE ESTABILIDAD

Se calcula la sumatoria de las fuerzas verticales y el momento

$$N = G_s + \left(\frac{G_{at1}}{l_{s1}} * C \right) + F_{yv}$$

$$N = 340.64 + \left(\frac{451.8}{1000} * 22.5 \right) + 175.35$$

$$N = 526.16 \text{ MN}$$

$$M = \frac{1}{2} * F_{xv} * H$$

$$M = \frac{1}{2} * 441.16 * 30$$

$$M = 6617.4 \text{ M} * m$$

$$e = \frac{\sum M}{\sum N} \quad (6.56)$$

$$e = 12.57 \text{ m}$$

Condición de estabilidad al deslizamiento

$$\frac{N * f}{F_{xv}} \geq 1.5$$

$$\frac{526.16 * 0.35}{441.16} \geq 1.5$$

$$0.417 < 1.5$$

En este caso no cumple la condición al deslizamiento, ni la condición al vuelco, por lo que se recomienda aumentar C.

Verificación de resistencia del suelo

$$\sigma = \frac{\sum N}{B * C} \left(1 \pm \frac{6e}{C} \right) \quad (6.59)$$

$$\sigma = \frac{526.16}{22.5 * 22.5} \left(1 + \frac{6 * 12.6}{22.5} \right)$$

$$\sigma_{y''} = 4.53 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{526.16}{22.5 * 22.5} \left(1 - \frac{6 * 12.6}{22.5} \right)$$

$$\sigma_{y'} = -2.45 \text{ MPa}$$

De igual manera se debe verificar que el suelo soporta los esfuerzos transmitidos por los elementos constructivos debe cumplir la condición:

$$\sigma_y'' \leq Q_{adm}$$

9.5 ESFUERZOS EN LA CÁSCARA

Presión hidrostática

$$P = \gamma_o * Hc \quad (7.1)$$

$$P = 10 * 137.4$$

$$P = 1374 \text{ KPa}$$

Esfuerzo normal en la cáscara debido a la presión hidrostática

$$\sigma_{z1} (+) = \frac{P * D}{2 * \delta * 1000} \quad (7.2)$$

$$\sigma_{z1} (+) = \frac{1374 * 7.5}{2 * 22 * 0.001 * 1000}$$

$$\sigma_{z1} (+) = 234.2 \text{ MPa}$$

$$q = \frac{Gat1}{Ls_1} * \text{Cos}(\alpha_1) \quad (7.3)$$

$$q = \frac{451.8}{1000} * \text{Cos}(75)$$

$$q = 0.116$$

Diámetro medio

$$Dm = 0.5(2D + \delta) \quad (7.4)$$

$$Dm = 0.5(2 * 7.5 + 22 * 0.001)$$

$$Dm = 7.51$$

Módulo de sección o momento de resistencia del tubo

$$W = \frac{\pi D^2}{4} * \delta \quad (7.5)$$

$$W = \frac{\pi 7.5^2}{4} * 22 * 0.001$$

$$W = 0.972$$

Sección transversal de la cáscara

$$F_{cas} = \pi * D_m * \delta \quad (7.6)$$

$$F_{cas} = \pi * 7.51 * 22 * 0.001$$

$$F_{cas} = 0.519$$

Esfuerzo de compresión en la cáscara debido a fuerzas axiales

$$\sigma_{x2} = \frac{F_{em}}{F_{cas}} \quad (7.7)$$

$$\sigma_{x2} = - \frac{60.7 + 0.905 - 47.82 + 5.45 + 29.2 + 9.67}{0.519}$$

$$\sigma_{x2} = -111.95 \text{ MPa}$$

Esfuerzo axial sumatorio en la cáscara

$$\sigma_x = \sigma_{x1}(\pm) + \sigma_{x2} \quad (7.8)$$

$$\sigma_x = -0.764 - 111.95$$

$$\sigma_x = -112.71 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x1}(\pm) = \frac{q * L^2}{10W} \quad (7.9)$$

$$\sigma_{x1}(\pm) = \frac{0.116 * 8^2}{10 * 0.972}$$

$$\sigma_{x1}(\pm) = 0.764 \text{ MPa}$$

Donde:

L: longitud entre apoyos intermedios (m)

Esfuerzo ponderado

$$\sigma_{pon} = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_x^2 - \sigma_z \sigma_x} \quad (7.10)$$

$$\sigma_{pon} = \sqrt{234.2^2 + 112.7^2 - 234.2 * -112.7}$$

$$\sigma_{pon} = 306.5 \text{ MPa}$$

Para garantizar la resistencia de la cáscara debe cumplir la condición:

$$\sigma_{per} \geq \sigma_{pon}$$

$$230 < 306.5 \text{ MPa}$$

El 230 MPa valor tomado de la tabla de esfuerzos permisibles para el cálculo del acero, estos valores no requieren ser divididos para un factor de seguridad debido a que se encuentran en el rango lineal y no son valores de esfuerzos últimos.

CAPÍTULO X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

1. En el desarrollo del proyecto, se obtuvo el algoritmo que permite realizar el cálculo de los conductos de carga de acero, comprendidos entre el tanque de presión y las turbinas de una central hidroeléctrica, para obtener el diámetro óptimo, el espesor de la cáscara, y las dimensiones tanto de los apoyos intermedios como de los de anclaje, todo esto previa determinación de las solicitaciones actuantes sobre las estructuras analizadas y verificación de las condiciones de estabilidad y resistencia.
2. De acuerdo a la metodología establecida el análisis fue realizado para: a) un rango de caudales de diseño del conducto, comprendidos entre de 50 y 200 m³/s; b) dos rangos de cargas, el primero de cargas medias entre 20 y 60 metros y el segundo de cargas altas entre 80 y 120 metros; c) un rango de pendientes del terreno entre 30 y 75 grados; d) cuatro rangos del coeficiente de fricción con la superficie de cimentación, el primero entre 0,65 y 0,70 (correspondiente a rocas), el segundo Suelos arcillosos secos y arenas seca (0.40-0.60), el tercero Suelos arcillosos húmedos (0.15-0.20) y el cuarto Suelos limos arenosos húmedos (0.35).. El análisis se realizó para las combinaciones posibles de estos cuatro parámetros (caudal-carga-pendiente del terreno-coeficiente de fricción con la superficie de cimentación).

3. En el algoritmo se considera el efecto del golpe de ariete para combinación básica de fuerzas, incrementando el valor de la carga estática que actúa en las diferentes abscisas del conducto de carga, en un porcentaje que puede ser variable pero que para fines del análisis desarrollado se asumió del 30%, considerando que corresponde a condiciones normales de operación:

$$\Delta H_{GA} = 0,3H_0$$

Cabe advertir que, con frecuencia, mayores incrementos de la presión hidrodinámica, con golpe de ariete, se presentan no precisamente en caso de salida total de la potencia, sino en caso de salida parcial de la potencia, tampoco se considera el tema de disminución de la presión hidrodinámica en caso de incremento parcial de la potencia, puesto que ese material es importante para el equipo hidromecánico, mas no para los conductos de carga, a los que hace refiere el presente proyecto de estudio.

4. Entre menor sean los valores utilizados de resistencia a la tracción del acero del conducto de carga el espesor de la misma empieza a tomar valores mayores a los ya calculados, esto es debido a que en el cálculo del espesor, este está en función de dicha resistencia y por ende esto afecta su valor final.
5. La relación de variación porcentual del valor del caudal de diseño a la correspondiente variación porcentual del valor del diámetro económico óptimo de un conducto de carga es, aproximadamente, de 2 a 1; esto significa que si, por ejemplo, el caudal de diseño se reduce a la mitad, por su parte el diámetro económico óptimo disminuye en el 25%.

6. La relación de la variación porcentual del tiempo anual establecido para la operación de la turbina, a la correspondiente variación porcentual del diámetro económico es aproximadamente de 5 a 1; es decir que si, por ejemplo, el tiempo estimado de operación anual de la turbina se reduce a la mitad, el diámetro económico se reduce en un 10%.

7. La relación de la variación porcentual de la resistencia del material de la cáscara, a la correspondiente variación porcentual del diámetro económico, aproximadamente es de 3 a 1; es decir que si, por ejemplo, la resistencia de cálculo del material de la cáscara se reduce a la mitad, el diámetro económico se reduce aproximadamente en 16%. Si bien es cierto que, en la ecuación para determinar el diámetro óptimo, la relación funcional del tiempo de trabajo de la turbina y de la resistencia es la misma, en cambio, el espesor de la cáscara depende de la resistencia; por esta razón, finalmente, resultan diferentes las incidencias de la carga y el tiempo de operación en el diámetro económico.

8. La incidencia en el diámetro económico, del costo unitario del material del conducto de carga y del kilovatio-hora de energía es la misma y semejante a la del tiempo de trabajo de la turbina.

9. La longitud equivalente es un factor importante en el cálculo del Golpe de Ariete, ya que si menor es la longitud, el impacto por el incremento de la presión hidrodinámica por Golpe de Ariete sería mucho mayor y por ende el riesgo de la destrucción de los conductos de carga.

10. En el diseño del proyecto se puede constatar que mientras exista mayor carga el valor del diámetro tiene valores bajos, debido a que en la ecuación para determinar el diámetro económico está en función de la carga y esto afecta directamente su cálculo.
11. Para un diseño óptimo de la geometría del apoyo puede disminuirse los valores como el diseñador crea conveniente, siempre y cuando se cumpla con las condiciones de resistencia y estabilidad, tomando como medidas constructivas: $C=B=1.2*D$ (diámetro); esto es aplicable para apoyos intermedios, y para los apoyos con anclajes $C=1.5 *D$ (diámetro).
12. Para pendientes mayores a 60 y cargas altas (60 metros o más), existen problemas en los apoyos con anclaje para cumplir las condiciones de estabilidad y resistencia, por lo que se requiere tomar medidas constructivas adicionales, una de ellas sería aumentar las dimensiones geométricas del apoyo (el valor de $C=base$).
13. Los esfuerzos ponderados de la cáscara aumentan, si los valores de la carga aumentan también, para evitar esto, se debe aumentar el espesor de la cáscara del conducto, esto quiere decir que mientras mayor es el espesor, el esfuerzo ponderado de la cáscara del conducto disminuye.
14. En el diseño definitivo se pueden optimizar los diámetros ya que es permitido tomar valores diferentes a los estandarizados y por lo verificado se pueden utilizar diámetros más pequeños siempre y cuando se compruebe que cumplan las condiciones de resistencia y estabilidad.

15. En los apoyos intermedios generalmente la distancia se adopta de 15 a 25 metros, siempre que se incluyan anillos de rigidez; cuando no se prevén dichos anillos, la distancia entre los apoyos no debe superar el espaciamiento que se requeriría entre los anillos. En este proyecto no han sido considerados los anillos de rigidez; por esta razón, se ha adoptado la distancia de 8 metros entre los apoyos intermedios.

16. En el cálculo para diferentes tipos de suelo, el factor de fricción entre el hormigón y el macizo de cimentación toma valores bajos, el valor al deslizamiento disminuye tanto para apoyos intermedios como apoyos con anclaje.

17. En lo que respecta a los apoyos con anclaje, el análisis se realizó, en el rango establecido de pendientes, para distancias entre ellos de 100 a 500 m. Adicionalmente se verificó el comportamiento de la construcción para una distancia máxima de 1000 metros, llegando a la conclusión de que para longitudes de esa magnitud los esfuerzos admisibles del anclaje podrían ser insuficientes determinando falla, por lo que, para longitudes de esta magnitud, se requieren soluciones constructivas especiales de los apoyos con anclaje.

18. Se tomó un esfuerzo permisible para el cálculo de la cáscara obtenido de la tabla de esfuerzos permisibles para el cálculo del acero, cabe recalcar que este esfuerzo es un valor que se encuentra en el límite lineal elástico, normalmente adoptado para el diseño de los conductos de carga, inferior al límite de la última resistencia.

19. En los apoyos tanto intermedios como con anclaje: (ver graficas en Excel)

- Mientras mayor sea el caudal, el diámetro de la tubería comienza a disminuir, por consiguiente, aumenta el valor del espesor, esto se puede verificar en las gráficas realizadas.
- La longitud es una magnitud constante ya que no pende del diámetro ni tampoco de la carga utilizada.
- Para los diferentes tipos de suelos, el diámetro y el espesor de la tubería de carga, no se ve afectado.
- La carga y el caudal, es lo que afecta directamente al valor del espesor y diámetro.
- Se debe realizar un estudio geotécnico del suelo donde se vaya a cimentar el proyecto, para verificar que la resistencia admisible del mismo y comparar con los esfuerzos obtenidos en el cálculo.
- Mientras mayor sea la pendiente, los esfuerzos obtenidos de igual manera serán mayores.

20. En la cáscara: (ver gráficas en Excel)

- Mientras mayor sea el valor del caudal y de la carga, los valores de los esfuerzos también van a ir aumentando.
- Mientras mayor sea la pendiente del terreno, los esfuerzos ponderados tienden a disminuir, esto es debido a que la carga del peso del agua con la tubería es menor mientras mayor sea la pendiente.

10.2 RECOMENDACIONES

1. Cabe señalar que para la ejecución de un proyecto es necesario realizar estudios preliminares (topográficos, hidrológicos, geotécnicos) para tomar decisiones en el diseño del proyecto, se recomienda que el trazado de la tubería presente el menor número de cambios de dirección en planta y en perfil. La selección adecuada del perfil conduce a disminuir el número de apoyos y anclajes.
2. En la formulación de construcciones casi nunca se obtienen las dimensiones geométricas de expresiones analíticas, sino principalmente del sentido común y de la práctica. Lo importante es finalmente verificar que las dimensiones adoptadas permitan cumplir las condiciones o criterios de diseño, por ejemplo: físicas, de funcionalidad, de resistencias, de estabildades etc. En el caso concreto el autor propone relaciones más de sentido común para definir la geometría de un cuerpo; el diseñador puede adoptar las relaciones que considera pertinentes para que se cumplan las condiciones del caso o casos. La geometría más sencilla de un cuerpo tiene tres dimensiones, pero por razones constructivas o de cualquier otra índole el diseñador puede adoptar cuerpos de geometrías más complejas. En un trabajo de carácter general como el que se ejecuta en este caso, parecería que lo lógico es adoptar las geometrías más sencillas posibles. Pero siempre, al final habrá que verificar que se cumplan condiciones que inciden en la viabilidad de la construcción, en el caso de este proyecto, principalmente, la estabilidad y resistencia.

REFERENCIAS

ARTÍCULOS ACADÉMICOS O CIENTÍFICOS

Arechua de la Cruz, G. (2018). *Diseño hidráulico de la tubería de presión de la mini central hidráulica Huaura* (Monografía Técnica). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú.

BIBLIOTECA UNS, (2013). Obras civiles – PCH. Recuperado el 04 de octubre del 2019 de http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/obras_civiles2.pdf

Morales, S. (3th de septiembre de 2013). *Revistas Unal*. Obtenido de Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: Contexto y criterios básicos de implementacion:

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/rt/printerFriendly/39757/53963>

Ortega, L. (1995). Selección e Instalacion del Ariete Hidraulico (Boletin Tecnico N° 221). Centro regional de Investigacion Remehue. Osorno –Chile . Recuperado de:

<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boltec/NR18414.pdf>

United States Department of the Interior (1977). *Welded Steel Penstocks*. U. S. Government Printing Office: Washintong

Zuloeta, R. (2012). *Diseño de un grupo hidroenergético con una turbina Michell-Banki de 40 kw*. (Tesis). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima – Perú. Recuperado de:

<https://docplayer.es/75706598-Pontificia-universidad-catolica-del-peru.html>

BIBLIOGRAFÍA

- Chow , V. T. (1994). *HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS*. (M. E. Suarez, Ed.) Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL Inla 10TERAMERICANA S.A.
- Gonzales, L. (2004). *Ingeniería Geologica* . Madrid: Pearson Education SA.
- ORTIZ, R. (2011). *PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS*. (Primera Edición) BOGOTA, COLOMBIA: EDICIONES DE LA U.
- SALDARRIAGA, J. (2016). *HIDRAULICA DE TUBERIAS* (Vol. 3 EDICION). COLOMBIA: ALFAOMEGA.
- Sotelo. (1994). *Hidráulica General* . México: LIMUSA S.A.
- SCHORER, H. (1933). Design of Large Pipelines. Trans. ASCE, pp. 98-101.

IMÁGENES

- Carrera. (2017). *Flujo hidráulico*. Obtenido de [Figura]: Recuperado de <https://www.slideshare.net>
- Cortez, R. (2018). *Ilustración de la línea piezométrica y energía de flujo a presión*. Obtenido de [Figura]: Recuperado de ites.google.com/site/201808rodrigocortes/apuntes/semana-3
- Francis. (2017). *Gis procedure for preliminary evaluation of potential hydropower sites*. Obtenido de [Figura]: Recuperado de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/mini-water-turbine-jet-nozzle-1239208239.html>
- Kev. (2011). *Sistemas de apoyos* . Obtenido de [Figura]: Recuperado de <https://www.monografias.com>

Obras Civiles, Pch. (2014). *Cámara de carga y tubería de presión*. Obtenido de [Figura]:

Recuperado de https:

https://es.slideshare.net/8angel0/camara-de-carga-central-hidroelectrica-de-pasada?qid=8c308f5a-67de-4546-93aa-115158d0b14e&v=&b=&from_search=1

Vélez. (2009). *Materiales de construcción*. . Obtenido de [figura]: Recuperado de

<http://materialesparaconstruir.blogspot.com/2009/03/el-acero.html>

Wikipedia. (15 de Mayo de 2013). Turbinas Kaplan. Obtenido de [Figura]: Recuperado de

https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Kaplan

Wikipedia. (15 de Mayo de 2013). *Turbinas Pelton*. Obtenido de [Figura]: Recuperado de

https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Pelton

NORMAS DE CONSTRUCCIÓN

American Water Works Association (December 2013). *Manual M11 Steel Pipe – A Guide for Desing and Installation (4th ed.)*. EEUU.

American Society of Testing Materials (creada 1898). *ASTM para aceros*. EEUU.

SITIOS WEB

Area y Tecnología. (s.f.). *Turbinas hidráulicas*. Obtenido de Recuperado de

<https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>

CARRERA, J. (2017). Flujo hidráulicamente liso. Recuperado de

<https://www.slideshare.net>

civilgeeks. (29 de Noviembre de 2011). *Valores referenciales de esfuerzos admisibles en suelos y rocas*. Obtenido de [Tabla]: Recuperado de

<https://civilgeeks.com/2011/11/29/valores-referenciales-de-esfuerzos-admisibles-en-suelos-y-rocas/>

DINCORSA, (2017). Empresa en tubería de acero. Recuperado el 04 de octubre del 2019, de

<https://www.dincorsa.com/blog/tuberias-acero-tipos-caracteristicas-aplicaciones/>

Goncharov, A. (2008). *Estaciones Hidroeléctricas - Estructuras de Tuberías de Acero*. Obtenido de [Tabla]:

<https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/gidroelektricheskie-stancii-72.html>

KEV. (2011). Sistemas de apoyos. Recuperado de

<https://www.monografias.com>

OBRAS CIVILES, PCH. (2014). Cámara de carga y tubería de presión. Recuperado de

https://es.slideshare.net/8angel0/camara-de-carga-central-hidroelectrica-de-pasada?qid=8c308f5a-67de-4546-93aa-115158d0b14e&v=&b=&from_search=1

SISTEMAHTF. (04 de octubre de 2019). *Designed Hurricane Media*. Obtenido de

<http://www.sistemahtf.com/index.php/el-sistema-de-bombeo>

STRUCTURALIA. (2018). Recuperado el 04 de octubre del 2019, de

<https://blog.structuralia.com/tipologia-de-presas-i-presas-de-fabrica>

TURBINAS PELTÓN. Wikipedia. Recuperado el 15 de mayo de 2013 de

https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Pelton

TURBINAS KAPLAN. Wikipedia. Recuperado el 15 de mayo de 2013 de

https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Kaplan

Turbinas hidráulicas. Recuperado de

<https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>

ANEXOS

TABLA DE RESULTADOS

Tabla 25. Tabla referencial para cálculo en Apoyos, $f=0.20$

SUELOS ARCILLOSOS HUMEDOS $f(0,15-0,20)$											
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC}	(m)	δ_{ml} (mm)	α	Lapoy(m)	Fab/sumFh $\geq 1,5$ (DESLIZAMIENTO)	e<C/6 (VUELCO)	σ_v' (MPa)	σ_v'' (MPa)	
20	50	9	16			8	4,867	0,712	0,389	0,202	
	100	9	16		30	8	4,867	0,712	0,389	0,202	
	150	9	16			8	4,867	0,712	0,389	0,202	
	200	9	16			8	4,867	0,712	0,389	0,202	
	50	9	16			8	7,327	1,228	0,459	0,135	
	100	9	16		45	8	7,327	1,228	0,459	0,135	
	150	9	16			8	7,327	1,228	0,459	0,135	
	200	9	16			8	7,327	1,228	0,459	0,135	
	50	9	16			8	14,601	2,135	0,576	0,015	
	100	9	16		60	8	14,601	2,135	0,576	0,015	
	150	9	16			8	14,601	2,135	0,576	0,015	
	200	9	16			8	14,601	2,135	0,576	0,015	
	50	9	16			8	53,945	4,647	0,897	-0,312	
	100	9	16		75	8	53,945	4,647	0,897	-0,312	
	150	9	16			8	53,945	4,647	0,897	-0,312	
	200	9	16			8	53,945	4,647	0,897	-0,312	
	40	50	5	12			8	2,928	0,359	0,233	0,129
		100	6,6	12		30	8	3,726	0,499	0,295	0,158
		150	8	14			8	4,396	0,623	0,350	0,184
		200	9	13			8	4,909	0,713	0,389	0,202
50		5	12			8	4,419	0,617	0,272	0,092	
100		6,6	12		45	8	5,615	0,861	0,346	0,109	
150		8	14			8	6,621	1,075	0,412	0,124	
200		9	13			8	7,390	1,230	0,458	0,134	
50		5	12			8	8,785	1,076	0,337	0,025	
100		6,6	12		60	8	11,177	1,498	0,432	0,021	
150		8	14			8	13,188	1,869	0,516	0,017	
200		9	13			8	14,727	2,138	0,576	0,015	
50		5	12			8	32,240	2,357	0,514	-0,158	
100		6,6	12		75	8	41,165	3,271	0,667	-0,220	
150		8	14			8	48,672	4,073	0,801	-0,274	
200		9	13			8	54,415	4,653	0,897	-0,312	
60		50	4,6	12			8	2,729	0,324	0,218	0,122
		100	6,2	11,5		30	8	3,533	0,464	0,280	0,151
		150	7,5	13,5			8	4,154	0,579	0,330	0,175
		200	8,5	14			8	4,645	0,668	0,369	0,193
	50	4,6	12			8	4,121	0,557	0,254	0,088	
	100	6,2	11,5		45	8	5,326	0,800	0,328	0,105	
	150	7,5	13,5			8	6,257	0,998	0,389	0,119	
	200	8,5	14			8	6,995	1,152	0,435	0,129	
	50	4,6	12			8	8,188	0,971	0,313	0,026	
	100	6,2	11,5		60	8	10,599	1,393	0,408	0,022	
	150	7,5	13,5			8	12,461	1,736	0,486	0,019	
	200	8,5	14			8	13,936	2,003	0,546	0,016	
	50	4,6	12			8	30,013	2,131	0,476	-0,142	
	100	6,2	11,5		75	8	39,010	3,043	0,629	-0,204	
	150	7,5	13,5			8	45,958	3,786	0,753	-0,254	
	200	8,5	14			8	51,464	4,362	0,849	-0,293	
	80	50	4,4	12			8	2,630	0,306	0,210	0,118
		100	6	13		30	8	3,413	0,446	0,272	0,147
		150	7	15			8	3,884	0,534	0,311	0,166
		200	8	16			8	4,368	0,623	0,350	0,184
50		4,4	12			8	3,972	0,527	0,245	0,086	
100		6	13		45	8	5,146	0,769	0,319	0,103	
150		7	15			8	5,853	0,920	0,366	0,114	
200		8	16			8	6,580	1,074	0,412	0,124	
50		4,4	12			8	7,890	0,919	0,301	0,027	
100		6	13		60	8	10,239	1,338	0,397	0,023	
150		7	15			8	11,652	1,602	0,457	0,020	
200		8	16			8	13,105	1,868	0,517	0,018	
50		4,4	12			8	28,899	2,018	0,457	-0,134	
100		6	13		75	8	37,664	2,925	0,610	-0,196	
150		7	15			8	42,938	3,495	0,706	-0,235	
200		8	16			8	48,364	4,069	0,802	-0,273	
100		50	4,4	12			8	2,630	0,306	0,210	0,118
		100	5,8	14		30	8	3,300	0,428	0,264	0,144
		150	7	17,5			8	3,850	0,533	0,312	0,166
		200	7,5	18,5			8	4,086	0,577	0,331	0,175
	50	4,4	12			8	3,972	0,527	0,245	0,086	
	100	5,8	14		45	8	4,977	0,737	0,310	0,101	
	150	7	17,5			8	5,802	0,919	0,366	0,114	
	200	7,5	18,5			8	6,155	0,995	0,389	0,119	
	50	4,4	12			8	7,890	0,919	0,301	0,027	
	100	5,8	14		60	8	9,899	1,284	0,385	0,023	
	150	7	17,5			8	11,551	1,599	0,457	0,021	
	200	7,5	18,5			8	12,257	1,732	0,487	0,019	
	50	4,4	12			8	28,899	2,018	0,457	-0,134	
	100	5,8	14		75	8	36,399	2,808	0,591	-0,188	
	150	7	17,5			8	42,562	3,490	0,706	-0,234	
	200	7,5	18,5			8	45,199	3,776	0,754	-0,254	
	120	50	4,2	13			8	2,518	0,289	0,202	0,115
		100	5,6	16,5		30	8	3,168	0,409	0,257	0,141
		150	6,8	20			8	3,718	0,514	0,304	0,163
		200	7,5	22			8	4,040	0,576	0,332	0,176
50		4,2	13			8	3,803	0,496	0,236	0,084	
100		5,6	16,5		45	8	4,778	0,705	0,301	0,099	
150		6,8	20			8	5,604	0,887	0,357	0,112	
200		7,5	22			8	6,087	0,993	0,390	0,120	
50		4,2	13			8	7,553	0,866	0,290	0,028	
100		5,6	16,5		60	8	9,503	1,228	0,374	0,024	
150		6,8	20			8	11,154	1,543	0,446	0,022	
200		7,5	22			8	12,120	1,728	0,488	0,020	
50		4,2	13			8	27,642	1,902	0,438	-0,126	
100		5,6	16,5		75	8	34,918	2,688	0,572	-0,180	
150		6,8	20			8	41,082	3,369	0,687	-0,226	
200		7,5	22			8	44,684	3,769	0,754	-0,253	

Tabla 26. Tabla referencial para cálculo en Apoyos, $f=0.35$

SUELOS LIMOS ARENOSOS $f(0,35)$									
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{mi} (mm)	α	Lapoy(m)	Fab/sumFh $\geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	e<C/6 (VUELCO)	σ'_v (MPa)	σ'_v'' (MPa)
20	50	9	16	30	8	8,517	0,712	0,389	0,202
	100	9	16		8	8,517	0,712	0,389	0,202
	150	9	16		8	8,517	0,712	0,389	0,202
	200	9	16		8	8,517	0,712	0,389	0,202
	50	9	16	45	8	12,823	1,228	0,459	0,135
	100	9	16		8	12,823	1,228	0,459	0,135
	150	9	16		8	12,823	1,228	0,459	0,135
	200	9	16		8	12,823	1,228	0,459	0,135
	50	9	16	60	8	25,552	2,135	0,576	0,015
	100	9	16		8	25,552	2,135	0,576	0,015
	150	9	16		8	25,552	2,135	0,576	0,015
	200	9	16		8	25,552	2,135	0,576	0,015
50	9	16	75	8	94,405	4,647	0,897	-0,312	
100	9	16		8	94,405	4,647	0,897	-0,312	
150	9	16		8	94,405	4,647	0,897	-0,312	
200	9	16		8	94,405	4,647	0,897	-0,312	
40	50	5	12	30	8	5,125	0,359	0,233	0,129
	100	6,6	12		8	6,520	0,499	0,295	0,158
	150	8	14		8	7,693	0,623	0,350	0,184
	200	9	13		8	8,591	0,713	0,389	0,202
	50	5	12	45	8	7,734	0,617	0,272	0,092
	100	6,6	12		8	9,826	0,861	0,346	0,109
	150	8	14		8	11,586	1,075	0,412	0,124
	200	9	13		8	12,933	1,230	0,458	0,134
	50	5	12	60	8	15,374	1,076	0,337	0,025
	100	6,6	12		8	19,559	1,498	0,432	0,021
	150	8	14		8	23,079	1,869	0,516	0,017
	200	9	13		8	25,772	2,138	0,576	0,015
50	5	12	75	8	56,421	2,357	0,514	-0,158	
100	6,6	12		8	72,039	3,271	0,667	-0,220	
150	8	14		8	85,176	4,073	0,801	-0,274	
200	9	13		8	95,226	4,653	0,897	-0,312	
60	50	4,6	12	30	8	4,776	0,324	0,218	0,122
	100	6,2	11,5		8	6,183	0,464	0,280	0,151
	150	7,5	13,5		8	7,269	0,579	0,330	0,175
	200	8,5	14		8	8,129	0,668	0,369	0,193
	50	4,6	12	45	8	7,212	0,557	0,254	0,088
	100	6,2	11,5		8	9,321	0,800	0,328	0,105
	150	7,5	13,5		8	10,950	0,998	0,389	0,119
	200	8,5	14		8	12,241	1,152	0,435	0,129
	50	4,6	12	60	8	14,329	0,971	0,313	0,026
	100	6,2	11,5		8	18,548	1,393	0,408	0,022
	150	7,5	13,5		8	21,806	1,736	0,486	0,019
	200	8,5	14		8	24,388	2,003	0,546	0,016
50	4,6	12	75	8	52,522	2,131	0,476	-0,142	
100	6,2	11,5		8	68,267	3,043	0,629	-0,204	
150	7,5	13,5		8	80,426	3,786	0,753	-0,254	
200	8,5	14		8	90,063	4,362	0,849	-0,293	
80	50	4,4	12	30	8	4,602	0,306	0,210	0,118
	100	6	13		8	5,972	0,446	0,272	0,147
	150	7	15		8	6,797	0,534	0,311	0,166
	200	8	16		8	7,645	0,623	0,350	0,184
	50	4,4	12	45	8	6,951	0,527	0,245	0,086
	100	6	13		8	9,006	0,769	0,319	0,103
	150	7	15		8	10,242	0,920	0,366	0,114
	200	8	16		8	11,514	1,074	0,412	0,124
	50	4,4	12	60	8	13,807	0,919	0,301	0,027
	100	6	13		8	17,917	1,338	0,397	0,023
	150	7	15		8	20,390	1,602	0,457	0,020
	200	8	16		8	22,935	1,868	0,517	0,018
50	4,4	12	75	8	50,574	2,018	0,457	-0,134	
100	6	13		8	65,913	2,925	0,610	-0,196	
150	7	15		8	75,141	3,495	0,706	-0,235	
200	8	16		8	84,637	4,069	0,802	-0,273	
100	50	4,4	12	30	8	4,602	0,306	0,210	0,118
	100	5,8	14		8	5,775	0,428	0,264	0,144
	150	7	17,5		8	6,738	0,533	0,312	0,166
	200	7,5	18,5		8	7,150	0,577	0,331	0,175
	50	4,4	12	45	8	6,951	0,527	0,245	0,086
	100	5,8	14		8	8,709	0,737	0,310	0,101
	150	7	17,5		8	10,154	0,919	0,366	0,114
	200	7,5	18,5		8	10,772	0,995	0,389	0,119
	50	4,4	12	60	8	13,807	0,919	0,301	0,027
	100	5,8	14		8	17,324	1,284	0,385	0,023
	150	7	17,5		8	20,214	1,599	0,457	0,021
	200	7,5	18,5		8	21,450	1,732	0,487	0,019
50	4,4	12	75	8	50,574	2,018	0,457	-0,134	
100	5,8	14		8	63,698	2,808	0,591	-0,188	
150	7	17,5		8	74,484	3,490	0,706	-0,234	
200	7,5	18,5		8	79,098	3,776	0,754	-0,254	
120	50	4,2	13	30	8	4,406	0,289	0,202	0,115
	100	5,6	16,5		8	5,543	0,409	0,257	0,141
	150	6,8	20		8	6,507	0,514	0,304	0,163
	200	7,5	22		8	7,070	0,576	0,332	0,176
	50	4,2	13	45	8	6,656	0,496	0,236	0,084
	100	5,6	16,5		8	8,362	0,705	0,301	0,099
	150	6,8	20		8	9,807	0,887	0,357	0,112
	200	7,5	22		8	10,651	0,993	0,390	0,120
	50	4,2	13	60	8	13,218	0,866	0,290	0,028
	100	5,6	16,5		8	16,630	1,228	0,374	0,024
	150	6,8	20		8	19,520	1,543	0,446	0,022
	200	7,5	22		8	21,209	1,728	0,488	0,020
50	4,2	13	75	8	48,373	1,902	0,438	-0,126	
100	5,6	16,5		8	61,106	2,688	0,572	-0,180	
150	6,8	20		8	71,894	3,369	0,687	-0,226	
200	7,5	22		8	78,197	3,769	0,754	-0,253	

Tabla 27. Tabla referencial para cálculo en Apoyos, $f=0.60$

SUELOS ARCILLOSOS SECOS Y ARENAS SECAS $f(0,40-0,60)$										
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{ml} (mm)	α	L apoy(m)	Fab/sumFh $\geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	e-c/6 (VUELCO)	α'_y (MPa)	α''_y (MPa)	
20	50	9	16	30	8	14,601	0,712	0,389	0,202	
	100	9	16		8	14,601	0,712	0,389	0,202	
	150	9	16		8	14,601	0,712	0,389	0,202	
	200	9	16		8	14,601	0,712	0,389	0,202	
	50	9	16	45	8	21,982	1,228	0,459	0,135	
	100	9	16		8	21,982	1,228	0,459	0,135	
	150	9	16		8	21,982	1,228	0,459	0,135	
	200	9	16		8	21,982	1,228	0,459	0,135	
	50	9	16	60	8	43,803	2,135	0,576	0,015	
	100	9	16		8	43,803	2,135	0,576	0,015	
	150	9	16		8	43,803	2,135	0,576	0,015	
	200	9	16		8	43,803	2,135	0,576	0,015	
	50	9	16	75	8	161,836	4,647	0,897	-0,312	
	100	9	16		8	161,836	4,647	0,897	-0,312	
	150	9	16		8	161,836	4,647	0,897	-0,312	
	200	9	16		8	161,836	4,647	0,897	-0,312	
	40	50	5	12	30	8	8,785	0,359	0,233	0,129
		100	6,6	12		8	11,177	0,499	0,295	0,158
		150	8	14		8	13,188	0,623	0,350	0,184
		200	9	13		8	14,727	0,713	0,389	0,202
50		5	12	45	8	13,258	0,617	0,272	0,092	
100		6,6	12		8	16,845	0,861	0,346	0,109	
150		8	14		8	19,862	1,075	0,412	0,124	
200		9	13		8	22,171	1,230	0,458	0,134	
50		5	12	60	8	26,356	1,076	0,337	0,025	
100		6,6	12		8	33,530	1,498	0,432	0,021	
150		8	14		8	39,564	1,869	0,516	0,017	
200		9	13		8	44,181	2,138	0,576	0,015	
50		5	12	75	8	96,721	2,357	0,514	-0,158	
100		6,6	12		8	123,496	3,271	0,667	-0,220	
150		8	14		8	146,016	4,073	0,801	-0,274	
200		9	13		8	163,245	4,653	0,897	-0,312	
60		50	4,6	12	30	8	8,188	0,324	0,218	0,122
		100	6,2	11,5		8	10,599	0,464	0,280	0,151
		150	7,5	13,5		8	12,461	0,579	0,330	0,175
		200	8,5	14		8	13,936	0,668	0,369	0,193
	50	4,6	12	45	8	12,363	0,557	0,254	0,088	
	100	6,2	11,5		8	15,979	0,800	0,328	0,105	
	150	7,5	13,5		8	18,772	0,998	0,389	0,119	
	200	8,5	14		8	20,985	1,152	0,435	0,129	
	50	4,6	12	60	8	24,565	0,971	0,313	0,026	
	100	6,2	11,5		8	31,797	1,393	0,408	0,022	
	150	7,5	13,5		8	37,382	1,736	0,486	0,019	
	200	8,5	14		8	41,809	2,003	0,546	0,016	
	50	4,6	12	75	8	90,038	2,131	0,476	-0,142	
	100	6,2	11,5		8	117,029	3,043	0,629	-0,204	
	150	7,5	13,5		8	137,874	3,786	0,753	-0,254	
	200	8,5	14		8	154,393	4,362	0,849	-0,293	
	80	50	4,4	12	30	8	7,890	0,306	0,210	0,118
		100	6	13		8	10,239	0,446	0,272	0,147
		150	7	15		8	11,652	0,534	0,311	0,166
		200	8	16		8	13,105	0,623	0,350	0,184
50		4,4	12	45	8	11,915	0,527	0,245	0,086	
100		6	13		8	15,438	0,769	0,319	0,103	
150		7	15		8	17,558	0,920	0,366	0,114	
200		8	16		8	19,739	1,074	0,412	0,124	
50		4,4	12	60	8	23,670	0,919	0,301	0,027	
100		6	13		8	30,716	1,338	0,397	0,023	
150		7	15		8	34,955	1,602	0,457	0,020	
200		8	16		8	39,316	1,868	0,517	0,018	
50		4,4	12	75	8	86,698	2,018	0,457	-0,134	
100		6	13		8	112,993	2,925	0,610	-0,196	
150		7	15		8	128,814	3,495	0,706	-0,235	
200		8	16		8	145,091	4,069	0,802	-0,273	
100		50	4,4	12	30	8	7,890	0,306	0,210	0,118
		100	5,8	14		8	9,899	0,428	0,264	0,144
		150	7	17,5		8	11,551	0,533	0,312	0,166
		200	7,5	18,5		8	12,257	0,577	0,331	0,175
	50	4,4	12	45	8	11,915	0,527	0,245	0,086	
	100	5,8	14		8	14,930	0,737	0,310	0,101	
	150	7	17,5		8	17,407	0,919	0,366	0,114	
	200	7,5	18,5		8	18,466	0,995	0,389	0,119	
	50	4,4	12	60	8	23,670	0,919	0,301	0,027	
	100	5,8	14		8	29,698	1,284	0,385	0,023	
	150	7	17,5		8	34,653	1,599	0,457	0,021	
	200	7,5	18,5		8	36,772	1,732	0,487	0,019	
	50	4,4	12	75	8	86,698	2,018	0,457	-0,134	
	100	5,8	14		8	109,197	2,808	0,591	-0,188	
	150	7	17,5		8	127,687	3,490	0,706	-0,234	
	200	7,5	18,5		8	135,596	3,776	0,754	-0,254	
	120	50	4,2	13	30	8	7,553	0,289	0,202	0,115
		100	5,6	16,5		8	9,503	0,409	0,257	0,141
		150	6,8	20		8	11,154	0,514	0,304	0,163
		200	7,5	22		8	12,120	0,576	0,332	0,176
50		4,2	13	45	8	11,410	0,496	0,236	0,084	
100		5,6	16,5		8	14,334	0,705	0,301	0,099	
150		6,8	20		8	16,812	0,887	0,357	0,112	
200		7,5	22		8	18,260	0,993	0,390	0,120	
50		4,2	13	60	8	22,659	0,866	0,290	0,028	
100		5,6	16,5		8	28,508	1,228	0,374	0,024	
150		6,8	20		8	33,463	1,543	0,446	0,022	
200		7,5	22		8	36,359	1,728	0,488	0,020	
50		4,2	13	75	8	82,926	1,902	0,438	-0,126	
100		5,6	16,5		8	104,754	2,688	0,572	-0,180	
150		6,8	20		8	123,247	3,369	0,687	-0,226	
200		7,5	22		8	134,053	3,769	0,754	-0,253	

Tabla 28. Tabla referencial para cálculo en Apoyos, $f=0.75$

ROCA f (0.65 - 0.75)									
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{m1} (mm)	α	L apoy(m)	Fab/sumFh $\geq 1,5$ (DESLIZAMIENTO)	e-c/6 (VUELCO)	σ_y' (MPa)	σ_y'' (MPa)
20	50	9	16	30	8	18,251	0,712	0,389	0,202
	100	9	16		8	18,251	0,712	0,389	0,202
	150	9	16		8	18,251	0,712	0,389	0,202
	200	9	16		8	18,251	0,712	0,389	0,202
	50	9	16		45	8	27,477	1,228	0,459
	100	9	16	8		27,477	1,228	0,459	0,135
	150	9	16	8		27,477	1,228	0,459	0,135
	200	9	16	8		27,477	1,228	0,459	0,135
	50	9	16	60		8	54,754	2,135	0,576
	100	9	16		8	54,754	2,135	0,576	0,015
	150	9	16		8	54,754	2,135	0,576	0,015
	200	9	16		8	54,754	2,135	0,576	0,015
	50	9	16		75	8	202,295	4,647	0,897
	100	9	16	8		202,295	4,647	0,897	-0,312
	150	9	16	8		202,295	4,647	0,897	-0,312
	200	9	16	8		202,295	4,647	0,897	-0,312
	50	5	12	30		8	10,982	0,359	0,233
	100	6,6	12		8	13,971	0,499	0,295	0,158
	150	8	14		8	16,485	0,623	0,350	0,184
	200	9	13		8	18,409	0,713	0,389	0,202
50	5	12	45		8	16,573	0,617	0,272	0,092
100	6,6	12		8	21,057	0,861	0,346	0,109	
150	8	14		8	24,828	1,075	0,412	0,124	
200	9	13		8	27,713	1,230	0,458	0,134	
50	5	12		60	8	32,945	1,076	0,337	0,025
100	6,6	12	8		41,912	1,498	0,432	0,021	
150	8	14	8		49,455	1,869	0,516	0,017	
200	9	13	8		55,226	2,138	0,576	0,015	
50	5	12	75		8	120,902	2,357	0,514	-0,158
100	6,6	12		8	154,370	3,271	0,667	-0,220	
150	8	14		8	182,520	4,073	0,801	-0,274	
200	9	13		8	204,056	4,653	0,897	-0,312	
50	4,6	12		30	8	10,235	0,324	0,218	0,122
100	6,2	11,5	8		13,249	0,464	0,280	0,151	
150	7,5	13,5	8		15,576	0,579	0,330	0,175	
200	8,5	14	8		17,420	0,668	0,369	0,193	
50	4,6	12	45		8	15,453	0,557	0,254	0,088
100	6,2	11,5		8	19,974	0,800	0,328	0,105	
150	7,5	13,5		8	23,464	0,998	0,389	0,119	
200	8,5	14		8	26,231	1,152	0,435	0,129	
50	4,6	12		60	8	30,706	0,971	0,313	0,026
100	6,2	11,5	8		39,746	1,393	0,408	0,022	
150	7,5	13,5	8		46,728	1,736	0,486	0,019	
200	8,5	14	8		52,261	2,003	0,546	0,016	
50	4,6	12	75		8	112,547	2,131	0,476	-0,142
100	6,2	11,5		8	146,286	3,043	0,629	-0,204	
150	7,5	13,5		8	172,342	3,786	0,753	-0,254	
200	8,5	14		8	192,991	4,362	0,849	-0,293	
50	4,4	12		30	8	9,862	0,306	0,210	0,118
100	6	13	8		12,798	0,446	0,272	0,147	
150	7	15	8		14,564	0,534	0,311	0,166	
200	8	16	8		16,382	0,623	0,350	0,184	
50	4,4	12	45		8	14,894	0,527	0,245	0,086
100	6	13		8	19,298	0,769	0,319	0,103	
150	7	15		8	21,947	0,920	0,366	0,114	
200	8	16		8	24,673	1,074	0,412	0,124	
50	4,4	12		60	8	29,587	0,919	0,301	0,027
100	6	13	8		38,395	1,338	0,397	0,023	
150	7	15	8		43,693	1,602	0,457	0,020	
200	8	16	8		49,145	1,868	0,517	0,018	
50	4,4	12	75		8	108,372	2,018	0,457	-0,134
100	6	13		8	141,241	2,925	0,610	-0,196	
150	7	15		8	161,017	3,495	0,706	-0,235	
200	8	16		8	181,364	4,069	0,802	-0,273	
50	4,4	12		30	8	9,862	0,306	0,210	0,118
100	5,8	14	8		12,374	0,428	0,264	0,144	
150	7	17,5	8		14,439	0,533	0,312	0,166	
200	7,5	18,5	8		15,322	0,577	0,331	0,175	
50	4,4	12	45		8	14,894	0,527	0,245	0,086
100	5,8	14		8	18,662	0,737	0,310	0,101	
150	7	17,5		8	21,759	0,919	0,366	0,114	
200	7,5	18,5		8	23,083	0,995	0,389	0,119	
50	4,4	12		60	8	29,587	0,919	0,301	0,027
100	5,8	14	8		37,123	1,284	0,385	0,023	
150	7	17,5	8		43,316	1,599	0,457	0,021	
200	7,5	18,5	8		45,965	1,732	0,487	0,019	
50	4,4	12	75		8	108,372	2,018	0,457	-0,134
100	5,8	14		8	136,496	2,808	0,591	-0,188	
150	7	17,5		8	159,609	3,490	0,706	-0,234	
200	7,5	18,5		8	169,495	3,776	0,754	-0,254	
50	4,2	13		30	8	9,441	0,289	0,202	0,115
100	5,6	16,5	8		11,878	0,409	0,257	0,141	
150	6,8	20	8		13,943	0,514	0,304	0,163	
200	7,5	22	8		15,149	0,576	0,332	0,176	
50	4,2	13	45		8	14,262	0,496	0,236	0,084
100	5,6	16,5		8	17,918	0,705	0,301	0,099	
150	6,8	20		8	21,015	0,887	0,357	0,112	
200	7,5	22		8	22,825	0,993	0,390	0,120	
50	4,2	13		60	8	28,324	0,866	0,290	0,028
100	5,6	16,5	8		35,635	1,228	0,374	0,024	
150	6,8	20	8		41,829	1,543	0,446	0,022	
200	7,5	22	8		45,448	1,728	0,488	0,020	
50	4,2	13	75		8	103,657	1,902	0,438	-0,126
100	5,6	16,5		8	130,942	2,688	0,572	-0,180	
150	6,8	20		8	154,059	3,369	0,687	-0,226	
200	7,5	22		8	167,566	3,769	0,754	-0,253	

Tabla 29 Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.2$ y $L=100$ metros

SUELOS ARCILLOSOS HUMEDOS (0,15-0,20)										
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{mE} (mm)	α	Ls1 (m)	FSD $\geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	e-c/3 (VUELCO)	σ_v' (MPa)	σ_v'' (MPa)	
L=100										
20	50	9	16	30	100	6,251	0,576	0,809	1,046	
	100	9	16		100	6,247	0,576	0,809	1,047	
	150	9	16		100	6,240	0,577	0,809	1,047	
	200	9	16		100	6,231	0,578	0,809	1,047	
	50	9	16	45	100	3,327	1,082	0,697	1,138	
	100	9	16		100	3,324	1,083	0,697	1,139	
	150	9	16		100	3,320	1,084	0,697	1,139	
	200	9	16		100	3,314	1,086	0,697	1,140	
	50	9	16	60	100	2,335	1,542	0,592	1,208	
	100	9	16		100	2,333	1,543	0,591	1,209	
	150	9	16		100	2,329	1,545	0,591	1,209	
	200	9	16		100	2,325	1,549	0,591	1,210	
50	9	16	75	100	1,888	1,907	0,505	1,247		
100	9	16		100	1,886	1,909	0,504	1,248		
150	9	16		100	1,882	1,913	0,504	1,249		
200	9	16		100	1,877	1,918	0,503	1,250		
40	50	5	12	30	100	3,678	0,544	0,440	0,685	
	100	6,6	12		100	4,668	0,566	0,587	0,830	
	150	8	14		100	5,523	0,579	0,716	0,959	
	200	9	13		100	6,151	0,585	0,808	1,050	
	50	5	12	45	100	1,934	1,034	0,325	0,783	
	100	6,6	12		100	2,469	1,069	0,473	0,926	
	150	8	14		100	2,929	1,093	0,602	1,055	
	200	9	13		100	3,270	1,101	0,695	1,145	
	50	5	12	60	100	1,330	1,504	0,214	0,860	
	100	6,6	12		100	1,715	1,540	0,364	1,001	
	150	8	14		100	2,042	1,567	0,494	1,130	
	200	9	13		100	2,288	1,573	0,587	1,218	
50	5	12	75	100	1,045	1,914	0,120	0,907		
100	6,6	12		100	1,365	1,934	0,273	1,045		
150	8	14		100	1,635	1,957	0,403	1,174		
200	9	13		100	1,842	1,954	0,497	1,261		
60	50	4,6	12	30	100	3,379	0,545	0,403	0,653	
	100	6,2	11,5		100	4,352	0,570	0,550	0,798	
	150	7,5	13,5		100	5,130	0,585	0,670	0,918	
	200	8,5	14		100	5,734	0,593	0,762	1,009	
	50	4,6	12	45	100	1,771	1,039	0,285	0,756	
	100	6,2	11,5		100	2,296	1,080	0,434	0,898	
	150	7,5	13,5		100	2,712	1,106	0,554	1,018	
	200	8,5	14		100	3,037	1,120	0,646	1,109	
	50	4,6	12	60	100	1,210	1,520	0,171	0,839	
	100	6,2	11,5		100	1,586	1,564	0,322	0,977	
	150	7,5	13,5		100	1,881	1,595	0,442	1,097	
	200	8,5	14		100	2,112	1,610	0,535	1,187	
50	4,6	12	75	100	0,943	1,952	0,073	0,891		
100	6,2	11,5		100	1,253	1,979	0,227	1,026		
150	7,5	13,5		100	1,495	2,006	0,347	1,146		
200	8,5	14		100	1,686	2,016	0,441	1,236		
80	50	4,4	12	30	100	3,211	0,548	0,385	0,640	
	100	6	13		100	4,157	0,577	0,532	0,785	
	150	7	15		100	4,737	0,591	0,624	0,878	
	200	8	16		100	5,326	0,601	0,716	0,970	
	50	4,4	12	45	100	1,679	1,048	0,265	0,747	
	100	6	13		100	2,185	1,098	0,413	0,890	
	150	7	15		100	2,494	1,123	0,505	0,983	
	200	8	16		100	2,809	1,139	0,598	1,074	
	50	4,4	12	60	100	1,143	1,540	0,147	0,834	
	100	6	13		100	1,501	1,598	0,297	0,975	
	150	7	15		100	1,718	1,620	0,389	1,068	
	200	8	16		100	1,941	1,649	0,482	1,159	
50	4,4	12	75	100	0,884	1,990	0,045	0,892		
100	6	13		100	1,178	2,038	0,197	1,030		
150	7	15		100	1,354	2,068	0,289	1,123		
200	8	16		100	1,536	2,083	0,382	1,213		
100	50	4,4	12	30	100	3,168	0,556	0,384	0,644	
	100	5,8	14		100	3,972	0,584	0,513	0,772	
	150	7	17,5		100	4,652	0,602	0,624	0,884	
	200	7,5	18,5		100	4,930	0,609	0,671	0,930	
	50	4,4	12	45	100	1,655	1,063	0,263	0,755	
	100	5,8	14		100	2,082	1,114	0,392	0,882	
	150	7	17,5		100	2,441	1,147	0,503	0,994	
	200	7,5	18,5		100	2,588	1,159	0,549	1,040	
	50	4,4	12	60	100	1,124	1,566	0,142	0,846	
	100	5,8	14		100	1,424	1,630	0,273	0,973	
	150	7	17,5		100	1,674	1,673	0,383	1,085	
	200	7,5	18,5		100	1,777	1,689	0,429	1,132	
50	4,4	12	75	100	0,866	2,031	0,036	0,908		
100	5,8	14		100	1,110	2,091	0,168	1,034		
150	7	17,5		100	1,311	2,135	0,278	1,146		
200	7,5	18,5		100	1,394	2,152	0,323	1,194		
120	50	4,2	13	30	100	3,005	0,559	0,366	0,632	
	100	5,6	16,5		100	3,785	0,592	0,495	0,761	
	150	6,8	20		100	4,453	0,611	0,606	0,872	
	200	7,5	22		100	4,838	0,620	0,671	0,937	
	50	4,2	13	45	100	1,566	1,073	0,242	0,747	
	100	5,6	16,5		100	1,977	1,133	0,371	0,876	
	150	6,8	20		100	2,328	1,168	0,482	0,987	
	200	7,5	22		100	2,530	1,186	0,547	1,052	
	50	4,2	13	60	100	1,058	1,588	0,117	0,845	
	100	5,6	16,5		100	1,344	1,666	0,247	0,973	
	150	6,8	20		100	1,588	1,713	0,358	1,084	
	200	7,5	22		100	1,729	1,735	0,422	1,150	
50	4,2	13	75	100	0,810	2,073	0,006	0,914		
100	5,6	16,5		100	1,040	2,154	0,136	1,042		
150	6,8	20		100	1,236	2,202	0,247	1,153		
200	7,5	22		100	1,348	2,226	0,311	1,218		

Tabla 30. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.2$ y $L=500$ metros

SUELOS ARCILLOSOS HUMEDOS (0,15-0,20)									
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{mi} (mm)	α	Ls1 (m)	FSD $\geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	e<C/3 (VUELCO)	σ_v' (MPa)	σ_v'' (MPa)
L=500									
20	50	9	16	30	500	1,843	1,953	0,721	1,826
	100	9	16		500	1,843	1,953	0,721	1,827
	150	9	16		500	1,843	1,954	0,721	1,827
	200	9	16		500	1,842	1,954	0,721	1,827
	50	9	16	45	500	0,939	3,835	0,179	2,249
	100	9	16		500	0,939	3,835	0,179	2,250
	150	9	16		500	0,938	3,836	0,179	2,250
	200	9	16		500	0,938	3,837	0,179	2,251
	50	9	16	60	500	0,623	5,782	-0,319	2,556
	100	9	16		500	0,623	5,783	-0,319	2,556
	150	9	16		500	0,622	5,783	-0,319	2,557
	200	9	16		500	0,622	5,785	-0,320	2,558
	50	9	16	75	500	0,465	7,741	-0,716	2,704
	100	9	16		500	0,465	7,742	-0,716	2,704
	150	9	16		500	0,465	7,744	-0,717	2,705
	200	9	16		500	0,465	7,746	-0,718	2,707
40	50	5	12	30	500	1,311	1,526	0,355	1,466
	100	6,6	12		500	1,519	1,738	0,499	1,610
	150	8	14		500	1,705	1,877	0,628	1,739
	200	9	13		500	1,835	1,961	0,719	1,829
	50	5	12	45	500	0,654	3,060	-0,191	1,897
	100	6,6	12		500	0,766	3,447	-0,044	2,038
	150	8	14		500	0,865	3,699	0,085	2,166
	200	9	13		500	0,936	3,847	0,176	2,255
	50	5	12	60	500	0,417	4,796	-0,696	2,213
	100	6,6	12		500	0,498	5,299	-0,546	2,349
	150	8	14		500	0,570	5,617	-0,417	2,477
	200	9	13		500	0,621	5,797	-0,323	2,564
	50	5	12	75	500	0,292	6,848	-1,103	2,371
	100	6,6	12		500	0,360	7,325	-0,948	2,503
	150	8	14		500	0,420	7,610	-0,818	2,630
	200	9	13		500	0,464	7,761	-0,722	2,714
60	50	4,6	12	30	500	1,257	1,464	0,319	1,435
	100	6,2	11,5		500	1,463	1,695	0,462	1,578
	150	7,5	13,5		500	1,635	1,835	0,582	1,698
	200	8,5	14		500	1,766	1,925	0,674	1,789
	50	4,6	12	45	500	0,625	2,944	-0,230	1,871
	100	6,2	11,5		500	0,736	3,369	-0,083	2,009
	150	7,5	13,5		500	0,828	3,623	0,037	2,129
	200	8,5	14		500	0,898	3,784	0,129	2,219
	50	4,6	12	60	500	0,397	4,640	-0,739	2,193
	100	6,2	11,5		500	0,477	5,199	-0,588	2,326
	150	7,5	13,5		500	0,543	5,526	-0,468	2,445
	200	8,5	14		500	0,594	5,726	-0,375	2,534
	50	4,6	12	75	500	0,275	6,691	-1,151	2,357
	100	6,2	11,5		500	0,343	7,238	-0,994	2,484
	150	7,5	13,5		500	0,398	7,539	-0,874	2,603
	200	8,5	14		500	0,441	7,716	-0,779	2,691
80	50	4,4	12	30	500	1,230	1,431	0,301	1,422
	100	6	13		500	1,436	1,671	0,445	1,566
	150	7	15		500	1,568	1,786	0,538	1,658
	200	8	16		500	1,698	1,884	0,629	1,750
	50	4,4	12	45	500	0,611	2,883	-0,250	1,862
	100	6	13		500	0,721	3,326	-0,103	2,003
	150	7	15		500	0,792	3,537	-0,011	2,096
	200	8	16		500	0,862	3,714	0,081	2,186
	50	4,4	12	60	500	0,386	4,555	-0,763	2,189
	100	6	13		500	0,466	5,147	-0,613	2,326
	150	7	15		500	0,516	5,421	-0,521	2,419
	200	8	16		500	0,567	5,646	-0,428	2,508
	50	4,4	12	75	500	0,267	6,602	-1,180	2,359
	100	6	13		500	0,334	7,196	-1,025	2,492
	150	7	15		500	0,376	7,456	-0,933	2,584
	200	8	16		500	0,418	7,661	-0,839	2,673
100	50	4,4	12	30	500	1,228	1,434	0,301	1,426
	100	5,8	14		500	1,409	1,647	0,428	1,554
	150	7	17,5		500	1,567	1,787	0,540	1,665
	200	7,5	18,5		500	1,632	1,838	0,586	1,712
	50	4,4	12	45	500	0,610	2,885	-0,252	1,870
	100	5,8	14		500	0,707	3,282	-0,123	1,996
	150	7	17,5		500	0,791	3,542	-0,012	2,108
	200	7,5	18,5		500	0,825	3,635	0,033	2,155
	50	4,4	12	60	500	0,386	4,558	-0,768	2,201
	100	5,8	14		500	0,456	5,092	-0,638	2,325
	150	7	17,5		500	0,516	5,432	-0,527	2,438
	200	7,5	18,5		500	0,540	5,552	-0,481	2,485
	50	4,4	12	75	500	0,267	6,603	-1,188	2,376
	100	5,8	14		500	0,325	7,147	-1,056	2,497
	150	7	17,5		500	0,374	7,477	-0,946	2,611
	200	7,5	18,5		500	0,395	7,592	-0,900	2,658
120	50	4,2	13	30	500	1,202	1,397	0,284	1,415
	100	5,6	16,5		500	1,384	1,618	0,413	1,543
	150	6,8	20		500	1,541	1,765	0,524	1,654
	200	7,5	22		500	1,632	1,838	0,588	1,719
	50	4,2	13	45	500	0,596	2,817	-0,272	1,865
	100	5,6	16,5		500	0,693	3,233	-0,143	1,993
	150	6,8	20		500	0,776	3,506	-0,032	2,103
	200	7,5	22		500	0,824	3,640	0,032	2,169
	50	4,2	13	60	500	0,376	4,463	-0,793	2,203
	100	5,6	16,5		500	0,445	5,029	-0,664	2,330
	150	6,8	20		500	0,505	5,390	-0,553	2,441
	200	7,5	22		500	0,539	5,565	-0,488	2,507
	50	4,2	13	75	500	0,258	6,500	-1,220	2,385
	100	5,6	16,5		500	0,316	7,092	-1,090	2,511
	150	6,8	20		500	0,365	7,449	-0,979	2,622
	200	7,5	22		500	0,394	7,618	-0,915	2,688

Tabla 31. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.2$ y $L=1000$ metros

SUELOS ARCILLOSOS HUMEDOS (0,15-0,20)										
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{mi} (mm)	α	Ls1 (m)	FSD $\geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	e<C/3 (VUELCO)	σ_v' (MPa)	σ_v'' (MPa)	
L=1000 m										
20	50	9	16	30	1000	1,246	2,889	0,611	2,801	
	100	9	16		1000	1,246	2,889	0,611	2,801	
	150	9	16		1000	1,246	2,889	0,611	2,802	
	200	9	16		1000	1,246	2,889	0,611	2,802	
	50	9	16		1000	0,618	5,827	-0,467	3,638	
	100	9	16	45	1000	0,618	5,827	-0,468	3,639	
	150	9	16		1000	0,618	5,827	-0,468	3,639	
	200	9	16		1000	0,618	5,827	-0,468	3,640	
	50	9	16		1000	0,391	9,208	-1,456	4,241	
	100	9	16		60	1000	0,391	9,208	-1,457	4,241
	150	9	16	1000		0,391	9,208	-1,457	4,242	
	200	9	16	1000		0,391	9,208	-1,457	4,243	
	50	9	16	1000		0,270	13,336	-2,242	4,525	
	100	9	16	75		1000	0,270	13,336	-2,242	4,525
	150	9	16		1000	0,270	13,336	-2,242	4,527	
200	9	16	1000		0,270	13,336	-2,243	4,528		
40	50	5	12		30	1000	0,981	2,039	0,248	2,442
	100	6,6	12			1000	1,084	2,436	0,389	2,585
	150	8	14	1000		1,177	2,718	0,518	2,714	
	200	9	13	1000		1,242	2,899	0,607	2,804	
	50	5	12	1000		0,476	4,204	-0,836	3,289	
	100	6,6	12	45	1000	0,531	4,968	-0,691	3,427	
	150	8	14		1000	0,581	5,503	-0,562	3,555	
	200	9	13		1000	0,617	5,839	-0,472	3,642	
	50	5	12		1000	0,288	6,933	-1,834	3,903	
	100	6,6	12		60	1000	0,329	8,028	-1,684	4,034
	150	8	14	1000		0,365	8,769	-1,554	4,162	
	200	9	13	1000		0,390	9,220	-1,461	4,245	
	50	5	12	1000		0,184	10,888	-2,632	4,200	
	100	6,6	12	75		1000	0,218	12,124	-2,474	4,324
	150	8	14		1000	0,248	12,896	-2,343	4,451	
200	9	13	1000		0,270	13,346	-2,246	4,531		
60	50	4,6	12		30	1000	0,955	1,926	0,214	2,412
	100	6,2	11,5			1000	1,056	2,348	0,353	2,553
	150	7,5	13,5	1000		1,143	2,624	0,472	2,673	
	200	8,5	14	1000		1,209	2,812	0,563	2,764	
	50	4,6	12	1000		0,462	3,982	-0,874	3,264	
	100	6,2	11,5	45	1000	0,517	4,796	-0,730	3,399	
	150	7,5	13,5		1000	0,563	5,324	-0,610	3,518	
	200	8,5	14		1000	0,599	5,677	-0,519	3,608	
	50	4,6	12		1000	0,279	6,600	-1,877	3,886	
	100	6,2	11,5		60	1000	0,319	7,783	-1,726	4,011
	150	7,5	13,5	1000		0,352	8,521	-1,606	4,130	
	200	8,5	14	1000		0,378	9,003	-1,513	4,218	
	50	4,6	12	1000		0,176	10,477	-2,681	4,189	
	100	6,2	11,5	75		1000	0,209	11,849	-2,520	4,306
	150	7,5	13,5		1000	0,237	12,637	-2,399	4,424	
200	8,5	14	1000		0,259	13,129	-2,304	4,510		
80	50	4,4	12		30	1000	0,943	1,867	0,196	2,399
	100	6	13			1000	1,045	2,297	0,338	2,542
	150	7	15	1000		1,112	2,518	0,430	2,634	
	200	8	16	1000		1,178	2,717	0,520	2,725	
	50	4,4	12	1000		0,455	3,865	-0,894	3,256	
	100	6	13	45	1000	0,511	4,699	-0,749	3,394	
	150	7	15		1000	0,546	5,125	-0,657	3,487	
	200	8	16		1000	0,582	5,501	-0,565	3,576	
	50	4,4	12		1000	0,274	6,422	-1,901	3,883	
	100	6	13		60	1000	0,314	7,641	-1,751	4,015
	150	7	15	1000		0,340	8,243	-1,659	4,107	
	200	8	16	1000		0,365	8,764	-1,566	4,195	
	50	4,4	12	1000		0,172	10,243	-2,710	4,193	
	100	6	13	75		1000	0,206	11,679	-2,553	4,318
	150	7	15		1000	0,227	12,335	-2,461	4,410	
200	8	16	1000		0,248	12,882	-2,366	4,497		
100	50	4,4	12		30	1000	0,942	1,868	0,196	2,403
	100	5,8	14			1000	1,033	2,246	0,322	2,530
	150	7	17,5	1000		1,114	2,513	0,434	2,642	
	200	7,5	18,5	1000		1,147	2,615	0,479	2,688	
	50	4,4	12	1000		0,455	3,864	-0,896	3,264	
	100	5,8	14	45	1000	0,504	4,600	-0,768	3,389	
	150	7	17,5		1000	0,547	5,117	-0,657	3,501	
	200	7,5	18,5		1000	0,565	5,311	-0,611	3,548	
	50	4,4	12		1000	0,274	6,417	-1,906	3,895	
	100	5,8	14		60	1000	0,309	7,497	-1,776	4,016
	150	7	17,5	1000		0,340	8,230	-1,665	4,130	
	200	7,5	18,5	1000		0,353	8,500	-1,619	4,176	
	50	4,4	12	1000		0,172	10,224	-2,719	4,210	
	100	5,8	14	75		1000	0,202	11,503	-2,585	4,327
	150	7	17,5		1000	0,227	12,312	-2,475	4,442	
200	7,5	18,5	1000		0,238	12,600	-2,430	4,489		
120	50	4,2	13		30	1000	0,931	1,804	0,182	2,393
	100	5,6	16,5			1000	1,024	2,188	0,309	2,521
	150	6,8	20	1000		1,104	2,464	0,420	2,632	
	200	7,5	22	1000		1,151	2,607	0,485	2,697	
	50	4,2	13	1000		0,450	3,737	-0,914	3,261	
	100	5,6	16,5	45	1000	0,499	4,491	-0,786	3,388	
	150	6,8	20		1000	0,541	5,026	-0,675	3,499	
	200	7,5	22		1000	0,566	5,301	-0,611	3,564	
	50	4,2	13		1000	0,270	6,220	-1,932	3,900	
	100	5,6	16,5		60	1000	0,305	7,336	-1,802	4,026
	150	6,8	20	1000		0,336	8,100	-1,691	4,137	
	200	7,5	22	1000		0,354	8,486	-1,627	4,202	
	50	4,2	13	1000		0,169	9,957	-2,753	4,224	
	100	5,6	16,5	75		1000	0,198	11,299	-2,621	4,348
	150	6,8	20		1000	0,224	12,160	-2,510	4,459	
200	7,5	22	1000		0,239	12,577	-2,446	4,525		

Tabla 32. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.35$ y $L=100$ metros

SUELOS LIMOS ARENOSOS (0,35)										
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{mi} (mm)	α	Ls1 (m)	FSD $\geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	e<C/3 (VUELCO)	σ_v' (MPa)	σ_v'' (MPa)	
L=100										
20	50	9	16	30	100	10,939	0,576	0,809	1,046	
	100	9	16		100	10,932	0,576	0,809	1,047	
	150	9	16		100	10,920	0,577	0,809	1,047	
	200	9	16		100	10,904	0,578	0,809	1,047	
	50	9	16	45	100	5,821	1,082	0,697	1,138	
	100	9	16		100	5,817	1,083	0,697	1,139	
	150	9	16		100	5,810	1,084	0,697	1,139	
	200	9	16		100	5,800	1,086	0,697	1,140	
	50	9	16	60	100	4,086	1,542	0,592	1,208	
	100	9	16		100	4,082	1,543	0,591	1,209	
	150	9	16		100	4,076	1,545	0,591	1,209	
	200	9	16		100	4,068	1,549	0,591	1,210	
50	9	16	75	100	3,303	1,907	0,505	1,247		
100	9	16		100	3,300	1,909	0,504	1,248		
150	9	16		100	3,294	1,913	0,504	1,249		
200	9	16		100	3,285	1,918	0,503	1,250		
40	50	5	12	30	100	6,436	0,544	0,440	0,685	
	100	6,6	12		100	8,169	0,566	0,587	0,830	
	150	8	14		100	9,666	0,579	0,716	0,959	
	200	9	13		100	10,763	0,585	0,808	1,050	
	50	5	12	45	100	3,384	1,034	0,325	0,783	
	100	6,6	12		100	4,322	1,069	0,473	0,926	
	150	8	14		100	5,125	1,093	0,602	1,055	
	200	9	13		100	5,723	1,101	0,695	1,145	
	50	5	12	60	100	2,328	1,504	0,214	0,860	
	100	6,6	12		100	3,000	1,540	0,364	1,001	
	150	8	14		100	3,573	1,567	0,494	1,130	
	200	9	13		100	4,005	1,573	0,587	1,218	
50	5	12	75	100	1,829	1,914	0,120	0,907		
100	6,6	12		100	2,389	1,934	0,273	1,045		
150	8	14		100	2,862	1,957	0,403	1,174		
200	9	13		100	3,223	1,954	0,497	1,261		
60	50	4,6	12	30	100	5,913	0,545	0,403	0,653	
	100	6,2	11,5		100	7,617	0,570	0,550	0,798	
	150	7,5	13,5		100	8,977	0,585	0,670	0,918	
	200	8,5	14		100	10,035	0,593	0,762	1,009	
	50	4,6	12	45	100	3,099	1,039	0,285	0,756	
	100	6,2	11,5		100	4,018	1,080	0,434	0,898	
	150	7,5	13,5		100	4,746	1,106	0,554	1,018	
	200	8,5	14		100	5,315	1,120	0,646	1,109	
	50	4,6	12	60	100	2,118	1,520	0,171	0,839	
	100	6,2	11,5		100	2,776	1,564	0,322	0,977	
	150	7,5	13,5		100	3,291	1,595	0,442	1,097	
	200	8,5	14		100	3,697	1,610	0,535	1,187	
50	4,6	12	75	100	1,649	1,952	0,073	0,891		
100	6,2	11,5		100	2,193	1,979	0,227	1,026		
150	7,5	13,5		100	2,617	2,006	0,347	1,146		
200	8,5	14		100	2,951	2,016	0,441	1,236		
80	50	4,4	12	30	100	5,620	0,548	0,385	0,640	
	100	6	13		100	7,274	0,577	0,532	0,785	
	150	7	15		100	8,290	0,591	0,624	0,878	
	200	8	16		100	9,321	0,601	0,716	0,970	
	50	4,4	12	45	100	2,939	1,048	0,265	0,747	
	100	6	13		100	3,825	1,098	0,413	0,890	
	150	7	15		100	4,364	1,123	0,505	0,983	
	200	8	16		100	4,915	1,139	0,598	1,074	
	50	4,4	12	60	100	2,000	1,540	0,147	0,834	
	100	6	13		100	2,627	1,598	0,297	0,975	
	150	7	15		100	3,007	1,630	0,389	1,068	
	200	8	16		100	3,397	1,649	0,482	1,159	
50	4,4	12	75	100	1,548	1,990	0,045	0,892		
100	6	13		100	2,061	2,038	0,197	1,030		
150	7	15		100	2,370	2,068	0,289	1,123		
200	8	16		100	2,688	2,083	0,382	1,213		
100	50	4,4	12	30	100	5,544	0,556	0,384	0,644	
	100	5,8	14		100	6,950	0,584	0,513	0,772	
	150	7	17,5		100	8,140	0,602	0,624	0,884	
	200	7,5	18,5		100	8,628	0,609	0,671	0,930	
	50	4,4	12	45	100	2,897	1,063	0,263	0,755	
	100	5,8	14		100	3,644	1,114	0,392	0,882	
	150	7	17,5		100	4,272	1,147	0,503	0,994	
	200	7,5	18,5		100	4,529	1,159	0,549	1,040	
	50	4,4	12	60	100	1,967	1,566	0,142	0,846	
	100	5,8	14		100	2,491	1,630	0,273	0,973	
	150	7	17,5		100	2,929	1,673	0,383	1,085	
	200	7,5	18,5		100	3,109	1,689	0,429	1,132	
50	4,4	12	75	100	1,516	2,031	0,036	0,908		
100	5,8	14		100	1,942	2,091	0,168	1,034		
150	7	17,5		100	2,295	2,135	0,278	1,146		
200	7,5	18,5		100	2,439	2,152	0,323	1,194		
120	50	4,2	13	30	100	5,259	0,559	0,366	0,632	
	100	5,6	16,5		100	6,624	0,592	0,495	0,761	
	150	6,8	20		100	7,792	0,611	0,606	0,872	
	200	7,5	22		100	8,466	0,620	0,671	0,937	
	50	4,2	13	45	100	2,740	1,073	0,242	0,747	
	100	5,6	16,5		100	3,460	1,133	0,371	0,876	
	150	6,8	20		100	4,074	1,168	0,482	0,987	
	200	7,5	22		100	4,428	1,186	0,547	1,052	
	50	4,2	13	60	100	1,852	1,588	0,117	0,845	
	100	5,6	16,5		100	2,352	1,666	0,247	0,973	
	150	6,8	20		100	2,779	1,713	0,358	1,084	
	200	7,5	22		100	3,025	1,735	0,422	1,150	
50	4,2	13	75	100	1,418	2,073	0,006	0,914		
100	5,6	16,5		100	1,820	2,154	0,136	1,042		
150	6,8	20		100	2,162	2,202	0,247	1,153		
200	7,5	22		100	2,359	2,226	0,311	1,218		

Tabla 33. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.35$ y $L=500$ metros

SUELOS LIMOS ARENOSOS (0,35)									
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{ml} (mm)	α	Ls1 (m)	FSD $\geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	e<C/3 (VUELCO)	σ_v' (MPa)	σ_v'' (MPa)
L=500									
20	50	9	16	30	500	3,226	1,953	0,721	1,826
	100	9	16		500	3,225	1,953	0,721	1,827
	150	9	16		500	3,225	1,954	0,721	1,827
	200	9	16		500	3,224	1,954	0,721	1,827
	50	9	16	45	500	1,643	3,835	0,179	2,249
	100	9	16		500	1,643	3,835	0,179	2,250
	150	9	16		500	1,642	3,836	0,179	2,250
	200	9	16		500	1,642	3,837	0,179	2,251
	50	9	16	60	500	1,090	5,782	-0,319	2,556
	100	9	16		500	1,089	5,783	-0,319	2,556
	150	9	16		500	1,089	5,783	-0,319	2,557
	200	9	16		500	1,089	5,785	-0,320	2,558
50	9	16	75	500	0,814	7,741	-0,716	2,704	
100	9	16		500	0,814	7,742	-0,716	2,704	
150	9	16		500	0,814	7,744	-0,717	2,705	
200	9	16		500	0,813	7,746	-0,718	2,707	
40	50	5	12	30	500	2,294	1,526	0,355	1,466
	100	6,6	12		500	2,658	1,738	0,499	1,610
	150	8	14		500	2,983	1,877	0,628	1,739
	200	9	13		500	3,212	1,961	0,719	1,829
	50	5	12	45	500	1,144	3,060	-0,191	1,897
	100	6,6	12		500	1,340	3,447	-0,044	2,038
	150	8	14		500	1,514	3,699	0,085	2,166
	200	9	13		500	1,638	3,847	0,176	2,255
	50	5	12	60	500	0,730	4,796	-0,696	2,213
	100	6,6	12		500	0,872	5,299	-0,546	2,349
	150	8	14		500	0,997	5,617	-0,417	2,477
	200	9	13		500	1,087	5,797	-0,323	2,564
50	5	12	75	500	0,511	6,848	-1,103	2,371	
100	6,6	12		500	0,631	7,325	-0,948	2,503	
150	8	14		500	0,736	7,610	-0,818	2,630	
200	9	13		500	0,812	7,761	-0,722	2,714	
60	50	4,6	12	30	500	2,200	1,464	0,319	1,435
	100	6,2	11,5		500	2,560	1,695	0,462	1,578
	150	7,5	13,5		500	2,861	1,835	0,582	1,698
	200	8,5	14		500	3,091	1,925	0,674	1,789
	50	4,6	12	45	500	1,094	2,944	-0,230	1,871
	100	6,2	11,5		500	1,288	3,369	-0,083	2,009
	150	7,5	13,5		500	1,449	3,623	0,037	2,129
	200	8,5	14		500	1,572	3,784	0,129	2,219
	50	4,6	12	60	500	0,694	4,640	-0,739	2,193
	100	6,2	11,5		500	0,835	5,199	-0,588	2,326
	150	7,5	13,5		500	0,950	5,526	-0,468	2,445
	200	8,5	14		500	1,039	5,726	-0,375	2,534
50	4,6	12	75	500	0,481	6,691	-1,151	2,357	
100	6,2	11,5		500	0,600	7,238	-0,994	2,484	
150	7,5	13,5		500	0,696	7,539	-0,874	2,603	
200	8,5	14		500	0,771	7,716	-0,779	2,691	
80	50	4,4	12	30	500	2,152	1,431	0,301	1,422
	100	6	13		500	2,513	1,671	0,445	1,566
	150	7	15		500	2,743	1,786	0,538	1,658
	200	8	16		500	2,972	1,884	0,629	1,750
	50	4,4	12	45	500	1,068	2,883	-0,250	1,862
	100	6	13		500	1,263	3,326	-0,103	2,003
	150	7	15		500	1,385	3,537	-0,011	2,096
	200	8	16		500	1,508	3,714	0,081	2,186
	50	4,4	12	60	500	0,676	4,555	-0,763	2,189
	100	6	13		500	0,816	5,147	-0,613	2,326
	150	7	15		500	0,904	5,421	-0,521	2,419
	200	8	16		500	0,992	5,646	-0,428	2,508
50	4,4	12	75	500	0,467	6,602	-1,180	2,359	
100	6	13		500	0,584	7,196	-1,025	2,492	
150	7	15		500	0,657	7,456	-0,933	2,584	
200	8	16		500	0,731	7,661	-0,839	2,673	
100	50	4,4	12	30	500	2,148	1,434	0,301	1,426
	100	5,8	14		500	2,466	1,647	0,428	1,554
	150	7	17,5		500	2,742	1,787	0,540	1,665
	200	7,5	18,5		500	2,856	1,838	0,586	1,712
	50	4,4	12	45	500	1,067	2,885	-0,252	1,870
	100	5,8	14		500	1,237	3,282	-0,123	1,996
	150	7	17,5		500	1,384	3,542	-0,012	2,108
	200	7,5	18,5		500	1,444	3,635	0,033	2,155
	50	4,4	12	60	500	0,676	4,558	-0,768	2,201
	100	5,8	14		500	0,797	5,092	-0,638	2,325
	150	7	17,5		500	0,902	5,432	-0,527	2,438
	200	7,5	18,5		500	0,946	5,552	-0,481	2,485
50	4,4	12	75	500	0,466	6,603	-1,188	2,376	
100	5,8	14		500	0,568	7,147	-1,056	2,497	
150	7	17,5		500	0,655	7,477	-0,946	2,611	
200	7,5	18,5		500	0,692	7,592	-0,900	2,658	
120	50	4,2	13	30	500	2,104	1,397	0,284	1,415
	100	5,6	16,5		500	2,422	1,618	0,413	1,543
	150	6,8	20		500	2,697	1,765	0,524	1,654
	200	7,5	22		500	2,856	1,838	0,588	1,719
	50	4,2	13	45	500	1,044	2,817	-0,272	1,865
	100	5,6	16,5		500	1,213	3,233	-0,143	1,993
	150	6,8	20		500	1,358	3,506	-0,032	2,103
	200	7,5	22		500	1,442	3,640	0,032	2,169
	50	4,2	13	60	500	0,659	4,463	-0,793	2,203
	100	5,6	16,5		500	0,779	5,029	-0,664	2,330
	150	6,8	20		500	0,883	5,390	-0,553	2,441
	200	7,5	22		500	0,943	5,565	-0,488	2,507
50	4,2	13	75	500	0,452	6,500	-1,220	2,385	
100	5,6	16,5		500	0,553	7,092	-1,090	2,511	
150	6,8	20		500	0,639	7,449	-0,979	2,622	
200	7,5	22		500	0,689	7,618	-0,915	2,688	

Tabla 34. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.35$ y $L=1000$ metros

SUELOS LIMOS ARENOSOS (0,35)										
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{ml} (mm)	α	Ls1 (m)	FSD $\geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	e<C/3 (VUELCO)	σ_v' (MPa)	σ_y'' (MPa)	
L=1000										
20	50	9	16	30	1000	2,181	2,889	0,611	2,801	
	100	9	16		1000	2,181	2,889	0,611	2,801	
	150	9	16		1000	2,180	2,889	0,611	2,802	
	200	9	16		1000	2,180	2,889	0,611	2,802	
	50	9	16	45	1000	1,081	5,827	-0,467	3,638	
	100	9	16		1000	1,081	5,827	-0,468	3,639	
	150	9	16		1000	1,081	5,827	-0,468	3,639	
	200	9	16		1000	1,081	5,827	-0,468	3,640	
	50	9	16	60	1000	0,684	9,208	-1,456	4,241	
	100	9	16		1000	0,684	9,208	-1,457	4,241	
	150	9	16		1000	0,684	9,208	-1,457	4,242	
	200	9	16		1000	0,684	9,208	-1,457	4,243	
50	9	16	75	1000	0,472	13,336	-2,242	4,525		
100	9	16		1000	0,472	13,336	-2,242	4,525		
150	9	16		1000	0,472	13,336	-2,242	4,527		
200	9	16		1000	0,472	13,336	-2,243	4,528		
40	50	5	12	30	1000	1,717	2,039	0,248	2,442	
	100	6,6	12		1000	1,897	2,436	0,389	2,585	
	150	8	14		1000	2,060	2,718	0,518	2,714	
	200	9	13		1000	2,173	2,899	0,607	2,804	
	50	5	12	45	1000	0,833	4,204	-0,836	3,289	
	100	6,6	12		1000	0,930	4,968	-0,691	3,427	
	150	8	14		1000	1,018	5,503	-0,562	3,555	
	200	9	13		1000	1,079	5,839	-0,472	3,642	
	50	5	12	60	1000	0,505	6,933	-1,834	3,903	
	100	6,6	12		1000	0,575	8,028	-1,684	4,034	
	150	8	14		1000	0,639	8,769	-1,554	4,162	
	200	9	13		1000	0,683	9,220	-1,461	4,245	
50	5	12	75	1000	0,321	10,888	-2,632	4,200		
100	6,6	12		1000	0,381	12,124	-2,474	4,324		
150	8	14		1000	0,434	12,896	-2,343	4,451		
200	9	13		1000	0,472	13,346	-2,246	4,531		
60	50	4,6	12	30	1000	1,672	1,926	0,214	2,412	
	100	6,2	11,5		1000	1,849	2,348	0,353	2,553	
	150	7,5	13,5		1000	2,001	2,624	0,472	2,673	
	200	8,5	14		1000	2,116	2,812	0,563	2,764	
	50	4,6	12	45	1000	0,809	3,982	-0,874	3,264	
	100	6,2	11,5		1000	0,905	4,796	-0,730	3,399	
	150	7,5	13,5		1000	0,986	5,324	-0,610	3,518	
	200	8,5	14		1000	1,048	5,677	-0,519	3,608	
	50	4,6	12	60	1000	0,488	6,600	-1,877	3,886	
	100	6,2	11,5		1000	0,558	7,783	-1,726	4,011	
	150	7,5	13,5		1000	0,616	8,521	-1,606	4,130	
	200	8,5	14		1000	0,661	9,003	-1,513	4,218	
50	4,6	12	75	1000	0,307	10,477	-2,681	4,189		
100	6,2	11,5		1000	0,366	11,849	-2,520	4,306		
150	7,5	13,5		1000	0,415	12,637	-2,399	4,424		
200	8,5	14		1000	0,453	13,129	-2,304	4,510		
80	50	4,4	12	30	1000	1,649	1,867	0,196	2,399	
	100	6	13		1000	1,829	2,297	0,338	2,542	
	150	7	15		1000	1,946	2,518	0,430	2,634	
	200	8	16		1000	2,061	2,717	0,520	2,725	
	50	4,4	12	45	1000	0,797	3,865	-0,894	3,256	
	100	6	13		1000	0,894	4,699	-0,749	3,394	
	150	7	15		1000	0,956	5,125	-0,657	3,487	
	200	8	16		1000	1,018	5,501	-0,565	3,576	
	50	4,4	12	60	1000	0,480	6,422	-1,901	3,883	
	100	6	13		1000	0,550	7,641	-1,751	4,015	
	150	7	15		1000	0,594	8,243	-1,659	4,107	
	200	8	16		1000	0,639	8,764	-1,566	4,195	
50	4,4	12	75	1000	0,301	10,243	-2,710	4,193		
100	6	13		1000	0,360	11,679	-2,553	4,318		
150	7	15		1000	0,397	12,335	-2,461	4,410		
200	8	16		1000	0,435	12,882	-2,366	4,497		
100	50	4,4	12	30	1000	1,649	1,868	0,196	2,403	
	100	5,8	14		1000	1,808	2,246	0,322	2,530	
	150	7	17,5		1000	1,950	2,513	0,434	2,642	
	200	7,5	18,5		1000	2,008	2,615	0,479	2,688	
	50	4,4	12	45	1000	0,797	3,864	-0,896	3,264	
	100	5,8	14		1000	0,883	4,600	-0,768	3,389	
	150	7	17,5		1000	0,958	5,117	-0,657	3,501	
	200	7,5	18,5		1000	0,989	5,311	-0,611	3,548	
	50	4,4	12	60	1000	0,480	6,417	-1,906	3,895	
	100	5,8	14		1000	0,542	7,497	-1,776	4,016	
	150	7	17,5		1000	0,595	8,230	-1,665	4,130	
	200	7,5	18,5		1000	0,618	8,500	-1,619	4,176	
50	4,4	12	75	1000	0,301	10,224	-2,719	4,210		
100	5,8	14		1000	0,353	11,503	-2,585	4,327		
150	7	17,5		1000	0,398	12,312	-2,475	4,442		
200	7,5	18,5		1000	0,417	12,600	-2,430	4,489		
120	50	4,2	13	30	1000	1,630	1,804	0,182	2,393	
	100	5,6	16,5		1000	1,792	2,188	0,309	2,521	
	150	6,8	20		1000	1,932	2,464	0,420	2,632	
	200	7,5	22		1000	2,014	2,607	0,485	2,697	
	50	4,2	13	45	1000	0,787	3,737	-0,914	3,261	
	100	5,6	16,5		1000	0,873	4,491	-0,786	3,388	
	150	6,8	20		1000	0,947	5,026	-0,675	3,499	
	200	7,5	22		1000	0,990	5,301	-0,611	3,564	
	50	4,2	13	60	1000	0,473	6,220	-1,932	3,900	
	100	5,6	16,5		1000	0,534	7,336	-1,802	4,026	
	150	6,8	20		1000	0,588	8,100	-1,691	4,137	
	200	7,5	22		1000	0,619	8,486	-1,627	4,202	
50	4,2	13	75	1000	0,295	9,957	-2,753	4,224		
100	5,6	16,5		1000	0,347	11,299	-2,621	4,348		
150	6,8	20		1000	0,391	12,160	-2,510	4,459		
200	7,5	22		1000	0,417	12,577	-2,446	4,525		

Tabla 35. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.60$ y $L=100$ metros

SUELOS ARCILLOSOS SECOS Y ARENAS SECAS (0,40-0,60)									
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{mi} (mm)	α	Ls1 (m)	FSD $\geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	e-c/3 (VUELCO)	α_v (MPa)	α_v'' (MPa)
L= 100m									
20	50	9	16	30	100	18,753	0,576	0,809	1,046
	100	9	16		100	18,741	0,576	0,809	1,047
	150	9	16		100	18,721	0,577	0,809	1,047
	200	9	16		100	18,693	0,578	0,809	1,047
	50	9	16		100	9,980	1,082	0,697	1,138
	100	9	16		45	100	9,972	1,083	0,697
	150	9	16	100	9,960	1,084	0,697	1,139	
	200	9	16	100	9,943	1,086	0,697	1,140	
	50	9	16	60	100	7,005	1,542	0,592	1,208
	100	9	16		100	6,999	1,543	0,591	1,209
	150	9	16		100	6,988	1,545	0,591	1,209
	200	9	16		100	6,974	1,549	0,591	1,210
	50	9	16		100	5,663	1,907	0,505	1,247
	100	9	16		75	100	5,657	1,909	0,504
	150	9	16	100	5,646	1,913	0,504	1,249	
	200	9	16	100	5,632	1,918	0,503	1,250	
40	50	5	12	30	100	11,033	0,544	0,440	0,685
	100	6,6	12		100	14,004	0,566	0,587	0,830
	150	8	14		100	16,570	0,579	0,716	0,959
	200	9	13		100	18,452	0,585	0,808	1,050
	50	5	12		100	5,802	1,034	0,325	0,783
	100	6,6	12		45	100	7,408	1,069	0,473
	150	8	14	100	8,786	1,093	0,602	1,055	
	200	9	13	100	9,810	1,101	0,695	1,145	
	50	5	12	60	100	3,991	1,504	0,214	0,860
	100	6,6	12		100	5,144	1,540	0,364	1,001
	150	8	14		100	6,126	1,567	0,494	1,130
	200	9	13		100	6,865	1,573	0,587	1,218
	50	5	12		100	3,135	1,914	0,120	0,907
	100	6,6	12		75	100	4,095	1,934	0,273
	150	8	14	100	4,906	1,957	0,403	1,174	
	200	9	13	100	5,526	1,954	0,497	1,261	
60	50	4,6	12	30	100	10,136	0,545	0,403	0,653
	100	6,2	11,5		100	13,057	0,570	0,550	0,798
	150	7,5	13,5		100	15,389	0,585	0,670	0,918
	200	8,5	14		100	17,202	0,593	0,762	1,009
	50	4,6	12		100	5,312	1,039	0,285	0,756
	100	6,2	11,5		45	100	6,889	1,080	0,434
	150	7,5	13,5	100	8,136	1,106	0,554	1,018	
	200	8,5	14	100	9,111	1,120	0,646	1,109	
	50	4,6	12	60	100	3,631	1,520	0,171	0,839
	100	6,2	11,5		100	4,758	1,564	0,322	0,977
	150	7,5	13,5		100	5,642	1,595	0,442	1,097
	200	8,5	14		100	6,337	1,610	0,535	1,187
	50	4,6	12		100	2,828	1,952	0,073	0,891
	100	6,2	11,5		75	100	3,760	1,979	0,227
	150	7,5	13,5	100	4,486	2,006	0,347	1,146	
	200	8,5	14	100	5,059	2,016	0,441	1,236	
80	50	4,4	12	30	100	9,634	0,548	0,385	0,640
	100	6	13		100	12,470	0,577	0,532	0,785
	150	7	15		100	14,211	0,591	0,624	0,878
	200	8	16		100	15,979	0,601	0,716	0,970
	50	4,4	12		100	5,038	1,048	0,265	0,747
	100	6	13		45	100	6,556	1,098	0,413
	150	7	15	100	7,481	1,123	0,505	0,983	
	200	8	16	100	8,426	1,139	0,598	1,074	
	50	4,4	12	60	100	3,429	1,540	0,147	0,834
	100	6	13		100	4,504	1,598	0,297	0,975
	150	7	15		100	5,155	1,630	0,389	1,068
	200	8	16		100	5,823	1,649	0,482	1,159
	50	4,4	12		100	2,653	1,990	0,045	0,892
	100	6	13		75	100	3,533	2,038	0,197
	150	7	15	100	4,062	2,068	0,289	1,123	
	200	8	16	100	4,608	2,083	0,382	1,213	
100	50	4,4	12	30	100	9,505	0,556	0,384	0,644
	100	5,8	14		100	11,915	0,584	0,513	0,772
	150	7	17,5		100	13,955	0,602	0,624	0,884
	200	7,5	18,5		100	14,790	0,609	0,671	0,930
	50	4,4	12		100	4,966	1,063	0,263	0,755
	100	5,8	14		45	100	6,247	1,114	0,392
	150	7	17,5	100	7,323	1,147	0,503	0,994	
	200	7,5	18,5	100	7,764	1,159	0,549	1,040	
	50	4,4	12	60	100	3,372	1,566	0,142	0,846
	100	5,8	14		100	4,271	1,630	0,273	0,973
	150	7	17,5		100	5,022	1,673	0,383	1,085
	200	7,5	18,5		100	5,330	1,689	0,429	1,132
	50	4,4	12		100	2,599	2,031	0,036	0,908
	100	5,8	14		75	100	3,329	2,091	0,168
	150	7	17,5	100	3,934	2,135	0,278	1,146	
	200	7,5	18,5	100	4,181	2,152	0,323	1,194	
120	50	4,2	13	30	100	9,016	0,559	0,366	0,632
	100	5,6	16,5		100	11,355	0,592	0,495	0,761
	150	6,8	20		100	13,358	0,611	0,606	0,872
	200	7,5	22		100	14,513	0,620	0,671	0,937
	50	4,2	13		100	4,698	1,073	0,242	0,747
	100	5,6	16,5		45	100	5,931	1,133	0,371
	150	6,8	20	100	6,984	1,168	0,482	0,987	
	200	7,5	22	100	7,591	1,186	0,547	1,052	
	50	4,2	13	60	100	3,175	1,588	0,117	0,845
	100	5,6	16,5		100	4,033	1,666	0,247	0,973
	150	6,8	20		100	4,765	1,713	0,358	1,084
	200	7,5	22		100	5,186	1,735	0,422	1,150
	50	4,2	13		100	2,431	2,073	0,006	0,914
	100	5,6	16,5		75	100	3,120	2,154	0,136
	150	6,8	20	100	3,707	2,202	0,247	1,153	
	200	7,5	22	100	4,043	2,226	0,311	1,218	

Tabla 36. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.60$ y $L=500$ metros

SUELOS ARCILLOSOS SECOS Y ARENAS SECAS (0,40-0,60)									
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{mi} (mm)	α	Ls1 (m)	FSD $\geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	e<c/3 (VUELCO)	σ'_v (MPa)	$\sigma'_{v''}$ (MPa)
L=500m									
20	50	9	16	30	500	5,530	1,953	0,721	1,826
	100	9	16		500	5,529	1,953	0,721	1,827
	150	9	16		500	5,529	1,954	0,721	1,827
	200	9	16		500	5,527	1,954	0,721	1,827
	50	9	16	45	500	2,816	3,835	0,179	2,249
	100	9	16		500	2,816	3,835	0,179	2,250
	150	9	16		500	2,815	3,836	0,179	2,250
	200	9	16		500	2,815	3,837	0,179	2,251
	50	9	16	60	500	1,868	5,782	-0,319	2,556
	100	9	16		500	1,868	5,783	-0,319	2,556
	150	9	16		500	1,867	5,783	-0,319	2,557
	200	9	16		500	1,867	5,785	-0,320	2,558
50	9	16	75	500	1,395	7,741	-0,716	2,704	
100	9	16		500	1,395	7,742	-0,716	2,704	
150	9	16		500	1,395	7,744	-0,717	2,705	
200	9	16		500	1,394	7,746	-0,718	2,707	
40	50	5	12	30	500	3,933	1,526	0,355	1,466
	100	6,6	12		500	4,557	1,738	0,499	1,610
	150	8	14		500	5,114	1,877	0,628	1,739
	200	9	13		500	5,506	1,961	0,719	1,829
	50	5	12	45	500	1,961	3,060	-0,191	1,897
	100	6,6	12		500	2,297	3,447	-0,044	2,038
	150	8	14		500	2,595	3,699	0,085	2,166
	200	9	13		500	2,808	3,847	0,176	2,255
	50	5	12	60	500	1,251	4,796	-0,696	2,213
	100	6,6	12		500	1,495	5,299	-0,546	2,349
	150	8	14		500	1,709	5,617	-0,417	2,477
	200	9	13		500	1,863	5,797	-0,323	2,564
50	5	12	75	500	0,876	6,848	-1,103	2,371	
100	6,6	12		500	1,081	7,325	-0,948	2,503	
150	8	14		500	1,261	7,610	-0,818	2,630	
200	9	13		500	1,392	7,761	-0,722	2,714	
60	50	4,6	12	30	500	3,771	1,464	0,319	1,435
	100	6,2	11,5		500	4,389	1,695	0,462	1,578
	150	7,5	13,5		500	4,904	1,835	0,582	1,698
	200	8,5	14		500	5,298	1,925	0,674	1,789
	50	4,6	12	45	500	1,875	2,944	-0,230	1,871
	100	6,2	11,5		500	2,209	3,369	-0,083	2,009
	150	7,5	13,5		500	2,484	3,623	0,037	2,129
	200	8,5	14		500	2,695	3,784	0,129	2,219
	50	4,6	12	60	500	1,190	4,640	-0,739	2,193
	100	6,2	11,5		500	1,431	5,199	-0,588	2,326
	150	7,5	13,5		500	1,629	5,526	-0,468	2,445
	200	8,5	14		500	1,781	5,726	-0,375	2,534
50	4,6	12	75	500	0,825	6,691	-1,151	2,357	
100	6,2	11,5		500	1,028	7,238	-0,994	2,484	
150	7,5	13,5		500	1,194	7,539	-0,874	2,603	
200	8,5	14		500	1,322	7,716	-0,779	2,691	
80	50	4,4	12	30	500	3,689	1,431	0,301	1,422
	100	6	13		500	4,308	1,671	0,445	1,566
	150	7	15		500	4,703	1,786	0,538	1,658
	200	8	16		500	5,095	1,884	0,629	1,750
	50	4,4	12	45	500	1,832	2,883	-0,250	1,862
	100	6	13		500	2,164	3,326	-0,103	2,003
	150	7	15		500	2,375	3,537	-0,011	2,096
	200	8	16		500	2,585	3,714	0,081	2,186
	50	4,4	12	60	500	1,159	4,555	-0,763	2,189
	100	6	13		500	1,399	5,147	-0,613	2,326
	150	7	15		500	1,549	5,421	-0,521	2,419
	200	8	16		500	1,700	5,646	-0,428	2,508
50	4,4	12	75	500	0,800	6,602	-1,180	2,359	
100	6	13		500	1,001	7,196	-1,025	2,492	
150	7	15		500	1,127	7,456	-0,933	2,584	
200	8	16		500	1,253	7,661	-0,839	2,673	
100	50	4,4	12	30	500	3,683	1,434	0,301	1,426
	100	5,8	14		500	4,227	1,647	0,428	1,554
	150	7	17,5		500	4,701	1,787	0,540	1,665
	200	7,5	18,5		500	4,896	1,838	0,586	1,712
	50	4,4	12	45	500	1,830	2,885	-0,252	1,870
	100	5,8	14		500	2,120	3,282	-0,123	1,996
	150	7	17,5		500	2,372	3,542	-0,012	2,108
	200	7,5	18,5		500	2,476	3,635	0,033	2,155
	50	4,4	12	60	500	1,158	4,558	-0,768	2,201
	100	5,8	14		500	1,367	5,092	-0,638	2,325
	150	7	17,5		500	1,547	5,432	-0,527	2,438
	200	7,5	18,5		500	1,621	5,552	-0,481	2,485
50	4,4	12	75	500	0,800	6,603	-1,188	2,376	
100	5,8	14		500	0,974	7,147	-1,056	2,497	
150	7	17,5		500	1,123	7,477	-0,946	2,611	
200	7,5	18,5		500	1,186	7,592	-0,900	2,658	
120	50	4,2	13	30	500	3,607	1,397	0,284	1,415
	100	5,6	16,5		500	4,152	1,618	0,413	1,543
	150	6,8	20		500	4,623	1,765	0,524	1,654
	200	7,5	22		500	4,896	1,838	0,588	1,719
	50	4,2	13	45	500	1,789	2,817	-0,272	1,865
	100	5,6	16,5		500	2,079	3,233	-0,143	1,993
	150	6,8	20		500	2,328	3,506	-0,032	2,103
	200	7,5	22		500	2,473	3,640	0,032	2,169
	50	4,2	13	60	500	1,129	4,463	-0,793	2,203
	100	5,6	16,5		500	1,336	5,029	-0,664	2,330
	150	6,8	20		500	1,514	5,390	-0,553	2,441
	200	7,5	22		500	1,617	5,565	-0,488	2,507
50	4,2	13	75	500	0,775	6,500	-1,220	2,385	
100	5,6	16,5		500	0,948	7,092	-1,090	2,511	
150	6,8	20		500	1,095	7,449	-0,979	2,622	
200	7,5	22		500	1,181	7,618	-0,915	2,688	

Tabla 37. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.60$ y $L=1000$ metros

SUELOS ARCILLOSOS SECOS Y ARENAS SECAS (0,40-0,60)										
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{mi} (mm)	α	Ls1 (m)	FSD $\geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	e-c/3 (VUELCO)	σ'_v (MPa)	σ'_y (MPa)	
L=1000m										
20	50	9	16	30	1000	3,738	2,889	0,611	2,801	
	100	9	16		1000	3,738	2,889	0,611	2,801	
	150	9	16		1000	3,738	2,889	0,611	2,802	
	200	9	16		1000	3,738	2,889	0,611	2,802	
	50	9	16		1000	1,854	5,827	-0,467	3,638	
	100	9	16		1000	1,853	5,827	-0,468	3,639	
	150	9	16	1000	1,853	5,827	-0,468	3,639		
	200	9	16	1000	1,853	5,827	-0,468	3,640		
	50	9	16	60	1000	1,173	9,208	-1,456	4,241	
	100	9	16		1000	1,173	9,208	-1,457	4,241	
	150	9	16		1000	1,173	9,208	-1,457	4,242	
	200	9	16		1000	1,173	9,208	-1,457	4,243	
	50	9	16		1000	0,810	13,336	-2,242	4,525	
	100	9	16		1000	0,810	13,336	-2,242	4,525	
	150	9	16	75	1000	0,810	13,336	-2,242	4,527	
	200	9	16		1000	0,810	13,336	-2,243	4,528	
40	50	5	12	30	1000	2,943	2,039	0,248	2,442	
	100	6,6	12		1000	3,251	2,436	0,389	2,585	
	150	8	14		1000	3,532	2,718	0,518	2,714	
	200	9	13		1000	3,726	2,899	0,607	2,804	
	50	5	12		1000	1,427	4,204	-0,836	3,289	
	100	6,6	12		1000	1,594	4,968	-0,691	3,427	
	150	8	14	45	1000	1,744	5,503	-0,562	3,555	
	200	9	13		1000	1,850	5,839	-0,472	3,642	
	50	5	12		1000	0,865	6,933	-1,834	3,903	
	100	6,6	12		1000	0,987	8,028	-1,684	4,034	
	150	8	14		60	1000	1,095	8,769	-1,554	4,162
	200	9	13			1000	1,171	9,220	-1,461	4,245
	50	5	12	75	1000	0,551	10,888	-2,632	4,200	
	100	6,6	12		1000	0,653	12,124	-2,474	4,324	
	150	8	14		1000	0,744	12,896	-2,343	4,451	
	200	9	13		1000	0,809	13,346	-2,246	4,531	
50	4,6	12	30		1000	2,866	1,926	0,214	2,412	
100	6,2	11,5			1000	3,169	2,348	0,353	2,553	
150	7,5	13,5		1000	3,430	2,624	0,472	2,673		
200	8,5	14		1000	3,627	2,812	0,563	2,764		
50	4,6	12		1000	1,386	3,982	-0,874	3,264		
100	6,2	11,5		45	1000	1,551	4,796	-0,730	3,399	
150	7,5	13,5	1000		1,690	5,324	-0,610	3,518		
200	8,5	14	1000		1,797	5,677	-0,519	3,608		
50	4,6	12	1000		0,836	6,600	-1,877	3,886		
100	6,2	11,5	60		1000	0,956	7,783	-1,726	4,011	
150	7,5	13,5			1000	1,056	8,521	-1,606	4,130	
200	8,5	14	75	1000	1,133	9,003	-1,513	4,218		
50	4,6	12		1000	0,527	10,477	-2,681	4,189		
100	6,2	11,5		1000	0,628	11,849	-2,520	4,306		
150	7,5	13,5		1000	0,712	12,637	-2,399	4,424		
200	8,5	14		1000	0,777	13,129	-2,304	4,510		
50	4,4	12		30	1000	2,828	1,867	0,196	2,399	
100	6	13	1000		3,135	2,297	0,338	2,542		
150	7	15	1000		3,336	2,518	0,430	2,634		
200	8	16	1000		3,533	2,717	0,520	2,725		
50	4,4	12	1000		1,366	3,865	-0,894	3,256		
100	6	13	45		1000	1,532	4,699	-0,749	3,394	
150	7	15		1000	1,639	5,125	-0,657	3,487		
200	8	16		1000	1,745	5,501	-0,565	3,576		
50	4,4	12		1000	0,822	6,422	-1,901	3,883		
100	6	13		60	1000	0,942	7,641	-1,751	4,015	
150	7	15			1000	1,019	8,243	-1,659	4,107	
200	8	16	75	1000	1,095	8,764	-1,566	4,195		
50	4,4	12		1000	0,515	10,243	-2,710	4,193		
100	6	13		1000	0,617	11,679	-2,553	4,318		
150	7	15		1000	0,681	12,335	-2,461	4,410		
200	8	16		1000	0,745	12,882	-2,366	4,497		
50	4,4	12		30	1000	2,826	1,868	0,196	2,403	
100	5,8	14	1000		3,100	2,246	0,322	2,530		
150	7	17,5	1000		3,343	2,513	0,434	2,642		
200	7,5	18,5	1000		3,442	2,615	0,479	2,688		
50	4,4	12	1000		1,366	3,864	-0,896	3,264		
100	5,8	14	45		1000	1,513	4,600	-0,768	3,389	
150	7	17,5		1000	1,642	5,117	-0,657	3,501		
200	7,5	18,5		1000	1,695	5,311	-0,611	3,548		
50	4,4	12		1000	0,823	6,417	-1,906	3,895		
100	5,8	14		60	1000	0,928	7,497	-1,776	4,016	
150	7	17,5			1000	1,021	8,230	-1,665	4,130	
200	7,5	18,5	75	1000	1,059	8,500	-1,619	4,176		
50	4,4	12		1000	0,516	10,224	-2,719	4,210		
100	5,8	14		1000	0,605	11,503	-2,585	4,327		
150	7	17,5		1000	0,682	12,312	-2,475	4,442		
200	7,5	18,5		1000	0,714	12,600	-2,430	4,489		
50	4,2	13		30	1000	2,794	1,804	0,182	2,393	
100	5,6	16,5	1000		3,071	2,188	0,309	2,521		
150	6,8	20	1000		3,312	2,464	0,420	2,632		
200	7,5	22	1000		3,452	2,607	0,485	2,697		
50	4,2	13	1000		1,349	3,737	-0,914	3,261		
100	5,6	16,5	45		1000	1,496	4,491	-0,786	3,388	
150	6,8	20		1000	1,624	5,026	-0,675	3,499		
200	7,5	22		1000	1,698	5,301	-0,611	3,564		
50	4,2	13		1000	0,810	6,220	-1,932	3,900		
100	5,6	16,5		60	1000	0,916	7,336	-1,802	4,026	
150	6,8	20			1000	1,007	8,100	-1,691	4,137	
200	7,5	22	75	1000	1,061	8,486	-1,627	4,202		
50	4,2	13		1000	0,506	9,957	-2,753	4,224		
100	5,6	16,5		1000	0,595	11,299	-2,621	4,348		
150	6,8	20		1000	0,671	12,160	-2,510	4,459		
200	7,5	22		1000	0,716	12,577	-2,446	4,525		

Tabla 38. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.75$ y $L=100$ metros

ROCA (0,65-0,75)											
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{mi} (mm)	α	Lst (m)	$FSD \geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	e<C/3 (VUELCO)	σ_r (MPa)	σ_r'' (MPa)		
L= 100m											
20	50	9	16	30	100	23,441	0,576	0,809	1,046		
	100	9	16		100	23,426	0,576	0,809	1,047		
	150	9	16		100	23,401	0,577	0,809	1,047		
	200	9	16		100	23,366	0,578	0,809	1,047		
	40	50	9	16	45	100	12,475	1,082	0,697	1,138	
		100	9	16		100	12,465	1,083	0,697	1,139	
		150	9	16		100	12,450	1,084	0,697	1,139	
		200	9	16		100	12,429	1,086	0,697	1,140	
		60	50	9	16	60	100	8,756	1,542	0,592	1,208
			100	9	16		100	8,748	1,543	0,591	1,209
			150	9	16		100	8,735	1,545	0,591	1,209
			200	9	16		100	8,717	1,549	0,591	1,210
80			50	9	16	75	100	7,079	1,907	0,505	1,247
			100	9	16		100	7,071	1,909	0,504	1,248
			150	9	16		100	7,058	1,913	0,504	1,249
			200	9	16		100	7,040	1,918	0,503	1,250
	100		50	5	12	30	100	13,792	0,544	0,685	0,830
			100	6,6	12		100	15,505	0,566	0,587	0,830
			150	8	14		100	20,712	0,579	0,716	0,959
			200	9	13		100	23,064	0,585	0,808	1,050
		120	50	5	12	45	100	7,252	1,034	0,325	0,783
			100	6,6	12		100	9,260	1,069	0,473	0,926
			150	8	14		100	10,983	1,093	0,602	1,055
			200	9	13		100	12,263	1,101	0,695	1,145
140			50	5	12	60	100	4,988	1,504	0,214	0,860
			100	6,6	12		100	6,430	1,540	0,364	1,001
			150	8	14		100	7,657	1,567	0,494	1,130
			200	9	13		100	8,582	1,573	0,587	1,218
	160		50	5	12	75	100	3,919	1,914	0,120	0,907
			100	6,6	12		100	5,118	1,934	0,273	1,045
			150	8	14		100	6,133	1,957	0,403	1,174
			200	9	13		100	6,907	1,954	0,497	1,261
		180	50	4,6	12	30	100	12,671	0,545	0,403	0,653
			100	6,2	11,5		100	16,321	0,570	0,550	0,798
			150	7,5	13,5		100	19,237	0,585	0,670	0,918
			200	8,5	14		100	21,503	0,593	0,762	1,009
200			50	4,6	12	45	100	6,640	1,039	0,285	0,756
			100	6,2	11,5		100	8,611	1,080	0,434	0,898
			150	7,5	13,5		100	10,170	1,106	0,554	1,018
			200	8,5	14		100	11,388	1,120	0,646	1,109
	220		50	4,6	12	60	100	4,539	1,520	0,171	0,839
			100	6,2	11,5		100	5,948	1,564	0,322	0,977
			150	7,5	13,5		100	7,053	1,595	0,442	1,097
			200	8,5	14		100	7,922	1,610	0,535	1,187
		240	50	4,6	12	75	100	3,535	1,952	0,073	0,891
			100	6,2	11,5		100	4,700	1,979	0,227	1,026
			150	7,5	13,5		100	5,607	2,006	0,347	1,146
			200	8,5	14		100	6,324	2,016	0,441	1,236
260			50	4,4	12	30	100	12,042	0,548	0,385	0,640
			100	6	13		100	15,588	0,577	0,532	0,785
			150	7	15		100	17,764	0,591	0,624	0,878
			200	8	16		100	19,973	0,601	0,716	0,970
	280		50	4,4	12	45	100	6,298	1,048	0,265	0,747
			100	6	13		100	8,195	1,098	0,413	0,890
			150	7	15		100	9,352	1,123	0,505	0,983
			200	8	16		100	10,533	1,139	0,598	1,074
		300	50	4,4	12	60	100	4,286	1,540	0,147	0,834
			100	6	13		100	5,630	1,598	0,297	0,975
			150	7	15		100	6,444	1,630	0,389	1,068
			200	8	16		100	7,279	1,649	0,482	1,159
320			50	4,4	12	75	100	3,316	1,990	0,045	0,892
			100	6	13		100	4,417	2,038	0,197	1,030
			150	7	15		100	5,078	2,068	0,289	1,123
			200	8	16		100	5,761	2,083	0,382	1,213
	340		50	4,4	12	30	100	11,881	0,556	0,384	0,644
			100	5,8	14		100	14,894	0,584	0,513	0,772
			150	7	17,5		100	17,444	0,602	0,624	0,884
			200	7,5	18,5		100	18,488	0,609	0,671	0,930
		360	50	4,4	12	45	100	6,207	1,063	0,263	0,755
			100	5,8	14		100	7,808	1,114	0,392	0,882
			150	7	17,5		100	9,153	1,147	0,503	0,994
			200	7,5	18,5		100	9,705	1,159	0,549	1,040
380			50	4,4	12	60	100	4,215	1,566	0,142	0,846
			100	5,8	14		100	5,339	1,630	0,273	0,973
			150	7	17,5		100	6,277	1,673	0,383	1,085
			200	7,5	18,5		100	6,663	1,689	0,429	1,132
	400		50	4,4	12	75	100	3,249	2,031	0,036	0,908
			100	5,8	14		100	4,161	2,091	0,168	1,034
			150	7	17,5		100	4,917	2,135	0,278	1,146
			200	7,5	18,5		100	5,227	2,152	0,323	1,194
		420	50	4,2	13	30	100	11,270	0,559	0,366	0,632
			100	5,6	16,5		100	14,194	0,592	0,495	0,761
			150	6,8	20		100	16,697	0,611	0,606	0,872
			200	7,5	22		100	18,141	0,620	0,671	0,937
440			50	4,2	13	45	100	5,872	1,073	0,242	0,747
			100	5,6	16,5		100	7,413	1,133	0,371	0,876
			150	6,8	20		100	8,730	1,168	0,482	0,987
			200	7,5	22		100	9,489	1,186	0,547	1,052
	460		50	4,2	13	60	100	3,968	1,588	0,117	0,845
			100	5,6	16,5		100	5,041	1,666	0,247	0,973
			150	6,8	20		100	5,956	1,713	0,358	1,084
			200	7,5	22		100	6,482	1,735	0,422	1,150
		480	50	4,2	13	75	100	3,038	2,073	0,006	0,914
			100	5,6	16,5		100	3,900	2,154	0,136	1,042
			150	6,8	20		100	4,633	2,202	0,247	1,153
			200	7,5	22		100	5,054	2,226	0,311	1,218

Tabla 39. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.75$ y $L=500$ metros

ROCA (0,65-0,75)										
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC}	δ_{mi} (m)	(mm)	α	Ls1 (m)	FSD $\geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	eC/3 (VUELCO)	σ_v' (MPa)	σ_v'' (MPa)
L=500m										
20	50	9	16			500	6,912	1,953	0,721	1,826
	100	9	16		30	500	6,912	1,953	0,721	1,827
	150	9	16			500	6,911	1,954	0,721	1,827
	200	9	16			500	6,909	1,954	0,721	1,827
	50	9	16			500	3,520	3,835	0,179	2,249
	100	9	16		45	500	3,520	3,835	0,179	2,250
	150	9	16			500	3,519	3,836	0,179	2,250
	200	9	16			500	3,519	3,837	0,179	2,251
	50	9	16			500	2,335	5,782	-0,319	2,556
	100	9	16		60	500	2,335	5,783	-0,319	2,556
	150	9	16			500	2,334	5,783	-0,319	2,557
	200	9	16			500	2,334	5,785	-0,320	2,558
	50	9	16			500	1,744	7,741	-0,716	2,704
	100	9	16		75	500	1,744	7,742	-0,716	2,704
	150	9	16			500	1,743	7,744	-0,717	2,705
	200	9	16			500	1,743	7,746	-0,718	2,707
40	50	5	12			500	4,916	1,526	0,355	1,466
	100	6,6	12		30	500	5,697	1,738	0,499	1,610
	150	8	14			500	6,393	1,877	0,628	1,739
	200	9	13			500	6,883	1,961	0,719	1,829
	50	5	12			500	2,451	3,060	-0,191	1,897
	100	6,6	12		45	500	2,872	3,447	-0,044	2,038
	150	8	14			500	3,244	3,699	0,085	2,166
	200	9	13			500	3,509	3,847	0,176	2,255
	50	5	12			500	1,564	4,796	-0,696	2,213
	100	6,6	12		60	500	1,868	5,299	-0,546	2,349
	150	8	14			500	2,136	5,617	-0,417	2,477
	200	9	13			500	2,329	5,797	-0,323	2,564
	50	5	12			500	1,095	6,848	-1,103	2,371
	100	6,6	12		75	500	1,352	7,325	-0,948	2,503
	150	8	14			500	1,577	7,610	-0,818	2,630
	200	9	13			500	1,739	7,761	-0,722	2,714
60	50	4,6	12			500	4,714	1,464	0,319	1,435
	100	6,2	11,5		30	500	5,487	1,695	0,462	1,578
	150	7,5	13,5			500	6,131	1,835	0,582	1,698
	200	8,5	14			500	6,623	1,925	0,674	1,789
	50	4,6	12			500	2,344	2,944	-0,230	1,871
	100	6,2	11,5		45	500	2,761	3,369	-0,083	2,009
	150	7,5	13,5			500	3,105	3,623	0,037	2,129
	200	8,5	14			500	3,369	3,784	0,129	2,219
	50	4,6	12			500	1,487	4,640	-0,739	2,193
	100	6,2	11,5		60	500	1,789	5,199	-0,588	2,326
	150	7,5	13,5			500	2,036	5,526	-0,468	2,445
	200	8,5	14			500	2,227	5,726	-0,375	2,534
	50	4,6	12			500	1,031	6,691	-1,151	2,357
	100	6,2	11,5		75	500	1,285	7,238	-0,994	2,484
	150	7,5	13,5			500	1,492	7,539	-0,874	2,603
	200	8,5	14			500	1,652	7,716	-0,779	2,691
80	50	4,4	12			500	4,611	1,431	0,301	1,422
	100	6	13		30	500	5,385	1,671	0,445	1,566
	150	7	15			500	5,879	1,786	0,538	1,658
	200	8	16			500	6,369	1,884	0,629	1,750
	50	4,4	12			500	2,290	2,883	-0,250	1,862
	100	6	13		45	500	2,706	3,326	-0,103	2,003
	150	7	15			500	2,968	3,537	-0,011	2,096
	200	8	16			500	3,231	3,714	0,081	2,186
	50	4,4	12			500	1,449	4,555	-0,763	2,189
	100	6	13		60	500	1,748	5,147	-0,613	2,326
	150	7	15			500	1,937	5,421	-0,521	2,419
	200	8	16			500	2,126	5,646	-0,428	2,508
	50	4,4	12			500	1,000	6,602	-1,180	2,359
	100	6	13		75	500	1,251	7,196	-1,025	2,492
	150	7	15			500	1,408	7,456	-0,933	2,584
	200	8	16			500	1,566	7,661	-0,839	2,673
100	50	4,4	12			500	4,603	1,434	0,301	1,426
	100	5,8	14		30	500	5,283	1,647	0,428	1,554
	150	7	17,5			500	5,877	1,787	0,540	1,665
	200	7,5	18,5			500	6,120	1,838	0,586	1,712
	50	4,4	12			500	2,287	2,885	-0,252	1,870
	100	5,8	14		45	500	2,651	3,282	-0,123	1,996
	150	7	17,5			500	2,965	3,542	-0,012	2,108
	200	7,5	18,5			500	3,095	3,635	0,033	2,155
	50	4,4	12			500	1,448	4,558	-0,768	2,201
	100	5,8	14		60	500	1,709	5,092	-0,638	2,325
	150	7	17,5			500	1,933	5,432	-0,527	2,438
	200	7,5	18,5			500	2,026	5,552	-0,481	2,485
	50	4,4	12			500	1,000	6,603	-1,188	2,376
	100	5,8	14		75	500	1,217	7,147	-1,056	2,497
	150	7	17,5			500	1,404	7,477	-0,946	2,611
	200	7,5	18,5			500	1,482	7,592	-0,900	2,658
120	50	4,2	13			500	4,509	1,397	0,284	1,415
	100	5,6	16,5		30	500	5,190	1,618	0,413	1,543
	150	6,8	20			500	5,778	1,765	0,524	1,654
	200	7,5	22			500	6,120	1,838	0,588	1,719
	50	4,2	13			500	2,236	2,817	-0,272	1,865
	100	5,6	16,5		45	500	2,598	3,233	-0,143	1,993
	150	6,8	20			500	2,910	3,506	-0,032	2,103
	200	7,5	22			500	3,091	3,640	0,032	2,169
	50	4,2	13			500	1,412	4,463	-0,793	2,203
	100	5,6	16,5		60	500	1,670	5,029	-0,664	2,330
	150	6,8	20			500	1,892	5,390	-0,553	2,441
	200	7,5	22			500	2,022	5,565	-0,488	2,507
	50	4,2	13			500	0,969	6,500	-1,220	2,385
	100	5,6	16,5		75	500	1,185	7,092	-1,090	2,511
	150	6,8	20			500	1,369	7,449	-0,979	2,622
	200	7,5	22			500	1,477	7,618	-0,915	2,688

Tabla 40. Tabla referencial para cálculo en Anclajes, $f=0.75$ y $L=1000$ metros

ROCA (0,65-0,75)									
H (m)	Q (m ³ /s)	D_{EC}	δ_{mi} (mm)	α	Ls1 (m)	FSD $\geq 1,5$ (DESPLAZAMIENTO)	eC/3 (VUELCO)	σ_v' (MPa)	σ_v'' (MPa)
L= 1000m									
20	50	9	16		1000	4,673	2,889	0,611	2,801
	100	9	16	30	1000	4,673	2,889	0,611	2,801
	150	9	16		1000	4,672	2,889	0,611	2,802
	200	9	16		1000	4,672	2,889	0,611	2,802
	50	9	16		1000	2,317	5,827	-0,467	3,638
	100	9	16	45	1000	2,317	5,827	-0,468	3,639
	150	9	16		1000	2,317	5,827	-0,468	3,639
	200	9	16		1000	2,317	5,827	-0,468	3,640
	50	9	16		1000	1,466	9,208	-1,456	4,241
	100	9	16	60	1000	1,466	9,208	-1,457	4,241
	150	9	16		1000	1,466	9,208	-1,457	4,242
	200	9	16		1000	1,466	9,208	-1,457	4,243
40	50	9	16		1000	1,012	13,336	-2,242	4,525
	100	9	16	75	1000	1,012	13,336	-2,242	4,525
	150	9	16		1000	1,012	13,336	-2,242	4,527
	200	9	16		1000	1,012	13,336	-2,243	4,528
	50	5	12		1000	3,679	2,039	0,248	2,442
	100	6,6	12	30	1000	4,064	2,436	0,389	2,585
	150	8	14		1000	4,415	2,718	0,518	2,714
	200	9	13		1000	4,657	2,899	0,607	2,804
	50	5	12		1000	1,784	4,204	-0,836	3,289
	100	6,6	12	45	1000	1,993	4,968	-0,691	3,427
	150	8	14		1000	2,181	5,503	-0,562	3,555
	200	9	13		1000	2,312	5,839	-0,472	3,642
60	50	5	12		1000	1,082	6,933	-1,834	3,903
	100	6,6	12	60	1000	1,233	8,028	-1,684	4,034
	150	8	14		1000	1,369	8,769	-1,554	4,162
	200	9	13		1000	1,464	9,220	-1,461	4,245
	50	5	12		1000	0,689	10,888	-2,632	4,200
	100	6,6	12	75	1000	0,817	12,124	-2,474	4,324
	150	8	14		1000	0,931	12,896	-2,343	4,451
	200	9	13		1000	1,012	13,346	-2,246	4,531
	50	4,6	12		1000	3,583	1,926	0,214	2,412
	100	6,2	11,5	30	1000	3,962	2,348	0,353	2,553
	150	7,5	13,5		1000	4,287	2,624	0,472	2,673
	200	8,5	14		1000	4,534	2,812	0,563	2,764
80	50	4,6	12		1000	1,733	3,982	-0,874	3,264
	100	6,2	11,5	45	1000	1,939	4,796	-0,730	3,399
	150	7,5	13,5		1000	2,113	5,324	-0,610	3,518
	200	8,5	14		1000	2,246	5,677	-0,519	3,608
	50	4,6	12		1000	1,045	6,600	-1,877	3,886
	100	6,2	11,5	60	1000	1,195	7,783	-1,726	4,011
	150	7,5	13,5		1000	1,320	8,521	-1,606	4,130
	200	8,5	14		1000	1,416	9,003	-1,513	4,218
	50	4,6	12		1000	0,659	10,477	-2,681	4,189
	100	6,2	11,5	75	1000	0,785	11,849	-2,520	4,306
	150	7,5	13,5		1000	0,890	12,637	-2,399	4,424
	200	8,5	14		1000	0,971	13,129	-2,304	4,510
100	50	4,4	12		1000	3,535	1,867	0,196	2,399
	100	6	13	30	1000	3,919	2,297	0,338	2,542
	150	7	15		1000	4,170	2,518	0,430	2,634
	200	8	16		1000	4,416	2,717	0,520	2,725
	50	4,4	12		1000	1,708	3,865	-0,894	3,256
	100	6	13	45	1000	1,915	4,699	-0,749	3,394
	150	7	15		1000	2,049	5,125	-0,657	3,487
	200	8	16		1000	2,181	5,501	-0,565	3,576
	50	4,4	12		1000	1,028	6,422	-1,901	3,883
	100	6	13	60	1000	1,178	7,641	-1,751	4,015
	150	7	15		1000	1,274	8,243	-1,659	4,107
	200	8	16		1000	1,369	8,764	-1,566	4,195
120	50	4,4	12		1000	0,644	10,243	-2,710	4,193
	100	6	13	75	1000	0,771	11,679	-2,553	4,318
	150	7	15		1000	0,851	12,335	-2,461	4,410
	200	8	16		1000	0,932	12,882	-2,366	4,497
	50	4,4	12		1000	3,533	1,868	0,196	2,403
	100	5,8	14	30	1000	3,874	2,246	0,322	2,530
	150	7	17,5		1000	4,178	2,513	0,434	2,642
	200	7,5	18,5		1000	4,302	2,615	0,479	2,688
	50	4,4	12		1000	1,708	3,864	-0,896	3,264
	100	5,8	14	45	1000	1,891	4,600	-0,768	3,389
	150	7	17,5		1000	2,052	5,117	-0,657	3,501
	200	7,5	18,5		1000	2,118	5,311	-0,611	3,548
150	50	4,4	12		1000	1,029	6,417	-1,906	3,895
	100	5,8	14	60	1000	1,160	7,497	-1,776	4,016
	150	7	17,5		1000	1,276	8,230	-1,665	4,130
	200	7,5	18,5		1000	1,323	8,500	-1,619	4,176
	50	4,4	12		1000	0,646	10,224	-2,719	4,210
	100	5,8	14	75	1000	0,756	11,503	-2,585	4,327
	150	7	17,5		1000	0,853	12,312	-2,475	4,442
	200	7,5	18,5		1000	0,893	12,600	-2,430	4,489
	50	4,2	13		1000	3,493	1,804	0,182	2,393
	100	5,6	16,5	30	1000	3,839	2,188	0,309	2,521
	150	6,8	20		1000	4,140	2,464	0,420	2,632
	200	7,5	22		1000	4,315	2,607	0,485	2,697
180	50	4,2	13		1000	1,686	3,737	-0,914	3,261
	100	5,6	16,5	45	1000	1,870	4,491	-0,786	3,388
	150	6,8	20		1000	2,030	5,026	-0,675	3,499
	200	7,5	22		1000	2,122	5,301	-0,611	3,564
	50	4,2	13		1000	1,013	6,220	-1,932	3,900
	100	5,6	16,5	60	1000	1,145	7,336	-1,802	4,026
	150	6,8	20		1000	1,259	8,100	-1,691	4,137
	200	7,5	22		1000	1,326	8,486	-1,627	4,202
	50	4,2	13		1000	0,633	9,957	-2,753	4,224
	100	5,6	16,5	75	1000	0,743	11,299	-2,621	4,348
	150	6,8	20		1000	0,839	12,160	-2,510	4,459
	200	7,5	22		1000	0,895	12,577	-2,446	4,525

Tabla 41. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.2$ y $L=100$ metros

SUELOS ARCILLOSOS HUMEDOS (0,15-0,20)								
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{mi} (mm)	α	L_{s1} (m)	$\sigma_{zL} + \text{Mpa}$	σ_s Mpa	σ Mpa
L= 100m								
20	50	9	16	30	100	64,261	-52,711	101,465
	100	9	16		100	64,261	-52,971	101,683
	150	9	16		100	64,261	-53,405	102,046
	200	9	16		100	64,261	-54,013	102,556
	50	9	16	45	100	64,261	-46,808	96,584
	100	9	16		100	64,261	-47,068	96,797
	150	9	16		100	64,261	-47,502	97,152
	200	9	16		100	64,261	-48,110	97,651
	50	9	16	60	100	64,261	-38,901	90,237
	100	9	16		100	64,261	-39,162	90,442
	150	9	16		100	64,261	-39,596	90,784
	200	9	16		100	64,261	-40,203	91,265
50	9	16	75	100	64,261	-29,530	83,061	
100	9	16		100	64,261	-29,790	83,255	
150	9	16		100	64,261	-30,224	83,578	
200	9	16		100	64,261	-30,832	84,032	
50	5	12	30	100	95,202	-49,872	127,666	
100	6,6	12		100	125,666	-60,798	164,708	
150	8	14		100	130,562	-61,904	170,179	
200	9	13		100	158,181	-72,112	204,030	
50	5	12		45	100	95,202	-45,200	124,135
100	6,6	12			100	125,666	-54,804	160,258
150	8	14			100	130,562	-55,821	165,682
200	9	13			100	158,181	-64,773	198,652
50	5	12		60	100	95,202	-38,897	119,497
100	6,6	12			100	125,666	-46,780	154,464
150	8	14			100	130,562	-47,679	159,828
200	9	13			100	158,181	-54,995	191,690
50	5	12	75	100	95,202	-31,393	114,182	
100	6,6	12		100	125,666	-37,271	147,868	
150	8	14		100	130,562	-38,034	153,163	
200	9	13		100	158,181	-43,444	183,796	
50	4,6	12	30	100	131,378	-52,098	163,765	
100	6,2	11,5		100	184,774	-66,981	225,841	
150	7,5	13,5		100	190,404	-67,864	231,907	
200	8,5	14		100	208,084	-72,663	252,386	
50	4,6	12		45	100	131,378	-47,756	160,670
100	6,2	11,5			100	184,774	-61,058	221,701
150	7,5	13,5			100	190,404	-61,911	227,760
200	8,5	14			100	208,084	-66,225	247,921
50	4,6	12		60	100	131,378	-41,883	156,579
100	6,2	11,5			100	184,774	-53,125	216,287
150	7,5	13,5			100	190,404	-53,939	222,336
200	8,5	14			100	208,084	-57,622	242,094
50	4,6	12	75	100	131,378	-34,880	151,853	
100	6,2	11,5		100	184,774	-43,723	210,077	
150	7,5	13,5		100	190,404	-44,492	216,112	
200	8,5	14		100	208,084	-47,439	235,416	
50	4,4	12	30	100	167,555	-55,155	200,894	
100	6	13		100	210,909	-64,959	249,805	
150	7	15		100	213,252	-65,236	252,277	
200	8	16		100	228,484	-68,624	269,432	
50	4,4	12		45	100	167,555	-50,977	198,028
100	6	13			100	210,909	-59,908	246,387
150	7	15			100	213,252	-60,241	248,901
200	8	16			100	228,484	-63,341	265,875
50	4,4	12		60	100	167,555	-45,319	194,222
100	6	13			100	210,909	-53,113	241,879
150	7	15			100	213,252	-53,517	244,444
200	8	16			100	228,484	-56,242	261,187
50	4,4	12	75	100	167,555	-38,566	189,800	
100	6	13		100	210,909	-45,035	236,662	
150	7	15		100	213,252	-45,522	239,283	
200	8	16		100	228,484	-47,812	255,764	
50	4,4	12	30	100	209,444	-59,591	244,743	
100	5,8	14		100	236,644	-64,864	274,877	
150	7	17,5		100	228,484	-62,458	265,286	
200	7,5	18,5		100	231,572	-63,461	268,977	
50	4,4	12		45	100	209,444	-55,414	241,958
100	5,8	14			100	236,644	-60,338	271,882
150	7	17,5			100	228,484	-58,222	262,484
200	7,5	18,5			100	231,572	-59,203	266,158
50	4,4	12		60	100	209,444	-49,756	238,251
100	5,8	14			100	236,644	-54,227	267,906
150	7	17,5			100	228,484	-52,487	258,752
200	7,5	18,5			100	231,572	-53,440	262,405
50	4,4	12	75	100	209,444	-43,003	233,929	
100	5,8	14		100	236,644	-46,945	263,275	
150	7	17,5		100	228,484	-45,645	254,396	
200	7,5	18,5		100	231,572	-46,564	258,025	
50	4,2	13	30	100	221,454	-58,211	255,581	
100	5,6	16,5		100	232,638	-59,700	267,531	
150	6,8	20		100	233,054	-59,228	267,629	
200	7,5	22		100	233,677	-59,383	268,342	
50	4,2	13		45	100	221,454	-54,531	253,163
100	5,6	16,5			100	232,638	-56,028	265,130
150	6,8	20			100	233,054	-55,660	265,300
200	7,5	22			100	233,677	-55,853	266,038
50	4,2	13		60	100	221,454	-49,522	249,922
100	5,6	16,5			100	232,638	-51,028	261,908
150	6,8	20			100	233,054	-50,796	262,169
200	7,5	22			100	233,677	-51,039	262,938
50	4,2	13	75	100	221,454	-43,524	246,119	
100	5,6	16,5		100	232,638	-45,042	258,124	
150	6,8	20		100	233,054	-44,968	258,488	
200	7,5	22		100	233,677	-45,268	259,292	

Tabla 42. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.2$ y $L=500$ metros

SUELOS ARCILLOSOS HUMEDOS (0,15-0,20)								
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{ml} (mm)	α	Ls1 (m)	σ_{z1} , + Mpa	σ_x Mpa	σ Mpa
L=500								
20	50	9	16	30	500	64,261	-179,909	219,221
	100	9	16		500	64,261	-180,170	219,473
	150	9	16		500	64,261	-180,604	219,893
	200	9	16		500	64,261	-181,211	220,481
	50	9	16	45	500	64,261	-152,968	193,284
	100	9	16		500	64,261	-153,229	193,534
	150	9	16		500	64,261	-153,663	193,949
	200	9	16		500	64,261	-154,270	194,531
	50	9	16	60	500	64,261	-116,789	158,979
	100	9	16		500	64,261	-117,049	159,223
	150	9	16		500	64,261	-117,483	159,629
	200	9	16		500	64,261	-118,091	160,199
50	9	16	75	500	64,261	-73,837	119,692	
100	9	16		500	64,261	-74,097	119,923	
150	9	16		500	64,261	-74,531	120,307	
200	9	16		500	64,261	-75,139	120,846	
40	50	5	12	30	500	95,202	-145,499	209,964
	100	6,6	12		500	125,666	-185,290	270,941
	150	8	14		500	130,562	-191,036	280,149
	200	9	13		500	158,181	-227,414	335,725
	50	5	12	45	500	95,202	-125,583	191,807
	100	6,6	12		500	125,666	-158,755	246,871
	150	8	14		500	130,562	-163,560	255,251
	200	9	13		500	158,181	-193,879	305,416
	50	5	12	60	500	95,202	-98,558	167,809
	100	6,6	12		500	125,666	-123,105	215,446
	150	8	14		500	130,562	-126,683	222,789
	200	9	13		500	158,181	-149,108	266,159
50	5	12	75	500	95,202	-66,267	140,582	
100	6,6	12		500	125,666	-80,770	180,183	
150	8	14		500	130,562	-82,918	186,408	
200	9	13		500	158,181	-96,149	222,430	
60	50	4,6	12	30	500	131,378	-140,508	235,505
	100	6,2	11,5		500	184,774	-189,120	323,809
	150	7,5	13,5		500	190,404	-193,559	332,525
	200	8,5	14		500	208,084	-209,526	361,662
	50	4,6	12	45	500	131,378	-122,247	219,693
	100	6,2	11,5		500	184,774	-163,087	301,452
	150	7,5	13,5		500	190,404	-166,844	309,610
	200	8,5	14		500	208,084	-180,277	336,618
	50	4,6	12	60	500	131,378	-97,378	198,837
	100	6,2	11,5		500	184,774	-128,092	272,428
	150	7,5	13,5		500	190,404	-130,959	279,891
	200	8,5	14		500	208,084	-141,089	304,243
50	4,6	12	75	500	131,378	-67,597	175,244	
100	6,2	11,5		500	184,774	-86,518	240,028	
150	7,5	13,5		500	190,404	-88,349	246,741	
200	8,5	14		500	208,084	-94,634	268,228	
80	50	4,4	12	30	500	167,555	-139,957	266,670
	100	6	13		500	210,909	-170,300	330,760
	150	7	15		500	213,252	-171,687	334,014
	200	8	16		500	228,484	-182,291	356,491
	50	4,4	12	45	500	167,555	-122,522	252,222
	100	6	13		500	210,909	-148,222	312,592
	150	7	15		500	213,252	-149,461	315,734
	200	8	16		500	228,484	-158,454	336,922
	50	4,4	12	60	500	167,555	-98,732	233,164
	100	6	13		500	210,909	-118,382	288,902
	150	7	15		500	213,252	-119,427	291,902
	200	8	16		500	228,484	-126,318	311,485
50	4,4	12	75	500	167,555	-70,206	211,582	
100	6	13		500	210,909	-82,811	262,308	
150	7	15		500	213,252	-83,630	265,150	
200	8	16		500	228,484	-88,075	282,995	
100	50	4,4	12	30	500	209,444	-144,394	308,154
	100	5,8	14		500	236,644	-159,975	345,615
	150	7	17,5		500	228,484	-154,477	333,712
	200	7,5	18,5		500	231,572	-156,649	338,290
	50	4,4	12	45	500	209,444	-126,959	294,238
	100	5,8	14		500	236,644	-140,300	329,979
	150	7	17,5		500	228,484	-135,659	318,754
	200	7,5	18,5		500	231,572	-137,595	323,142
	50	4,4	12	60	500	209,444	-103,168	275,896
	100	5,8	14		500	236,644	-113,590	309,489
	150	7	17,5		500	228,484	-110,065	299,111
	200	7,5	18,5		500	231,572	-111,693	303,259
50	4,4	12	75	500	209,444	-74,643	255,091	
100	5,8	14		500	236,644	-81,664	286,348	
150	7	17,5		500	228,484	-79,440	276,887	
200	7,5	18,5		500	231,572	-80,709	280,766	
120	50	4,2	13	30	500	221,454	-133,577	310,589
	100	5,6	16,5		500	232,638	-138,598	324,920
	150	6,8	20		500	233,054	-138,257	325,039
	200	7,5	22		500	233,677	-138,609	325,894
	50	4,2	13	45	500	221,454	-118,372	298,777
	100	5,6	16,5		500	232,638	-122,752	312,643
	150	6,8	20		500	233,054	-122,492	312,835
	200	7,5	22		500	233,677	-122,845	313,691
	50	4,2	13	60	500	221,454	-97,487	283,080
	100	5,6	16,5		500	232,638	-101,032	296,365
	150	6,8	20		500	233,054	-100,876	296,647
	200	7,5	22		500	233,677	-101,232	297,504
50	4,2	13	75	500	221,454	-72,344	265,135	
100	5,6	16,5		500	232,638	-74,918	277,781	
150	6,8	20		500	233,054	-74,883	278,161	
200	7,5	22		500	233,677	-75,242	279,014	

Tabla 43. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.2$ y $L=1000$ metros

SUELOS ARCILLOSOS HUMEDOS (0,15-0,20)								
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{mi} (mm)	α	Ls1 (m)	σ_{z1} + Mpa	σ_x Mpa	σ Mpa
L= 1000m								
20	50	9	16	30	1000	64,261	-338,908	375,189
	100	9	16		1000	64,261	-339,168	375,446
	150	9	16		1000	64,261	-339,602	375,875
	200	9	16		1000	64,261	-340,210	376,476
	50	9	16	45	1000	64,261	-285,669	322,636
	100	9	16		1000	64,261	-285,929	322,892
	150	9	16		1000	64,261	-286,363	323,320
	200	9	16		1000	64,261	-286,971	323,918
	50	9	16	60	1000	64,261	-214,149	252,489
	100	9	16		1000	64,261	-214,409	252,743
	150	9	16		1000	64,261	-214,843	253,166
	200	9	16		1000	64,261	-215,451	253,759
50	9	16	75	1000	64,261	-129,221	170,679	
100	9	16		1000	64,261	-129,481	170,925	
150	9	16		1000	64,261	-129,915	171,336	
200	9	16		1000	64,261	-130,523	171,910	
40	50	5	12	30	1000	95,202	-265,032	323,321
	100	6,6	12		1000	125,666	-340,906	418,149
	150	8	14		1000	130,562	-352,450	432,764
	200	9	13		1000	158,181	-421,541	519,036
	50	5	12	45	1000	95,202	-226,061	285,812
	100	6,6	12		1000	125,666	-288,694	367,988
	150	8	14		1000	130,562	-298,233	380,693
	200	9	13		1000	158,181	-355,262	455,443
	50	5	12	60	1000	95,202	-173,134	235,630
	100	6,6	12		1000	125,666	-218,512	301,661
	150	8	14		1000	130,562	-225,437	311,933
	200	9	13		1000	158,181	-266,748	371,982
50	5	12	75	1000	95,202	-109,858	177,738	
100	6,6	12		1000	125,666	-135,142	225,917	
150	8	14		1000	130,562	-139,024	233,507	
200	9	13		1000	158,181	-162,030	277,318	
60	50	4,6	12	30	1000	131,378	-251,021	336,527
	100	6,2	11,5		1000	184,774	-341,794	462,730
	150	7,5	13,5		1000	190,404	-350,678	475,394
	200	8,5	14		1000	208,084	-380,606	517,067
	50	4,6	12	45	1000	131,378	-215,360	303,206
	100	6,2	11,5		1000	184,774	-290,624	415,095
	150	7,5	13,5		1000	190,404	-298,010	426,387
	200	8,5	14		1000	208,084	-322,842	463,362
	50	4,6	12	60	1000	131,378	-166,747	258,789
	100	6,2	11,5		1000	184,774	-221,800	352,590
	150	7,5	13,5		1000	190,404	-227,234	362,153
	200	8,5	14		1000	208,084	-245,424	393,193
50	4,6	12	75	1000	131,378	-108,494	208,050	
100	6,2	11,5		1000	184,774	-140,012	282,163	
150	7,5	13,5		1000	190,404	-143,171	289,848	
200	8,5	14		1000	208,084	-153,628	314,433	
80	50	4,4	12	30	1000	167,555	-245,960	360,254
	100	6	13		1000	210,909	-301,976	446,499
	150	7	15		1000	213,252	-304,751	450,931
	200	8	16		1000	228,484	-324,376	481,186
	50	4,4	12	45	1000	167,555	-211,954	329,413
	100	6	13		1000	210,909	-258,615	407,319
	150	7	15		1000	213,252	-260,987	411,396
	200	8	16		1000	228,484	-277,345	438,741
	50	4,4	12	60	1000	167,555	-165,497	288,433
	100	6	13		1000	210,909	-199,968	355,871
	150	7	15		1000	213,252	-201,814	359,503
	200	8	16		1000	228,484	-213,913	383,197
50	4,4	12	75	1000	167,555	-109,755	241,890	
100	6	13		1000	210,909	-130,030	298,018	
150	7	15		1000	213,252	-131,264	301,163	
200	8	16		1000	228,484	-138,405	320,912	
100	50	4,4	12	30	1000	209,444	-250,396	398,759
	100	5,8	14		1000	236,644	-278,864	446,942
	150	7	17,5		1000	228,484	-269,500	431,754
	200	7,5	18,5		1000	231,572	-273,135	437,583
	50	4,4	12	45	1000	209,444	-216,390	368,800
	100	5,8	14		1000	236,644	-240,252	413,009
	150	7	17,5		1000	228,484	-232,455	399,190
	200	7,5	18,5		1000	231,572	-235,585	404,575
	50	4,4	12	60	1000	209,444	-169,934	329,144
	100	5,8	14		1000	236,644	-187,794	368,385
	150	7	17,5		1000	228,484	-182,038	356,280
	200	7,5	18,5		1000	231,572	-184,510	361,105
50	4,4	12	75	1000	209,444	-114,192	284,294	
100	5,8	14		1000	236,644	-125,064	318,178	
150	7	17,5		1000	228,484	-121,684	307,920	
200	7,5	18,5		1000	231,572	-123,391	312,129	
120	50	4,2	13	30	1000	221,454	-227,784	389,064
	100	5,6	16,5		1000	232,638	-237,220	406,916
	150	6,8	20		1000	233,054	-237,044	407,122
	200	7,5	22		1000	233,677	-237,641	408,178
	50	4,2	13	45	1000	221,454	-198,173	363,594
	100	5,6	16,5		1000	232,638	-206,158	380,239
	150	6,8	20		1000	233,054	-206,032	380,499
	200	7,5	22		1000	233,677	-206,586	381,519
	50	4,2	13	60	1000	221,454	-157,443	329,691
	100	5,6	16,5		1000	232,638	-163,537	344,833
	150	6,8	20		1000	233,054	-163,476	345,162
	200	7,5	22		1000	233,677	-163,974	346,135
50	4,2	13	75	1000	221,454	-108,370	291,178	
100	5,6	16,5		1000	232,638	-112,262	304,697	
150	6,8	20		1000	233,054	-112,276	305,101	
200	7,5	22		1000	233,677	-112,709	306,016	

Tabla 44. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.35$ y $L=100$ metros

SUELOS LIMOS ARENOSOS (0,35)								
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{ml} (mm)	α	Ls1 (m)	σ_{z1} + Mpa	σ_x Mpa	σ Mpa
L=100								
20	50	9	16	30	100	64,261	-52,711	101,465
	100	9	16		100	64,261	-52,971	101,883
	150	9	16		100	64,261	-53,405	102,046
	200	9	16		100	64,261	-54,013	102,556
	50	9	16	45	100	64,261	-46,808	96,584
	100	9	16		100	64,261	-47,068	96,797
	150	9	16		100	64,261	-47,502	97,152
	200	9	16		100	64,261	-48,110	97,651
	50	9	16	60	100	64,261	-38,901	90,237
	100	9	16		100	64,261	-39,162	90,442
	150	9	16		100	64,261	-39,596	90,784
	200	9	16		100	64,261	-40,203	91,265
50	9	16	75	100	64,261	-29,530	83,061	
100	9	16		100	64,261	-29,790	83,255	
150	9	16		100	64,261	-30,224	83,578	
200	9	16		100	64,261	-30,832	84,032	
40	50	5	12	30	100	95,202	-49,872	127,666
	100	6,6	12		100	125,666	-60,798	164,708
	150	8	14		100	130,562	-61,904	170,179
	200	9	13		100	158,181	-72,112	204,030
	50	5	12	45	100	95,202	-45,200	124,135
	100	6,6	12		100	125,666	-54,804	160,258
	150	8	14		100	130,562	-55,821	165,682
	200	9	13		100	158,181	-64,773	198,652
	50	5	12	60	100	95,202	-38,897	119,497
	100	6,6	12		100	125,666	-46,780	154,464
	150	8	14		100	130,562	-47,679	159,828
	200	9	13		100	158,181	-54,995	191,690
50	5	12	75	100	95,202	-31,393	114,182	
100	6,6	12		100	125,666	-37,271	147,868	
150	8	14		100	130,562	-38,034	153,163	
200	9	13		100	158,181	-43,444	183,796	
60	50	4,6	12	30	100	131,378	-52,098	163,765
	100	6,2	11,5		100	184,774	-66,981	225,841
	150	7,5	13,5		100	190,404	-67,864	231,907
	200	8,5	14		100	208,084	-72,663	252,386
	50	4,6	12	45	100	131,378	-47,756	160,670
	100	6,2	11,5		100	184,774	-61,058	221,701
	150	7,5	13,5		100	190,404	-61,911	227,760
	200	8,5	14		100	208,084	-66,225	247,921
	50	4,6	12	60	100	131,378	-41,883	156,579
	100	6,2	11,5		100	184,774	-53,125	216,287
	150	7,5	13,5		100	190,404	-53,939	222,336
	200	8,5	14		100	208,084	-57,622	242,094
50	4,6	12	75	100	131,378	-34,880	151,853	
100	6,2	11,5		100	184,774	-43,723	210,077	
150	7,5	13,5		100	190,404	-44,492	216,112	
200	8,5	14		100	208,084	-47,439	235,416	
80	50	4,4	12	30	100	167,555	-55,155	200,894
	100	6	13		100	210,909	-64,959	249,805
	150	7	15		100	213,252	-65,236	252,277
	200	8	16		100	228,484	-68,624	269,432
	50	4,4	12	45	100	167,555	-50,977	198,028
	100	6	13		100	210,909	-59,908	246,387
	150	7	15		100	213,252	-60,241	248,901
	200	8	16		100	228,484	-63,341	265,875
	50	4,4	12	60	100	167,555	-45,319	194,222
	100	6	13		100	210,909	-53,113	241,879
	150	7	15		100	213,252	-53,517	244,444
	200	8	16		100	228,484	-56,242	261,187
50	4,4	12	75	100	167,555	-38,566	189,800	
100	6	13		100	210,909	-45,035	236,662	
150	7	15		100	213,252	-45,522	239,283	
200	8	16		100	228,484	-47,812	255,764	
100	50	4,4	12	30	100	209,444	-59,591	244,743
	100	5,8	14		100	236,644	-64,864	274,877
	150	7	17,5		100	228,484	-62,458	265,286
	200	7,5	18,5		100	231,572	-63,461	268,977
	50	4,4	12	45	100	209,444	-55,414	241,958
	100	5,8	14		100	236,644	-60,338	271,882
	150	7	17,5		100	228,484	-58,222	262,484
	200	7,5	18,5		100	231,572	-59,203	266,158
	50	4,4	12	60	100	209,444	-49,756	238,251
	100	5,8	14		100	236,644	-54,227	267,906
	150	7	17,5		100	228,484	-52,487	258,752
	200	7,5	18,5		100	231,572	-53,440	262,405
50	4,4	12	75	100	209,444	-43,003	233,929	
100	5,8	14		100	236,644	-46,945	263,275	
150	7	17,5		100	228,484	-45,645	254,396	
200	7,5	18,5		100	231,572	-46,564	258,025	
120	50	4,2	13	30	100	221,454	-58,211	255,581
	100	5,6	16,5		100	232,638	-59,700	267,531
	150	6,8	20		100	233,054	-59,228	267,629
	200	7,5	22		100	233,677	-59,383	268,342
	50	4,2	13	45	100	221,454	-54,531	253,163
	100	5,6	16,5		100	232,638	-56,028	265,130
	150	6,8	20		100	233,054	-55,660	265,300
	200	7,5	22		100	233,677	-55,853	266,038
	50	4,2	13	60	100	221,454	-49,522	249,922
	100	5,6	16,5		100	232,638	-51,028	261,908
	150	6,8	20		100	233,054	-50,796	262,169
	200	7,5	22		100	233,677	-51,039	262,938
50	4,2	13	75	100	221,454	-43,524	246,119	
100	5,6	16,5		100	232,638	-45,042	258,124	
150	6,8	20		100	233,054	-44,968	258,488	
200	7,5	22		100	233,677	-45,268	259,292	

Tabla 45. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.35$ y $L=500$ metros

SUELOS LIMOS ARENOSOS (0,35)								
H (m)	Q (m³/s)	D_{EC} (m)	δ_{ml} (mm)	α	L_{sl} (m)	$\sigma_{z1}, +$ Mpa	σ_x Mpa	σ Mpa
L=500m								
50	9	16			500	64,261	-179,909	219,221
100	9	16		30	500	64,261	-180,170	219,473
150	9	16			500	64,261	-180,604	219,893
200	9	16			500	64,261	-181,211	220,481
50	9	16			500	64,261	-152,968	193,284
100	9	16		45	500	64,261	-153,229	193,534
150	9	16			500	64,261	-153,663	193,949
200	9	16			500	64,261	-154,270	194,531
50	9	16			500	64,261	-116,789	158,979
100	9	16		60	500	64,261	-117,049	159,223
150	9	16			500	64,261	-117,483	159,629
200	9	16			500	64,261	-118,091	160,199
50	9	16			500	64,261	-73,837	119,692
100	9	16		75	500	64,261	-74,097	119,923
150	9	16			500	64,261	-74,531	120,307
200	9	16			500	64,261	-75,139	120,846
50	5	12			500	95,202	-145,499	209,964
100	6,6	12		30	500	125,666	-185,290	270,941
150	8	14			500	130,562	-191,036	280,149
200	9	13			500	158,181	-227,414	335,725
50	5	12			500	95,202	-125,583	191,807
100	6,6	12		45	500	125,666	-158,755	246,871
150	8	14			500	130,562	-163,560	255,251
200	9	13			500	158,181	-193,879	305,416
50	5	12			500	95,202	-98,558	167,809
100	6,6	12		60	500	125,666	-123,105	215,446
150	8	14			500	130,562	-126,683	222,789
200	9	13			500	158,181	-149,108	266,159
50	5	12			500	95,202	-66,267	140,582
100	6,6	12		75	500	125,666	-80,770	180,183
150	8	14			500	130,562	-82,918	186,408
200	9	13			500	158,181	-96,149	222,430
50	4,6	12			500	131,378	-140,508	235,505
100	6,2	11,5		30	500	184,774	-189,120	323,809
150	7,5	13,5			500	190,404	-193,559	332,525
200	8,5	14			500	208,084	-209,526	361,662
50	4,6	12			500	131,378	-122,247	219,693
100	6,2	11,5		45	500	184,774	-163,087	301,452
150	7,5	13,5			500	190,404	-166,844	309,610
200	8,5	14			500	208,084	-180,277	336,618
50	4,6	12			500	131,378	-97,378	198,837
100	6,2	11,5		60	500	184,774	-128,092	272,428
150	7,5	13,5			500	190,404	-130,959	279,891
200	8,5	14			500	208,084	-141,089	304,243
50	4,6	12			500	131,378	-67,597	175,244
100	6,2	11,5		75	500	184,774	-86,518	240,028
150	7,5	13,5			500	190,404	-88,349	246,741
200	8,5	14			500	208,084	-94,634	268,228
50	4,4	12			500	167,555	-139,957	266,670
100	6	13		30	500	210,909	-170,300	330,760
150	7	15			500	213,252	-171,687	334,014
200	8	16			500	228,484	-182,291	356,491
50	4,4	12			500	167,555	-122,522	252,222
100	6	13		45	500	210,909	-148,222	312,592
150	7	15			500	213,252	-149,461	315,734
200	8	16			500	228,484	-158,454	336,922
50	4,4	12			500	167,555	-98,732	233,164
100	6	13		60	500	210,909	-118,382	288,902
150	7	15			500	213,252	-119,427	291,902
200	8	16			500	228,484	-126,318	311,485
50	4,4	12			500	167,555	-70,206	211,582
100	6	13		75	500	210,909	-82,811	262,308
150	7	15			500	213,252	-83,630	265,150
200	8	16			500	228,484	-88,075	282,995
50	4,4	12			500	209,444	-144,394	308,154
100	5,8	14		30	500	236,644	-159,975	345,615
150	7	17,5			500	228,484	-154,477	333,712
200	7,5	18,5			500	231,572	-156,649	338,290
50	4,4	12			500	209,444	-126,959	294,238
100	5,8	14		45	500	236,644	-140,300	329,979
150	7	17,5			500	228,484	-135,659	318,754
200	7,5	18,5			500	231,572	-137,595	323,142
50	4,4	12			500	209,444	-103,168	275,896
100	5,8	14		60	500	236,644	-113,590	309,489
150	7	17,5			500	228,484	-110,065	299,111
200	7,5	18,5			500	231,572	-111,693	303,259
50	4,4	12			500	209,444	-74,643	255,091
100	5,8	14		75	500	236,644	-81,664	286,348
150	7	17,5			500	228,484	-79,440	276,887
200	7,5	18,5			500	231,572	-80,709	280,766
50	4,2	13			500	221,454	-133,577	310,589
100	5,6	16,5		30	500	232,638	-138,598	324,920
150	6,8	20			500	233,054	-138,257	325,039
200	7,5	22			500	233,677	-138,609	325,894
50	4,2	13			500	221,454	-118,372	298,777
100	5,6	16,5		45	500	232,638	-122,752	312,643
150	6,8	20			500	233,054	-122,492	312,835
200	7,5	22			500	233,677	-122,845	313,691
50	4,2	13			500	221,454	-97,487	283,080
100	5,6	16,5		60	500	232,638	-101,032	296,365
150	6,8	20			500	233,054	-100,876	296,647
200	7,5	22			500	233,677	-101,232	297,504
50	4,2	13			500	221,454	-72,344	265,135
100	5,6	16,5		75	500	232,638	-74,918	277,781
150	6,8	20			500	233,054	-74,883	278,161
200	7,5	22			500	233,677	-75,242	279,014

Tabla 46. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.35$ y $L=1000$ metros

SUELOS LIMOS ARENOSOS (0,35)								
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{ml} (mm)	α	L_{s1} (m)	σ_{z1} + Mpa	σ_x Mpa	σ Mpa
L=1000m								
20	50	9	16	30	1000	64,261	-338,908	375,189
	100	9	16		1000	64,261	-339,168	375,446
	150	9	16		1000	64,261	-339,602	375,875
	200	9	16		1000	64,261	-340,210	376,476
	50	9	16	45	1000	64,261	-285,669	322,636
	100	9	16		1000	64,261	-285,929	322,892
	150	9	16		1000	64,261	-286,363	323,320
	200	9	16		1000	64,261	-286,971	323,918
	50	9	16	60	1000	64,261	-214,149	252,489
	100	9	16		1000	64,261	-214,409	252,743
	150	9	16		1000	64,261	-214,843	253,166
	200	9	16		1000	64,261	-215,451	253,759
50	9	16	75	1000	64,261	-129,221	170,679	
100	9	16		1000	64,261	-129,481	170,925	
150	9	16		1000	64,261	-129,915	171,336	
200	9	16		1000	64,261	-130,523	171,910	
40	50	5	12	30	1000	95,202	-265,032	323,321
	100	6,6	12		1000	125,666	-340,906	418,149
	150	8	14		1000	130,562	-352,450	432,764
	200	9	13		1000	158,181	-421,541	519,036
	50	5	12	45	1000	95,202	-226,061	285,812
	100	6,6	12		1000	125,666	-288,694	367,988
	150	8	14		1000	130,562	-298,233	380,693
	200	9	13		1000	158,181	-355,262	455,443
	50	5	12	60	1000	95,202	-173,134	235,630
	100	6,6	12		1000	125,666	-218,512	301,661
	150	8	14		1000	130,562	-225,437	311,933
	200	9	13		1000	158,181	-266,748	371,982
50	5	12	75	1000	95,202	-109,858	177,738	
100	6,6	12		1000	125,666	-135,142	225,917	
150	8	14		1000	130,562	-139,024	233,507	
200	9	13		1000	158,181	-162,030	277,318	
60	50	4,6	12	30	1000	131,378	-251,021	336,527
	100	6,2	11,5		1000	184,774	-341,794	462,730
	150	7,5	13,5		1000	190,404	-350,678	475,394
	200	8,5	14		1000	208,084	-380,606	517,067
	50	4,6	12	45	1000	131,378	-215,360	303,206
	100	6,2	11,5		1000	184,774	-290,624	415,095
	150	7,5	13,5		1000	190,404	-298,010	426,387
	200	8,5	14		1000	208,084	-322,842	463,362
	50	4,6	12	60	1000	131,378	-166,747	258,789
	100	6,2	11,5		1000	184,774	-221,800	352,590
	150	7,5	13,5		1000	190,404	-227,234	362,153
	200	8,5	14		1000	208,084	-245,424	393,193
50	4,6	12	75	1000	131,378	-108,494	208,050	
100	6,2	11,5		1000	184,774	-140,012	282,163	
150	7,5	13,5		1000	190,404	-143,171	289,848	
200	8,5	14		1000	208,084	-153,628	314,433	
80	50	4,4	12	30	1000	167,555	-245,960	360,254
	100	6	13		1000	210,909	-301,976	446,499
	150	7	15		1000	213,252	-304,751	450,931
	200	8	16		1000	228,484	-324,376	481,186
	50	4,4	12	45	1000	167,555	-211,954	329,413
	100	6	13		1000	210,909	-258,615	407,319
	150	7	15		1000	213,252	-260,987	411,396
	200	8	16		1000	228,484	-277,345	438,741
	50	4,4	12	60	1000	167,555	-165,497	288,433
	100	6	13		1000	210,909	-199,968	355,871
	150	7	15		1000	213,252	-201,814	359,503
	200	8	16		1000	228,484	-213,913	383,197
50	4,4	12	75	1000	167,555	-109,755	241,890	
100	6	13		1000	210,909	-130,030	298,018	
150	7	15		1000	213,252	-131,264	301,163	
200	8	16		1000	228,484	-138,405	320,912	
100	50	4,4	12	30	1000	209,444	-250,396	398,759
	100	5,8	14		1000	236,644	-278,864	446,942
	150	7	17,5		1000	228,484	-269,500	431,754
	200	7,5	18,5		1000	231,572	-273,135	437,583
	50	4,4	12	45	1000	209,444	-216,390	368,800
	100	5,8	14		1000	236,644	-240,252	413,009
	150	7	17,5		1000	228,484	-232,455	399,190
	200	7,5	18,5		1000	231,572	-235,585	404,575
	50	4,4	12	60	1000	209,444	-169,934	329,144
	100	5,8	14		1000	236,644	-187,794	368,385
	150	7	17,5		1000	228,484	-182,038	356,280
	200	7,5	18,5		1000	231,572	-184,510	361,105
50	4,4	12	75	1000	209,444	-114,192	284,294	
100	5,8	14		1000	236,644	-125,064	318,178	
150	7	17,5		1000	228,484	-121,684	307,920	
200	7,5	18,5		1000	231,572	-123,391	312,129	
120	50	4,2	13	30	1000	221,454	-227,784	389,064
	100	5,6	16,5		1000	232,638	-237,220	406,916
	150	6,8	20		1000	233,054	-237,044	407,122
	200	7,5	22		1000	233,677	-237,641	408,178
	50	4,2	13	45	1000	221,454	-198,173	363,594
	100	5,6	16,5		1000	232,638	-206,158	380,239
	150	6,8	20		1000	233,054	-206,032	380,499
	200	7,5	22		1000	233,677	-206,586	381,519
	50	4,2	13	60	1000	221,454	-157,443	329,691
	100	5,6	16,5		1000	232,638	-163,537	344,833
	150	6,8	20		1000	233,054	-163,476	345,162
	200	7,5	22		1000	233,677	-163,974	346,135
50	4,2	13	75	1000	221,454	-108,370	291,178	
100	5,6	16,5		1000	232,638	-112,262	304,697	
150	6,8	20		1000	233,054	-112,276	305,101	
200	7,5	22		1000	233,677	-112,709	306,016	

Tabla 47. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.60$ y $L=100$ metros

SUELO ARCILLOSO SECOS Y ARENAS SECAS (0,40 - 0,60)								
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{ml} (mm)	α	$Ls1$ (m)	σ_{z1} , Mpa	σ_x Mpa	σ Mpa
L= 100m								
20	50	9	16		100	64,261	-52,711	101,465
	100	9	16	30	100	64,261	-52,971	101,683
	150	9	16		100	64,261	-53,405	102,046
	200	9	16		100	64,261	-54,013	102,556
	50	9	16		100	64,261	-46,808	96,584
	100	9	16	45	100	64,261	-47,068	96,797
	150	9	16		100	64,261	-47,502	97,152
	200	9	16		100	64,261	-48,110	97,651
	50	9	16		100	64,261	-38,901	90,237
	100	9	16	60	100	64,261	-39,162	90,442
	150	9	16		100	64,261	-39,596	90,784
	200	9	16		100	64,261	-40,203	91,265
40	50	9	16		100	64,261	-29,530	83,061
	100	9	16	75	100	64,261	-29,790	83,255
	150	9	16		100	64,261	-30,224	83,578
	200	9	16		100	64,261	-30,832	84,032
	50	5	12		100	95,202	-49,872	127,666
	100	6,6	12	30	100	125,666	-60,798	164,708
	150	8	14		100	130,562	-61,904	170,179
	200	9	13		100	158,181	-72,112	204,030
	50	5	12		100	95,202	-45,200	124,135
	100	6,6	12	45	100	125,666	-54,804	160,258
	150	8	14		100	130,562	-55,821	165,682
	200	9	13		100	158,181	-64,773	198,652
60	50	5	12		100	95,202	-38,897	119,497
	100	6,6	12	60	100	125,666	-46,780	154,464
	150	8	14		100	130,562	-47,679	159,828
	200	9	13		100	158,181	-54,995	191,690
	50	5	12		100	95,202	-31,393	114,182
	100	6,6	12	75	100	125,666	-37,271	147,868
	150	8	14		100	130,562	-38,034	153,163
	200	9	13		100	158,181	-43,444	183,796
	50	4,6	12		100	131,378	-52,098	163,765
	100	6,2	11,5	30	100	184,774	-66,981	225,841
	150	7,5	13,5		100	190,404	-67,864	231,907
	200	8,5	14		100	208,084	-72,663	252,386
80	50	4,6	12		100	131,378	-47,756	160,670
	100	6,2	11,5	45	100	184,774	-61,058	221,701
	150	7,5	13,5		100	190,404	-61,911	227,760
	200	8,5	14		100	208,084	-66,225	247,921
	50	4,6	12		100	131,378	-41,883	156,579
	100	6,2	11,5	60	100	184,774	-53,125	216,287
	150	7,5	13,5		100	190,404	-53,939	222,336
	200	8,5	14		100	208,084	-57,622	242,094
	50	4,6	12		100	131,378	-34,880	151,853
	100	6,2	11,5	75	100	184,774	-43,723	210,077
	150	7,5	13,5		100	190,404	-44,492	216,112
	200	8,5	14		100	208,084	-47,439	235,416
100	50	4,4	12		100	167,555	-55,155	200,894
	100	6	13	30	100	210,909	-64,959	249,805
	150	7	15		100	213,252	-65,236	252,277
	200	8	16		100	228,484	-68,624	269,432
	50	4,4	12		100	167,555	-50,977	198,028
	100	6	13	45	100	210,909	-59,908	246,387
	150	7	15		100	213,252	-60,241	248,901
	200	8	16		100	228,484	-63,341	265,875
	50	4,4	12		100	167,555	-45,319	194,222
	100	6	13	60	100	210,909	-53,113	241,879
	150	7	15		100	213,252	-53,517	244,444
	200	8	16		100	228,484	-56,242	261,187
120	50	4,4	12		100	167,555	-38,566	189,800
	100	6	13	75	100	210,909	-45,035	236,662
	150	7	15		100	213,252	-45,522	239,283
	200	8	16		100	228,484	-47,812	255,764
	50	4,4	12		100	209,444	-59,591	244,743
	100	5,8	14	30	100	236,644	-64,864	274,877
	150	7	17,5		100	228,484	-62,458	265,286
	200	7,5	18,5		100	231,572	-63,461	268,977
	50	4,4	12		100	209,444	-55,414	241,958
	100	5,8	14	45	100	236,644	-60,338	271,882
	150	7	17,5		100	228,484	-58,222	262,484
	200	7,5	18,5		100	231,572	-59,203	266,158
140	50	4,4	12		100	209,444	-49,756	238,251
	100	5,8	14	60	100	236,644	-54,227	267,906
	150	7	17,5		100	228,484	-52,487	258,752
	200	7,5	18,5		100	231,572	-53,440	262,405
	50	4,4	12		100	209,444	-43,003	233,929
	100	5,8	14	75	100	236,644	-46,945	263,275
	150	7	17,5		100	228,484	-45,645	254,396
	200	7,5	18,5		100	231,572	-46,564	258,025
	50	4,2	13		100	221,454	-58,211	255,581
	100	5,6	16,5	30	100	232,638	-59,700	267,531
	150	6,8	20		100	233,054	-59,228	267,629
	200	7,5	22		100	233,677	-59,383	268,342
160	50	4,2	13		100	221,454	-54,531	253,163
	100	5,6	16,5	45	100	232,638	-56,028	265,130
	150	6,8	20		100	233,054	-55,660	265,300
	200	7,5	22		100	233,677	-55,853	266,038
	50	4,2	13		100	221,454	-49,522	249,922
	100	5,6	16,5	60	100	232,638	-51,028	261,908
	150	6,8	20		100	233,054	-50,796	262,169
	200	7,5	22		100	233,677	-51,039	262,938
	50	4,2	13		100	221,454	-43,524	246,119
	100	5,6	16,5	75	100	232,638	-45,042	258,124
	150	6,8	20		100	233,054	-44,968	258,488
	200	7,5	22		100	233,677	-45,268	259,292

Tabla 48. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.60$ y $L=500$ metros

SUELO ARCILLOSO SECOS Y ARENAS SECAS (0,40 - 0,60)								
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{ml} (mm)	α	L_{s1} (m)	σ_{z1} + Mpa	σ_x Mpa	σ Mpa
L= 500m								
20	50	9	16	30	500	64,261	-179,909	219,221
	100	9	16		500	64,261	-180,170	219,473
	150	9	16		500	64,261	-180,604	219,893
	200	9	16		500	64,261	-181,211	220,481
	50	9	16	45	500	64,261	-152,968	193,284
	100	9	16		500	64,261	-153,229	193,534
	150	9	16		500	64,261	-153,663	193,949
	200	9	16		500	64,261	-154,270	194,531
	50	9	16	60	500	64,261	-116,789	158,979
	100	9	16		500	64,261	-117,049	159,223
	150	9	16		500	64,261	-117,483	159,629
	200	9	16		500	64,261	-118,091	160,199
50	9	16	75	500	64,261	-73,837	119,692	
100	9	16		500	64,261	-74,097	119,923	
150	9	16		500	64,261	-74,531	120,307	
200	9	16		500	64,261	-75,139	120,846	
40	50	5	12	30	500	95,202	-145,499	209,964
	100	6,6	12		500	125,666	-185,290	270,941
	150	8	14		500	130,562	-191,036	280,149
	200	9	13		500	158,181	-227,414	335,725
	50	5	12	45	500	95,202	-125,583	191,807
	100	6,6	12		500	125,666	-158,755	246,871
	150	8	14		500	130,562	-163,560	255,251
	200	9	13		500	158,181	-193,879	305,416
	50	5	12	60	500	95,202	-98,558	167,809
	100	6,6	12		500	125,666	-123,105	215,446
	150	8	14		500	130,562	-126,683	222,789
	200	9	13		500	158,181	-149,108	266,159
50	5	12	75	500	95,202	-66,267	140,582	
100	6,6	12		500	125,666	-80,770	180,183	
150	8	14		500	130,562	-82,918	186,408	
200	9	13		500	158,181	-96,149	222,430	
60	50	4,6	12	30	500	131,378	-140,508	235,505
	100	6,2	11,5		500	184,774	-189,120	323,809
	150	7,5	13,5		500	190,404	-193,559	332,525
	200	8,5	14		500	208,084	-209,526	361,662
	50	4,6	12	45	500	131,378	-122,247	219,693
	100	6,2	11,5		500	184,774	-163,087	301,452
	150	7,5	13,5		500	190,404	-166,844	309,610
	200	8,5	14		500	208,084	-180,277	336,618
	50	4,6	12	60	500	131,378	-97,378	198,837
	100	6,2	11,5		500	184,774	-128,092	272,428
	150	7,5	13,5		500	190,404	-130,959	279,891
	200	8,5	14		500	208,084	-141,089	304,243
50	4,6	12	75	500	131,378	-67,597	175,244	
100	6,2	11,5		500	184,774	-86,518	240,028	
150	7,5	13,5		500	190,404	-88,349	246,741	
200	8,5	14		500	208,084	-94,634	268,228	
80	50	4,4	12	30	500	167,555	-139,957	266,670
	100	6	13		500	210,909	-170,300	330,760
	150	7	15		500	213,252	-171,687	334,014
	200	8	16		500	228,484	-182,291	356,491
	50	4,4	12	45	500	167,555	-122,522	252,222
	100	6	13		500	210,909	-148,222	312,592
	150	7	15		500	213,252	-149,461	315,734
	200	8	16		500	228,484	-158,454	336,922
	50	4,4	12	60	500	167,555	-98,732	233,164
	100	6	13		500	210,909	-118,382	288,902
	150	7	15		500	213,252	-119,427	291,902
	200	8	16		500	228,484	-126,318	311,485
50	4,4	12	75	500	167,555	-70,206	211,582	
100	6	13		500	210,909	-82,811	262,308	
150	7	15		500	213,252	-83,630	265,150	
200	8	16		500	228,484	-88,075	282,995	
100	50	4,4	12	30	500	209,444	-144,394	308,154
	100	5,8	14		500	236,644	-159,975	345,615
	150	7	17,5		500	228,484	-154,477	333,712
	200	7,5	18,5		500	231,572	-156,649	338,290
	50	4,4	12	45	500	209,444	-126,959	294,238
	100	5,8	14		500	236,644	-140,300	329,979
	150	7	17,5		500	228,484	-135,659	318,754
	200	7,5	18,5		500	231,572	-137,595	323,142
	50	4,4	12	60	500	209,444	-103,168	275,896
	100	5,8	14		500	236,644	-113,590	309,489
	150	7	17,5		500	228,484	-110,065	299,111
	200	7,5	18,5		500	231,572	-111,693	303,259
50	4,4	12	75	500	209,444	-74,643	255,091	
100	5,8	14		500	236,644	-81,664	286,348	
150	7	17,5		500	228,484	-79,440	276,887	
200	7,5	18,5		500	231,572	-80,709	280,766	
120	50	4,2	13	30	500	221,454	-133,577	310,589
	100	5,6	16,5		500	232,638	-138,598	324,920
	150	6,8	20		500	233,054	-138,257	325,039
	200	7,5	22		500	233,677	-138,609	325,894
	50	4,2	13	45	500	221,454	-118,372	298,777
	100	5,6	16,5		500	232,638	-122,752	312,643
	150	6,8	20		500	233,054	-122,492	312,835
	200	7,5	22		500	233,677	-122,845	313,691
	50	4,2	13	60	500	221,454	-97,487	283,080
	100	5,6	16,5		500	232,638	-101,032	296,365
	150	6,8	20		500	233,054	-100,876	296,647
	200	7,5	22		500	233,677	-101,232	297,504
50	4,2	13	75	500	221,454	-72,344	265,135	
100	5,6	16,5		500	232,638	-74,918	277,781	
150	6,8	20		500	233,054	-74,883	278,161	
200	7,5	22		500	233,677	-75,242	279,014	

Tabla 49. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.60$ y $L=1000$ metros

SUELO ARCILLOSO SECOS Y ARENAS SECAS (0,40 - 0,60)								
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{ml} (mm)	α	$Ls1$ (m)	$\sigma_{z1} + Mpa$	σ_x Mpa	σ Mpa
L= 1000m								
20	50	9	16	30	1000	64,261	-338,908	375,189
	100	9	16		1000	64,261	-339,168	375,446
	150	9	16		1000	64,261	-339,602	375,875
	200	9	16		1000	64,261	-340,210	376,476
	50	9	16	45	1000	64,261	-285,669	322,636
	100	9	16		1000	64,261	-285,929	322,892
	150	9	16		1000	64,261	-286,363	323,320
	200	9	16		1000	64,261	-286,971	323,918
	50	9	16	60	1000	64,261	-214,149	252,489
	100	9	16		1000	64,261	-214,409	252,743
	150	9	16		1000	64,261	-214,843	253,166
	200	9	16		1000	64,261	-215,451	253,759
	50	9	16	75	1000	64,261	-129,221	170,679
	100	9	16		1000	64,261	-129,481	170,925
	150	9	16		1000	64,261	-129,915	171,336
	200	9	16		1000	64,261	-130,523	171,910
40	50	5	12	30	1000	95,202	-265,032	323,321
	100	6,6	12		1000	125,666	-340,906	418,149
	150	8	14		1000	130,562	-352,450	432,764
	200	9	13		1000	158,181	-421,541	519,036
	50	5	12	45	1000	95,202	-226,061	285,812
	100	6,6	12		1000	125,666	-288,694	367,988
	150	8	14		1000	130,562	-298,233	380,693
	200	9	13		1000	158,181	-355,262	455,443
	50	5	12	60	1000	95,202	-173,134	235,630
	100	6,6	12		1000	125,666	-218,512	301,661
	150	8	14		1000	130,562	-225,437	311,933
	200	9	13		1000	158,181	-266,748	371,982
	50	5	12	75	1000	95,202	-109,858	177,738
	100	6,6	12		1000	125,666	-135,142	225,917
	150	8	14		1000	130,562	-139,024	233,507
	200	9	13		1000	158,181	-162,030	277,318
60	50	4,6	12	30	1000	131,378	-251,021	336,527
	100	6,2	11,5		1000	184,774	-341,794	462,730
	150	7,5	13,5		1000	190,404	-350,678	475,394
	200	8,5	14		1000	208,084	-380,606	517,067
	50	4,6	12	45	1000	131,378	-215,360	303,206
	100	6,2	11,5		1000	184,774	-290,624	415,095
	150	7,5	13,5		1000	190,404	-298,010	426,387
	200	8,5	14		1000	208,084	-322,842	463,362
	50	4,6	12	60	1000	131,378	-166,747	258,789
	100	6,2	11,5		1000	184,774	-221,800	352,590
	150	7,5	13,5		1000	190,404	-227,234	362,153
	200	8,5	14		1000	208,084	-245,424	393,193
	50	4,6	12	75	1000	131,378	-108,494	208,050
	100	6,2	11,5		1000	184,774	-140,012	282,163
	150	7,5	13,5		1000	190,404	-143,171	289,848
	200	8,5	14		1000	208,084	-153,628	314,433
80	50	4,4	12	30	1000	167,555	-245,960	360,254
	100	6	13		1000	210,909	-301,976	446,499
	150	7	15		1000	213,252	-304,751	450,931
	200	8	16		1000	228,484	-324,376	481,186
	50	4,4	12	45	1000	167,555	-211,954	329,413
	100	6	13		1000	210,909	-258,615	407,319
	150	7	15		1000	213,252	-260,987	411,396
	200	8	16		1000	228,484	-277,345	438,741
	50	4,4	12	60	1000	167,555	-165,497	288,433
	100	6	13		1000	210,909	-199,968	355,871
	150	7	15		1000	213,252	-201,814	359,503
	200	8	16		1000	228,484	-213,913	383,197
	50	4,4	12	75	1000	167,555	-109,755	241,890
	100	6	13		1000	210,909	-130,030	298,018
	150	7	15		1000	213,252	-131,264	301,163
	200	8	16		1000	228,484	-138,405	320,912
100	50	4,4	12	30	1000	209,444	-250,396	398,759
	100	5,8	14		1000	236,644	-278,864	446,942
	150	7	17,5		1000	228,484	-269,500	431,754
	200	7,5	18,5		1000	231,572	-273,135	437,583
	50	4,4	12	45	1000	209,444	-216,390	368,800
	100	5,8	14		1000	236,644	-240,252	413,009
	150	7	17,5		1000	228,484	-232,455	399,190
	200	7,5	18,5		1000	231,572	-235,585	404,575
	50	4,4	12	60	1000	209,444	-169,934	329,144
	100	5,8	14		1000	236,644	-187,794	368,385
	150	7	17,5		1000	228,484	-182,038	356,280
	200	7,5	18,5		1000	231,572	-184,510	361,105
	50	4,4	12	75	1000	209,444	-114,192	284,294
	100	5,8	14		1000	236,644	-125,064	318,178
	150	7	17,5		1000	228,484	-121,684	307,920
	200	7,5	18,5		1000	231,572	-123,391	312,129
120	50	4,2	13	30	1000	221,454	-227,784	389,064
	100	5,6	16,5		1000	232,638	-237,220	406,916
	150	6,8	20		1000	233,054	-237,044	407,122
	200	7,5	22		1000	233,677	-237,641	408,178
	50	4,2	13	45	1000	221,454	-198,173	363,594
	100	5,6	16,5		1000	232,638	-206,158	380,239
	150	6,8	20		1000	233,054	-206,032	380,499
	200	7,5	22		1000	233,677	-206,586	381,519
	50	4,2	13	60	1000	221,454	-157,443	329,691
	100	5,6	16,5		1000	232,638	-163,537	344,833
	150	6,8	20		1000	233,054	-163,476	345,162
	200	7,5	22		1000	233,677	-163,974	346,135
	50	4,2	13	75	1000	221,454	-108,370	291,178
	100	5,6	16,5		1000	232,638	-112,262	304,697
	150	6,8	20		1000	233,054	-112,276	305,101
	200	7,5	22		1000	233,677	-112,709	306,016

Tabla 50. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.75$ y $L=100$ metros

ROCA (0,65-0,75)										
H (m)	Q (m ³ /s)	D_{EC} (m)	δ_{mi} (mm)	α	L_{s1} (m)	σ_{z1} + Mpa	σ_x Mpa	σ Mpa		
L= 100m										
20	50	9	16	30	100	64,261	-52,711	101,465		
	100	9	16		100	64,261	-52,971	101,683		
	150	9	16		100	64,261	-53,405	102,046		
	200	9	16		100	64,261	-54,013	102,556		
	50	9	16		45	100	64,261	-46,808	96,584	
	100	9	16			100	64,261	-47,068	96,797	
	150	9	16	100		64,261	-47,502	97,152		
	200	9	16	100		64,261	-48,110	97,651		
	50	9	16	60		100	64,261	-38,901	90,237	
	100	9	16			100	64,261	-39,162	90,442	
	150	9	16		100	64,261	-39,596	90,784		
	200	9	16		100	64,261	-40,203	91,265		
	50	9	16		75	100	64,261	-29,530	83,061	
	100	9	16			100	64,261	-29,790	83,255	
	150	9	16	100		64,261	-30,224	83,578		
	200	9	16	100		64,261	-30,832	84,032		
	40	50	5	12		30	100	95,202	-49,872	127,666
		100	6,6	12			100	125,666	-60,798	164,708
150		8	14	100	130,562		-61,904	170,179		
200		9	13	100	158,181		-72,112	204,030		
50		5	12	45	100		95,202	-45,200	124,135	
100		6,6	12		100		125,666	-54,804	160,258	
150		8	14		100	130,562	-55,821	165,682		
200		9	13		100	158,181	-64,773	198,652		
50		5	12		60	100	95,202	-38,897	119,497	
100		6,6	12			100	125,666	-46,780	154,464	
150		8	14	100		130,562	-47,679	159,828		
200		9	13	100		158,181	-54,995	191,690		
50		5	12	75		100	95,202	-31,393	114,182	
100		6,6	12			100	125,666	-37,271	147,868	
150		8	14		100	130,562	-38,034	153,163		
200		9	13		100	158,181	-43,444	183,796		
60		50	4,6		12	30	100	131,378	-52,098	163,765
		100	6,2		11,5		100	184,774	-66,981	225,841
	150	7,5	13,5	100	190,404		-67,864	231,907		
	200	8,5	14	100	208,084		-72,663	252,386		
	50	4,6	12	45	100		131,378	-47,756	160,670	
	100	6,2	11,5		100		184,774	-61,058	221,701	
	150	7,5	13,5		100	190,404	-61,911	227,760		
	200	8,5	14		100	208,084	-66,225	247,921		
	50	4,6	12		60	100	131,378	-41,883	156,579	
	100	6,2	11,5			100	184,774	-53,125	216,287	
	150	7,5	13,5	100		190,404	-53,939	222,336		
	200	8,5	14	100		208,084	-57,622	242,094		
	50	4,6	12	75		100	131,378	-34,880	151,853	
	100	6,2	11,5			100	184,774	-43,723	210,077	
	150	7,5	13,5		100	190,404	-44,492	216,112		
	200	8,5	14		100	208,084	-47,439	235,416		
	80	50	4,4		12	30	100	167,555	-55,155	200,894
		100	6		13		100	210,909	-64,959	249,805
150		7	15	100	213,252		-65,236	252,277		
200		8	16	100	228,484		-68,624	269,432		
50		4,4	12	45	100		167,555	-50,977	198,028	
100		6	13		100		210,909	-59,908	246,387	
150		7	15		100	213,252	-60,241	248,901		
200		8	16		100	228,484	-63,341	265,875		
50		4,4	12		60	100	167,555	-45,319	194,222	
100		6	13			100	210,909	-53,113	241,879	
150		7	15	100		213,252	-53,517	244,444		
200		8	16	100		228,484	-56,242	261,187		
50		4,4	12	75		100	167,555	-38,566	189,800	
100		6	13			100	210,909	-45,035	236,662	
150		7	15		100	213,252	-45,522	239,283		
200		8	16		100	228,484	-47,812	255,764		
100		50	4,4		12	30	100	209,444	-59,591	244,743
		100	5,8		14		100	236,644	-64,864	274,877
	150	7	17,5	100	228,484		-62,458	265,286		
	200	7,5	18,5	100	231,572		-63,461	268,977		
	50	4,4	12	45	100		209,444	-55,414	241,958	
	100	5,8	14		100		236,644	-60,338	271,882	
	150	7	17,5		100	228,484	-58,222	262,484		
	200	7,5	18,5		100	231,572	-59,203	266,158		
	50	4,4	12		60	100	209,444	-49,756	238,251	
	100	5,8	14			100	236,644	-54,227	267,906	
	150	7	17,5	100		228,484	-52,487	258,752		
	200	7,5	18,5	100		231,572	-53,440	262,405		
	50	4,4	12	75		100	209,444	-43,003	233,929	
	100	5,8	14			100	236,644	-46,945	263,275	
	150	7	17,5		100	228,484	-45,645	254,396		
	200	7,5	18,5		100	231,572	-46,564	258,025		
	120	50	4,2		13	30	100	221,454	-58,211	255,581
		100	5,6		16,5		100	232,638	-59,700	267,531
150		6,8	20	100	233,054		-59,228	267,629		
200		7,5	22	100	233,677		-59,383	268,342		
50		4,2	13	45	100		221,454	-54,531	253,163	
100		5,6	16,5		100		232,638	-56,028	265,130	
150		6,8	20		100	233,054	-55,660	265,300		
200		7,5	22		100	233,677	-55,853	266,038		
50		4,2	13		60	100	221,454	-49,522	249,922	
100		5,6	16,5			100	232,638	-51,028	261,908	
150		6,8	20	100		233,054	-50,796	262,169		
200		7,5	22	100		233,677	-51,039	262,938		
50		4,2	13	75		100	221,454	-43,524	246,119	
100		5,6	16,5			100	232,638	-45,042	258,124	
150		6,8	20		100	233,054	-44,968	258,488		
200		7,5	22		100	233,677	-45,268	259,292		

Tabla 51. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.75$ y $L=500$ metros

ROCA (0,65-0,75)									
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{mi} (mm)	α	Ls1 (m)	σ_{21} , + Mpa	σ_x Mpa	σ Mpa	
L= 500m									
20	50	9	16	30	500	64,261	-179,909	219,221	
	100	9	16		500	64,261	-180,170	219,473	
	150	9	16		500	64,261	-180,604	219,893	
	200	9	16		500	64,261	-181,211	220,481	
	50	9	16		500	64,261	-152,968	193,284	
	100	9	16		500	64,261	-153,229	193,534	
	45	150	9	16	500	64,261	-153,663	193,949	
		200	9	16	500	64,261	-154,270	194,531	
		50	9	16	500	64,261	-116,789	158,979	
		100	9	16	500	64,261	-117,049	159,223	
		150	9	16	500	64,261	-117,483	159,629	
		200	9	16	500	64,261	-118,091	160,199	
	60	50	9	16	500	64,261	-73,837	119,692	
		100	9	16	500	64,261	-74,097	119,923	
		150	9	16	500	64,261	-74,531	120,307	
		200	9	16	500	64,261	-75,139	120,846	
		50	5	12	30	500	95,202	-145,499	209,964
		100	6,6	12		500	125,666	-185,290	270,941
150	8	14	500	130,562		-191,036	280,149		
200	9	13	500	158,181		-227,414	335,725		
50	5	12	500	95,202		-125,583	191,807		
100	6,6	12	500	125,666		-158,755	246,871		
45	150	8	14	500	130,562	-163,560	255,251		
	200	9	13	500	158,181	-193,879	305,416		
	50	5	12	500	95,202	-98,558	167,809		
	100	6,6	12	500	125,666	-123,105	215,446		
	150	8	14	500	130,562	-126,683	222,789		
	200	9	13	500	158,181	-149,108	266,159		
60	50	5	12	500	95,202	-66,267	140,582		
	100	6,6	12	500	125,666	-80,770	180,183		
	150	8	14	500	130,562	-82,918	186,408		
	200	9	13	500	158,181	-96,149	222,430		
	50	4,6	12	30	500	131,378	-140,508	235,505	
	100	6,2	11,5		500	184,774	-189,120	323,809	
150	7,5	13,5	500		190,404	-193,559	332,525		
200	8,5	14	500		208,084	-209,526	361,662		
50	4,6	12	500		131,378	-122,247	219,693		
100	6,2	11,5	500		184,774	-163,087	301,452		
45	150	7,5	13,5	500	190,404	-166,844	309,610		
	200	8,5	14	500	208,084	-180,277	336,618		
	50	4,6	12	500	131,378	-97,378	198,837		
	100	6,2	11,5	500	184,774	-128,092	272,428		
	150	7,5	13,5	500	190,404	-130,959	279,891		
	200	8,5	14	500	208,084	-141,089	304,243		
60	50	4,6	12	500	131,378	-67,597	175,244		
	100	6,2	11,5	500	184,774	-86,518	240,028		
	150	7,5	13,5	500	190,404	-88,349	246,741		
	200	8,5	14	500	208,084	-94,634	268,228		
	50	4,4	12	30	500	167,555	-139,957	266,670	
	100	6	13		500	210,909	-170,300	330,760	
150	7	15	500		213,252	-171,687	334,014		
200	8	16	500		228,484	-182,291	356,491		
50	4,4	12	500		167,555	-122,522	252,222		
100	6	13	500		210,909	-148,222	312,592		
45	150	7	15	500	213,252	-149,461	315,734		
	200	8	16	500	228,484	-158,454	336,922		
	50	4,4	12	500	167,555	-98,732	233,164		
	100	6	13	500	210,909	-118,382	288,902		
	150	7	15	500	213,252	-119,427	291,902		
	200	8	16	500	228,484	-126,318	311,485		
60	50	4,4	12	500	167,555	-70,206	211,582		
	100	6	13	500	210,909	-82,811	262,308		
	150	7	15	500	213,252	-83,630	265,150		
	200	8	16	500	228,484	-88,075	282,995		
	50	4,4	12	30	500	209,444	-144,394	308,154	
	100	5,8	14		500	236,644	-159,975	345,615	
150	7	17,5	500		228,484	-154,477	333,712		
200	7,5	18,5	500		231,572	-156,649	338,290		
50	4,4	12	500		209,444	-126,959	294,238		
100	5,8	14	500		236,644	-140,300	329,979		
45	150	7	17,5	500	228,484	-135,659	318,754		
	200	7,5	18,5	500	231,572	-137,595	323,142		
	50	4,4	12	500	209,444	-103,168	275,896		
	100	5,8	14	500	236,644	-113,590	309,489		
	150	7	17,5	500	228,484	-110,065	299,111		
	200	7,5	18,5	500	231,572	-111,693	303,259		
60	50	4,4	12	500	209,444	-74,643	255,091		
	100	5,8	14	500	236,644	-81,664	286,348		
	150	7	17,5	500	228,484	-79,440	276,887		
	200	7,5	18,5	500	231,572	-80,709	280,766		
	50	4,2	13	30	500	221,454	-133,577	310,589	
	100	5,6	16,5		500	232,638	-138,598	324,920	
150	6,8	20	500		233,054	-138,257	325,039		
200	7,5	22	500		233,677	-138,609	325,894		
50	4,2	13	500		221,454	-118,372	298,777		
100	5,6	16,5	500		232,638	-122,752	312,643		
45	150	6,8	20	500	233,054	-122,492	312,835		
	200	7,5	22	500	233,677	-122,845	313,691		
	50	4,2	13	500	221,454	-97,487	283,080		
	100	5,6	16,5	500	232,638	-101,032	296,365		
	150	6,8	20	500	233,054	-100,876	296,647		
	200	7,5	22	500	233,677	-101,232	297,504		
60	50	4,2	13	500	221,454	-72,344	265,135		
	100	5,6	16,5	500	232,638	-74,918	277,781		
	150	6,8	20	500	233,054	-74,883	278,161		
	200	7,5	22	500	233,677	-75,242	279,014		

Tabla 52. Tabla referencial para cálculo en la Cáscara, $f=0.75$ y $L=1000$ metros

ROCA (0,65-0,75)								
H (m)	Q (m3/s)	D_{EC} (m)	δ_{ml} (mm)	α	Ls1 (m)	σ_{z1} + Mpa	σ_x Mpa	σ Mpa
L= 1000m								
20	50	9	16	30	1000	64,261	-338,908	375,189
	100	9	16		1000	64,261	-339,168	375,446
	150	9	16		1000	64,261	-339,602	375,875
	200	9	16		1000	64,261	-340,210	376,476
	50	9	16	45	1000	64,261	-285,669	322,636
	100	9	16		1000	64,261	-285,929	322,892
	150	9	16		1000	64,261	-286,363	323,320
	200	9	16		1000	64,261	-286,971	323,918
	50	9	16	60	1000	64,261	-214,149	252,489
	100	9	16		1000	64,261	-214,409	252,743
	150	9	16		1000	64,261	-214,843	253,166
	200	9	16		1000	64,261	-215,451	253,759
50	9	16	75	1000	64,261	-129,221	170,679	
100	9	16		1000	64,261	-129,481	170,925	
150	9	16		1000	64,261	-129,915	171,336	
200	9	16		1000	64,261	-130,523	171,910	
40	50	5	12	30	1000	95,202	-265,032	323,321
	100	6,6	12		1000	125,666	-340,906	418,149
	150	8	14		1000	130,562	-352,450	432,764
	200	9	13		1000	158,181	-421,541	519,036
	50	5	12	45	1000	95,202	-226,061	285,812
	100	6,6	12		1000	125,666	-288,694	367,988
	150	8	14		1000	130,562	-298,233	380,693
	200	9	13		1000	158,181	-355,262	455,443
	50	5	12	60	1000	95,202	-173,134	235,630
	100	6,6	12		1000	125,666	-218,512	301,661
	150	8	14		1000	130,562	-225,437	311,933
	200	9	13		1000	158,181	-266,748	371,982
50	5	12	75	1000	95,202	-109,858	177,738	
100	6,6	12		1000	125,666	-135,142	225,917	
150	8	14		1000	130,562	-139,024	233,507	
200	9	13		1000	158,181	-162,030	277,318	
60	50	4,6	12	30	1000	131,378	-251,021	336,527
	100	6,2	11,5		1000	184,774	-341,794	462,730
	150	7,5	13,5		1000	190,404	-350,678	475,394
	200	8,5	14		1000	208,084	-380,606	517,067
	50	4,6	12	45	1000	131,378	-215,360	303,206
	100	6,2	11,5		1000	184,774	-290,624	415,095
	150	7,5	13,5		1000	190,404	-298,010	426,387
	200	8,5	14		1000	208,084	-322,842	463,362
	50	4,6	12	60	1000	131,378	-166,747	258,789
	100	6,2	11,5		1000	184,774	-221,800	352,590
	150	7,5	13,5		1000	190,404	-227,234	362,153
	200	8,5	14		1000	208,084	-245,424	393,193
50	4,6	12	75	1000	131,378	-108,494	208,050	
100	6,2	11,5		1000	184,774	-140,012	282,163	
150	7,5	13,5		1000	190,404	-143,171	289,848	
200	8,5	14		1000	208,084	-153,628	314,433	
80	50	4,4	12	30	1000	167,555	-245,960	360,254
	100	6	13		1000	210,909	-301,976	446,499
	150	7	15		1000	213,252	-304,751	450,931
	200	8	16		1000	228,484	-324,376	481,186
	50	4,4	12	45	1000	167,555	-211,954	329,413
	100	6	13		1000	210,909	-258,615	407,319
	150	7	15		1000	213,252	-260,987	411,396
	200	8	16		1000	228,484	-277,345	438,741
	50	4,4	12	60	1000	167,555	-165,497	288,433
	100	6	13		1000	210,909	-199,968	355,871
	150	7	15		1000	213,252	-201,814	359,503
	200	8	16		1000	228,484	-213,913	383,197
50	4,4	12	75	1000	167,555	-109,755	241,890	
100	6	13		1000	210,909	-130,030	298,018	
150	7	15		1000	213,252	-131,264	301,163	
200	8	16		1000	228,484	-138,405	320,912	
100	50	4,4	12	30	1000	209,444	-250,396	398,759
	100	5,8	14		1000	236,644	-278,864	446,942
	150	7	17,5		1000	228,484	-269,500	431,754
	200	7,5	18,5		1000	231,572	-273,135	437,583
	50	4,4	12	45	1000	209,444	-216,390	368,800
	100	5,8	14		1000	236,644	-240,252	413,009
	150	7	17,5		1000	228,484	-232,455	399,190
	200	7,5	18,5		1000	231,572	-235,585	404,575
	50	4,4	12	60	1000	209,444	-169,934	329,144
	100	5,8	14		1000	236,644	-187,794	368,385
	150	7	17,5		1000	228,484	-182,038	356,280
	200	7,5	18,5		1000	231,572	-184,510	361,105
50	4,4	12	75	1000	209,444	-114,192	284,294	
100	5,8	14		1000	236,644	-125,064	318,178	
150	7	17,5		1000	228,484	-121,684	307,920	
200	7,5	18,5		1000	231,572	-123,391	312,129	
120	50	4,2	13	30	1000	221,454	-227,784	389,064
	100	5,6	16,5		1000	232,638	-237,220	406,916
	150	6,8	20		1000	233,054	-237,044	407,122
	200	7,5	22		1000	233,677	-237,641	408,178
	50	4,2	13	45	1000	221,454	-198,173	363,594
	100	5,6	16,5		1000	232,638	-206,158	380,239
	150	6,8	20		1000	233,054	-206,032	380,499
	200	7,5	22		1000	233,677	-206,586	381,519
	50	4,2	13	60	1000	221,454	-157,443	329,691
	100	5,6	16,5		1000	232,638	-163,537	344,833
	150	6,8	20		1000	233,054	-163,476	345,162
	200	7,5	22		1000	233,677	-163,974	346,135
50	4,2	13	75	1000	221,454	-108,370	291,178	
100	5,6	16,5		1000	232,638	-112,262	304,697	
150	6,8	20		1000	233,054	-112,276	305,101	
200	7,5	22		1000	233,677	-112,709	306,016	

GRÁFICAS DE RESULTADOS

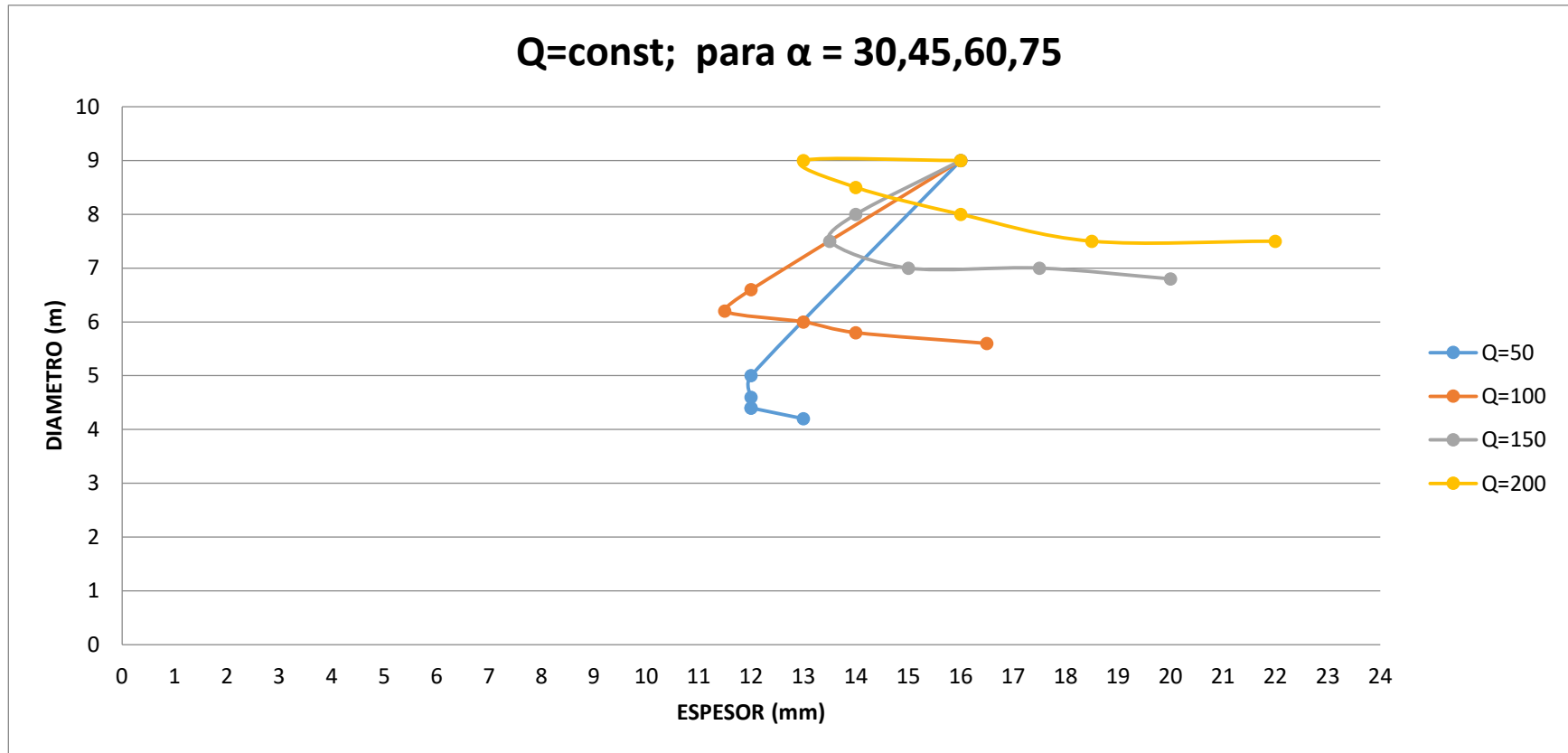


Gráfico 8. Curvas en Apoyos, Diámetro vs. Espesor

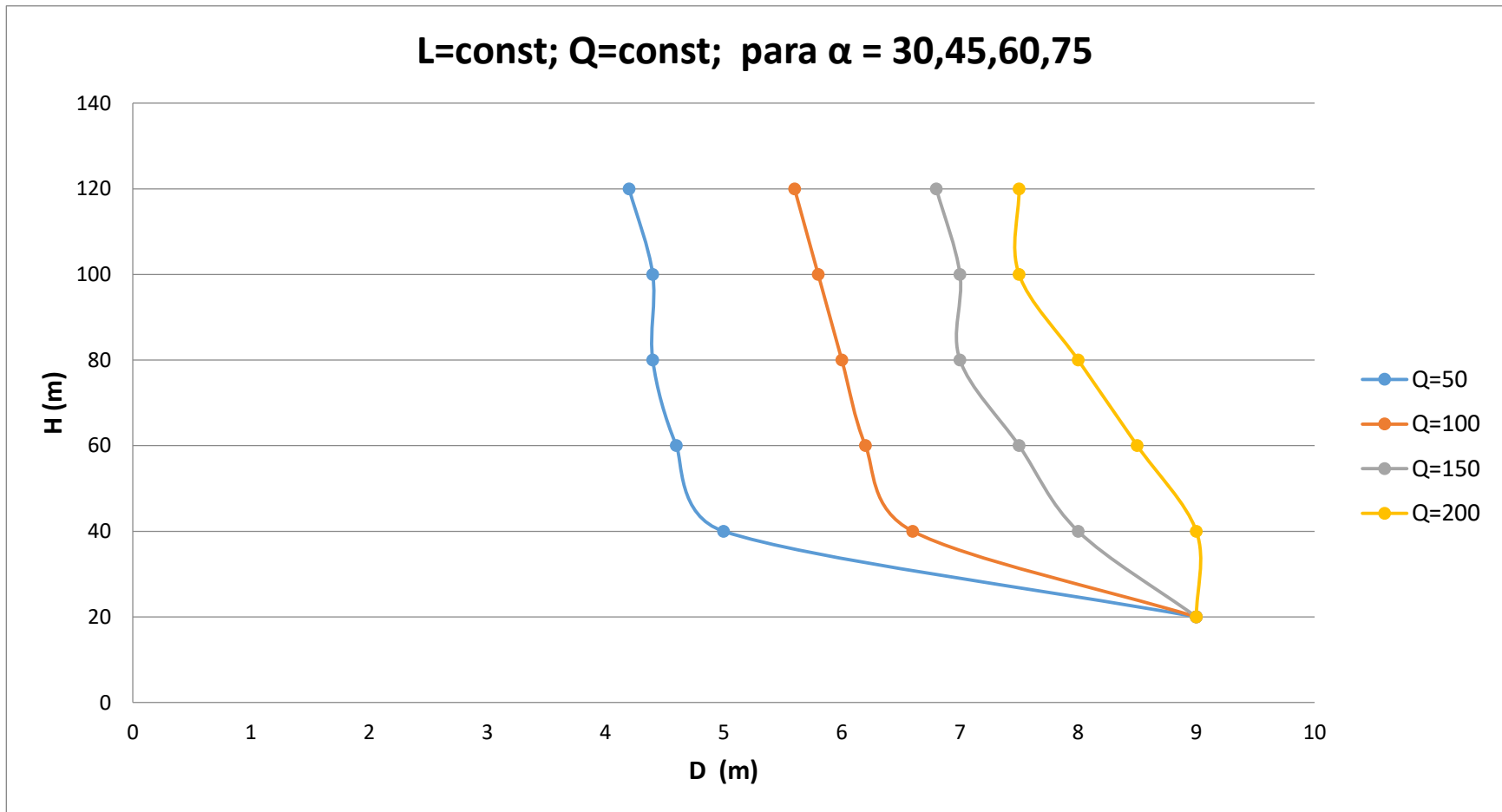


Gráfico 9. Curvas en Apoyos, Diámetro vs. Carga

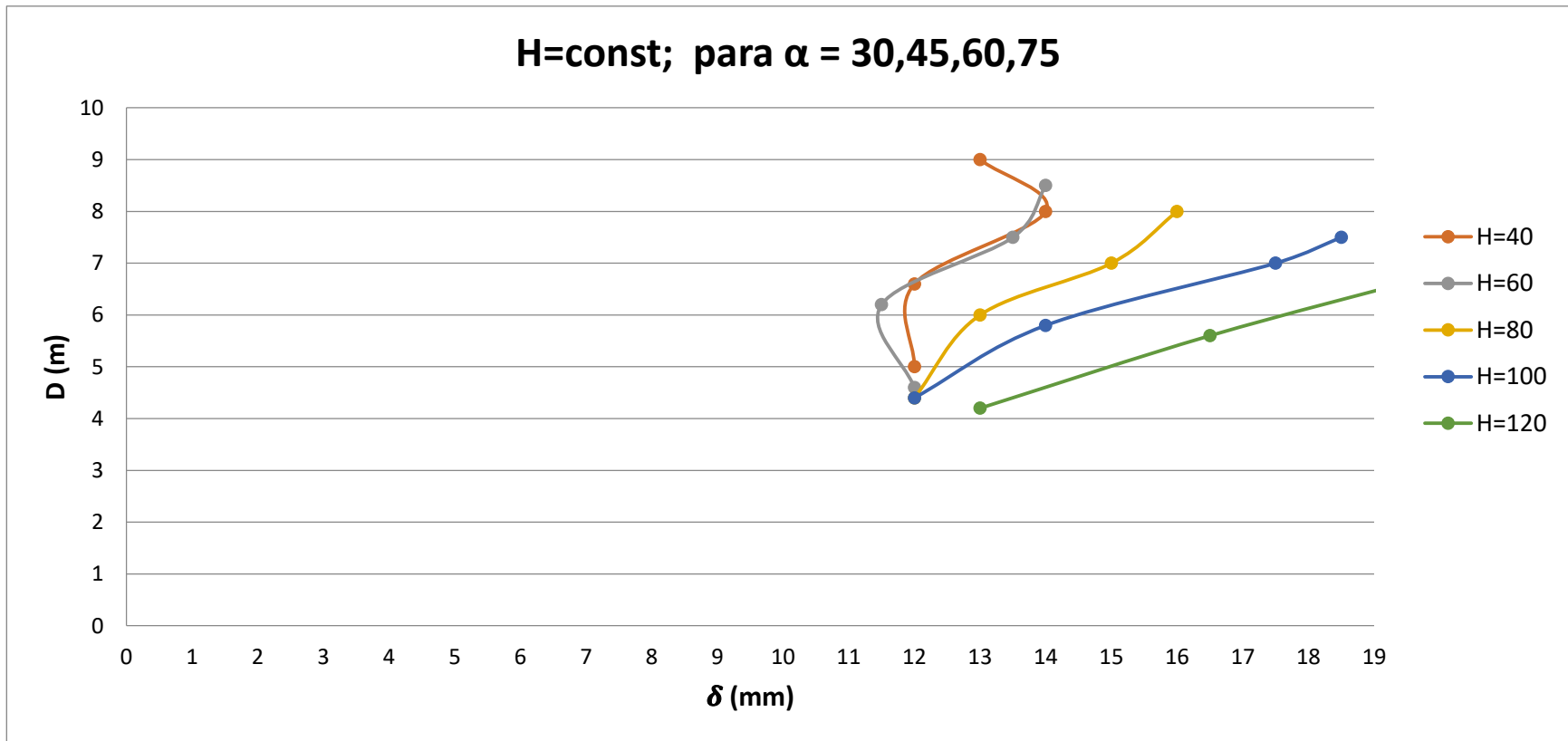


Gráfico 10. Curvas en Apoyos, Diámetro vs. Espesor

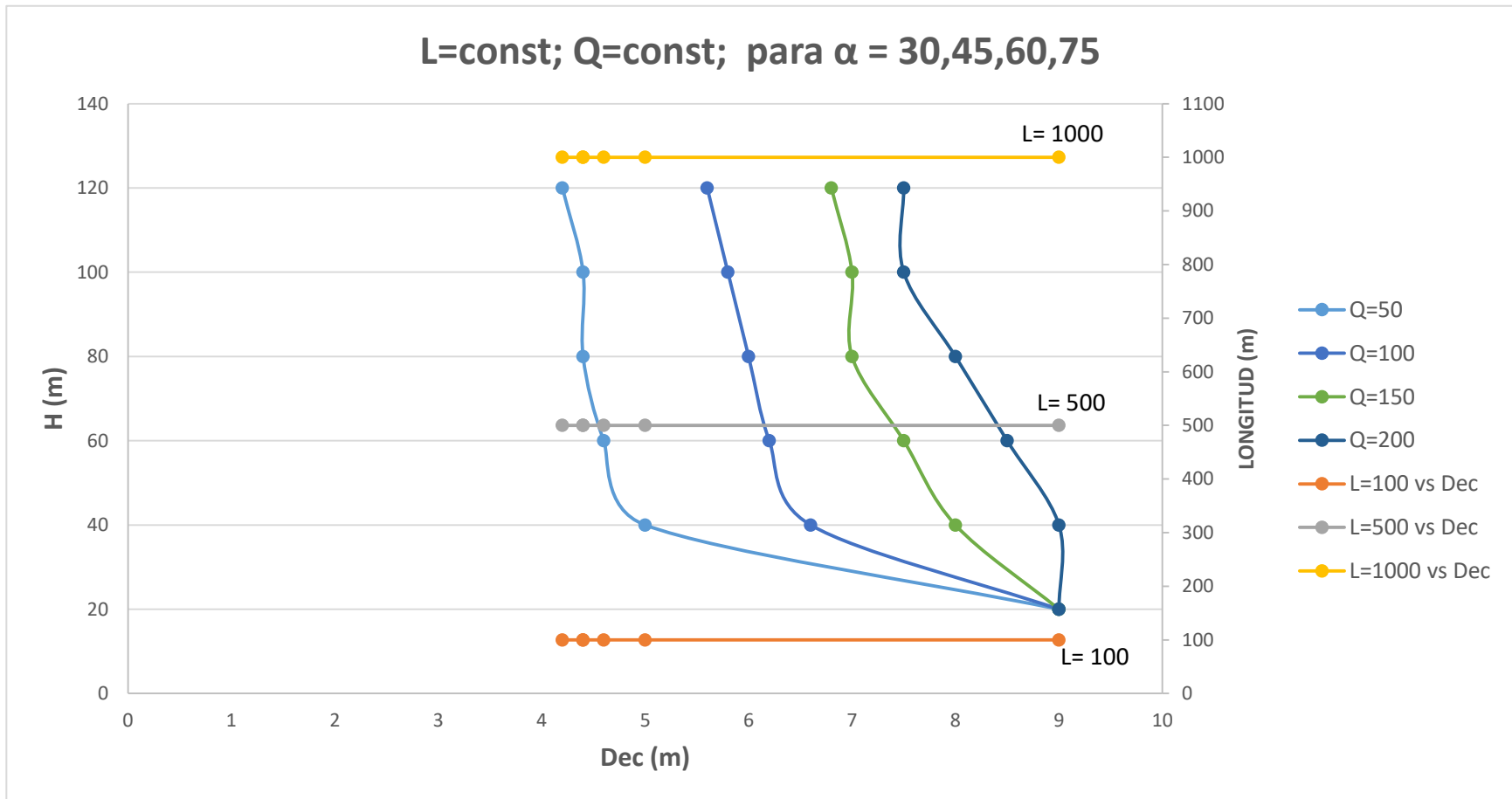


Gráfico 11. Curvas en Anclajes, Carga vs Diámetro

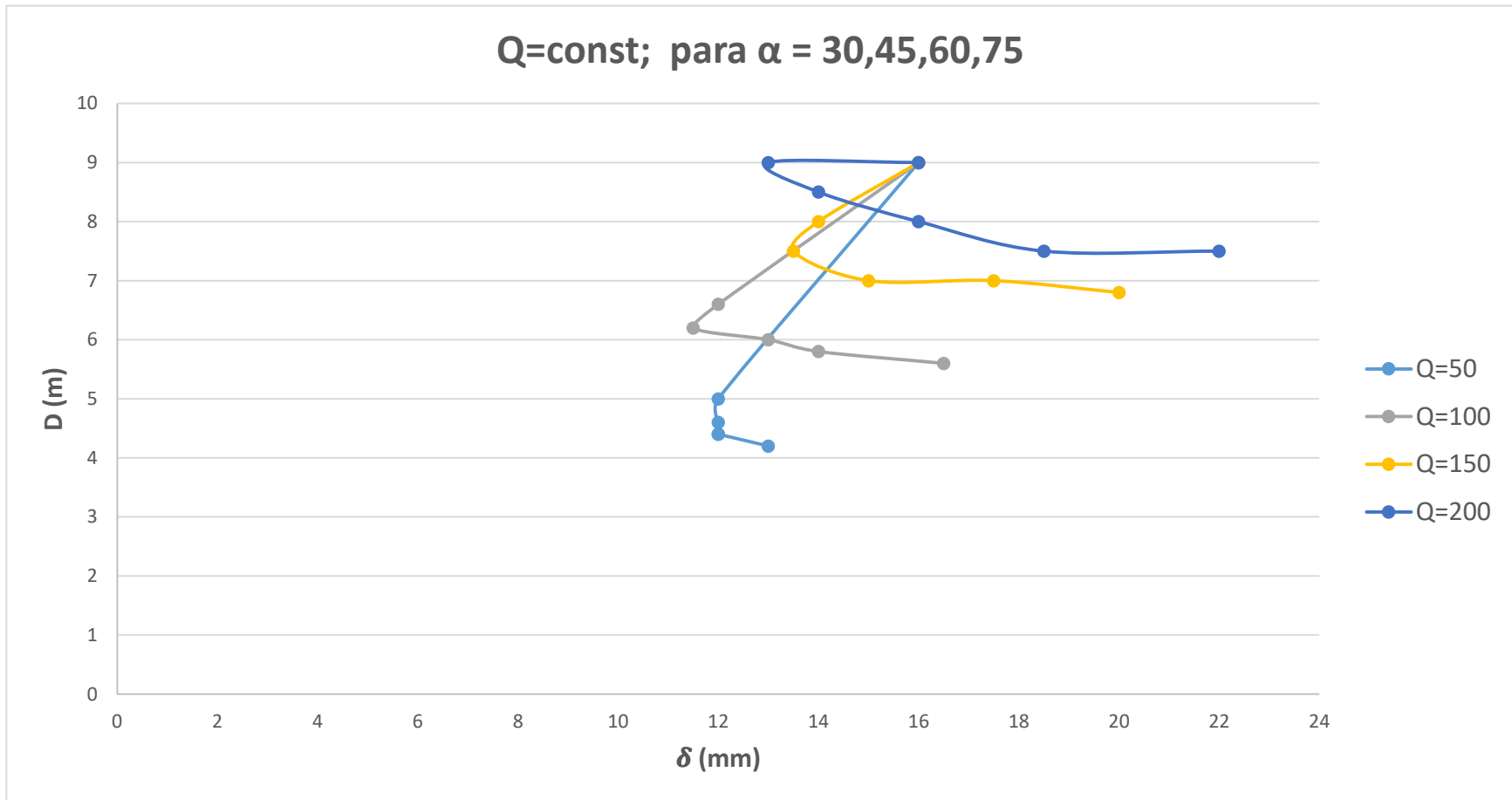


Gráfico 12. Curvas en Anclajes, Diámetro vs Espesor



Gráfico 13. Curvas en Anclajes, Diámetro vs Espesor

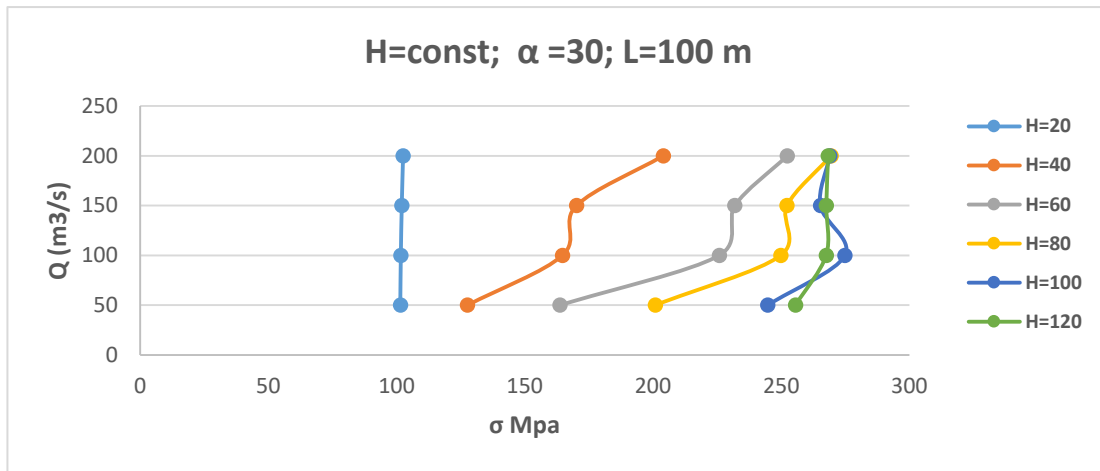


Gráfico 14. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; L=100 m

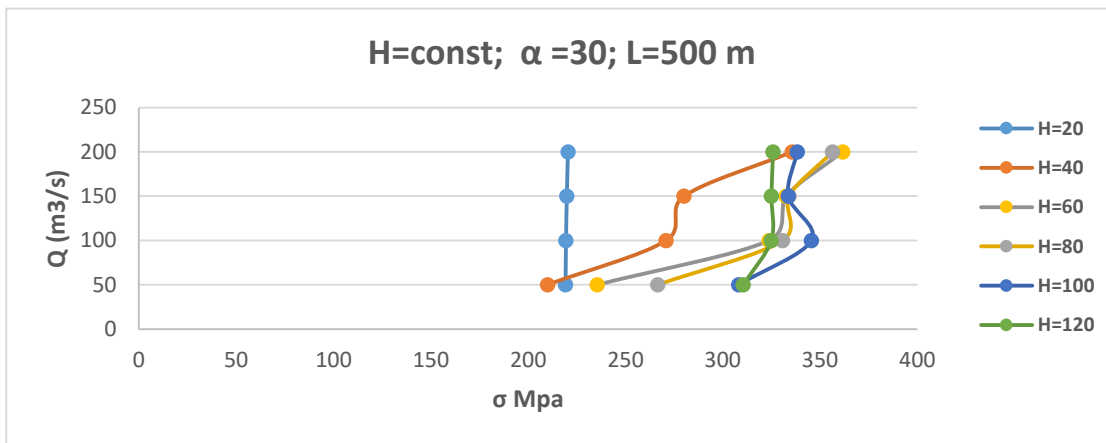


Gráfico 15. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; L=500 m

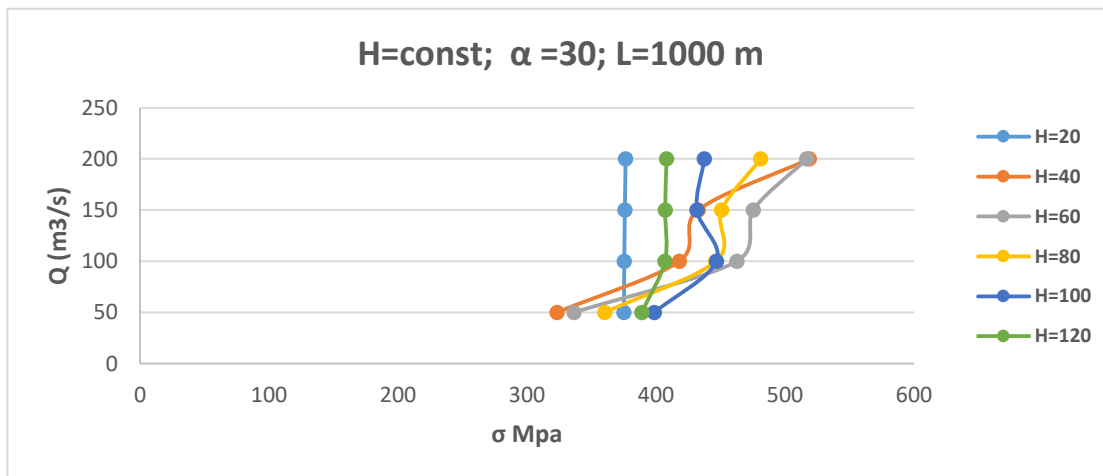


Gráfico 16. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; L=1000 m

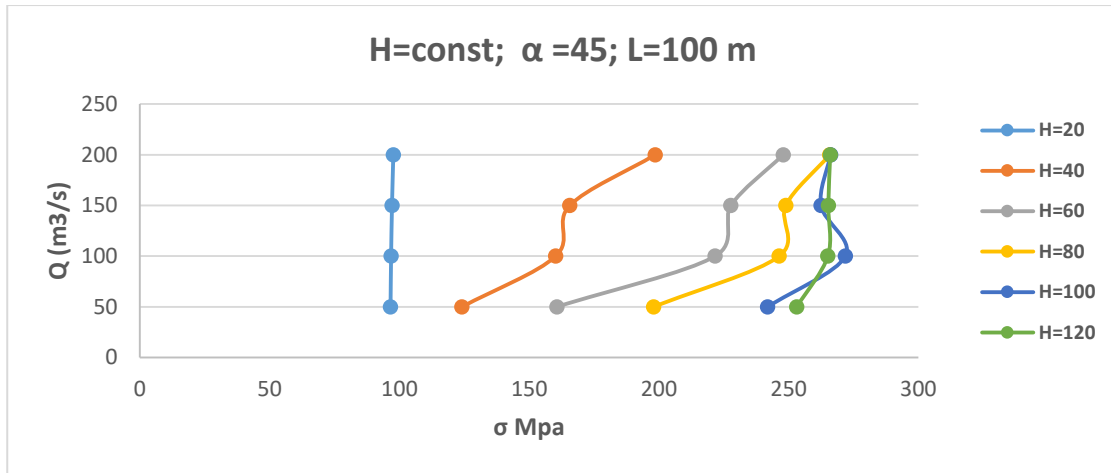


Gráfico 17. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =45$; L=100 m

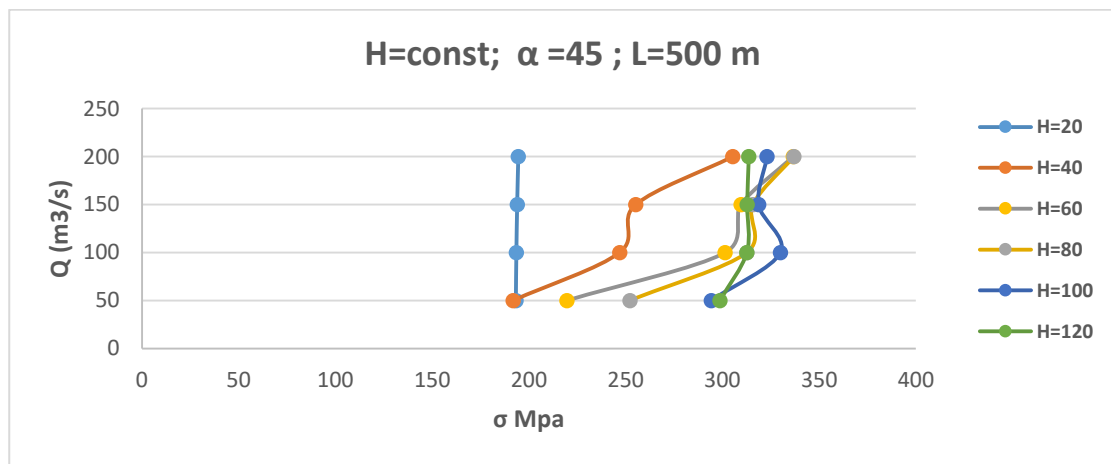


Gráfico 18. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =45$; L=500 m

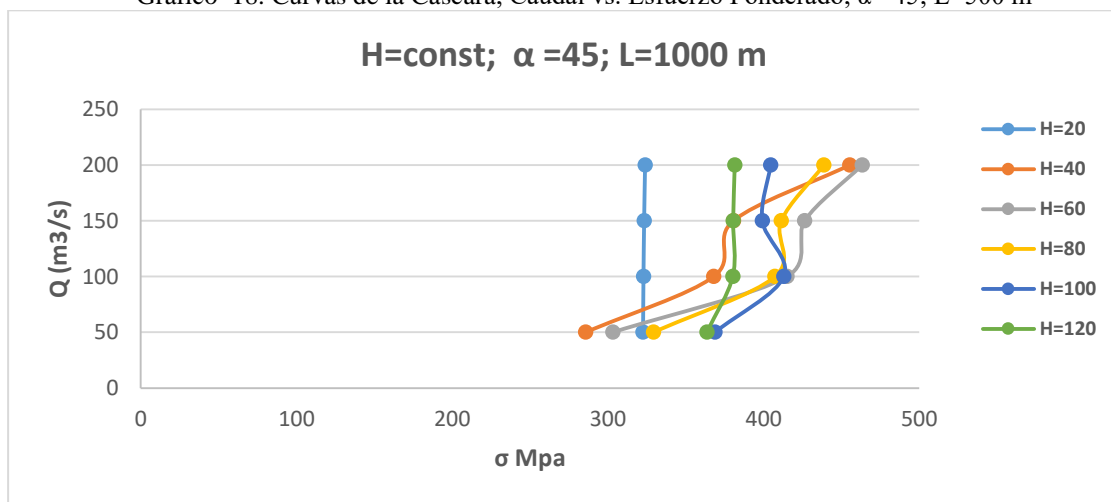


Gráfico 19. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =45$; L=1000 m

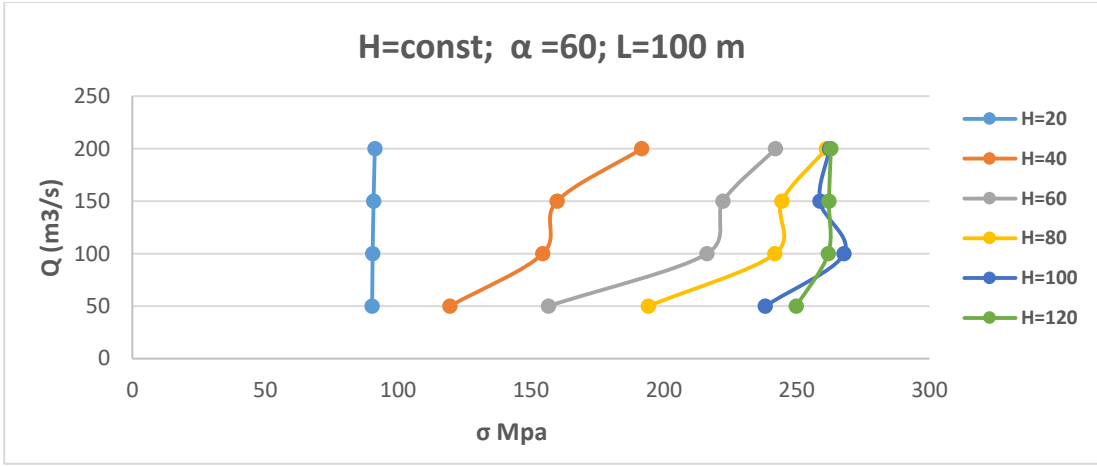


Gráfico 20. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 60$; $L = 100$ m

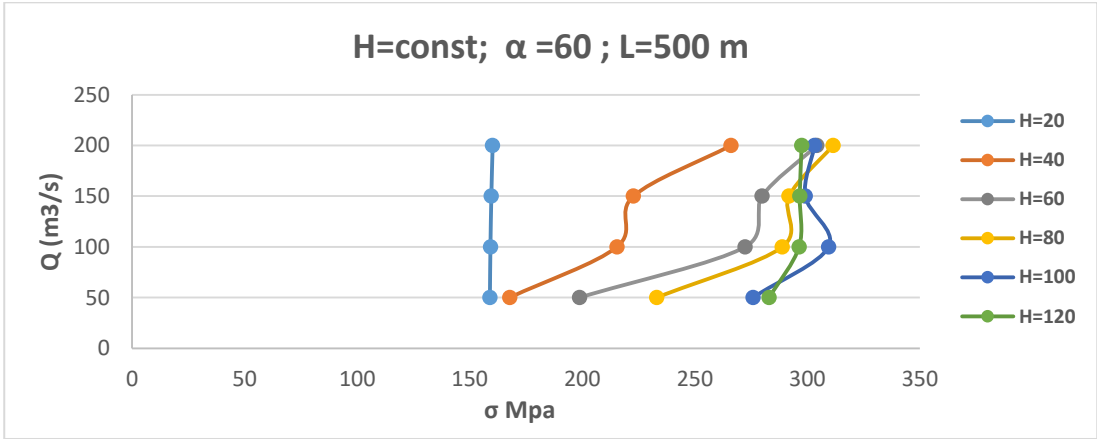


Gráfico 21. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 60$; $L = 500$ m

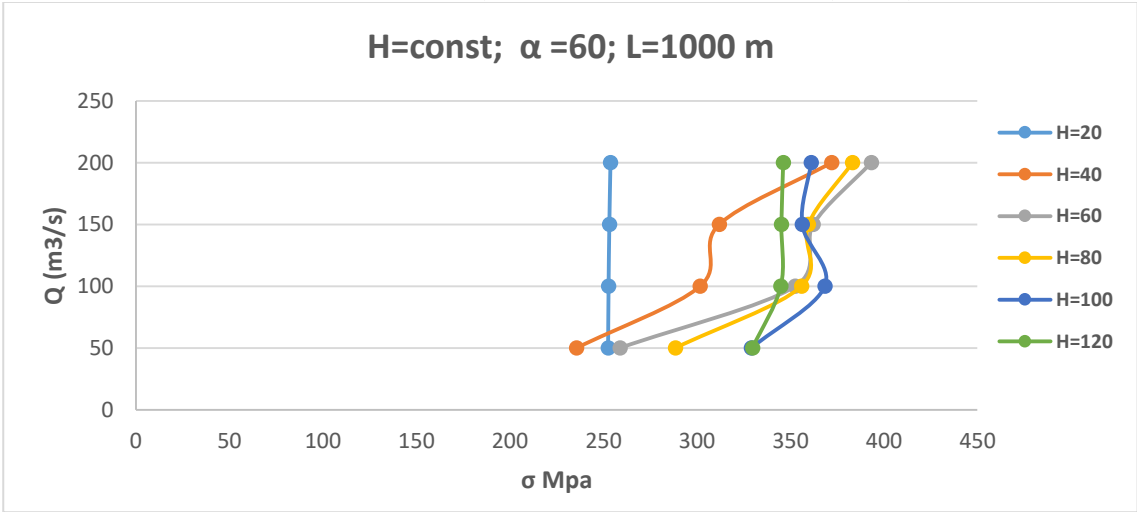


Gráfico 22. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 60$; $L = 1000$ m

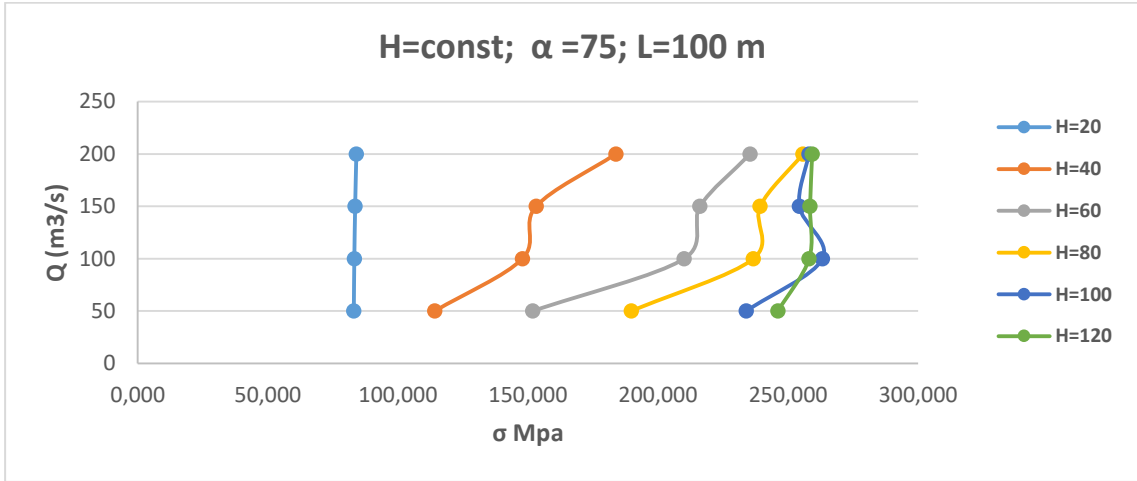


Gráfico 23. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 75$; L=100 m

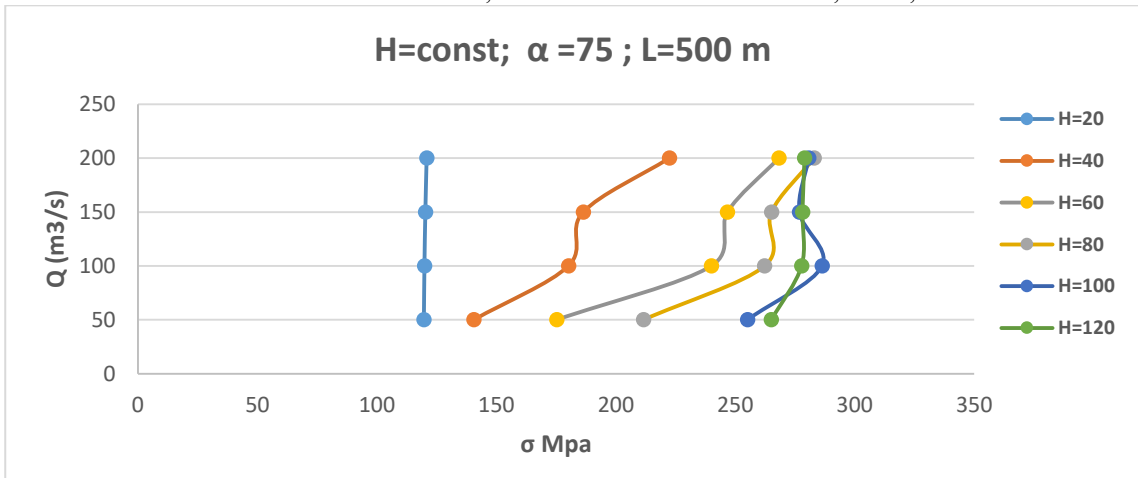


Gráfico 24. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 75$; L=500 m

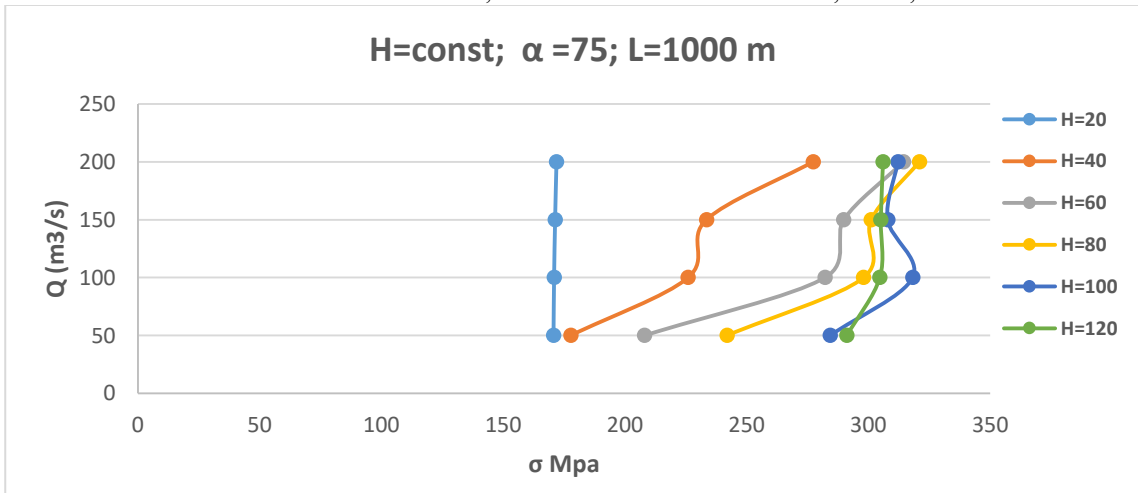


Gráfico 25. Curvas de la Cáscara, Caudal vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 75$; L=1000 m

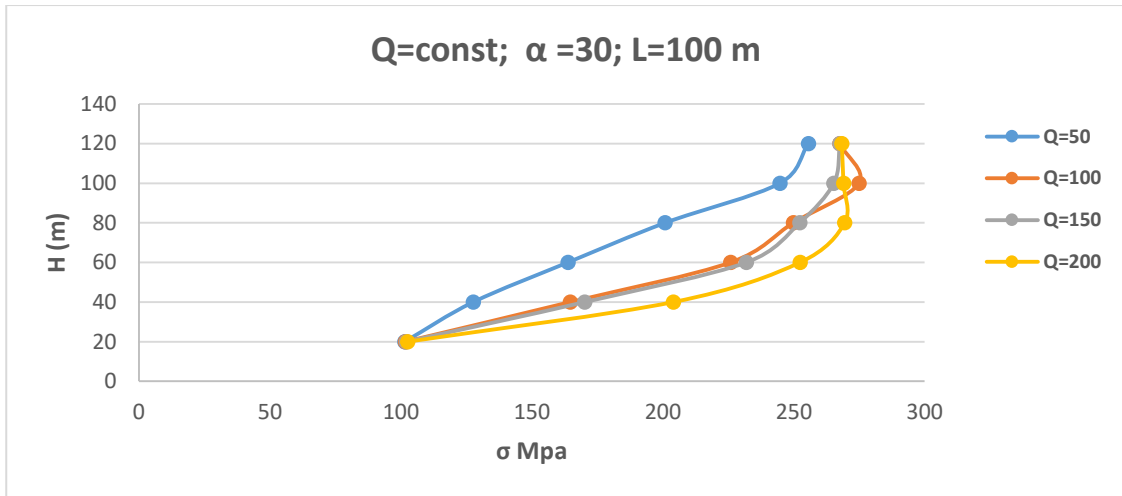


Gráfico 26. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 30$; L=100 m

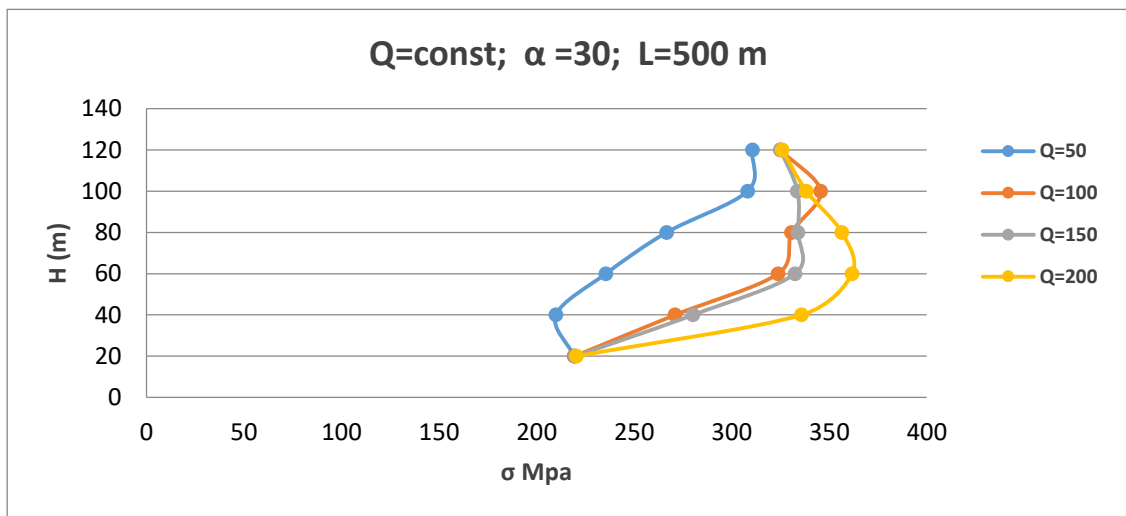


Gráfico 27. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 30$; L=500 m

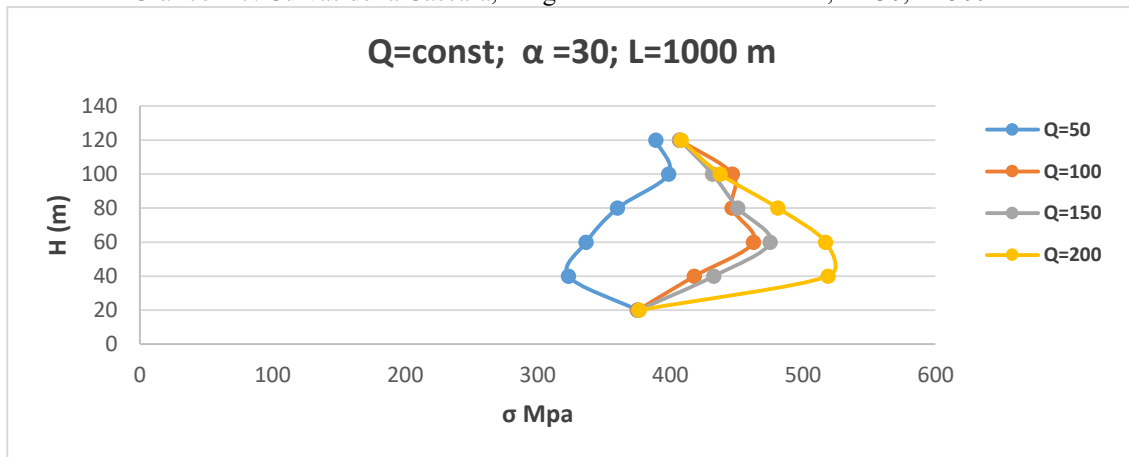


Gráfico 28. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 30$; L=1000 m

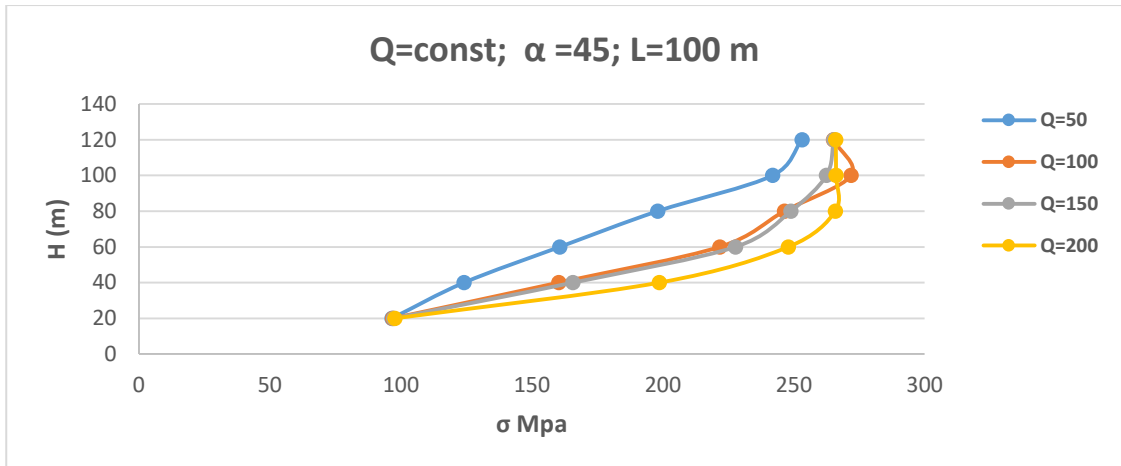


Gráfico 29. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 45$; L=500 m

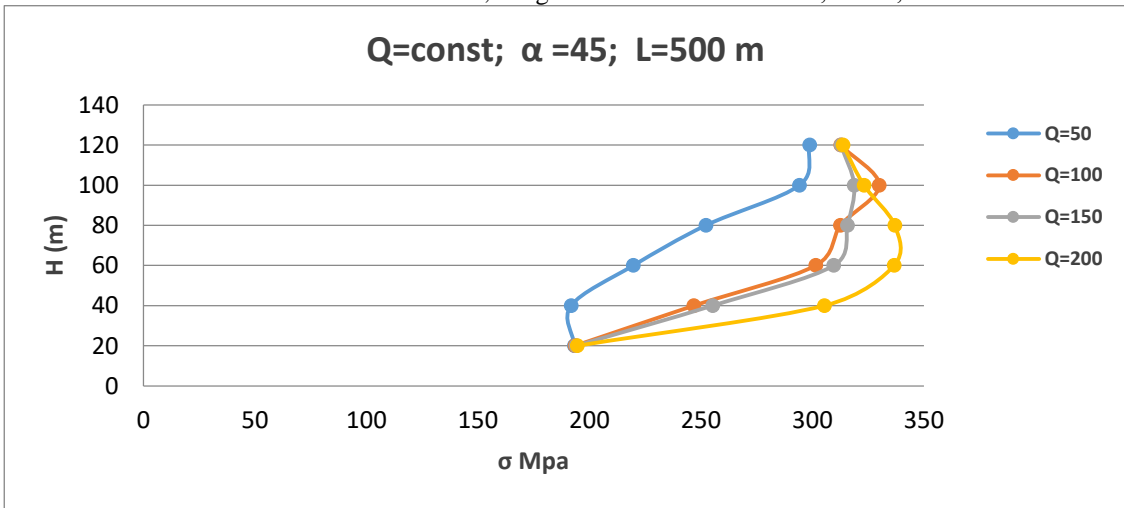


Gráfico 30. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 45$; L=500 m

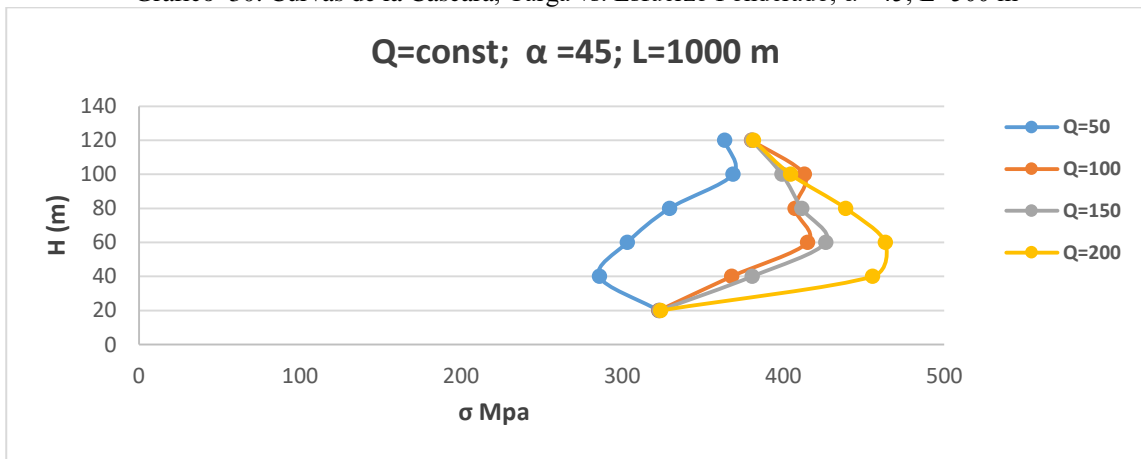


Gráfico 31. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 45$; L=1000 m

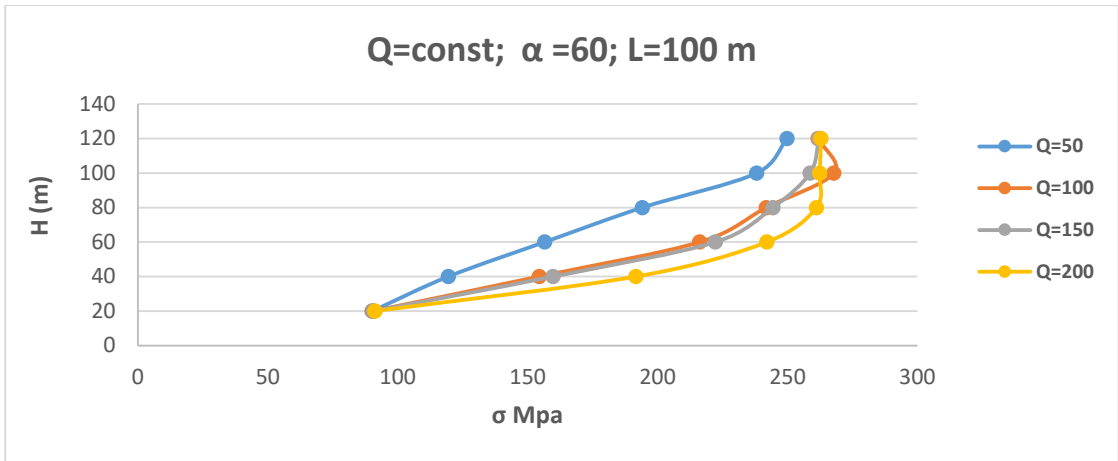


Gráfico 32. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; L=100 m

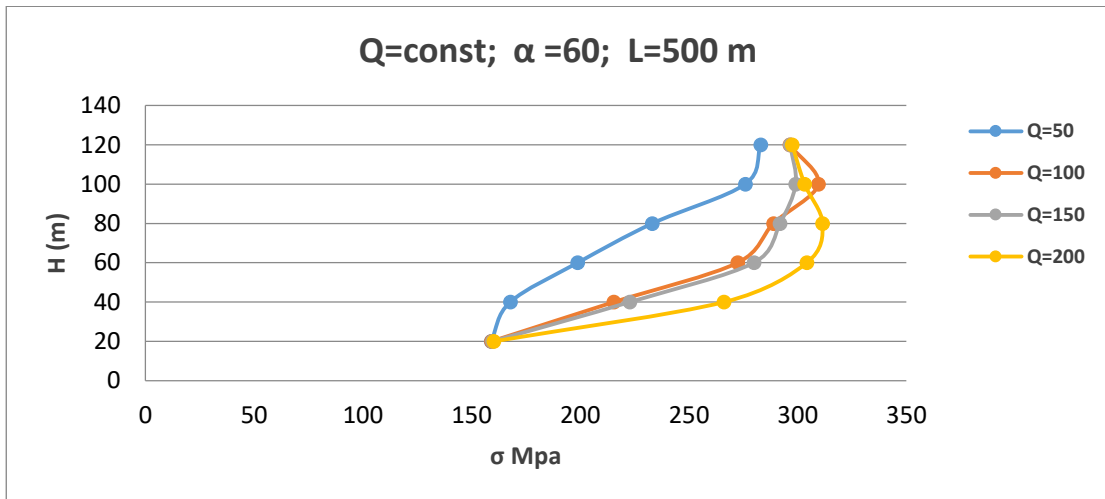


Gráfico 33. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; L=500 m

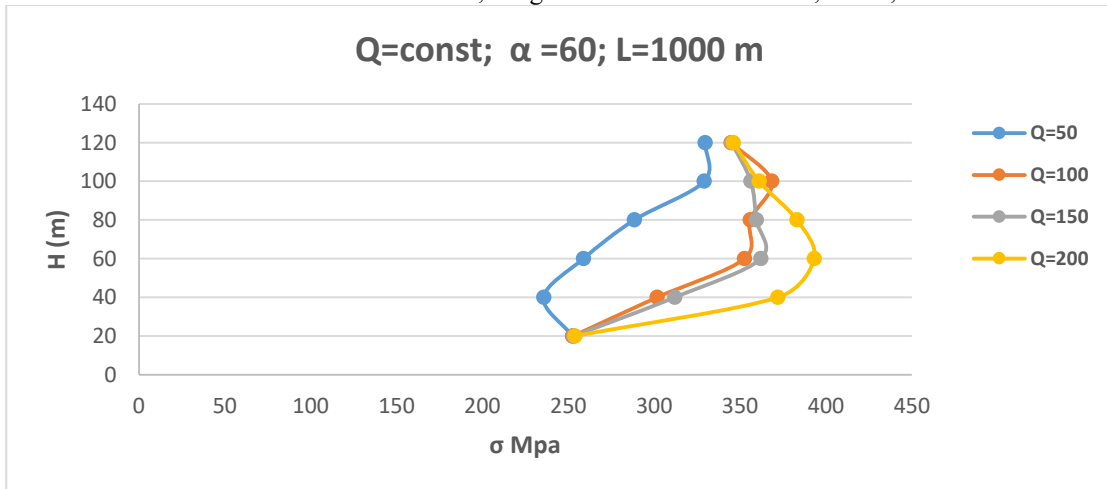


Gráfico 34. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; L=1000 m

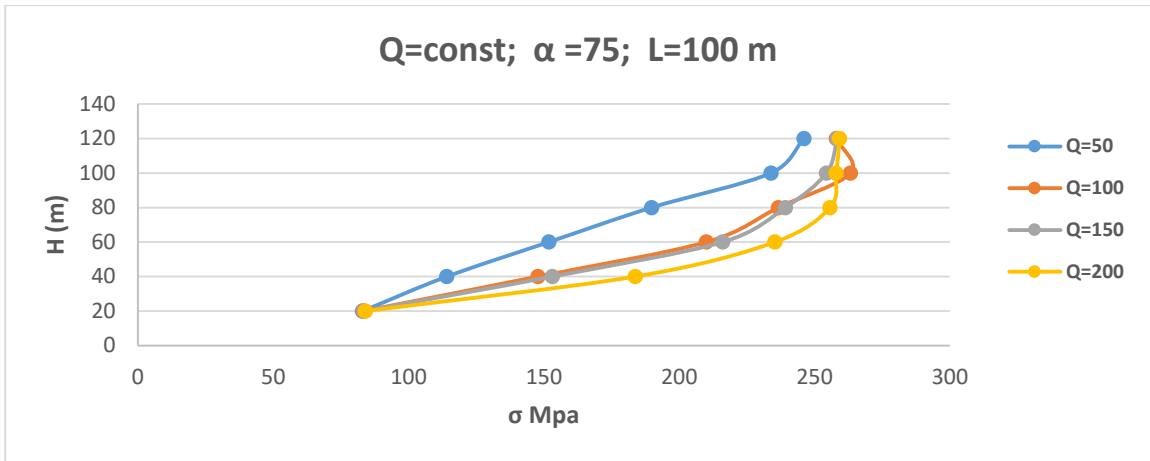


Gráfico 35. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =75$; L=100 m

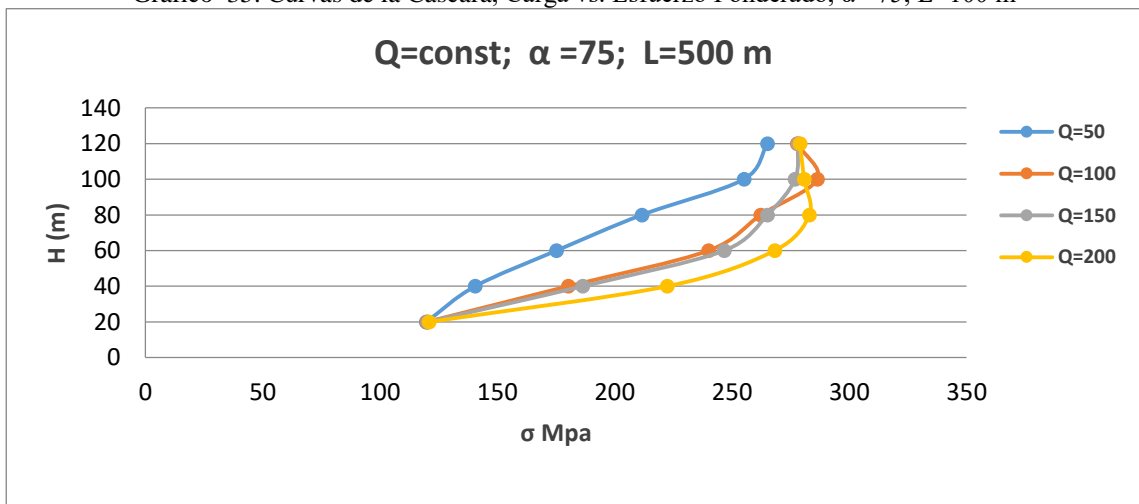


Gráfico 36. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =75$; L=500 m

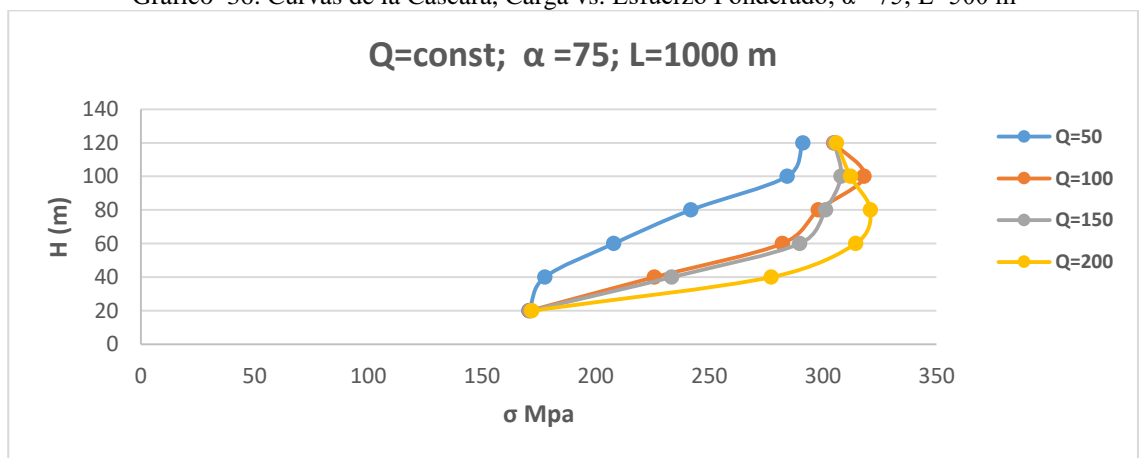


Gráfico 37. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =75$; L=1000 m

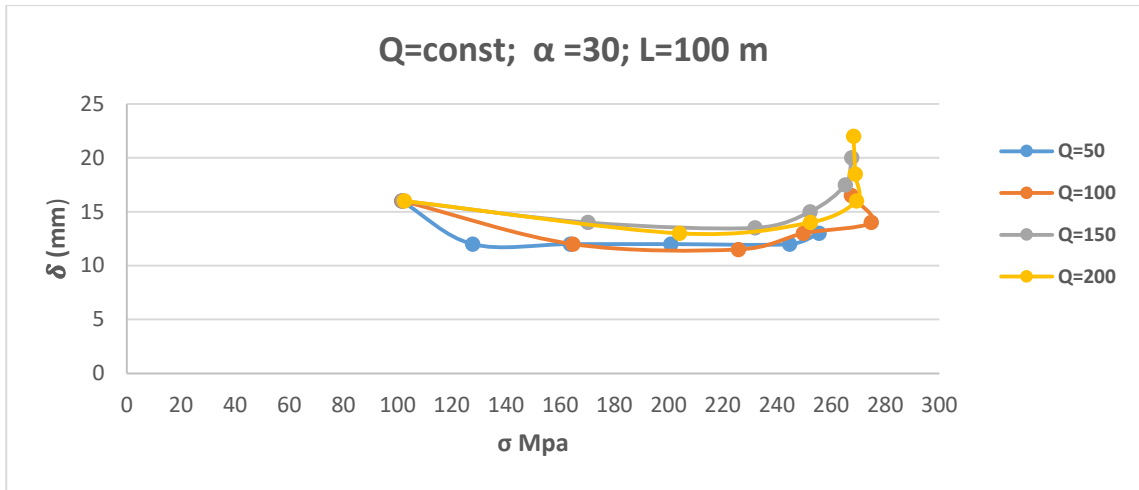


Gráfico 38. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; L=100 m

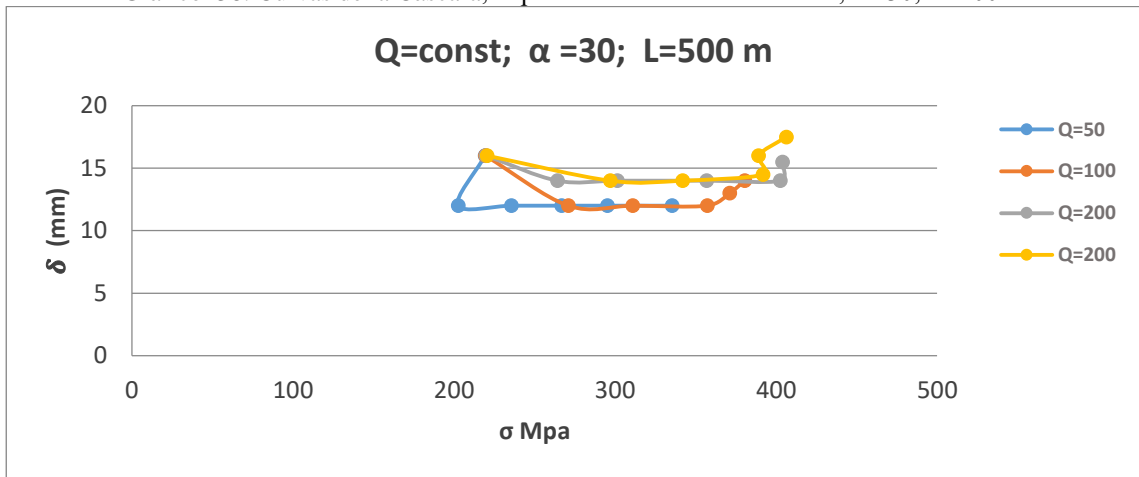


Gráfico 39. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; L=500 m

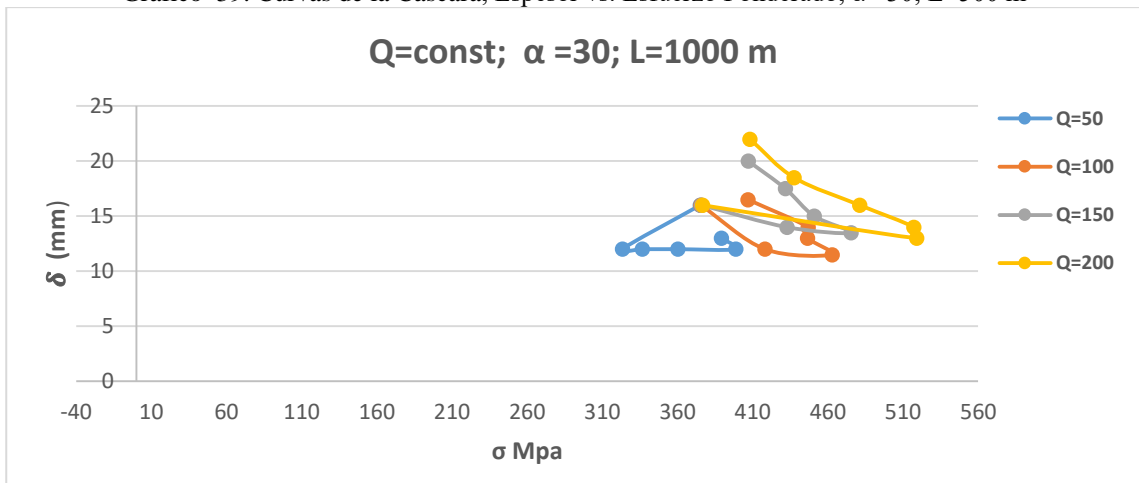


Gráfico 40. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =30$; L=1000 m

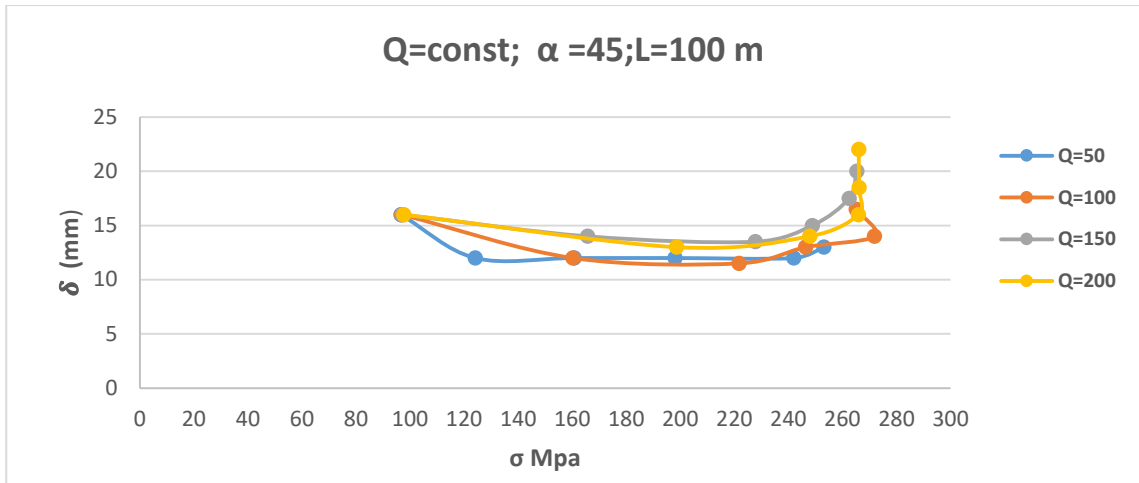


Gráfico 41. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 45; L=100$ m

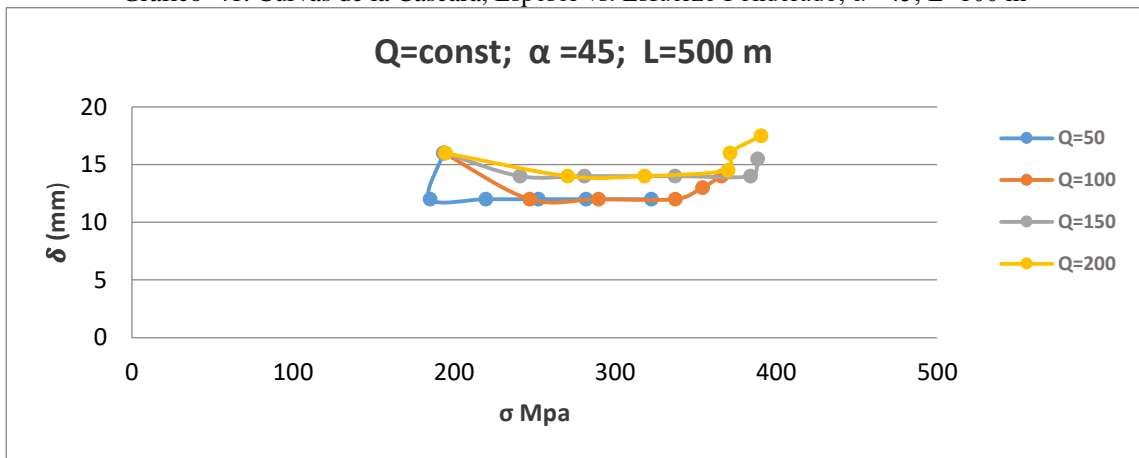


Gráfico 42. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 45; L=500$ m

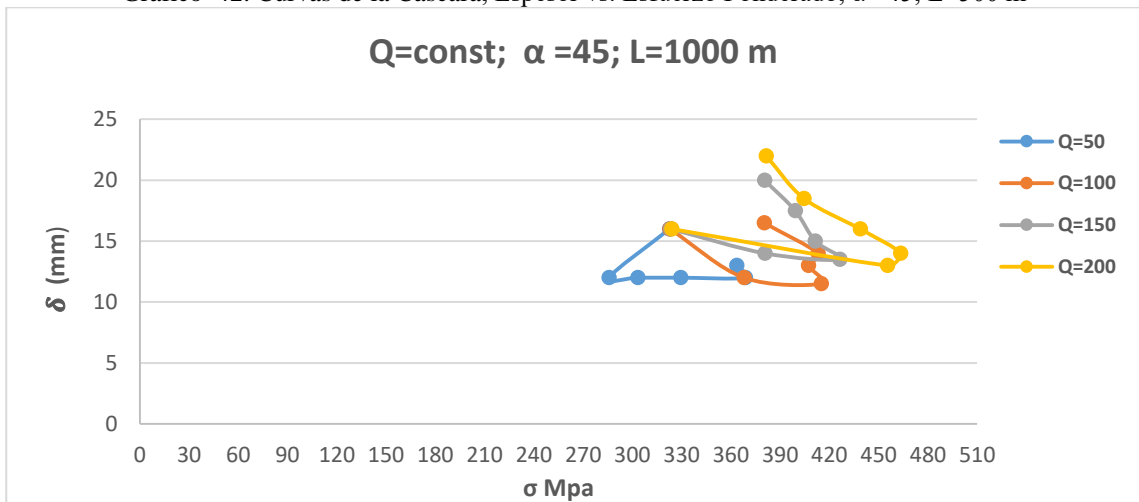


Gráfico 43. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 45; L=1000$ m

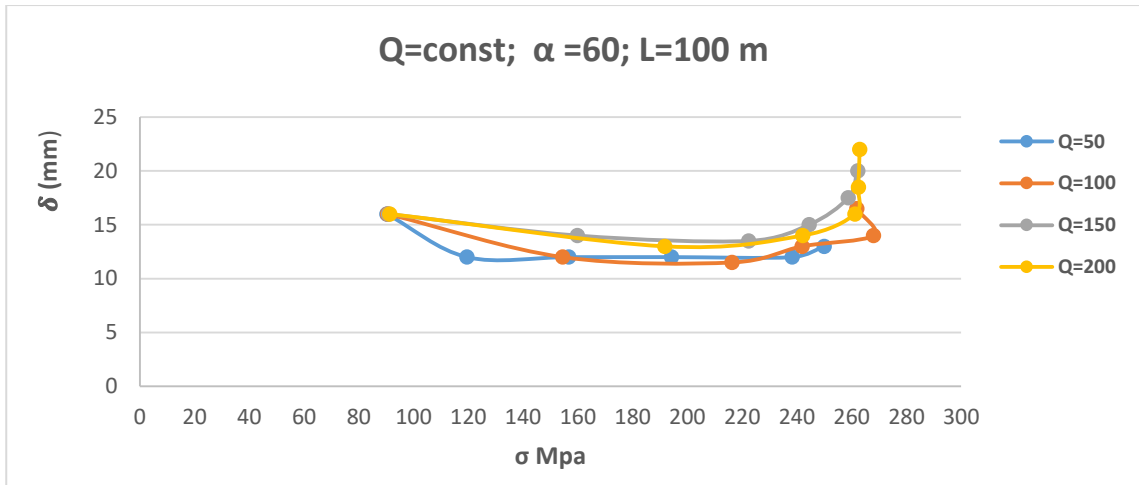


Gráfico 44. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; L=100 m

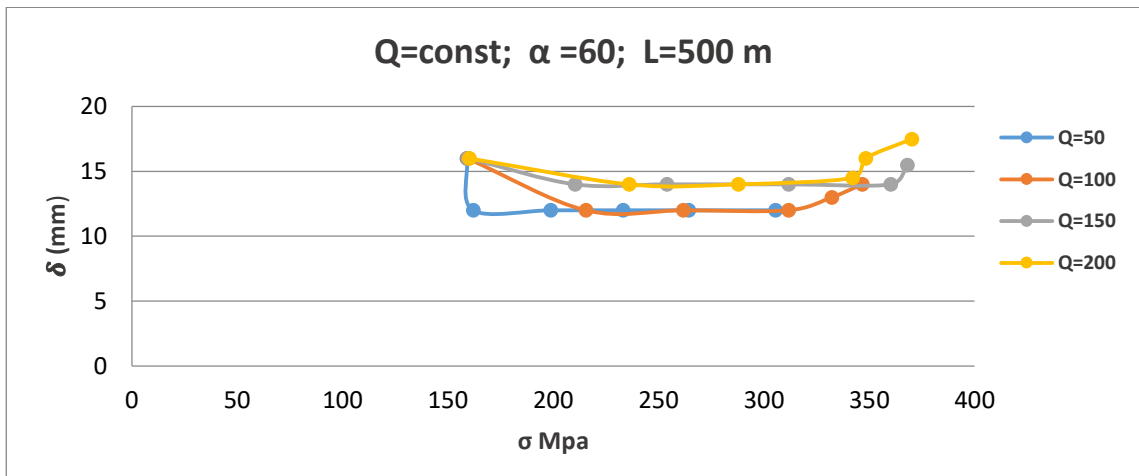


Gráfico 45. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; L=500 m

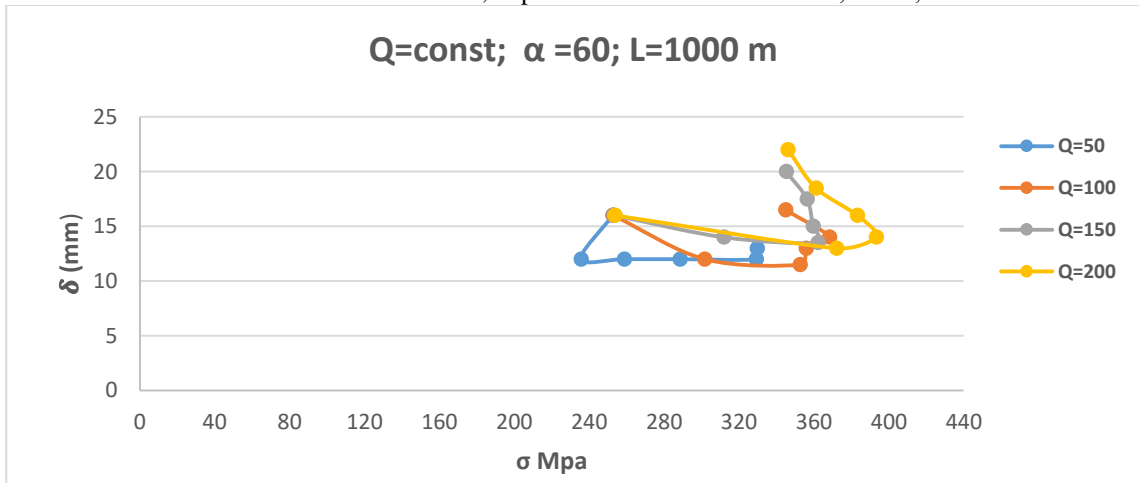


Gráfico 46. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha =60$; L=1000 m

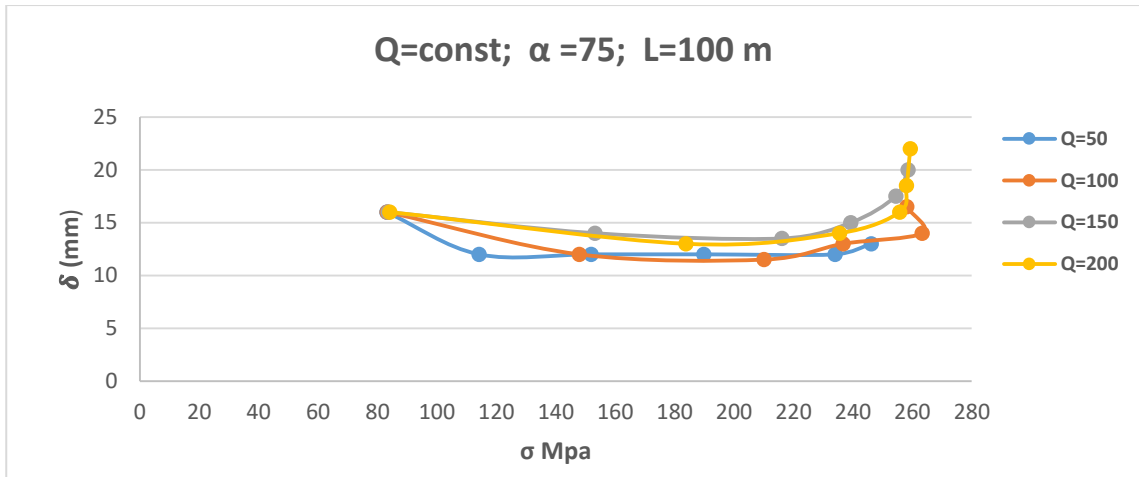


Gráfico 47. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 75$; L=100 m

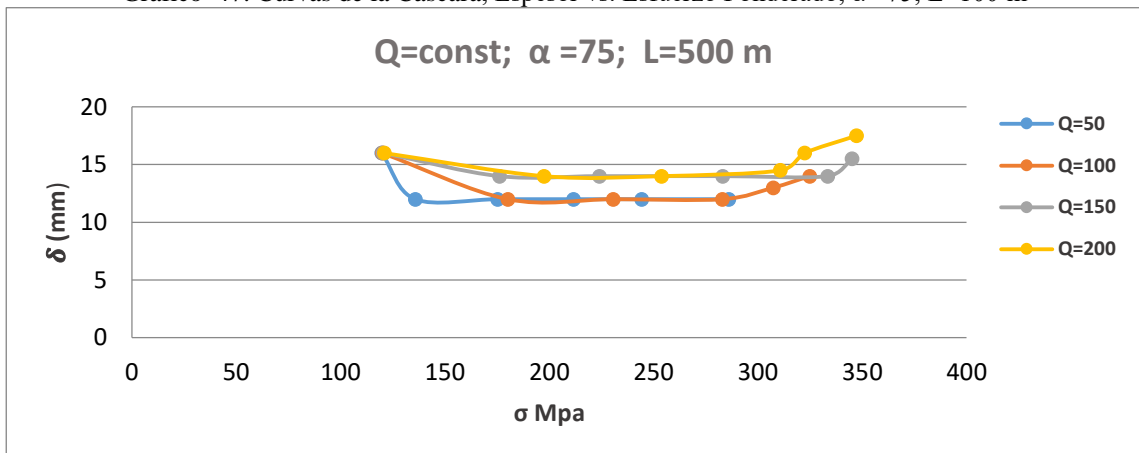


Gráfico 48. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 75$; L=500 m

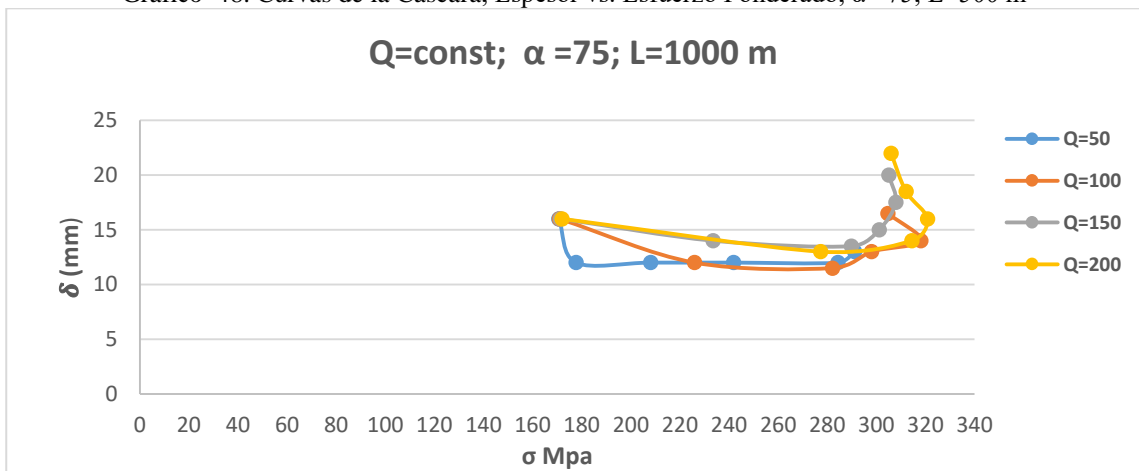


Gráfico 49. Curvas de la Cáscara, Espesor vs. Esfuerzo Ponderado, $\alpha = 75$; L=1000 m

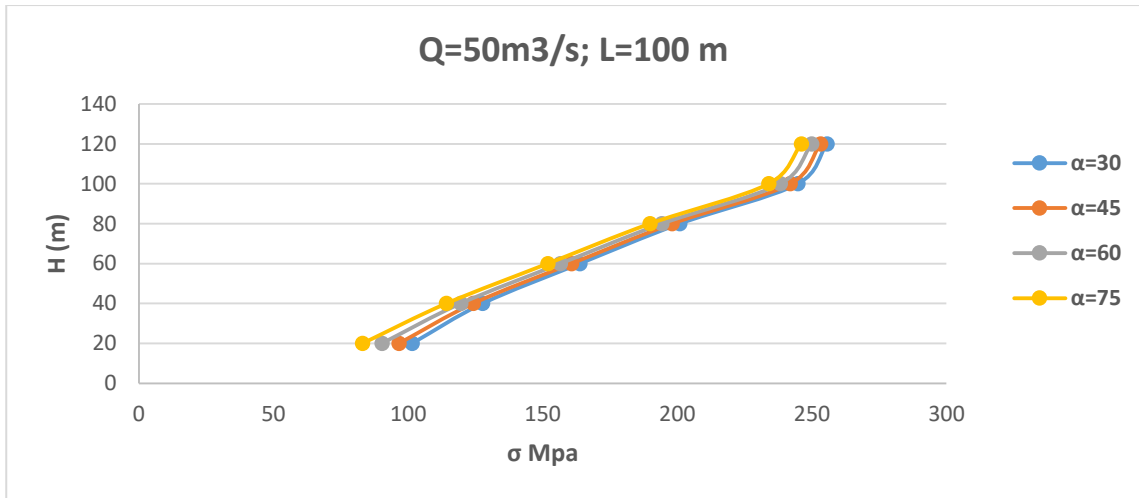


Gráfico 50. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, Q=50m³/s; L=100 m

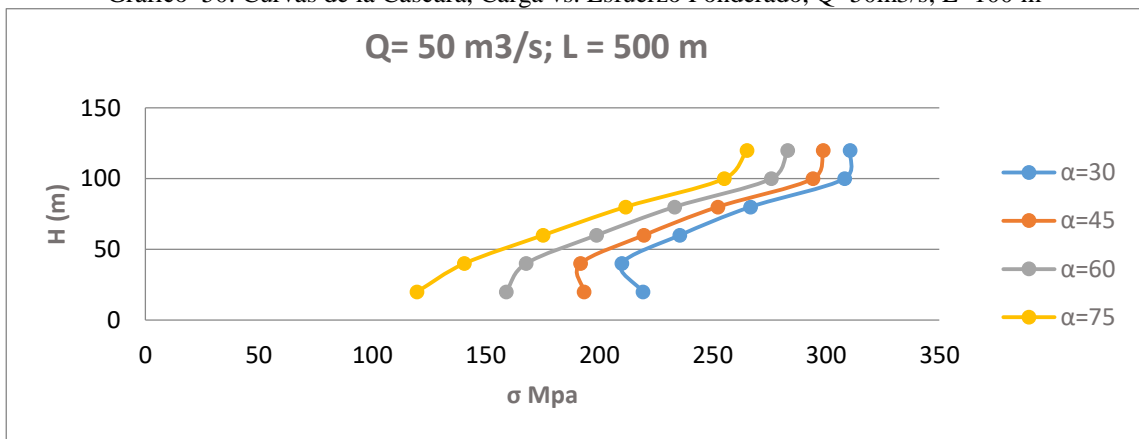


Gráfico 51. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, Q=50m³/s; L=500 m

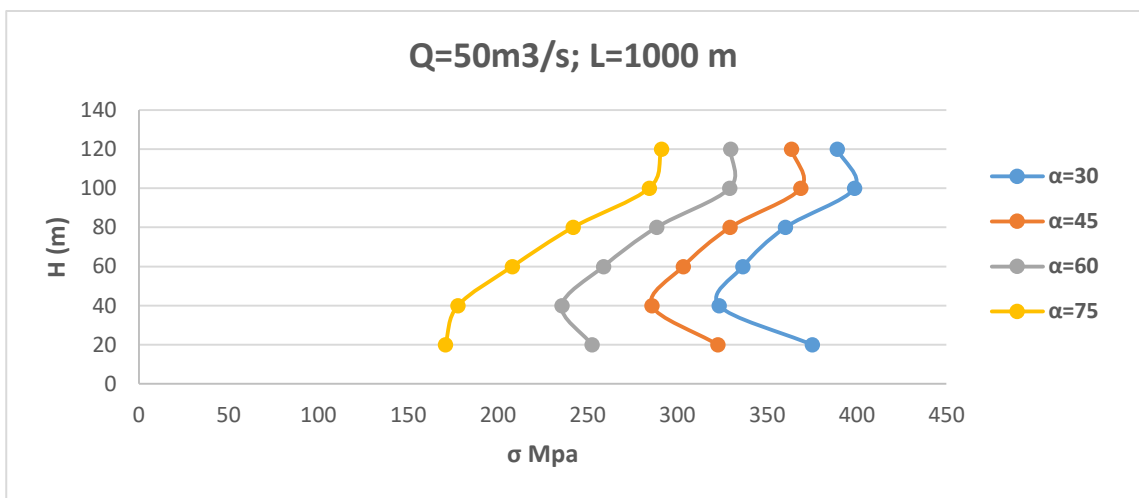


Gráfico 52. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, Q=50m³/s; L=1000 m

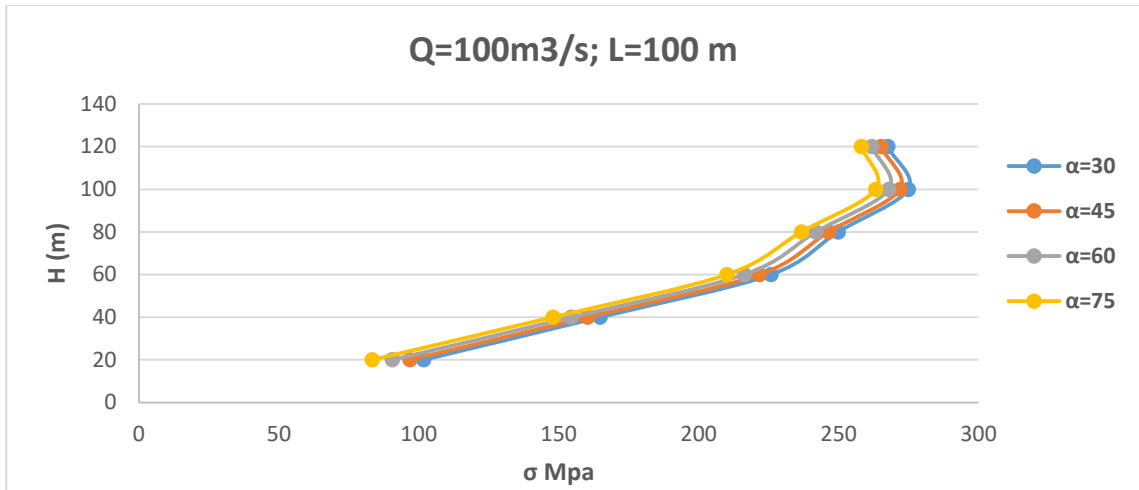


Gráfico 53. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, Q=100m³/s; L=100 m

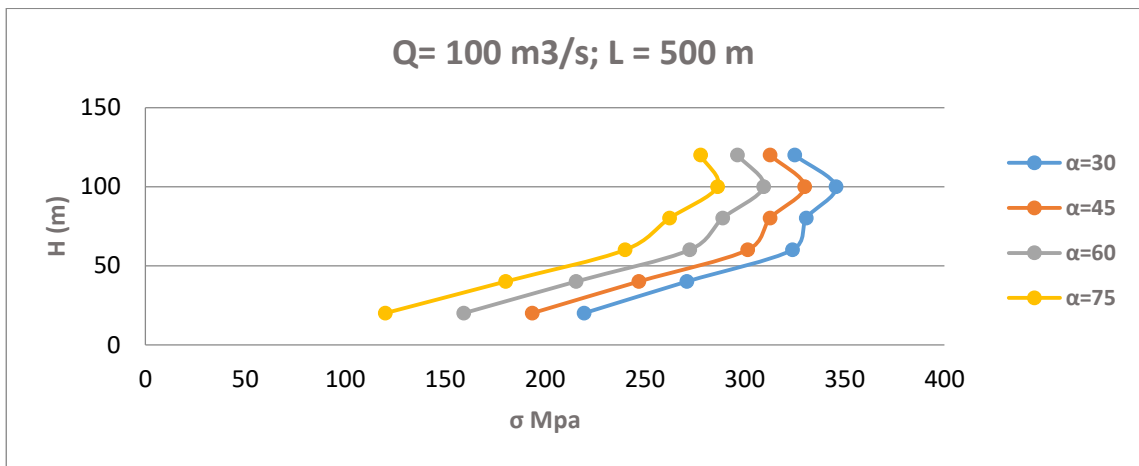


Gráfico 54. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, Q=100m³/s; L=500 m

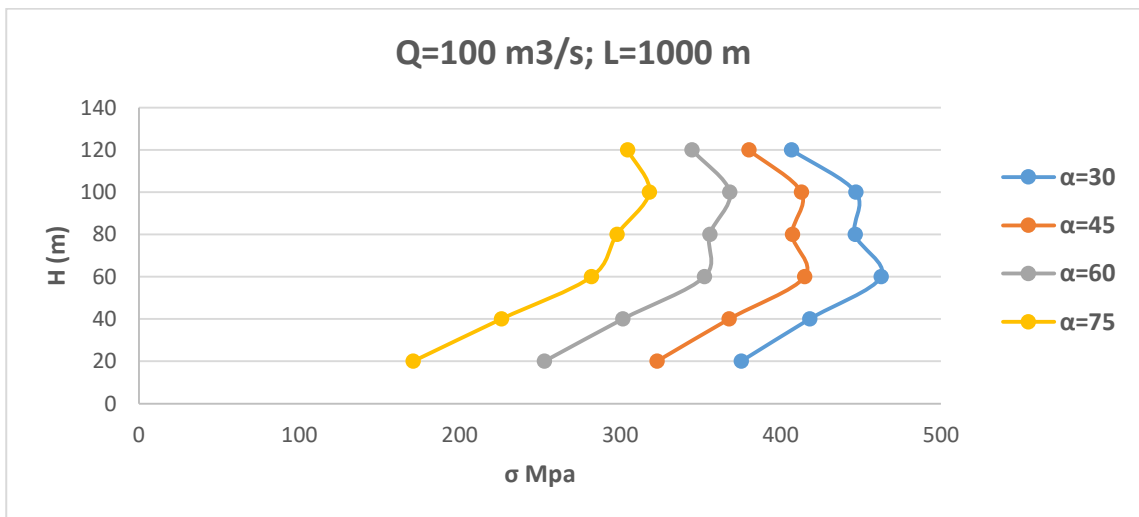


Gráfico 55. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, Q=100m³/s; L=1000 m

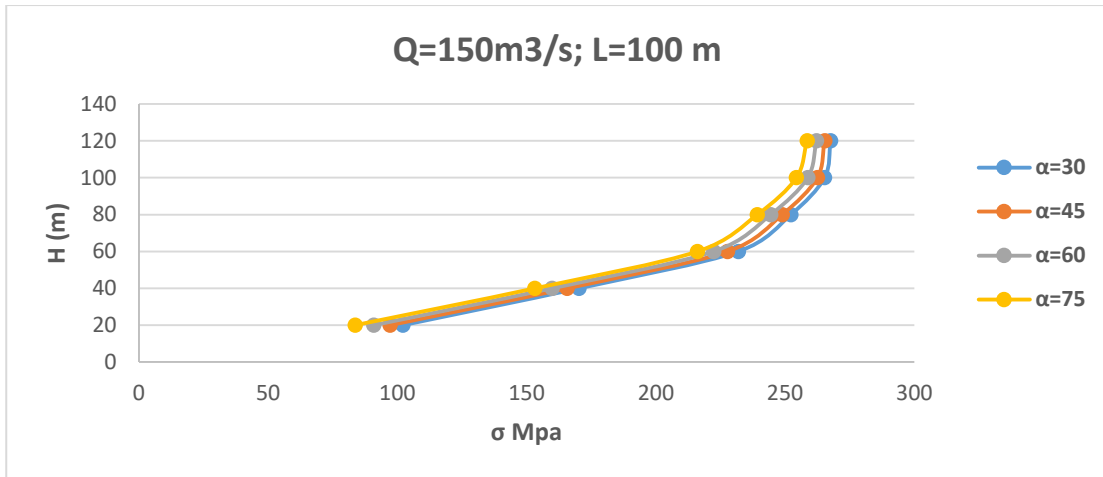


Gráfico 56. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, Q=150m³/s; L=100 m

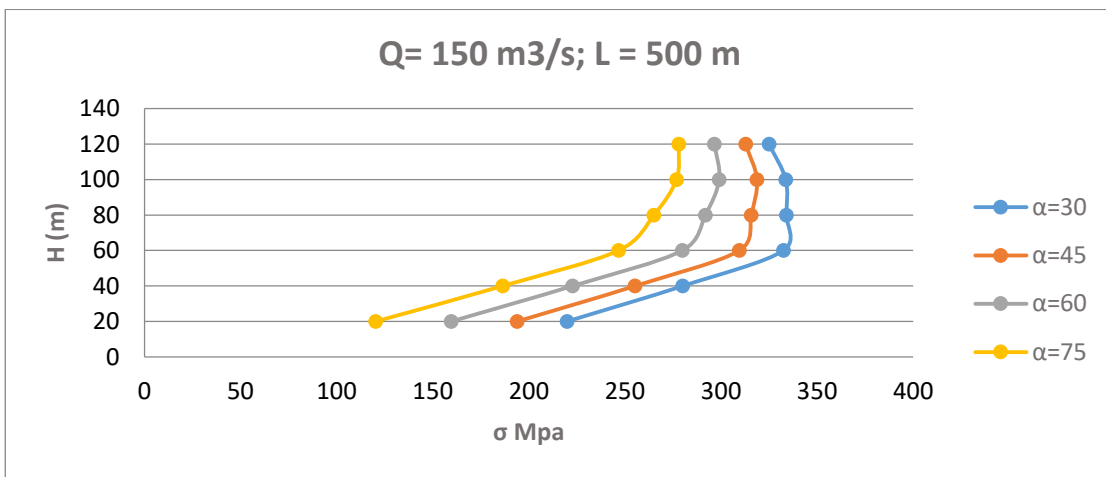


Gráfico 57. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, Q=150m³/s; L=500 m

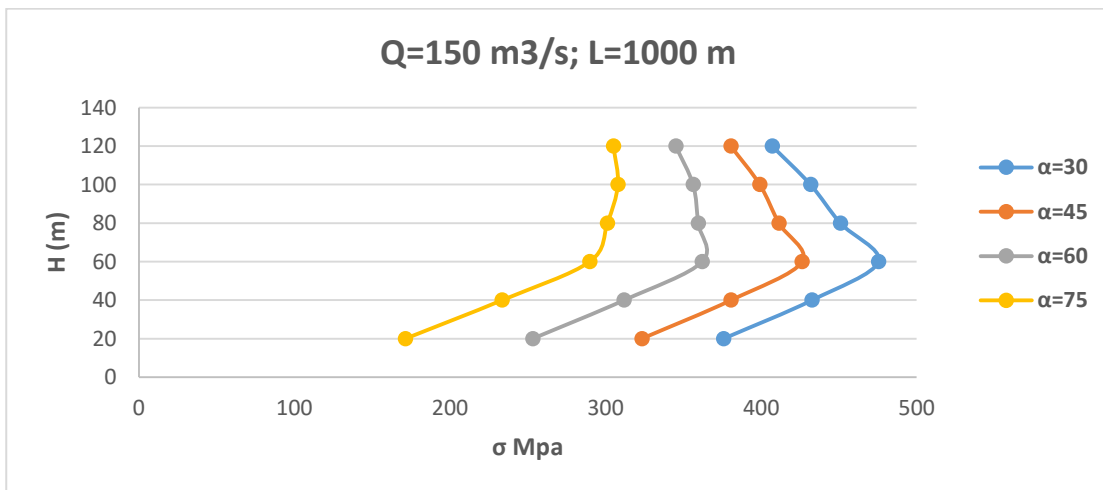


Gráfico 58. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, Q=150m³/s; L=1000 m

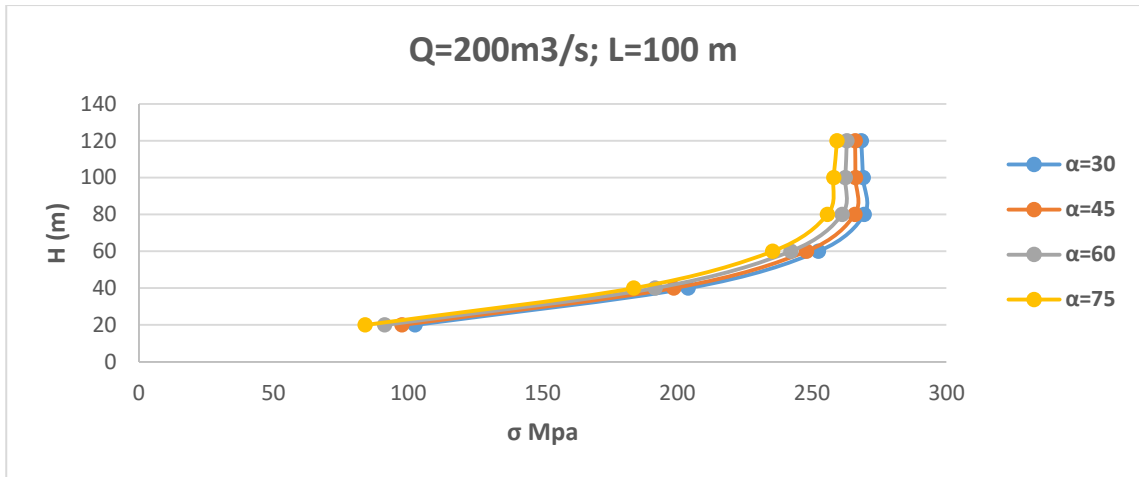


Gráfico 59. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, Q=200m³/s; L=100 m

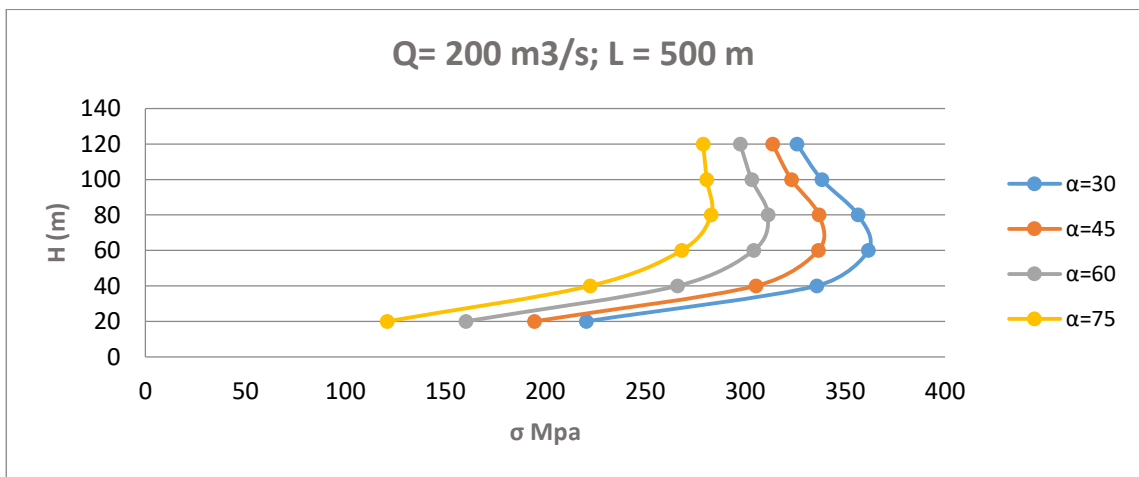


Gráfico 60. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, Q=200m³/s; L=500 m

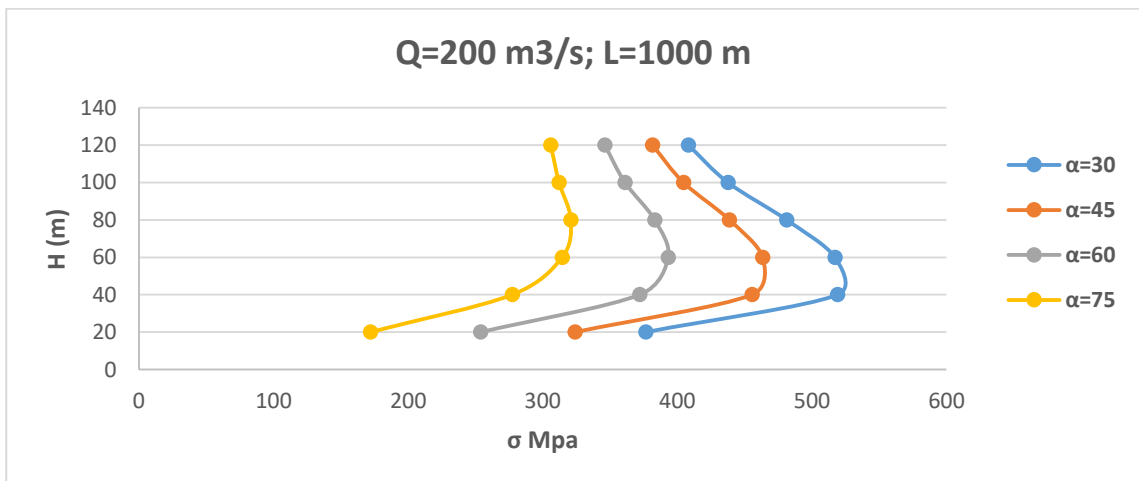


Gráfico 61. Curvas de la Cáscara, Carga vs. Esfuerzo Ponderado, Q=200m³/s; L=1000 m