

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA.

INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de.

INGENIERO MECÁNICO

TEMA.

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN EL HORMIGÓN
DE RESISTENCIA DE 21 MPA Y 25 MPA, MEDIANTE LA ADICIÓN DE
MATERIAL POLIAMIDA 6 DESECHADO EN LOS LABORATORIOS
DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA.

AUTORES.

CRISTIAN MARCELO LOZADA CALVACHE
DARIO FERNANDO SUNTAXI QUILACHAMÍN

DOCENTE TUTOR

MILTON SALOMON JAMI LEMA

Quito, Marzo del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Lozada Calvache Cristian Marcelo, con documento de identificación N° 1724729056 y Suntaxi Quilachamín Darío Fernando, con documento de identificación N° 1716589872 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. “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN EL HORMIGÓN DE RESISTENCIA DE 21 MPA Y 25 MPA, MEDIANTE LA ADICIÓN DE MATERIAL POLIAMIDA 6 DESECHADO EN LOS LABORATORIOS DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de. Ingeniero Mecánico, 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 impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Cristian Marcelo Lozada Calvache

C.I. 1724729056



Darío Fernando Suntaxi Quilachamín

C.I. 1716589872

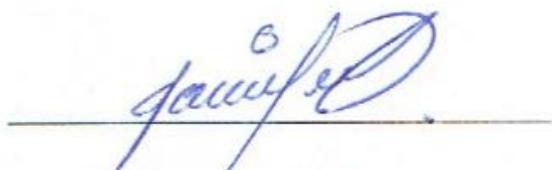
Quito, Marzo del 2019

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto de titulación, ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN EL HORMIGÓN DE RESISTENCIA DE 21 MPA Y 25 MPA, MEDIANTE LA ADICIÓN DE MATERIAL POLIAMIDA 6 DESECHADO EN LOS LABORATORIOS DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA realizado por los señores. Cristian Marcelo Lozada Calvache y Darío Fernando Suintaxi Quilachamín, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Marzo del 2019

Firma

A handwritten signature in blue ink is written over a horizontal line. The signature is cursive and appears to read 'Milton Salomón Jami Lema'.

Ing. Milton Salomón Jami Lema

C.I. 1707254171

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Dedico este trabajo a mi familia, por su apoyo, sacrificio, perseverancia incondicional lo que ha hecho posible alcanzar mi meta, sé que siempre he contado y contaré con ellos, sin su apoyo nada de esto se hubiera hecho realidad.

Agradezco a mis compañeros, amigos y tutores que más que docentes fueron verdaderamente guías que han sabido impartir sus enseñanzas sus conocimientos, permitiendo que esta investigación sea concluida, sobre todo por los valores inculcados los cuales sé que me servirán en mi vida profesional., y a todas las personas que de una u otra manera han puesto un granito de arena para hacer realidad mis objetivos, en especial a Dios por ser mi protector, iluminador quien supo guiar cada paso de mi vida estudiantil.

Cristian Marcelo Lozada Calvache

Agradecimiento eterno a mi familia por el sacrificio y apoyo incondicional brindado a lo largo de todos estos años, ustedes han sido parte primordial para alcanzar este logro, asimismo fueron testigos del esfuerzo realizado todo este tiempo, seguro que con la bendición de Dios seguiré adelante en mi vida profesional.

Gracias a todo el personal docente, quienes me compartieron su conocimiento y experiencia durante el desarrollo de este proceso académico, del mismo modo a todas las personas que fueron partícipes para culminar con éxito este logro tan importante en mi vida, además para la persona que físicamente no está presente pero siempre vivirá en mi corazón y en el de toda la familia quien seguramente debe estar tan orgullosa y feliz como lo están mis padres.

Darío Fernando Sntaxi Quilachamín

CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR	ii
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO	iii
INTRODUCCIÓN	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	xiv
JUSTIFICACIÓN	xv
OBJETIVOS DEL PROYECTO	xvi
OBJETIVO GENERAL	xvi
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	xvi
CAPÍTULO I	1
1.1. La historia del plástico	1
1.2. Poliamida	2
1.2.1. Proceso de Obtención	5
1.2.2. Poliamida 6	5
1.3. Reciclado	8
1.3.1. El ciclo de vida de los polímeros	9
1.3.2. Análisis de la Poliamida 6 en los laboratorios	11
1.3.3. Cómo se recicla	11
1.3.4. El reciclado de la poliamida 6	13
1.3.5. Proceso de reciclado	13
1.3.6. Molino	14
1.3.7. Almacenamiento y utilización	20
CAPÍTULO II	21
2.1. Problema	21
2.2. Estudios previos	21

2.3.	Términos más importantes.....	22
2.3.1.	Pasta o pegante.....	22
2.3.2.	Mortero.....	23
2.3.3.	Concreto.....	23
2.4.	Materiales compuestos.....	23
2.4.1.	Hormigón.....	23
2.4.2.	Clasificación de los materiales compuestos.....	37
2.4.3.	Características del agregado.....	37
CAPÍTULO III.....		40
3.1.	Diseño de mezclas de concreto.....	40
3.1.1.	Granulometría.....	40
3.1.2.	Módulo de finura.....	40
3.1.3.	Pesos específicos de agregados.....	41
3.1.4.	Capacidad de absorción y Humedad.....	41
3.1.5.	Tamaño máximo de los agregados.....	42
3.1.6.	Densidad de los agregados.....	42
3.1.7.	Densidad aparente.....	42
3.1.8.	Densidad aparente máxima.....	42
3.2.	Método de dosificación.....	42
3.2.1.	Asentamiento.....	44
3.2.2.	Elección del tamaño máximo nominal (TMN) del agregado.....	45
3.2.3.	Estimación preliminar de los contenidos de agua y aire en la mezcla.....	45
3.2.4.	Elección de la relación agua/ cemento (a/c).....	47
3.2.5.	Calculo del contenido de cemento (C).....	47
3.2.6.	Estimación del contenido de agregado grueso.....	48
3.2.7.	Estimación del contenido de agregado fino.....	49
3.2.8.	Resistencia.....	50
3.3.	Número de ensayos.....	53

CAPÍTULO IV	54
4.1. Cálculo para la fabricación	54
4.1.1. Granulometría	54
4.1.2. Módulo de finura	55
4.1.3. Pesos específicos de agregados	55
4.1.4. Humedad	58
4.1.5. Resultados del diseño	58
4.1.6. Determinación de número de muestras para 21MPa y 25MPa	59
4.2. Cálculos para 21MPa	60
4.2.1. Relación agua/cemento (a/c)	60
4.2.2. Contenido de cemento	60
4.2.3. Masa del Ripio	60
4.2.4. Volumen de la Arena	60
4.2.5. Masa de la Arena	61
4.2.6. Corrección por humedad	61
4.2.7. Corrección de agua	62
4.2.8. Resultados a compresión de muestras de 21MPa	62
4.2.9. Análisis a Compresión a los 28 días	64
4.2.10. Análisis de Resistencia a tracción a los 28 días	73
4.3. Cálculos para 25 MPa	77
4.3.1. Relación agua/cemento (a/c)	77
4.3.2. Contenido de cemento	77
4.3.3. Masa del Ripio	77
4.3.4. Volumen de la Arena	78
4.3.5. Masa de la Arena	78
4.3.6. Corrección por humedad	78
4.3.7. Corrección de agua	79
4.3.8. Resultados a compresión de muestras de 25MPa	79

4.3.9. Análisis de la compresión	81
4.3.10. Resistencia a tracción.....	90
4.4. Costo de materiales, fabricación y ensayos.....	94
CONCLUSIONES.....	96
RECOMENDACIONES.....	98
BIBLIOGRAFÍA.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Reacción de poliamida generalizada. [8].....	2
Figura 2. Estructuras químicas de las diaminas utilizadas para fabricar poliamidas. [8]	3
Figura 3. Estructuras químicas de los diácido para hacer poliamidas. [8].....	3
Figura 4. Estructuras químicas de los aminoácidos utilizados para hacer poliamidas. [8].....	4
Figura 5. Estructura química de Nylon 6. [8].....	5
Figura 6. Ciclo de vida de los materiales poliméricos. [21].....	10
Figura 7. Poliamida recogida del laboratorio de maquinas herramientas.	11
Figura 8. Material Triturado.....	13
Figura 9. Proceso de Triturado.....	13
Figura 10. Molino Mecanofil.	14
Figura 11. Partes del molino 15/21 M.2.6 PM Insonorizado. [26]	15
Figura 12. Dimensiones del molino 15/21 M.2, 6 PM Insonorizado. [26]	16
Figura 13. Cuchillas del molino. [26]	19
Figura 14. Herramientas para el ajuste o cambio. [26]	19
Figura 15. Etapas en la fabricación del Cemento Pórtland. [43]	26
Figura16. Cono de Abrams. [40], [52].....	34
Figura 17. Alineación paralela de las fibras. [54]	38
Figura 18. Alineación al azar de las fibras. [54]	39
Figura 19. Secuencia de pasos para la dosificación de mezclas. [37].....	43
Figura 20. Diferentes probetas para ensayo de resistencia del hormigón. [55]	50
Figura 21. Tipos de fallas. [36]	51
Figura 22. (a) Configuración de la carga y (b) rotura del ensayo de tracción indirecta. [57]	52
Figura 23. Grafica Masa y Densidad de 21MPa.	72
Figura 24. Promedio de Resistencia a Compresión de 21MPa.	72
Figura 25. Análisis de ensayo de Tracción.	77
Figura 26. Grafica Masa y Densidad de 25MPa.	89
Figura 27. Promedio de Resistencia a Compresión de 25MPa.	89
Figura 28. Análisis de ensayo de Tracción.	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Monómeros utilizados para hacer poliamidas / Nylons específicos. [8].....	4
Tabla 2. Consumo de Poliamida 6 desechado en los laboratorios de máquinas herramientas.	11
Tabla 3. Usos del plástico nuevo y reciclado, con su respectivo código de resinas. [23]	12
Tabla 4. Características técnicas. [26].....	17
Tabla 5. Propiedades del lubricante. [26].....	18
Tabla 6. Cantidades del hormigón tradicional. [39].....	24
Tabla 7. Tipos de cemento necesario para concreto expuesto a la acción de sulfatos. [36]	29
Tabla 8. Abreviaturas de los óxidos del cemento. [37],[48]	29
Tabla 9. Compuestos principales del cemento. [48]	30
Tabla 10. Valores de los compuestos de diferentes tipos de cementos Pórtland. [48]	31
Tabla 11. Secuencia de las reacciones básicas de hidratación del cemento. [48]	32
Tabla 12. Tipos de consistencia. [52].....	35
Tabla 13. Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcciones. [37], [56].....	44
Tabla 14. Valores aproximados de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaño máximo de agregado. [55].....	46
Tabla 15. Contenido de aire atrapado. [55].....	47
Tabla 16. Relación entre la resistencia a la compresión y a/c. [55].....	47
Tabla 17. Volúmenes de agregado grueso por metro cúbico de hormigón. [56], [55]	48
Tabla 18. Granulometría del ripio.	54
Tabla 19. Granulometría de la Arena.	54
Tabla 20. Pesos específicos del agregado grueso.....	55
Tabla 21. Pesos específicos del agregado fino.....	56
Tabla 22. Pesos Unitarios.....	57
Tabla 23. Humedades.....	58
Tabla 24. Parámetros de Diseño.....	58
Tabla 25. Datos Resultantes.....	59

Tabla 26. Matriz Ortogonal.....	59
Tabla 27. Dosificación Estándar de 21MPa.....	62
Tabla 28. Dosificación de 5%,10% y 15% para 21MPa.....	63
Tabla 29. Resultados de compresión a hormigón de 21MPa con 0%.....	64
Tabla 30. Resultados de compresión a hormigones de 21MPa con 5%.....	66
Tabla 31. Resultados de compresión de 21Mpa con 10%.	68
Tabla 33. Resultados de Compresión a hormigón de 21MPa con 15%.....	70
Tabla 34. Resultados de tracción a hormigón de 21MPa con 0%.....	73
Tabla 35. Resultados de tracción a hormigón de 21MPa con 5%.....	74
Tabla 36. Resultados de tracción a hormigón de 21MPa con 10%.....	75
Tabla 37. Resultados de tracción a hormigón de 21MPa con 15%.....	76
Tabla 38. Dosificación Estándar de 25MPa.....	80
Tabla 39. Dosificación de 5%,10% y 15% para 21MPa.....	80
Tabla 40. Resultados de compresión a hormigón de 25MPa con 0%.....	81
Tabla 41. Resultados de compresión a hormigón de 25MPa con 5%.....	83
Tabla 42. Resultados de compresión a hormigón de 25MPa con 10%.....	85
Tabla 43. Resultados de Compresión a hormigón de 25MPa con 15%.....	87
Tabla 44. Resultados de tracción a hormigón de 25MPa con 0%.....	90
Tabla 45. Resultados de tracción a hormigón de 25MPa con 5%.....	91
Tabla 46. Resultados de tracción a hormigón de 25MPa con 10%.....	92
Tabla 47. Resultados de tracción a hormigón de 25MPa con 15%.....	93
Tabla 48. Costo de Materiales.....	94
Tabla 49. Costo de Actividades.	95

INTRODUCCIÓN

En el actual análisis se pretende efectuar un aporte informativo, al implementar filamentos de Poliamida 6 como refuerzo en hormigones, debido a la escasa información que en la actualidad existe.

Los agregados sufren varios cambios uno de ellos es la humedad por lo que no se puede afirmar que sus condiciones sean iguales razón por la cual se realizan varias pruebas para determinar las condiciones antes de diseñar las dosificaciones correspondientes.

Aplicando las normas establecidas por la American Concret Institute (A.C.I), se genera una relación de materiales para la preparación de los hormigones de resistencia de 21MPa y 25MPa, a este balance se lo reajusta para la incorporación de filamentos de Poliamida 6 los cuales se los incluirá en porcentajes de 5%, 10% y 15%, esto con el fin de analizar el efecto que se generará en la resistencia al someterla a ensayos de compresión y tracción.

Estos resultados que se generan, permitirán analizar si es factible implementarlo en la fabricación de elementos estructurales o no estructurales (pavimentos o morteros) y proponer una solución para mitigar el impacto ambiental que producen las hebras de la Poliamida 6.

RESUMEN

En el CAPÍTULO I, se habla sobre la década de las poliamidas que están comenzando a ganar espacio reemplazando a los metales tradicionales gracias a la buena resistencia mecánica. Este material no se lo puede reciclar como los PET, debido a su composición y características por tal motivo se trata de buscar una forma de emplear el desecho que se genera en los laboratorios de máquinas herramientas de la Universidad Politécnica Salesiana.

En el CAPITULO II, menciona que en los últimos años se han realizados estudios al hormigón reforzándolo con fibras de caucho, vidrio, acero y materiales orgánicos, por lo que en este capítulo trata de las investigaciones previas así como la composición de los tipos de materiales que se emplean en el diseño y características para su posterior fabricación.

En el CAPITULO III de la investigación hablaremos sobre el diseño de mezclas de concreto con material Poliamida 6 en porcentajes de 0%, 5%, 10% y 15% reemplazando al agregado grueso en igual masa, en hormigones de 21MPa y 25MPa. Se evaluaron las propiedades mecánicas llegando al punto de realizar ensayos destructivos de compresión y tracción tomando en cuenta las normas de ensayo correspondientes.

En el CAPITULO IV, los ensayos de compresión y tracción realizados a una edad de 28 días, permitió obtener resultados suficientes para hacer una comparación entre el hormigón de 0% contra los hormigones reforzados con 5%,10% y 15%, donde con estos valores se concluyó que la resistencia a compresión y tracción va disminuyendo considerablemente mientras la adición de Poliamida 6 va en aumento.

Palabras claves: Poliamida, mortero, dosificación, tracción, compresión, agregados fino y grueso

ABSTRACT

In CHAPTER I, we talk about the decade of polyamides that are beginning to gain space by replacing traditional metals thanks to good mechanical strength. This material cannot be recycled like PET, due to its composition and characteristics, for this reason it is about finding a way to use the waste generated in the machine tool laboratories of the Salesian Polytechnic University.

In CHAPTER II, he mentions that in recent years studies have been carried out on reinforcing concrete with rubber fibers, glass, steel and organic materials, so in this chapter it deals with the previous investigations as well as the composition of the types of materials that are used in the design and characteristics for their subsequent manufacture.

In the CHAPTER III of the investigation we will talk about the design of concrete mixtures with Polyamide 6 material in percentages of 0%, 5%, 10% and 15% replacing the coarse aggregate in equal mass, in concrete of 21MPa and 25MPa. The mechanical properties were evaluated, reaching the point of performing destructive compression and traction tests taking into account the corresponding test standards.

In CHAPTER IV, compression and traction tests carried out at an age of 28 days, allowed to obtain sufficient results to make a comparison between 0% concrete against reinforced concrete with 5%, 10% and 15%, where with these values it was concluded that the resistance to compression and traction is decreasing considerably while the addition of Polyamide 6 is increasing.

Keywords: Polyamide, mortar, dosage, traction, compression, fine and coarse aggregates.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Universidad Politécnica Salesiana, utiliza la Poliamida 6 para elaborar diferentes prácticas de mecanizado en los laboratorios de máquinas herramientas de la Carrera de Ingeniería Mecánica, este material no puede ser reciclado como el resto de materiales plásticos por ser un termoplástico polimerizado, lo que no le permite volver a ser reutilizada en un proceso de extrusión ya que el material se descompone volviéndose inservible, por tal motivo el material excedente una vez concluido el proceso de mecanizado no es tratado con un método de reciclaje y es arrojado a los vertederos, lo cual causa un gran impacto ambiental debido a sus propiedades físicas incumpliendo con las normas establecidas por las Organizaciones ambientales.

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de la tecnología y los nuevos métodos de construcción han permitido la adición de fibras como caucho, materiales orgánicos, metales y vidrios para reforzar el hormigón, por lo que el presente proyecto investigativo pretende utilizar los desechos de material Poliamida 6 generados en los laboratorios de mecanizado de la Universidad Politécnica Salesiana, los cuales son desechados.

Con ello se busca que este trabajo se realice con el fin de estudiar la influencia que provoca el incluir las fibras de Poliamida 6 en el hormigón, por consiguiente conocer el comportamiento del hormigón reforzado obtenido una vez añadido las fibras, permitiendo realizar un análisis entre sus propiedades mecánicas.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

OBJETIVO GENERAL

- Analizar las propiedades mecánicas en el hormigón de resistencia de 21 MPa y 25 MPa, mediante la adición de material Poliamida 6 desechado en los laboratorios de máquinas herramientas de la Universidad Politécnica Salesiana.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar teóricamente la composición, características y propiedades de la Poliamida 6 en estado de suministro.
- Determinar la cantidad de desperdicio de material Poliamida 6 que se genera en los laboratorios de máquinas herramientas de la Universidad Politécnica Salesiana.
- Diseñar y construir probetas de hormigón de 21 MPa y 25 MPa con adición de material Poliamida 6 en cantidades de 0%, 5%, 10% y 15% en peso.
- Realizar ensayos de tracción y compresión a las probetas de hormigón reforzado con Poliamida 6.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos en los ensayos de tracción y compresión de las probetas de hormigón reforzado con Poliamida 6.

CAPÍTULO I

HISTORIA, POLIAMIDA, RECICLAJE.

1.1. La historia del plástico

El norteamericano Wesley Hyatt desarrolló el primer plástico en 1860, al remplazar el marfil natural por un material parecido, a través de un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol. Este producto fue patentado con el nombre de celuloide, tuvo un notable éxito comercial, por su deformación al someterlo al calor, de tal manera decidieron llamarlo termoplástico, comenzando el desarrollo de mangos, cuchillo, armazones de lentes y película cinematográfica [1], [2], [3], [4].

En 1909, el químico Leo Hendrik Baekeland sintetizó un polímero de interés comercial, conocido como baquelita siendo este un copolímero formado por fenol y formaldehído, lo que proporciona un fácil mecanizado, resistencia al agua y disolventes, esto gracias al grado de entrecruzamiento que se deriva de los termoestables, al enfriarse no puede volver a ablandarse, lo que genera una diferencia respecto a los termoplásticos [1], [2], [3].

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivaron a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros. Así pues, en la década de 1930, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, forma un termoplástico al que llamaron Polietileno (PE). Por su parte, en Alemania, emprendieron el desarrollo del Poliestireno (PS), es usado en vasos y recipientes, también fue desarrollado el Poliestireno Expandido (EPS), que sirve como embalaje y aislante térmico [1], [2], [4].

En la misma década, el químico Wallace Carothers desarrolla la fibra de nylon, al observar que, al unir la hexametildiamina, ácido adípico, formaban hilos de polímeros los cuales se podían tejerse, esto fue muy utilizado durante la Segunda Guerra Mundial, para la fabricación de paracaídas usados por las fuerzas armadas. Una vez concluido el conflicto, la industria plástica demostró que podía ser una fuente inagotable en varios campos

cubriendo la falta de materia prima causando así uno de los mayores apogeos que se ha presentado [1], [2], [5].

En la posguerra se desplegó un interés por los plásticos técnicos, como los policarbonatos, acetatos y poliamidas, descubriendo el Polipropileno (PP) en 1954 por el italiano Giulio Natta, al analizar qué sucedería si se reemplaza un átomo de hidrógeno por uno de cloruro en el etileno, produjeron el Cloruro de Polivinilo (PVC), el mismo que poseía una alta dureza y resistente al fuego. Tras varias pruebas con diversos aditivos se logró un material más blando, útil para sustituir el caucho [2], [1], [4].

En la presente década, principalmente se usa el material PET el cual viene desplazando al vidrio y al PVC en el mercado de envases, mientras que las poliamidas están comenzando a remplazar a los metales tradicionales [2], [1]. Precisamente, este material (nylon o poliamidas) es el principal objeto de estudio de la presente investigación por su condición contaminante.

1.2. Poliamida

Las poliamidas de alto peso molecular, conocidos comúnmente como nylon, son polímeros cristalinos típicamente producidos por la condensación de un diácido y una diamina. Este material es un termoplástico que se comercializa bajo diferentes nombres como Technyl, Nylon, Grilón, Durethan B, Nylatrom. Posee buena resistencia mecánica, tenacidad, resistencia a un elevado impacto. Es apropiado como plástico de ingeniería de uso universal, en construcciones mecánicas, trabajos de mantenimiento industrial por poseer una reacción como se muestra en la Figura 1 [6], [7], [8], [9].

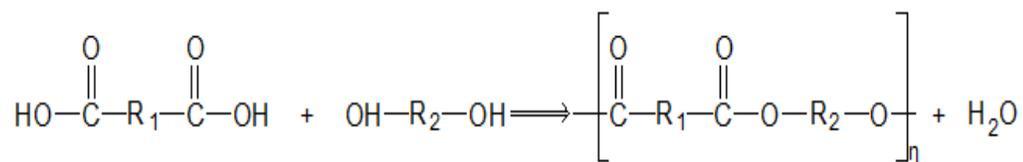


Figura 1. Reacción de poliamida generalizada. [8]

El grupo ácido —COOH reacciona con el grupo amina —NH_2 formando la amida, produciendo que una molécula de agua se desprenda cuando se forma el polímero de nylon. Las estructuras de los monómeros utilizados para fabricar poliamidas dependen del tipo de ácido como observaremos a continuación [8].

El primer tipo que tendremos será el monómeros diamina que se forma como se muestra en la Figura 2.

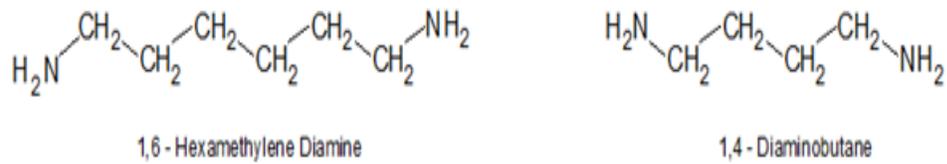


Figura 2. Estructuras químicas de las diaminas utilizadas para fabricar poliamidas. [8]

- El segundo tipo es el monómero diácido el cual tiene varias permutaciones como se observan en la Figura 3.

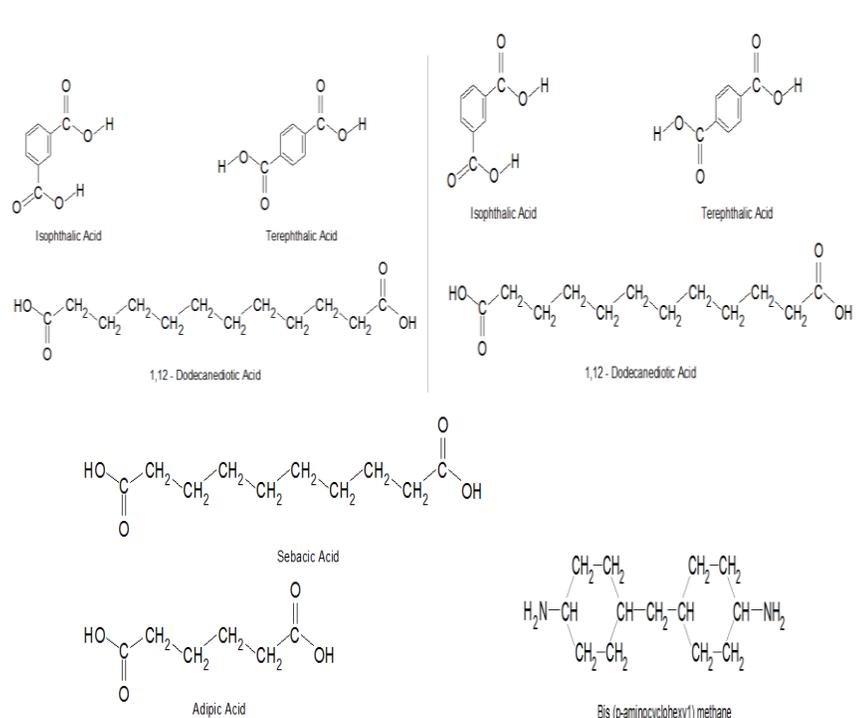


Figura 3. Estructuras químicas de los diácido para hacer poliamidas. [8]

- Finalmente, los monómeros de aminoácidos, específicos para la presente investigación, están presentes en la Figura 4.

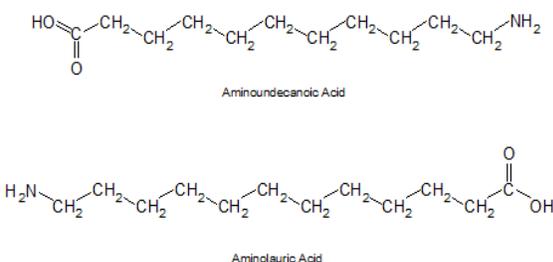


Figura 4. Estructuras químicas de los aminoácidos utilizados para hacer poliamidas. [8]

Estas estructuras solo muestran los grupos funcionales que da como resultado un polímero, que se describe a menudo con un número, como Nylon 66 o Poliamida 66 (PA 66). Los sufijos numéricos se refieren al número de átomos de carbono presentes en las estructuras moleculares de la amina el ácido, respectivamente o un solo sufijo si los grupos amino y ácido son parte de la misma molécula como es el caso del Nylon 6 o Poliamida 6 (PA 66) [8], [9]. Los materiales plásticos de poliamida existentes y los monómeros usados para hacerlos se dan en la Tabla 1.

Tabla 1. Monómeros utilizados para hacer poliamidas / Nylons específicos. [8]

Tipo de poliamida	Monómeros utilizados para hacer
Nylon 6.	Caprolactama
Nylon 11.	Ácido aminoundecanoico.
Nylon 12.	Ácido aminolaúrico
Nylon 66.	1,6-Hexametilén diamina y ácido adípico.
Nylon 610.	1,6-Hexamethylene diamine y ácido sebacic.
Nylon 612.	1,6-Hexametilén diamina y 1,12-Ácido dodecanedioico.
Nylon 666.	Copolímero basado en Nylon 6 y Nylon 66.
Nylon 46.	1,4-Diaminobutano y ácido adípico.
Nylon Amorfo.	Trimetilhexametildiamina y ácido tereftálico.
Poliftalamida.	Cualquier diamina y ácido isoftálico y / o ácido tereftálico

1.2.1. Proceso de Obtención.

Se obtiene por fusión, los filamentos se solidifican por simple enfriamiento. A la salida de la tobera, los filamentos son muy tenues, sé los puede presentar de diferentes maneras.

- Multifilamento. unión de todos los filamentos que proceden de la tobera.
- Texturizado. procedimiento por el cual los multifilamentos lisos, se rizan, adquiriendo un notable efecto de elasticidad.

Fibras cortadas: los filamentos previamente rizados o lisos, se cortan en fibras discontinuas como las fibras naturales (lana, algodón), presentando otras propiedades y aplicaciones diferentes que los filamentos continuo [8], [10].

1.2.2. Poliamida 6

Desde su comienzo como caprolactama pura, que es una molécula estructurada en anillo. Esto es único, el anillo se abre y la molécula se polimeriza consigo misma. Como la caprolactama tiene seis átomos de carbono, el nylon producido se llama Nylon 6, que es casi el mismo que el Nylon 66. La estructura de Nylon 6 se muestra en la Figura 5 [8].

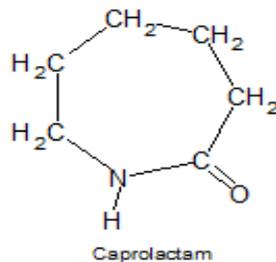


Figura 5. Estructura química de Nylon 6. [8]

1.2.2.1. Características

El monómero de la poliamida 6 es uno de los grados comerciales más comunes para piezas moldeadas; se caracterizan por una dureza, resistencia y tenacidad elevadas, así como por una vida a fatiga, resistencia a la abrasión [6]. Este material es capaz de emitir humos tóxicos (NO, CO, CO₂, HCN), que contaminaría el aire a su alrededor al llegar a su temperatura de descomposición [7].

La tecnología moderna requiere materiales con una combinación inusual de propiedades, imposible de conseguir con los metales, las cerámicas y los polímeros convencionales [11]. Por su alta resistencia mecánica, baja densidad, lo que facilita el elaborar estructuras y dispositivos resistentes, así como capaces de poseer resistencia a la corrosión, baja conductividad eléctrica y térmica, baja densidad o bajo peso, de manera que ha sido ampliamente usado en tecnología aeroespacial, debido a estas propiedades y sobretudo buen aislamiento [12]. Así pues el material polimérico es dañino para el ambiente, tarda demasiado tiempo en sufrir alteraciones, las cuales les permiten sustituir a los metales en diversas aplicaciones [13].

- Aplicaciones y Usos

Se lo puede emplear como.

- Engranajes.
- Accesorios y cojinetes en la industria automotriz para piezas debajo del cofre.
- Carcasas para herramientas eléctricas.
- Como hilo en cerdas para cepillos de dientes.
- Cuerdas para instrumentos musicales acústicos y clásicos, arzones
- Suturas quirúrgicas [13].

1.2.2.2. Referencias Técnicas

Tras varios años de trabajo, generó los siguientes datos.

- Manipulación y almacenamiento.
 - Manipulación. No necesita medidas técnicas específicas.
 - Almacenamiento. Almacenar a temperatura ambiente en lugares secos [7].
- Propiedades físicas y químicas
 - a. Aspecto.
 - Granular (chips)
 - Forma o estado. Sólido
 - Color. Blanco en estado crudo (Brillante/Semimate/Mate)
 - Olor. Inodoro
 - b. Datos significativos para la seguridad.
 - Punto de fusión. 223 °C
 - Punto de inflamación. NA
 - Temperatura de ignición. > 400 °C
 - c. Solubilidad.
 - Prácticamente insoluble en agua y en la mayoría de disolventes orgánicos.
 - Soluble en fenoles calientes, cresoles, ácido fórmico y ácido sulfúrico.
 - d. Otras propiedades.
 - Producto no inflamable. Arde difícilmente (sólo en contacto con llama).
 - Es un producto no comburente y auto extingible.
 - Funde formando perlas [7].
- Estabilidad y reactividad
 - a. Descomposición térmica.
 - Estable en las condiciones normales de empleo.

- Temperatura de descomposición > 350 °C.
- b. Productos de descomposición peligrosos.
 - Calentando a descomposición emite humos tóxicos de óxidos de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono y cianuro de hidrógeno [7].
- Información toxicológica
 - Toxicidad oral aguda. (DL50) = NA.
 - Irritación. La sustancia es inerte.
 - Respiratoria/sensibilización piel. No hay datos disponibles relativos a efectos de sensibilización, clasificación provisional.
 - Mutagenicidad en células germinales. No hay datos disponibles relativos a efectos de mutación, clasificación provisional.
 - Otros riesgos. Basándonos en nuestra experiencia y en la información disponible, No se espera se presenten otros riesgos toxicológicos particulares en las condiciones normales de uso [7].
- Información ecológica
 - Persistencia/biodegradabilidad. producto persistente de baja biodegradabilidad.
 - Toxicidad acuática. NA
 - Observaciones. fácilmente recuperable [7].

1.3. Reciclado.

La producción global de plásticos ha estado creciendo continuamente durante más de 50 años. En 2015, aumentó a 322 millones de toneladas, un aumento del 3.5% con respecto al volumen de 2014, lo que se ha considera una fuente importante de desperdicio. En Europa, los residuos plásticos pos consumo se emiten principalmente desde los sectores de embalaje, construcción, automotriz, equipamiento eléctrico y electrónico, alcanzando los 25,8 millones de toneladas en 2014 [13]. La eliminación de residuos elásticos se ha convertido en un significativo problema ambiental [14].

En los últimos años, se introdujeron grandes cantidades de desechos plásticos en el entorno a través de su producción y eliminación, lo que resulta en su acumulación en los ecosistemas del mundo [15], [16]. Se generaron 275 millones de toneladas de desperdicios en 192 países durante el 2010, con 4.8 a 12.7 millones de toneladas entrando al hábitat [17]. El material acumulado en los vertederos es una opción no sostenible, ambientalmente hostil. Si bien el manejo de desechos plásticos es un problema global, los conceptos y definiciones básicos relacionados con la gestión de residuos para la Unión Europea (UE), como las definiciones de residuos, reciclado y recuperación, fueron establecidos por la Directiva 2008/98 / CE. La legislación, a política de residuos imponen la jerarquía de gestión de residuos en los Estados miembros de la UE. Los instrumentos de la política de gestión de residuos de la UE apuntan a establecer una trayectoria para eliminar el vertido a través de la reutilización [18].

Se deberá minimizar el volumen y peso de los residuos para obtener las principales ventajas.

- Disminuye la cantidad de residuos, es mejor no producir residuos que resolver qué hacer con ellos.
- Ayuda a que los rellenos sanitarios no se saturen rápidamente.
- Se ahorran recursos naturales, energía, materia prima y recursos financieros.
- La reducción en la fuente aminora la polución y el efecto invernadero.
- Requiere menos energía transportar materiales más livianos ahorrando combustible lo que implica menos contaminación [19].

1.3.1. El ciclo de vida de los polímeros.

El ciclo de vida de los materiales poliméricos puede describirse mediante el esquema de la Figura 6. Las materias primas, vírgenes o recicladas, se transforman en productos mediante las diversas técnicas de conversión (inyección, extrusión, etc.). Esta es la fase de inicio de la vida útil del producto. Durante el proceso de fabricación, se genera un primer tipo de residuo de plástico sólido (SPW), residuos postindustriales (PI), que nunca llegan al consumidor. Esto podría incluir corredores de moldeo por inyección, residuos de cambios de producción, productos de caída, cortes y recortes. Típicamente, los residuos

de PI tienen las claras ventajas de que son limpios, se conoce la composición del polímero. Muy a menudo, estas corrientes de desechos también son mono-corrientes, lo que significa que no están contaminadas por otros polímeros o no polímeros. En términos de reciclaje, estos son a menudo los grados de mayor calidad de residuos de polímeros [20], [21].

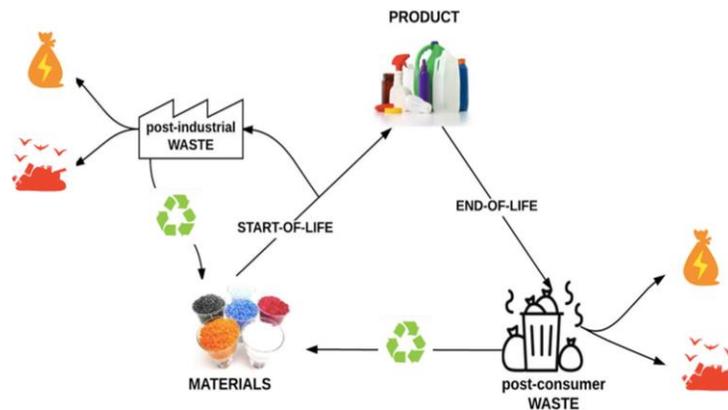


Figura 6. Ciclo de vida de los materiales poliméricos. [21]

Al final de su vida útil, el producto se desecha y se convierte en residuo pos consumo. Dependiendo del país, los residuos plásticos se recogen por separado. Los diferentes esquemas regionales de recolección varían desde muy estrictos como en Bélgica, a muy abiertos como en los Países Bajos. Típicamente, los residuos consisten en plásticos mixtos de composición desconocida y están potencialmente contaminados por fracciones orgánicas, o fracciones inorgánicas no poliméricas. Desde un punto de vista medioambiental, sigue siendo preferible evitar la creación de residuos sólidos de plástico, evitando la producción de materiales alternativos o promoviendo la reutilización de productos de plástico, los cuales están fuertemente relacionados con sensibilizar al consumidor. Dichos esfuerzos corren paralelos a los de la valorización efectiva y eficiente de las grandes cantidades de residuos sólidos de plástico que inevitablemente siguen apareciendo [21].

1.3.2. Análisis de la Poliamida 6 en los laboratorios

Al considerar esto se tratará de reutilizar la Poliamida 6 que se desecha en la Universidad Politécnica Salesiana, especificado en la Tabla 2.

Tabla 2. Consumo de Poliamida 6 desechado en los laboratorios de máquinas herramientas.

	Lunes (Kg/día)	Miércoles (Kg/día)	Jueves (Kg/día)	Viernes (Kg/día)	Promedio (Kg/día)
Torno	0.655	0.797	0.781	0.690	0.7154
Fresa	0.779	0.960	0.918	1.047	0.9595
					<u>1,6749</u>

El promedio de material que se desecha por día es de 1,6749 [Kg/día]. El fin de este trabajo es encontrar una opción ambiental para la reutilización del material saliente de los laboratorios de máquinas y herramientas, evitando de esta forma que sea enviado a vertederos que aumentan la contaminación a largo plazo.



Figura 7. Poliamida recogida del laboratorio de maquinas herramientas.

1.3.3. Cómo se recicla.

El plástico es un derivado del petróleo, muy valorado en varios sectores, gracias a su diversidad.

Existen varios tipos con diferente composición esto permite que existan siete tipos según la Industria de plásticos, como se presentan en la Tabla 3 [22], [23].

Tabla 3. Usos del plástico nuevo y reciclado, con su respectivo código de resinas. [23]

Grupo	Descripción	Uso	Reciclado	Siglas	Grafico
Tereftalato de polietileno.	Transparente y resistente	Botellas de agua, bolsos de dormir, almohadas, fibras textiles.	Botellas de detergente, film para empaquetar, fibra de alfombras.	PETE o PET	
Polietileno de alta densidad.	Muy común. Usualmente blanco o de color	Bolsas de compras y de nevera. Botellas de leche y shampoo.	Botellas de detergente, bolsas de basura, tuberías.	HDPE	
Policloruro de vinilo.	Más versátil	Botellas de zumo, tuberías de desagüe, mangueras, suelas de zapato, bolsas de sangre, tuberías.	Botellas de detergente, tuberías de desagüe, núcleo interior de manguera, suelos industriales.	PVC o V	
Polietileno de baja densidad.	Plástico suave y flexible	Tapas de envases de helado, bolsas de basura, tachos de basura.	Films para construcción, embalaje y bolsas para plantas.	LDPE	
Polipropileno.	Plástico duro y flexible.	Envases de helado, bolsas para patatas, cañitas para beber, loncheras rígidas.	Cajas de reciclaje, tachos de desechos.	PP	
Poliestireno.	Plástico rígido y quebradizo, puede ser claro y vidrioso	Envases de yogurt, acrílicos e imitación de vidrio	Ganchos de ropa, accesorios de oficina, cajas de CD's.	PS	
Otros.	Imposible volver a moldearlos.	Piezas mecánicas.	Agregado.		

1.3.4. El reciclado de la poliamida 6.

Para reciclar la poliamida 6, se emplea el método más común que es el “reciclaje mecánico” [24].

1.3.5. Proceso de reciclado.

El enfoque de esta investigación radica en el proceso mecánico, consiste en aplicar calor o presión a los objetos para darles una nueva forma. Esta técnica solo puede aplicarse a los termoplásticos [25].



Figura 8. Material Triturado.

El reciclaje mecánico consta de varias etapas las cuales son.

- Separación. se procede a remover la suciedad u otro tipo de material que se haya mezclado.
- Lavado. este proceso se lo realiza si el material es sometido a algún tratamiento o de ser necesario para eliminar agentes que modifiquen al material
- Secado. se procede en caso de haber lavado el plástico.
- Trituración. El plástico es cortado en pequeñas partes [19].



Figura 9. Proceso de Triturado.

Los pasos pueden ocurrir en un orden diferente, varias veces o en absoluto, dependiendo de los orígenes y la composición del desecho [21].

1.3.6. Molino.

1.3.6.1. Introducción.

De serie LFR son diseñados mediante rodillos de arrastre controlados por un reductor y convertidor. En este trabajo se utilizará un molino Mecanofil de modelo molino 15/21 M.2,6 PM Insonorizado, con serie 774 elaborado en el año 2016, ayuda a la recuperación de pequeñas coladas de material termoplástico [26].

- Principio de trabajo

La potencia para la trituración de desecho se obtiene de la energía transmitida por el giro del rotor porta cuchillas movido directamente del motor sin ayuda de correas trapezoidales. Las cuchillas del rotor junto con las graduables Trituran el material hasta que el tamaño es inferior al de los taladros del tamiz debido a la elevada velocidad tangencial que se genera en la operación de corte garantizando un mínimo consumo. Los gránulos lo atraviesan y caen en la tobera, de ella al silo de acumulación y posteriormente al recipiente [26].



Figura 10. Molino Mecanofil.

- Prevenciones de accidentes.

Según el catálogo de la Universidad, las principales prevenciones para evitar accidentes son:

- No anular ni estropear cualquier equipo o sistema de seguridad.
- No introducir la mano o cualquier otra parte del cuerpo en el interior del molino sin haber desconectado la máquina.
- Tener sumo cuidado a la hora de ajustar o cambiar las cuchillas de corte.
- Evitar la manipulación a personas sin conocimiento [26].

- Limitaciones.

Esta específicamente diseñados, preparados para moler todo tipo de plástico o sus derivados, en caso de introducir material metálico puede ocasionar daños graves en su interior. En caso de que el material está aún caliente antes de triturar, podría soportar una temperatura cercana a 50 °C, de tal manera se genera una relación entre el material con la temperatura, por lo que a mayor temperatura, menos material manteniendo la proporción en el molino [26].

- Partes.

Las partes y las dimensiones del molino 15/21 M.2, 6 PM Insonorizado son las siguientes.

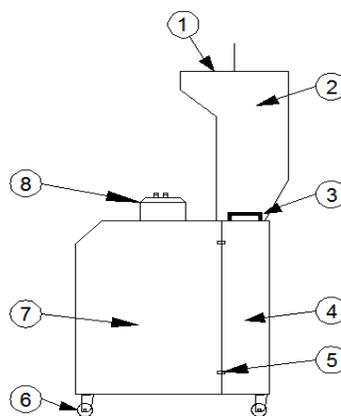


Figura 11. Partes del molino 15/21 M.2.6 PM Insonorizado. [26]

- 1) Entrada de material.
- 2) Tolva.
- 3) Asas para extraer las protecciones.
- 4) Protección delantera.
- 5) Cierres sujeción protecciones.
- 6) Ruedas de desplazamiento.
- 7) Protección posterior.
- 8) Cuadro eléctrico.

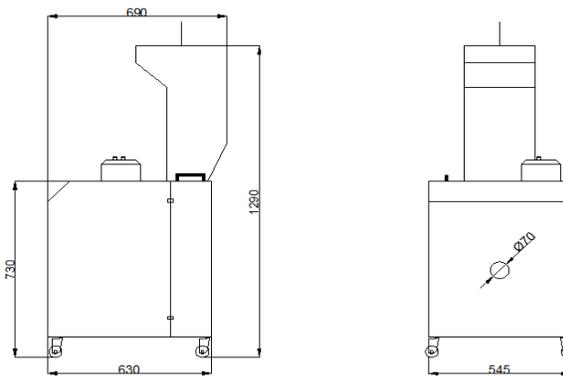


Figura 12. Dimensiones del molino 15/21 M.2, 6 PM Insonorizado. [26]

- Construcción.

Como se resalta en el catálogo de la Universidad, el molino 15/21 de la serie PM está construido con material de alta calidad.

a. Bancada.

De gran solidez, construida con perfiles tubulares estructurales de máximo espesor.

b. Tolva De Entrada.

De alimentación con una entrada, para manipulador, cinta o manualmente.

c. Cuerpos.

El cuerpo del molino es de fundición de hierro de alta calidad y dureza.

d. Cuchillas

Construidas con acero especial indeformable, garantizando un alto rendimiento.

e. Tamiz.

Permite variar el tamaño de los gránulos de plástico. Bajo demanda, se suministran tamices de perforaciones distintas, según la necesidad [26].

1.3.6.2. Datos Técnicos.

- Fácil de limpiar.
- Contra cuchillas graduables.
- La forma del rotor y tamiz aseguran un granulado regular.
- Seguridad electromecánica según normas internacionales.
- Acceso rápido al cambio de cuchillas y tamiz.
- Caja de mando incorporada en el molino [26].

1.3.6.3. Características técnicas.

En la Tabla 4 figuran los datos técnicos del molino 15/21 M.2,6 PM.

Tabla 4. Características técnicas. [26]

Datos	Modelo
Capacidad de admisión [mm]	150x210
Diámetro de corte [mm]	166
Cuchillas graduables [n°]	2
Cuchillas rotor [n°]	3
Diámetro del tamiz [mm]	6
Motor del molino [Hp]	2,6
Motor aspirador (opcional) [hp]	0,33
Producción según material [Kg/h]	40-60
Peso del molino Insonorizada [Kg]	135

1.3.6.4. Mantenimiento.

Es preciso destacar las siguientes operaciones de mantenimiento.

- Engrase.

El lubricante va perdiendo sus propiedades gradual mente durante el funcionamiento, se debe usar una grasa con las especificaciones prestadas en la Tabla 5 [26].

Tabla 5. Propiedades del lubricante. [26]

Propiedades	Especificaciones
Aceite espesante (base jabonosa)	Litio
Aceite base	Mineral
Punto de gota	185-200 °C
Consistencia (Escala NLGI)	2
Penetración ASTM	265-295
Viscosidad del aceite básico a 40 °C (DIN 51561)	180 mm ² /s
Viscosidad dinámica	1960 m Pa/s
Temperatura de trabajo	-30 a +110 °C
Separación de aceite 7 días a 40 °C (DIN 51817)	Menos 1-7% N
Presión de escurrimiento a -20 °C (DIN 51805)	Menor 475 MRAR

- Ajuste o cambio de cuchillas.

Al montar las cuchillas del rotor y las graduables, se tendrá que regular la distancia entre ellas, la cual oscilará entre 0.1 mm en la parte delantera y 0.2 mm en la parte trasera (Figura 13), para ello se atornillarán fuertemente las cuchillas del rotor mientras que las cuchillas graduables se atornillarán sin presión.

Seguidamente se efectuará el reglaje mediante los pitones Allen de regulación. Una vez efectuado el ajuste se apretarán las tuercas que fijan los pitones Allen de regulación y se atornillarán definitivamente las cuchillas graduables [26].

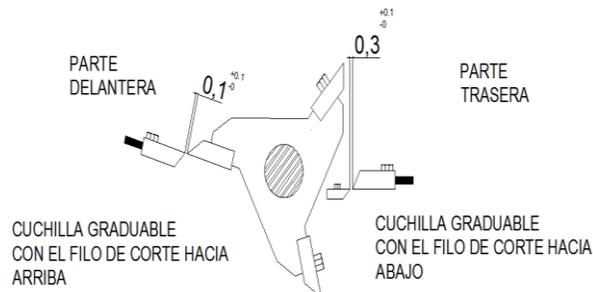


Figura 13. Cuchillas del molino. [26]

Las herramientas idóneas para llevar a cabo la operación de ajuste y cambio de cuchillas son las siguientes.

- Una llave Allen para los pitones de regulación
- Una llave tija para tuercas Fijación pitones de regulación
- Una llave dinamométrica para el apriete de los tornillos de todas las cuchillas.
- Una llave de vaso para llave dinamométrica.

Es posible al atornillar las cuchillas del rotor se tenga que añadir un prolongador a la llave dinamométrica, facilitando la operación.

En la Figura 12 se puede apreciar la utilización de cada una de las herramientas.

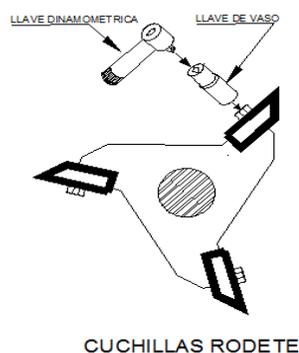


Figura 14. Herramientas para el ajuste o cambio. [26]

Estas actividades deben realizarse con la maquina desconectada y por la persona en cargada [26].

1.3.7. Almacenamiento y utilización.

Puede almacenarse en lugares a temperatura ambiente, secos por lo que las fibras salientes del proceso de molido pueden guardarse en cualquier lugares que cumplan con dichas especificaciones, así se le dará una alternativa, considerando en la industria de la construcción, la eliminación de desechos de plástico. Los plásticos reciclados se utilizan sustituyendo materiales de construcción vírgenes en morteros y hormigón [7], [21], [24], [27].

CAPÍTULO II

PROBLEMA, ESTUDIOS PREVIOS, TÉRMINOS MÁS IMPORTANTES, MATERIAL COMPUESTO

2.1. Problema

Durante los últimos eventos sísmicos registrados en gran parte del mundo, se han observado deficiencias en columnas o estructuras [28], [29]; conllevado a poner un gran interés, si no se toman las medidas adecuadas al diseñar podría colapsarse, de ahí indispensablemente contar con un método de reforzamiento que sea idóneo, eficiente y práctico pese a que sea una tarea difícil pero esencial [29], [30].

Si un edificio se refuerza es necesario considerar los siguientes aspectos.

- Reforzamiento contra el costo del remplazo de elementos.
- Relación entre el nivel de reforzamiento y el impacto futuro de los daños sísmicos.
- Materiales para el reforzamiento y técnicas disponibles en el mercado.
- Consecuencias de la evacuación parcial o total del edificio.
- Duración de las operaciones de reparación o reforzamiento adicional.
- Restricciones de espacio en las zonas adyacentes a la del reforzamiento o restauración.
- Restricciones sociales, políticas o históricas de las estructuras.
- Requerimiento de más reparaciones o del retiro del refuerzo en el futuro.

Una técnica que presenta ventajas en la mayoría de los aspectos antes mencionados es el refuerzo a base de materiales compuestos [30].

2.2. Estudios previos

Varios estudios previos en lo que se refiere al comportamiento, diseño de las columnas, entre ellos destacan las investigaciones hechas por Umehara y Jirsa (1996) en las que se proponen expresiones para el cálculo de la resistencia de éste tipo de elementos; Woodward y Jirsa (1984) estudia la influencia del refuerzo tanto longitudinal como

transversal; Maruyama, Ramírez y Jirsa (1984) en las columnas cortas bajo cargas bidireccionales [30].

En los últimos años, se han desarrollado modelos analíticos que se adapten mejor a las condiciones de esfuerzos y deformaciones de los elementos, surge el uso de métodos como el de puntales, tensores o “Strut and Tie” como se le conoce en inglés; éste método ofrece mejores resultados en el diseño de elementos que están sometidos a cortante, una herramienta de mucho interés en estudios como éste. Existen también numerosos estudios experimentales sobre el uso del sistema de fibras de carbonos se han presentado la capacidad que tienen los materiales compuestos para aumentar la ductilidad en las columnas durante un sismo, tales como los efectuados por Iacobucci, Sheikh y Bayrak (2003) o los realizados por Hosseini y Fadae (2004) así mismo, existen estudios sobre la adherencia de las fibras en los elementos reforzados con este sistema como los realizados por Harmon, Kim, Kardos, Johnson y Stark (2003); y en general existe una gran cantidad de artículos, documentos que explican las características de los materiales compuestos su uso en la rehabilitación de estructuras de concreto, como los realizados por Triantafillou (2000-2006) [30].

A pesar de contar con las herramientas para el diseño de elementos de concreto reforzado sometidos a fuerzas cortantes, es necesario también tener expresiones que puedan predecir el comportamiento de elementos reforzados con bandas de fibras de caucho, PET, materiales orgánicos, metales, como se dijo anteriormente, este tipo de refuerzos son cada vez más comunes en la rehabilitación y reforzamiento de estructuras [31], [32], [33], [34], [35].

2.3. Términos más importantes

2.3.1. Pasta o pegante

Se refiere al hormigón en estado plástico, lo que le permite unir la mezcla, la compactación, está a su vez completara los espacios existentes entre las partículas de agregados gruesos y finos, creando una mezcla idónea, una vez endurecida evita el desplazamiento de agua, lo que es fundamental cuando se la debe exponer a la acción de

aguas agresivas que pueden eventualmente deteriorar la masa, perdiendo su resistencia. Los áridos (agregados), contribuyen a la resistencia mecánica característica a la compresión [36].

2.3.2. Mortero

Es la mezcla de pasta y agregado fino la arena, es utilizada en la nivelación de pisos, estabilización de taludes, especialmente en la fabricación de mampostería, en donde se usa como pega de ladrillos o como recubrimiento de muros [36].

2.3.3. Concreto

Se reseña a la mezcla de mortero y agregado grueso, se denomina también hormigón [36].

2.4. Materiales compuestos

Se define al sistema o combinación de materiales constituido a partir de una unión de dos o más componentes, da lugar a uno nuevo adquiriendo nuevas propiedades. Podemos identificar dos fases, una es la matriz que funciona como pegamento debido a su fase continua, la otra parte es el refuerzo que consiste en el material adicional que se le suma a la matriz para atribuir al compuesto obteniendo propiedades distintas a las que ya posee. Se debe tomar en cuenta la interface, si esta es frágil, la transferencia de carga en la matriz a la fibra, no será muy eficaz lo que generaría que la matriz sea la única que soporte la carga, o se presenten huecos en esta zona conllevando esto a la rotura del material [37], [38].

2.4.1. Hormigón

2.4.1.1. Definición

Es un compuesto cerámico muy importante, usado como componente estructural a nivel mundial en el ámbito de la construcción, es una mezcla de un material aglutinante, materiales de relleno, agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forman un sólido compacto [36], [38].

Este es un material flexible, económico, resistente al fuego, duradero, fabricado en el lugar, sin embargo también es vulnerable presentan baja ductilidad, poca resistencia a la tracción, así como dilatación según la variación de la temperatura, su estructura química está dada por el porcentaje de los materiales usados para la mezcla que se da en la Tabla 6 [36], [38].

Tabla 6. Cantidades del hormigón tradicional. [39]

Porcentaje	Material
7-15	Cemento Pórtland
14-21	Agua
0.5-3	Aire
24-30	Agregado Fino
31-51	Agregado Grueso

El cemento se hidrata al entrar en contacto con el agua, de ésta manera se generan reacciones químicas que permiten a la mezcla ser maleable tener buenas propiedades adherentes, a diferencia de las rocas naturales, al hormigón se le puede dar formas de acuerdo a las necesidades que se requieran [39].

- Tipologías de los componentes

a. Cemento

Tienen la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, el más común es el Pórtland por sus propiedades de adhesión y cohesión, que permiten aglutinar los agregados. Esta propiedad depende de su grado de hidratación, velocidad de fraguado, composición química, calor de hidratación y resistencia mecánica a desarrollar [7], [36], [40].

b. Agua

Es el elemento que hidrata las partículas del cemento lo que permite el desarrollo de la propiedad aglutinante, produciendo la pasta la cual puede variar su fluidez según la cantidad empleada. Como consecuencia del fraguado parte del agua se evapora mientras que una poca porción se queda dentro para hidratar [36].

c. Aire

Durante el proceso de mezclado el concreto suele atrapar aire dentro de la masa, es liberado en su mayor parte durante el proceso de compactación al que se somete [36].

d. Agregados

Son definidos como materiales inertes, pueden ser naturales o artificiales, que poseen resistencia propia, no perturban el endurecimiento del cemento y garantizan una adherencia con la pasta. La razón principal para su aplicación es disminuir el costo, la cantidad de cemento, así como proporcionar una parte de la resistencia. Estos también controlan los cambios volumétricos de la pasta evitando que se genere agrietamientos por retracción plástica, afectan la resistencia [36].

e. Aditivos

Son materiales distintos a los anteriores, se añaden a la mezcla antes o durante el mezclado con el objetivo de modificar sus propiedades para que sea más adecuada a las condiciones de trabajo o reducir el tiempo, por ende el costo de producción [36].

- Patrones del sistema internacional

Permiten un análisis cuantitativo de los valores de un patrón, las magnitudes que se utilizaran para este son la longitud, tiempo y masa [36].

2.4.1.2. Cemento Pórtland

- Procesos de fabricación

Se fabrica a partir de materiales minerales calcáreos tales como caliza y materiales arcillosos con alto contenido de alúmina y sílice. Frecuentemente se adiciona a otro tipo de materiales como óxido de hierro, para mejorar la composición química [36].

La proporción en que debe mezclarse la caliza generalmente es 4 veces mayor a la de arcilla, se puede utilizar cualquier tipo con excepción de las que poseen gran cantidad de magnesio, presentara cambios volumétricos en la pasta produciendo fisuras o desmejoramiento de las propiedades mecánicas [36].

El proceso de elaboración tiene las siguientes fases.

- Explotación de materias primas.
- Dosificación, molienda y homogeneización de materias primas.
- Clinkerización.
- Enfriamiento.
- Molienda de Clinker, adiciones y yeso.
- Empaque y distribución.
- Almacenamiento [36].

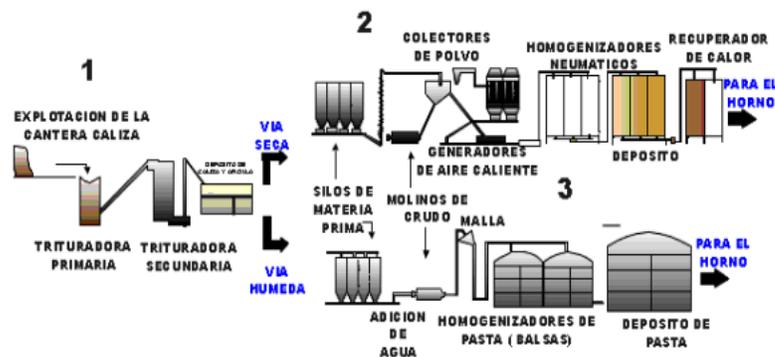


Figura 15. Etapas en la fabricación del Cemento Pórtland. [43]

- Clasificación del cemento Pórtland

Hoy en día se fabrican diversos tipos de cementos para satisfacer diferentes aplicaciones. La norma NTC30 estipula varios tipos entre los cuales los más importantes son [36].

a. Pórtland tipo 1

Es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. Destinado a obras de concreto que no estén sujetas al contacto de factores agresivos, como el ataque de sulfatos existentes en el suelo, el agua o variaciones de temperaturas cuestionables en la hidratación. Sus principales propiedades son la obtención de mayor resistencia inicial, y menor tiempo de fraguado. Se puede aplicar en obras de concreto, concreto armado en general, estructuras que requieran un rápido desencofrado, concreto en clima frío, productos prefabricados, pavimentos y cimentaciones [36], [41], [42].

b. Pórtland tipo 2

El cemento gris Portland Tipo II, es empleado en construcciones expuestas a sulfatos, cloruros o cuando se requiere un calor de hidratación moderado. Su formulación en la fabricación permite obtener un cemento con moderada resistencia al ataque de los sulfatos y moderado calor de hidratación, esto se debe al menor contenido de Aluminato tricálcico (C_3A), lo que nos da un menor calor de hidratación a comparación de Tipo I. Para el Tipo II, las normas establecen un contenido de C_3A menor de 8% y un calor de hidratación máximo de 70 cal/g a 7 días. Su vida útil es de tres meses en condiciones adecuadas de almacenamiento. Se lo puede usar en obras expuestas al ataque moderado de los cloruros y sulfatos del ambiente, tales como: bases de muelles, puentes, tanques, túneles, tuberías de drenaje, canales hidráulicos, etc. En obras que requieran grandes volúmenes de concreto como es el caso de: presas, muros de contención, pilas, pavimentos, entre otros [36], [42], [43].

Es capaz de mejorar la resistencia a la corrosión del acero de refuerzo, la degradación del concreto, aumentando la vida útil, de igual forma provee una mejor estabilidad

volumétrica disminuyendo las grietas que se puedan generar en el fraguado o secado [42], [43].

c. Pórtland tipo 3

Este tipo de cemento desarrolla altas resistencias a edades tempranas, a 3 y 7 días. Se debe por el cemento obtenido durante la molienda es más fino. Su utilización se debe a necesidades específicas de la construcción, cuando es necesario retirar cimbras [encofrados] lo más pronto posible o cuando por requerimientos particulares, una obra tiene que ponerse en servicio muy rápidamente, como en el caso de carreteras y autopistas [42].

d. Pórtland tipo 4

Es usado cuando se necesita un bajo calor de hidratación sin producirse dilataciones durante la etapa de fraguado. El calor desprendido durante la hidratación se produce más lento. Utilizado en estructuras de hormigón muy grandes, como los diques [44].

e. Pórtland tipo 5

Se usa en la construcción de elementos y obras que necesiten una resistencia elevada al ataque concentrado de sulfatos y álcalis, como en las alcantarillas, canales de conducción e infraestructuras portuarias [44].

El tipo de cemento influye a la exposición del sulfato en el agua, así como el porcentaje en el suelo soluble, como podemos notar en la siguiente Tabla 7 [36].

Tabla 7. Tipos de cemento necesario para concreto expuesto a la acción de sulfatos. [36]

Exposición a los sulfatos.	Porcentaje de sulfatos en el suelo solubles en agua (%).	Sulfatos en el agua (ppm).	Tipo de cementos.
Despreciable	0.00-0.10	0-150	1,2,3,4,5
Moderada	0.10-0.20	150-1500	2
Severa	0.20	1500-10000	5
Muy severa	>2.00	>10000	5

2.4.1.3. Propiedades del cemento

- Propiedades químicas

El proceso de clinkerización involucra la transformación de la materia prima a un producto más complejo, esto genera que la química del cemento presente diversos óxidos como se muestra en la Tabla 8 [36].

Tabla 8. Abreviaturas de los óxidos del cemento. [37],[48]

Formula	Nombre	Abreviatura
CaO	Oxido de calcio “Cal”	A
SiO ₂	Dióxido de Sílice “silicato”	S
Al ₂ O ₃	Oxido de aluminio “aluminato”	A
Fe ₂ O ₃	Óxido de hierro “Hierro”	F

Estos se forman a partir de los compuestos principales mencionados en la Tabla 9.

Tabla 9. Compuestos principales del cemento. [48]

Nombre	Abreviatura
Silicato Tricálcico	C ₃ S
Silicato Didálcico	C ₂ S
Aluminato Tricálcico	C ₃ A
Ferroaluminatotetracálcico	C ₄ Af

Estas composiciones, no son aisladas por lo que se puede hablar de fases, entre las que encontramos.

- Alita. con alta concentración de C₃S.
- Belita. a base de C₂S
- Aluminato. rica en C₃A
- Ferrito. solución compuesta por ferritos y aluminatos de calcio

Se puede distinguir la variación de cantidades existente en la Tabla 10 según su composición química en cada tipo de cemento [36].

Tabla 10. Valores de los compuestos de diferentes tipos de cementos Pórtland. [48]

Cemento Pórtland	Composición química en porcentaje			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ Af
Tipo 1	48	27	12	8
Tipo 2	40	35	5	13
Tipo 3	62	13	9	8
Tipo 4	25	50	5	12
Tipo 5	38	37	4	9

a. Hidratación del cemento.

Al momento que el cemento entra en contacto con el agua, se crea una pasta desarrollando estructuras cristalinas. En la Tabla 11 se muestra de una forma fácil los fenómenos que ocurren durante el proceso [36].

Tabla 11. Secuencia de las reacciones básicas de hidratación del cemento. [48]

Etapas	Proceso Químico	Proceso Físico	Influencia de la Reacción
Primeros minutos	Rápida disolución inicial de sulfatos y aluminatos de álcali, hidratación inicial.	Alta velocidad de evolución de calor. Puede influir en el fraguado.	Los cambios en la composición de la fase liquidan inicial de C3S; formación de restringida.
De 1 a 4 horas (periodo de inducción)	Disminución del silicato, pero aumento en la concentración de iones de Ca; se inicia la formación de núcleos de CH y C-S-H	Formación de los productos de hidratación; baja velocidad de evolución de calor. El sulfato puede influir en el fraguado y funcionalidad. La hidratación de los silicatos de calcio termina el fraguado inicial	La formación de cristales con forma de placa o barra por balance inadecuado de iones de aluminatos y la concentración de Ca alcanza un nivel superior de saturación de Ca
De 3 a 12 horas (periodo de aceleración)	Rápida reacción química de los silicatos de Ca para formar C-H-S y CH; disminución de la saturación de Ca.	La rápida formación de los hidratos provoca una disminución en la porosidad, alta velocidad de la evolución del calor.	Fraguado inicial; cambio de consistencia plástica a rígida; desarrollo de la resistencia temprana; fraguado final.
Etapa de pos-aceleración	Formación de CH y C-S-H controlada por difusión; recristalización de etrinnita a mono sulfato y polimerización de posibles silicatos	Disminución de la evolución de calor; continua disminución de la porosidad.	Continuo desarrollo de la resistencia a velocidad decreciente. La porosidad y la morfología del sistema hidratado determina la adherencia entre la pasta y el agregado

- Propiedades físicas y mecánicas.

Dependen en gran medida de la calidad y proporciones de los componentes en la mezcla, de las condiciones de humedad, temperatura, durante los procesos de fabricación y de fraguado [39].

- a. Propiedades del hormigón fresco

La escuela de ingeniería técnica civil, destaca que es una masa heterogénea, que sufre diversas reacciones químicas y es distribuida en igual proporción. Las propiedades fundamentales de este estado del hormigón son las siguientes [45].

- Consistencia

El revenimiento es considerado como una medida, además que en la construcción la mezcla jamás sea similar a una sopa, debido a que es necesario una mezcla plástica que permita soportar un mayor trabajo, los factores que influyen son [46], [47].

- Agua de amasado.
- Tamaño máximo del árido.
- Granulometría.
- Forma de los agregados

Al ser una propiedad que se opone a la resistencia a la deformación, se determina a partir de un ensayo, en el que se comprueba el asiento que presenta a través del cono de Abrams [46], [47].

- Cono de Abrams

Para este ensayo se coloca el hormigón fresco hasta llenar un molde troncocónico de 30 cm de altura, 10 cm de diámetro superior y 20 cm de diámetro inferior como se muestra en la Figura 13, que se coloca sobre una superficie plana y rígida.

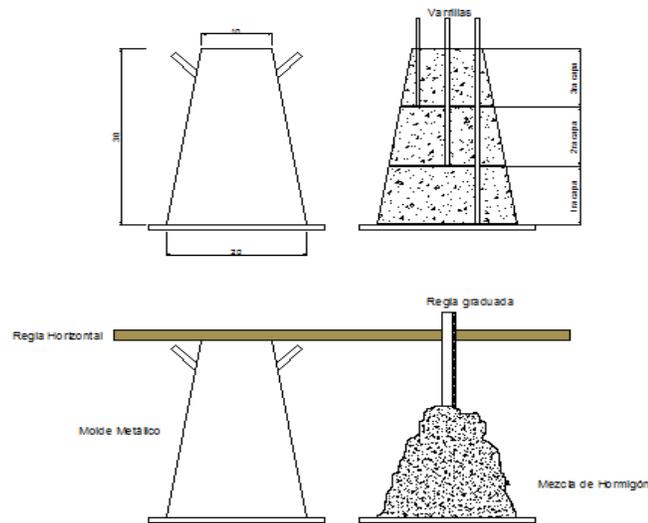


Figura16. Cono de Abrams. [40], [52]

Se introduce el hormigón en tres capas iguales en cada capa se compacta 25 veces con una barra metálica de punta redondeada en una forma aleatoria. Una vez culminada las tres capas se enrasa el molde, luego se levanta el cono en forma vertical, la pérdida de altura que se da el momento de desmontar el cono es la unidad de consistencia. Esta prueba está dado por la Norma ASTM C-143 C-192 y NTE INEN 1855-2 [39], [48].

Se consideran cinco tipos de consistencia como se presentan en la Tabla 12 como se muestra a continuación [48].

Tabla 12. Tipos de consistencia. [52]

Tipo de consistencia.	Asentamiento del cono en cm.	Aplicación.	Salvo
Seca	0-2	Usada en elementos que se compactan por apisonado.	En aplicaciones específicas que así lo requieran, se evitará el empleo de las consistencias seca y plástica.
Plástica.	3-5	Usada en zapatas y losas.	
Blanda	6-9	Pilares, jácenas, muros y losas armadas.	No podrá emplearse la consistencia líquida, salvo que se consiga mediante el empleo de aditivos plastificantes
Fluida	10-15	Forjados losas muy armadas y muros armados de poco espesor.	
Líquida	16-20		

- Homogeneidad.

Se define como la distribución de la masa en igual cantidad y se la mide mediante la masa específica, a esta se le opone la segregación o decantación [45].

- Masa específica.

Es la correspondencia que tiene la masa con el volumen, se lo puede medir en cualquier estado en kg/m^3 [45].

- Tiempo abierto

En esta propiedad se puede manipular las características del hormigón, durante el transcurso del mazado hasta el inicio del fraguado [45].

b. Propiedades del hormigón endurecido

La escuela de ingeniería técnica civil, señala que el endurecimiento es adquirido al final del fraguado y las redes de poros abiertos o cerrados resultado de la evaporación del agua sobrante o del aire incluido [45]. Las sus principales propiedades son.

- La densidad.

Para un hormigón bien compactado de áridos normales oscila entre 2300- 2500 kg/m³, para áridos ligeros la densidad oscila entre 1000-1300 kg/m³ y en caso de utilizarse áridos pesado la densidad oscila entre 3000-3500 kg/m³ [45].

- Permeabilidad.

Es el grado en que un hormigón es accesible a los líquidos o a los gases. El factor que más influye en esta propiedad es la relación entre la cantidad de agua añadida, cemento en el hormigón. Cuanto mayor es esta relación mayor es la permeabilidad por tanto más expuesto el hormigón a potenciales agresiones [45].

- Resistencia.

El hormigón endurecido presenta resistencia a las acciones de compresión, tracción y desgaste [45].

- Resistencia a la compresión

Es la característica mecánica principal del concreto, la forma de evaluar esta resistencia, mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas al someterlo a una carga axial la misma que será dividida para el área transversal como lo indica la norma ASTM C39 [49].

- Resistencia a la flexión.

Se evalúa por ensayo de vigas (ASTM C78), durante este ensayo el concreto se ve sometido tanto a compresión como a tensión, lo que permite obtener como resultado el módulo de rotura [49].

- Dureza.

Es una propiedad superficial que depende del tiempo.

2.4.2. Clasificación de los materiales compuestos.

La resistencia mecánica puede clasificarse en dos formas la primera se basa en la naturaleza de la matriz, y la segunda se fundamenta en la forma en la que está el refuerzo [38].

2.4.2.1. Compuestos en función de la matriz.

- Matriz polimérica. Se los conoce como polímeros reforzados con fibras como las de vidrio, carbono o las aramídicas, utilizadas como refuerzo [38].
- Compuestos de matriz metálica. se utilizan en la industria automotriz, están formados por metales “livianos” como el aluminio como matriz y fibras de refuerzo de carburo de silicio [38].
- Compuestos de matriz cerámica. se utilizan en aplicaciones de alta temperatura, formados por una matriz cerámica y un refuerzo de fibras cortas, o whiskers de carburo de silicio o nitruro de boro [38].

2.4.2.2. Compuestos con refuerzo de fibras.

Mientras más fibras sea agregado la cantidad de matriz será insuficiente, así también da a conocer que las propiedades mecánicas en la fase discontinua dependen del tipo de fibra, en la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, éstas son resistentes, rígidas de poco peso. Si el compuesto debe ser utilizado a temperaturas elevadas, también la fibra deberá tener una temperatura de fusión alta, resistencia y el módulo específico de la fibra son características importantes [38].

2.4.3. Características del agregado.

Para el diseño se debe tomar en consideración factores como longitud, diámetro, orientación, cantidad y propiedades de las fibras. Podemos comprender que el refuerzo se utiliza para tratar de mejorar el comportamiento del hormigón [38].

2.4.3.1. Longitud y diámetro.

En función de sus diámetros y características, las fibras se agrupan en tres categorías.

- Whiskers. mono cristales muy delgados que tienen una relación longitud-diámetro muy grande.
 - Fibras. materiales policristalinos o amorfos de pequeño diámetro (inferior al milímetro).
 - Alambres. con diámetros relativamente grandes (refuerzo de neumáticos y mangueras de alta presión)

Al incrementar la longitud de las fibras en una matriz se puede dividir de dos formas como se marca a continuación.

- Continuas. cuando las fibras presentan la misma longitud que la dimensión de la pieza a reforzar.
- Discontinuas o fibras cortas. de longitud sensiblemente inferior a la dimensión de la pieza a reforzar [38].

2.4.3.2. Posición.

La disposición u orientación relativa de las fibras y su concentración, distribución influyen, radicalmente, en la resistencia y en otras propiedades del material. Su orientación puede darse de dos formas extremas [50].

– Alineación paralela como se designa en la Figura 17.

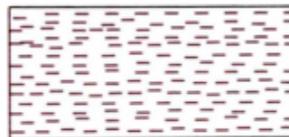


Figura 17. Alineación paralela de las fibras. [54]

– Alineación al azar como contemplamos en la Figura 18.

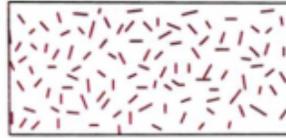


Figura 18. Alineación al azar de las fibras. [54]

2.4.3.3. Cantidad de fibra recomendada.

El volumen máximo que se puede emplear es de un 80%, al ser mayor las fibras no quedan totalmente rodeadas por la matriz y la transferencia de carga deja de ser eficiente [38].

CAPÍTULO III

DISEÑO, MÉTODOS, NUMERO DE ENSAYOS

3.1. Diseño de mezclas de concreto.

El proporcionamiento de los ingredientes de una mezcla han evolucionado desde los volumétricos arbitrarios de comienzo del presente siglo, al método de peso y volumen absoluto actual propuesto por el American Concrete Institute (ACI), que se fundamenta en el principio básico de la relación agua/cemento desarrollado por Abrams. Para lo cual se debe conocer las propiedades de los materiales que se van a utilizar listados a continuación [36].

- Granulometría.
- Módulo de finura de la arena.
- Tamaño máximo de la grava.
- Densidad aparente de la grava y de la arena.
- Absorción de la grava y de la arena.
- Masa unitaria compacta de la grava.
- Humedad de los agregados inmediatamente antes de hacer las mezclas.
- Densidad del cemento [36].

3.1.1. Granulometría

Es la repartición del tamaño de partículas, que por medio de un análisis granulométrico se pueden separar en diferentes fracciones del mismo tamaño o de tamaños comprendidos dentro de determinados límites, mediante tamizado, lo que permite determinar si el agregado es homogéneo [51].

3.1.2. Módulo de finura

Es un índice de granulometría, ya que un número infinito de tamizados da el mismo valor para el módulo de finura. Sin embargo, da una idea del grosor o finura del agregado, por este motivo se prefiere manejar el término de módulo de finura.

El módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar (N°4, #8, #16, #30, #50, #100) y dividiendo la suma entre 100.

$$M_f = \frac{\#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100}{100} \quad [1]$$

Cambios significativos en la granulometría de la arena tienen una repercusión importante en la demanda de agua y, en consecuencia, en la funcionalidad del hormigón, por lo que si hubiese una variación significativa en la granulometría de la arena deben hacerse ajustes en el contenido de cemento y agua para conservar la resistencia del hormigón. Para no tener que recalcular la dosificación del hormigón el módulo de finura del agregado fino, entre envíos sucesivos, no debe variar en más de ± 0.2 [51].

3.1.3. Pesos específicos de agregados

El peso específico en los agregados grueso y fino es una propiedad física importante, el que establece la relación de vacíos, la permeabilidad y de acuerdo a esto, se conoce el grado de saturación del material. Cumpliendo con las normas para agregados finos NTE INEN 856 (ASTM C-127), y para agregados gruesos NTE INEN 857 (ASTM C-128). Para el ensayo agregado debe encontrarse en estado de saturación con superficie seca (SSS), siendo este valor fundamental para el diseño de mezclas [51].

3.1.4. Capacidad de absorción y Humedad

La norma ASTM C566 usa este método de ensayo cubre la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado, ya sea la humedad superficial y la humedad en los poros del agregado. Algunos agregados pueden contener agua que está químicamente combinada con los minerales del agregado. Dicha cantidad de agua no es evaporable y no está incluida en el porcentaje determinado por este método. Las partículas de agregado grueso especialmente aquellas que son más grandes que 50 mm (2 plg.) pueden requerir grandes periodos de tiempo para que la humedad que se encuentre dentro del agregado, salga a la superficie del mismo [51].

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Masa Humeda} - \text{Masa Seca}}{\text{Masa Seca}} \quad [2]$$

3.1.5. Tamaño máximo de los agregados

La norma ASTM, lo define como la abertura del menor tamiz, mediante la práctica se puede considerar si una pequeña cantidad del agregado es retenido, esto no afectara elocuentemente las propiedades del concreto, por lo que se debe utilizar el tamaño máximo nominal [51].

3.1.6. Densidad de los agregados

Es la facilidad que poseen las partículas ,para moverse en un medio, en los agregados depende de la gravedad específica, de sus constituyentes sólidos y la porosidad de los materiales, pues un material de baja densidad indica ,una alta porosidad, reducción de su dureza y alta capacidad de absorción [51].

3.1.7. Densidad aparente

Es la relación entre la masa del agregado sólido (M) y el volumen que ocupan los agregados, incluyendo los poros permeables y los vacíos entre partículas (Va) [51].

3.1.8. Densidad aparente máxima

Es cuando la mezcla de agregados finos y gruesos llegan a tal proporción, donde exista la menor cantidad de espacios vacíos, que luego serán ocupados por la pasta agua cemento. La mezcla adquiere una máxima masa unitaria [51].

3.2.Método de dosificación

Para el diseño se recurre tanto a datos reales como a datos empíricos o experimentales para alcanzar combinaciones optimas de los materiales mediante el sistema de ajuste y reajuste. Dicho sistema consiste en elaborar una primera mezcla, con proporciones iniciales que se calcularan a continuación. A dicha mezcla se realiza un ensayo de asentamiento, si su valor no es el idóneo se reajustara sus cantidades hasta obtener la indicada [36].

Una vez establecido el asentamiento requerido, se elaboran muestras de cilindros a los que se determine su resistencia a la compresión; se compara con la resistencia especificada y si son diferente, se volverá a reajustar las cantidades, una vez reajustadas las cantidades, se elabora otra muestra que cumpla con las condiciones previas. El método de dosificación se basa en la siguiente secuencia mostrada en la Figura 19 [36].

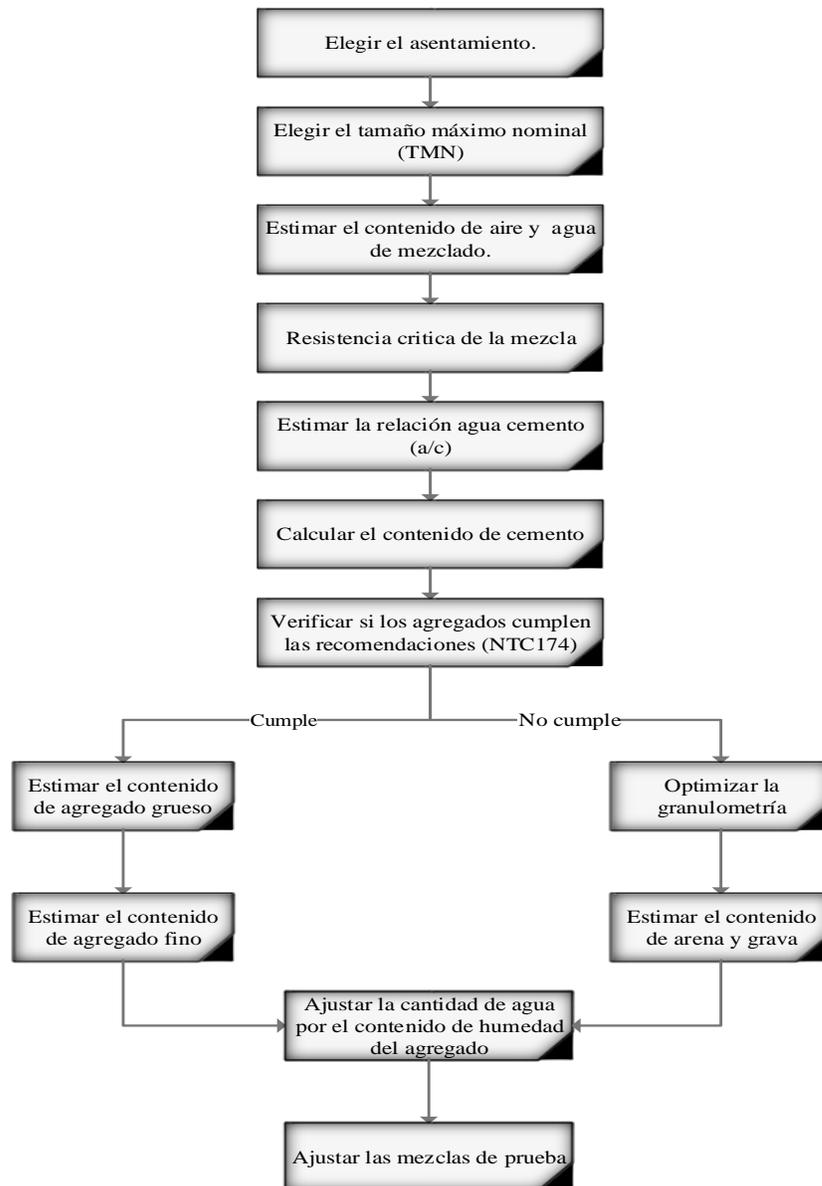


Figura 19. Secuencia de pasos para la dosificación de mezclas. [37]

3.2.1. Asentamiento

Los valores de asentamiento recomendados están dados en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcciones. [37], [56]

Asentamiento (cm)	Consistencia (Tipo)	Grado de funcionabilidad	de Tipo de estructura y condiciones de colocación
0-2,0	Muy seca	Muy pequeño.	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaleta.
2,0-3,5	Seca	Pequeño.	Pavimentos vibrados con maquina mecánica. Construcciones en masas voluminosas.
3,5-5,0	Semi-seca	Pequeño.	Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores normales.
5,0-10,0	Media	Medio.	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración. Secciones con mucho refuerzo.
10,0-15,0	Húmeda	Alto.	Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración.

Dichos datos están planteados cuando el método de compactación utilizado es la vibración. Cuando se emplea otro método se debe aumentar 2,5 cm a los datos de la Tabla 13. En caso de que el asentamiento no esté planteado en la tabla anterior, se adoptara un

valor referencial que cumpla con la mínima consistencia que permita una colocación eficiente [36].

3.2.2. Elección del tamaño máximo nominal (TMN) del agregado.

El tamaño máximo nominal está limitado por las dimensiones de la estructura, posición del refuerzo y disponibilidad de materiales. La A.C.I. aconseja que el tamaño máximo de agregado de ninguna forma deba exceder.

- Un quinto del mínimo lado del armazón de un arco “formaletas”.
- Un tercio del grueso de las losas.
- Tres cuartas partes entre las barras de refuerzo o cables pretensados.

Dichas limitaciones logran suprimirse si la funcionalidad y los métodos de compactación son tales, que el concreto pueda ser colocado sin formar cavidades o vacíos. Sin embargo si se desea que sean de alta resistencia su TMN debe disminuir ya que la resistencia se produce gracias a la relación agua/cemento, por lo que existe una tendencia a usar poco agregado (por lo general entre 12mm y 25mm), pese a que con mayor agregado disminuirá el contenido de agua con cemento consiguiendo hormigones más económicos y menos retracción por fraguado [36], [51].

3.2.3. Estimación preliminar de los contenidos de agua y aire en la mezcla

Para el diseño es importante considerar que el agua está en función del tamaño máximo del agregado, sin embargo gracias a varios experimentos se ha comprobado que el agua afecta directamente por ende el valor real debe aproximarse lo más cerca posible para producir hormigones de aproximadamente igual resistencia a la compresión, utilizando la misma cantidad de cemento, a pesar de las diferencias en la relación a/c resultantes de los distintos contenidos de agua de mezclado. Entendiendo de esta forma que la forma y textura superficial del agregado no constituyen un buen indicio de si un agregado está por encima o por debajo del promedio de su capacidad de producción de resistencia [36], [51].

La norma menciona que el hormigón con aire incluido se debe usar siempre en estructuras sometidas al congelamiento y deshielo, agua de mar, sulfatos, puesto que la inclusión de

aire mejora sustancialmente la manejabilidad y la cohesión de la mezcla, pero se debe tener en cuenta que estos dos últimos aspectos mencionados se logran conseguir secundariamente.

La tabla 14 proporciona estimaciones iniciales con respecto a la cantidad de agua de mezclado empleada para hormigones elaborados con varios tamaños máximos de agregado [36], [51].

Tabla 14. Valores aproximados de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaño máximo de agregado. [55]

Asentamiento (cm.)	Agua en Kgf. por metro cúbico de hormigón para los diferentes tamaños de agregados especificados en mm. (Pulg.)							
	10 mm. (3/8")	12.5 mm. (1/2")	20 mm. (3/4")	25 mm. (1")	40 mm. (3/2")	50 mm. (2")	70 mm. (3")	150 mm. (6")
	Hormigón sin aire							
3-5	205	200	185	180	160	155	145	125
8-10	225	215	200	195	175	170	160	140
15-18	240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
	Hormigón con aire							
3-5	180	175	165	160	145	140	135	120
8-10	200	190	180	175	160	155	150	135
15-18	215	205	190	185	170	165	160	---

Tabla 15. Contenido de aire atrapado. [55]

Tamaño Nominal Máximo (TMN) del agregado grueso	Aire Atrapado %
3/8"	3
1/2"	2.5
3/4"	2
1"	1.5
1 1/2"	1
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

3.2.4. Elección de la relación agua/ cemento (a/c)

La relación de agua/cemento, medida en peso, es uno de los factores más importantes en el diseño de mezclas y por tanto se le debe prestar mucha atención a su elección. Para lo cual se utilizara la regla tradicional de Abrams. La relación a/c por durabilidad se escogerá de la Tablas 16 [36], [51], [52].

Tabla 16. Relación entre la resistencia a la compresión y a/c. [55]

Resistencia a la compresión Kg/cm ² (psi)	Relación absoluta por peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
175 (2500)	0.65	0.56
210 (3000)	0.58	0.50
245 (3500)	0.52	0.46
280 (4000)	0.47	0.42
315 (4500)	0.43	0.38
350 (5500)	0.40	0.35

3.2.5. Calculo del contenido de cemento (C).

Para conocer la cantidad de cemento es necesario tener claro las cantidades de agua y la relación Agua/Cemento para dividiendo el agua estimada por la relación a/c [36], [51], [52].

$$C = \frac{a}{a/c} \quad [3]$$

3.2.6. Estimación del contenido de agregado grueso

Un buen concreto depende en gran medida de la granulometría de los agregados. Por este motivo es necesario calcular la arena y grava antes de dosificarlo para verificar su distribución de tamaño este comprendida dentro del rango preestablecido [36], [51], [52].

Tabla 17. Volúmenes de agregado grueso por metro cúbico de hormigón. [56], [55]

Tamaño máximo del agregado grueso mm (pulg.)	Volumen de agregado grueso seco y compactado con varilla, por volumen unitario de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10 (3/8")	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
20 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
40 (3/2")	0.76	0.74	0.72	0.70
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
70 (3")	0.81	0.79	0.77	0.75
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

La American Concret Institute (A.C.I.), recomienda que el módulo de finura de la arena tenga valores límites entre 2,3 y 3,1; para valores fuera del rango, la tabla no se puede implementar para hallar el volumen de agregado grueso como se lo sugiere, ya que el comportamiento de la variable a pesar de ser lineal para módulos de finura ente 2,3 y 3,1 pues no lo es fuera de este rango. La Tabla 17, fue concebida sobre bases experimentales [36], [51], [52].

3.2.7. Estimación del contenido de agregado fino

Hasta este punto se ha establecido los pesos de los ingredientes del hormigón con excepción del peso del agregado fino. Posterior a esto para el cálculo del peso de agregados finos por metro cúbico de hormigón se puede implementar dos procedimientos [36], [51], [52].

3.2.7.1. Método por volumen Absoluto

Este es el método permite obtener la cantidad de agregado fino (F) por medio de un procedimiento más sencillo que el anterior. Si los volúmenes absolutos de los componentes del hormigón son conocidos. El volumen absoluto del hormigón será [36], [51], [52].

$$V_H = V_c + V_A + V_a + V_f + V_g \quad [4]$$

En dónde.

Volumen absoluto de cemento (V_c)

$$V_c = \frac{C}{\text{Peso específico del cemento}} \quad [5]$$

Volumen absoluto del agua (V_A)

$$V_A = \frac{A}{\text{Peso específico del agua}} \quad [6]$$

Volumen absoluto del aire (V_a) (Tabla 15)

Volumen absoluto de agregados finos (V_f)

$$V_f = \frac{F}{\text{Peso específico aparente seco fino}} \quad [7]$$

Volumen absoluto de agregados gruesos (V_g)

$$V_g = \frac{G}{\text{Peso específico aparente seco gruesos}} \quad [8]$$

3.2.8. Resistencia

Es una cualidad que le permite soportar un esfuerzo el cual puede ser a compresión, tracción, flexión o cortante. El concreto presenta grandes esfuerzos a la compresión pero no a la tracción por esto se le da más importancia a la compresión, esta es la propiedad más importante ya que permite juzgar la calidad del hormigón. Para la evaluación de estas propiedades se usan probetas testigos las cuales tienen las formas cilíndricas, cubicas y vigas, las más utilizadas en la actualidad son las cilíndricas en todo el mundo para medir la compresión y la tracción [36], [51], [52].

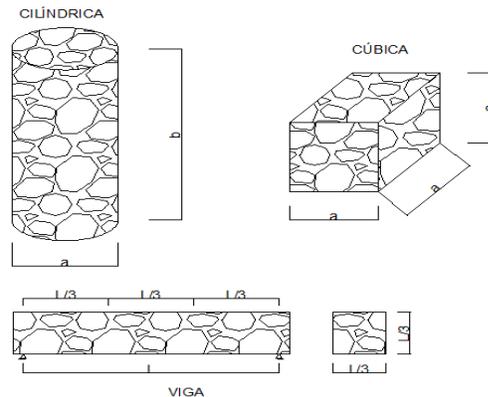


Figura 20. Diferentes probetas para ensayo de resistencia del hormigón. [55]

3.2.8.1. Resistencia a la compresión

Es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. Se efectúa por medio de ensayos que cumplan la norma ASTM C39 o ASTM C31, en las cuales resaltan que se usa una prensa que aplica una carga la cual se divide por el área de sección transversal del cilindro obteniendo el esfuerzo de rotura del concreto y se reporta en mega pascales (MPa) en el SI.

$$f_c = \frac{P_{\max}}{\text{Área}} \quad [9]$$

estos resultados de las pruebas de resistencia se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, para programar las operaciones de construcción, tales como remoción de cimbras o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura [36], [51], [52].

- Fallas

Las formas usuales son en cono, sin embargo, algunas veces el error se produce en las formas que aparecen en la Figura 18 [36].

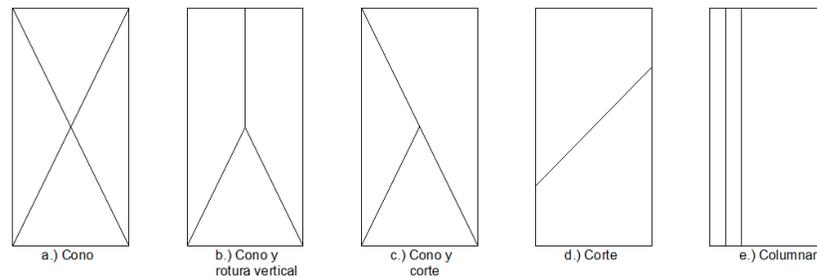


Figura 21. Tipos de fallas. [36]

3.2.8.2. Resistencia a la tracción.

Consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la misma. Para la obtención de esta se usa el ensayo de tracción indirecta, el cual destaca por ser un método simple y representativo, que permite imitar la respuesta de un pavimento flexible obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper [53].

- Descripción del ensayo

Este ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, igual a la definida en el ensayo Marshall, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura.

Esta configuración de carga provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical, y esta tracción es la que agota la probeta y desencadena la rotura en el plano diametral [53].

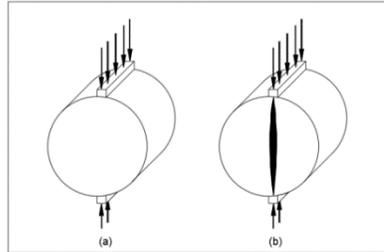


Figura 22. (a) Configuración de la carga y (b) rotura del ensayo de tracción indirecta. [57]

Según la instrucción española la resistencia a tracción indirecta se calcula mediante las siguientes formulas [53].

$$f_{c_t} = 0.90 * f_{c_{ti}} \quad [10]$$

$$f_{c_{ti}} = \frac{2 * P}{\pi * D * L} \quad [11]$$

$f_{c_{ti}}$. Resistencia a tracción [MPa]

P. Carga de compresión [N]

D. Diámetro [mm]

L. longitud [mm]

Para poder cargar la probeta a compresión en un plano diametral vertical, se requiere un dispositivo de sujeción, a través del cual se materialice dicho plano de carga. Como parte de este dispositivo existen dos elementos encargados de evitar la rotura local de la probeta durante el ensayo. Para lo que se utilizan unas placas de apoyo curvo, con radio de curvatura igual al radio nominal de la probeta, para que la distribución de tensiones no se altere significativamente [53].

- ASTM C496. Determinación de la resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto.

Consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a lo largo de la longitud del cilíndrico de concreto a una velocidad dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla según los esfuerzos de tracción y compresión respectivamente. Para distribuir de la carga a lo largo de la longitud del cilindro, se utilizan listones de apoyo de madera prensada que soportan la carga máxima sustentada por el molde [53], [54].

3.3. Número de ensayos

- Norma NTE INEN 1855

La norma NTE INEN 1855 es implementada para la verificación de la resistencia en ensayos sea a la compresión o a la tracción como base para la aceptación del hormigón [55].

Para cada ensayo de resistencia deben elaborarse por lo menos dos especímenes de muestra. Podemos decir que un ensayo será el resultado promedio de las resistencias de los ensayados a una edad específica. Si un espécimen muestra evidencia definitiva de baja resistencia respecto a los demás, debido a un muestreo, manejo, curado o ensayo inadecuados, se debe descartar y la resistencia de los especímenes restantes será considerada como el resultado del ensayo [55].

Se podrá realizar ensayos adicionales a otras edades dadas a lo establecido para obtener información con respecto a la evolución en el desarrollo de la resistencia, así también verificar la efectividad del curado y protección del hormigón, o también para determinar el tiempo de remoción de los encofrados o cuando la estructura puede ser puesta en servicio. Estos ensayos no pueden usarse como base para la aceptación o rechazo del hormigón [55].

CAPÍTULO IV

CALCULO, CONCLUSIÓN, RECOMENDACIÓN

4.1.Cálculo para la fabricación

4.1.1. Granulometría

Peso muestra del ripio 21620 gr

Tabla 18. Granulometría del ripio.

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso Reten. Parcial (g)	Peso Reten. Acumulado (g)	% Retenido	% Que Pasa
1 ½"	38.1	6	6	0	
1"	25.4	1894	1900	9	91
¾"	19	5350	7250	34	66
½"	12.7	5890	13140	61	39
3/8"	9.51	2340	15480	72	28
No. 4	4.76	4020	19500	90	10

Peso muestra de la arena 1504.07 gr

Tabla 19. Granulometría de la Arena.

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso Reten. Parcial (g)	Peso Reten. Acumulado (g)	% Retenido	% Que Pasa
No. 4	4.76	4.04	4.04	0	
8	2.38	340.78	344.82	23	77
16	1.19	423.6	768.42	51	49
30	0.595	582.65	1351.07	90	10
50	0.297	133.28	1484.35	99	1
100	0.149	10.51	1494.86	100	0
200	0.075	0.56	1495.42	100	

4.1.2. Módulo de finura

$$M_f = \frac{\#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100}{100}$$

$$M_f = \frac{0 + 23 + 51 + 90 + 99 + 100}{100}$$

$$M_f = 3.63$$

4.1.3. Pesos específicos de agregados

Tabla 20. Pesos específicos del agregado grueso.

Ripio	
Peso muestra seca SSS (B)	5000 [gr]
Peso muestra sumergido (C)	3013.7 [gr]
Capsula N°	S1S
Peso capsula + Muestra seca	5430[gr]
Peso capsula	600 [gr]
Peso muestra seca (A)	4830 [gr]
A-C	1816.3 [gr]
B-C	1986.3 [gr]
B-A	170 [gr]
Peso específico masivo A/(B-C)	2.432
Peso específico masivo SSS B/(B-C)	2.517
Peso específico solidos A/(A-C)	2.66
% Absorción (B-A)*100/A	3.52

Tabla 21. Pesos específicos del agregado fino.

Arena	
Peso muestra SSS (B)	500 [gr]
Picnómetro N°	7
Peso picnómetro (2)	155.37 [gr]
Volumen picnómetro (V)	499.689[cm3]
Peso picnómetro + Agua + Muestra (1)	965.99 [gr]
Capsula N°	F2
Peso capsula + Muestra seca	719.17 [gr]
Peso capsula	225.5 [gr]
Peso muestra seca (A)	493.67 [gr]
(1)-{(2)+(B) (W)	310.62 [gr]
V-W	189.069 [gr]
B-A	6.33 [gr]
(V-W)-(B-A) (X)	182.739 [gr]
Peso específico masivo A/(V-W)	2.61
Peso específico masivo SSS B/(V-W)	2.645
Peso específico solidos A/X	2.70
% Absorción (B-A)*100/A	1.28

Tabla 22. Pesos Unitarios.

Material	Ripio		Arena	
	Suelto	Varilla	Suelto	Varilla
Peso muestra+ molde 1	25820	27000	9220	9460
Peso muestra+ molde 2	25870	26940	9240	9450
Peso muestra+ molde 3	25840	27050	9210	9460
Peso promedio	25843.3	26996.7	9223.3	9456.67
Peso molde	5710	5710	6510	6510
Peso muestra	20133.3	21286.7	2713.3	2946.67
Volumen molde	14043	14043	2104.91	2104.91
Peso unitario	1.434	1.516	1.289	1.4

4.1.4. Humedad

Tabla 23. Humedades.

Humedad Natural						
Material	Capsula	Masa cap. + suelo húmedo	Masa cap. + suelo seco	Masa cap.	% Humedad	Promedio
Ripio	T30	5950	5880	441.6	1.287	1.24
	II	5570	5510	431.8 9	1.182	
Arena	F2	4673.44	4511.1	225.5	3.787	3.72
	A	4760.86	4600.8	230.7	3.661	

4.1.5. Resultados del diseño

Tabla 24. Parámetros de Diseño.

Parámetros	Agr. grueso	Agr. fino
Contenido de humedad (%W)	1,24	3,72
Peso unitario suelto (P. U. S) [kg/m ³]	1434	1289
Peso unitario compactado (P. U. C) [kg/m ³]	1516	1400
Peso específico (S.S.S) (Pe. S.S.S) [kg/m ³]	2517	2645
Absorción (ABS) %	3,52	1,28

Tabla 25. Datos Resultantes.

Datos técnicos	Cant.	Unid.
Asumimos el peso específico del Cemento	3100	kg/m ³
Asentamiento Máximo	10	cm
Asentamiento Mínimo	5	cm
Asentamiento Recomendado	8	cm
Agua	195	Lts./m ³
Aire Atrapado	1.50	%
Volumen del agregado grueso	0.587	m ³

4.1.6. Determinación de número de muestras para 21MPa y 25MPa

De acuerdo con el Método de Taguchi “Arreglos Ortogonales” podemos determinar el número de probetas que se requieren para el diseño a partir de los factores que se planea cambiar al emplear la ecuación.

$$L^n \quad [12]$$

Donde.

L: Numero de niveles

n: Factores independientes

Tabla 26. Matriz Ortogonal.

	Fa
Nivel 1	0%
Nivel 2	5%
Nivel 3	10%
Nivel 4	15%

$$L^n = 4^1$$

$$L^n = 4 \text{ muestras}$$

Por lo que para obtener un valor aproximado se necesitara elaborar 4 muestras de hormigón con 0%, 5%, 10%, y 15% de Poliamida 6.

4.2.Cálculos para 21MPa

4.2.1. Relación agua/cemento (a/c)

En la Tabla 18 se toma el valor de 0,58 como relación agua cemento para un hormigón de resistencia de 21 MPa, sin embargo, por factor de seguridad tomamos el valor de una resistencia mayor (24.5 MPa) la cual posee una relación agua cemento de 0.52.

4.2.2. Contenido de cemento

$$C = \frac{a}{a/c}$$

$$C = \frac{195[\text{kg}]}{0.52} = 375 [\text{kg}]$$

4.2.3. Masa del Ripio

$$M_R = V_R * PUC \quad [13]$$

$$M_R = 0.587[\text{m}^3] * 1516 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$M_R = 889.892 [\text{kg}]$$

4.2.4. Volumen de la Arena

$$V = V_C + V_{Ag} + V_R + V_{Ai} + V_{Ar} \quad [14]$$

$$V = \frac{m_c}{\text{Peso Esp.}_c} + \frac{m_{Ag}}{\text{Peso Esp.}_{Ag}} + \frac{m_R}{\text{Peso Esp.}_R} + V_{Ai} + V_{Ar}$$

$$1000[\text{dm}^3] = \frac{375[\text{kg}]}{3,1 \left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right]} + \frac{195 [\text{kg}]}{1 \left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right]} + \frac{889.892 [\text{kg}]}{2.517 \left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right]} + 15 [\text{dm}^3] + V_{Ar}$$

$$V_{Ar} = 1000[\text{dm}^3] - [684.52 [\text{dm}^3]]$$

$$V_{Ar} = 315.48[\text{dm}^3]$$

4.2.5. Masa de la Arena

$$V_{Ar} = \frac{m_{Ar}}{\text{Peso Esp.}_{Ar}} \quad [15]$$

$$m_{Ar} = V_{Ar} * \text{Peso Esp.}_{Ar}$$

$$m_{Ar} = 315.48 * 2.645$$

$$m_{Ar} = 834.445 [\text{Kg}]$$

4.2.6. Corrección por humedad

Arena

Arena con mayor humedad al estado SSS

$$\frac{\text{Peso}(100 + W)}{(100 + \text{Abs})} = \frac{834.445 * (100 + 3.72)}{100 + 1.28}$$

$$\frac{\text{Peso}(100 + W)}{(100 + \text{Abs})} = 854.548$$

Agua que está de más respecto al estado SSS

$$\frac{\text{Peso}(W - \text{Abs})}{(100 + \text{Abs})} = \frac{834.445 * (3.72 + 1.28)}{100 + 1.28}$$

$$\frac{\text{Peso}(W - \text{Abs})}{(100 + \text{Abs})} = 20.10 [\text{Kg}]$$

Ripio

Arena con menor humedad al estado SSS

$$\frac{\text{Peso}(100 + W)}{(100 + \text{Abs})} = \frac{889.892 * (100 + 1.24)}{100 + 3.52}$$

$$\frac{\text{Peso}(100 + W)}{(100 + \text{Abs})} = 870.292$$

Agua que falta respecto al estado SSS

$$\frac{\text{Peso}(W - \text{Abs})}{(100 + \text{Abs})} = \frac{834.445 * (1.24 + 3.52)}{100 + 3.52}$$

$$\frac{\text{Peso}(W - \text{Abs})}{(100 + \text{Abs})} = -19.6 \text{ [Kg]}$$

4.2.7. Corrección de agua

$$\text{Agua} = 195 - (20.10 - 19.6)$$

$$\text{Agua} = 194.5 \text{ [Kg]}$$

4.2.8. Resultados a compresión de muestras de 21MPa

Para realizar los moldes usamos 20 [kg] de cemento obteniendo los siguientes datos que usamos como datos estándar.

Tabla 27. Dosificación Estándar de 21MPa.

	kg	1 saco 50 kg	20 kg	Dosificación
Agua	194.5	25.93	10.37	0.52
Cemento	375	50	20	1
Arena	834.44	111.26	44.50	2.23
Ripio	889.89	118.65	47.46	2.37

Para diferentes porcentajes de Poliamida 6 tenemos los siguientes datos.

Tabla 28. Dosificación de 5%,10% y 15% para 21MPa.

	5%		10%		15%	
	kg	Dosif.	kg	Dosif.	kg	Dosif.
Agua	10.37	0.52	10.37	0.52	10.37	0.52
Cemento	20	1	20	1	20	1
Arena	44.50	2.23	44.50	2.23	44.50	2.23
Ripio	45.06	2.25	42.8	2.14	40.4	2.02
Poliamida	2.40	0.12	4.60	0.23	7	0.35

4.2.9. Análisis a Compresión a los 28 días

Tabla 29. Resultados de compresión a hormigón de 21MPa con 0%.

N°	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Masa (gr.)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Asentamiento (cm)	Carga (KN)	Compresión (MPa)
1	152	306	18145,84	12320	5552,63	2,22		324,45	17,88
2	154	307	18626,50	12520	5718,34	2,19		406,99	21,85
3	154	307	18626,50	12580	5718,34	2,20	9,6	470,32	25,25
4	153	305	18385,39	12730	5607,54	2,27		509,83	27,73
5	153	300	18385,39	12190	5515,62	2,21		384,99	20,94

Promedio de la densidad

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{2,22 + 2,19 + 2,2 + 2,27 + 2,21}{5}$$
$$\bar{x} = 2,22 \left[\frac{kg}{cm^3} \right]$$

Promedio de la masa

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{12320 + 12520 + 12580 + 12730 + 12190}{5}$$
$$\bar{x} = 12468 [kg]$$

Promedio de la resistencia a compresión

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{17,88 + 21,85 + 25,25 + 27,73 + 20,94}{5}$$
$$\bar{x} = 22,73 [MPa]$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{(17,88 - 22,73)^2 + (21,85 - 22,73)^2 + (25,25 - 22,73)^2 + (27,73 - 22,73)^2 + (20,94 - 22,73)^2}{5 - 1}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{(4,85)^2 + (0,88)^2 + (2,52)^2 + (5)^2 + (1,79)^2}{4}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{23,523 + 0,774 + 6,35 + 25 + 3,2}{4}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{58,851}{4}} = 3,836$$

Tabla 30. Resultados de compresión a hormigones de 21MPa con 5%.

N°	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Masa (gr.)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Asentamiento (cm)	Carga (KN)	Compresión (MPa)
1	151	304	17907,86	11050	5443,99	2,03		205,05	11,45
2	154	306	18626,50	11340	5699,71	1,99		235,44	12,64
3	151	300	17907,86	10800	5372,36	2,01	11,5	231,91	12,95
4	151	304	17907,86	11050	5443,99	2,03		236,20	13,19
5	154	306	18626,50	11400	5699,71	2,00		220,91	11,86

Promedio de la densidad

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{2,03 + 1,99 + 2,01 + 2,03 + 2}{5}$$
$$\bar{x} = 2,01 \left[\frac{kg}{cm^3} \right]$$

Promedio de la masa

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{11050 + 11340 + 10800 + 11050 + 11400}{5}$$
$$\bar{x} = 11128 \text{ [kg]}$$

Promedio de la resistencia a compresión

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{11.45 + 12.64 + 12.95 + 13.19 + 11.86}{5}$$
$$\bar{x} = 12.42 \text{ [MPa]}$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{0.94 + 0.05 + 0.28 + 0.6 + 0.31}{4}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{2.18}{4}}$$
$$\sigma = 0.74$$

Tabla 31. Resultados de compresión de 21Mpa con 10%.

N°	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Masa (gr.)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Asentamiento (cm)	Carga (KN)	Compresión (MPa)
1	152	303	18145,84	11000	5498,19	2,00		120,67	6,65
2	155	302	18869,19	11060	5698,50	1,94		161,52	8,56
3	154	304	18626,50	11210	5662,46	1,98	5,7	123,87	6,65
4	153	303	18385,39	11090	5570,77	1,99		133,29	7,25
5	153	305	18385,39	10990	5607,54	1,96		140,65	7,65

Promedio de la densidad

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{2 + 1.94 + 1.98 + 1.99 + 1.96}{5}$$
$$\bar{x} = 1.97 \left[\frac{kg}{cm^3} \right]$$

Promedio de la masa

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{11000 + 11060 + 11210 + 11090 + 10990}{5}$$
$$\bar{x} = 11070 \text{ [kg]}$$

Promedio de la resistencia a compresión

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{6.65 + 8.56 + 6.65 + 7.25 + 7.65}{5}$$
$$\bar{x} = 7.35 \text{ [MPa]}$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{0.49 + 1.46 + 0.49 + 0.01 + 0.09}{4}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{2.54}{4}}$$
$$\sigma = 0.80$$

Tabla 32. Resultados de Compresión a hormigón de 21MPa con 15%.

N°	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Masa (gr.)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Asentamiento (cm)	Carga (KN)	Compresión (MPa)
A	152	304	18145,84	10210	5516,34	1,85		72,58	4,00
B	155	303	18869,19	10630	5717,36	1,86		82,46	4,37
C	150	304	17671,46	9990	5372,12	1,86	2	76,87	4,35
D	156	304	19113,45	10520	5810,49	1,81		78,75	4,12
E	153	297	18385,39	9830	5460,46	1,80		78,32	4,26

Promedio de la densidad

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{1.85 + 1.86 + 1.86 + 1.81 + 1.8}{5}$$
$$\bar{x} = 1.84 \left[\frac{kg}{cm^3} \right]$$

Promedio de la masa

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{10210 + 10630 + 9990 + 10520 + 9830}{5}$$
$$\bar{x} = 10236 [kg]$$

Promedio de la resistencia a compresión

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{4 + 4.37 + 4.35 + 4.12 + 4.26}{5}$$
$$\bar{x} = 4.22 [MPa]$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{0.05 + 0.02 + 0.02 + 0.01 + 0.002}{4}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{0.1}{4}}$$
$$\sigma = 0.158$$

4.2.9.1. Grafica de Masa y Densidad

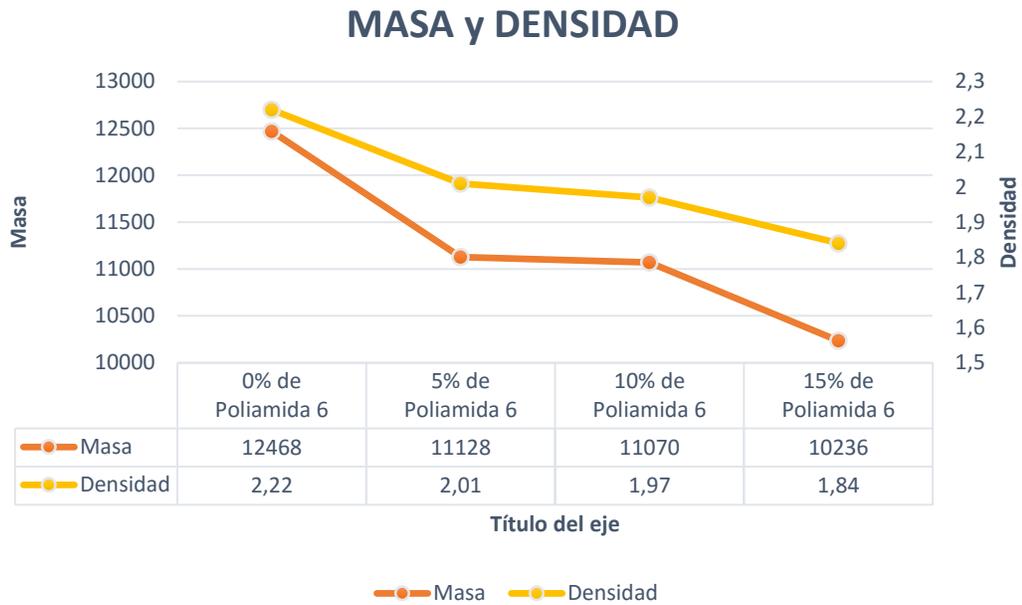


Figura 23. Grafica Masa y Densidad de 21MPa.

4.2.9.2. Promedio de la Resistencia a la Compresión

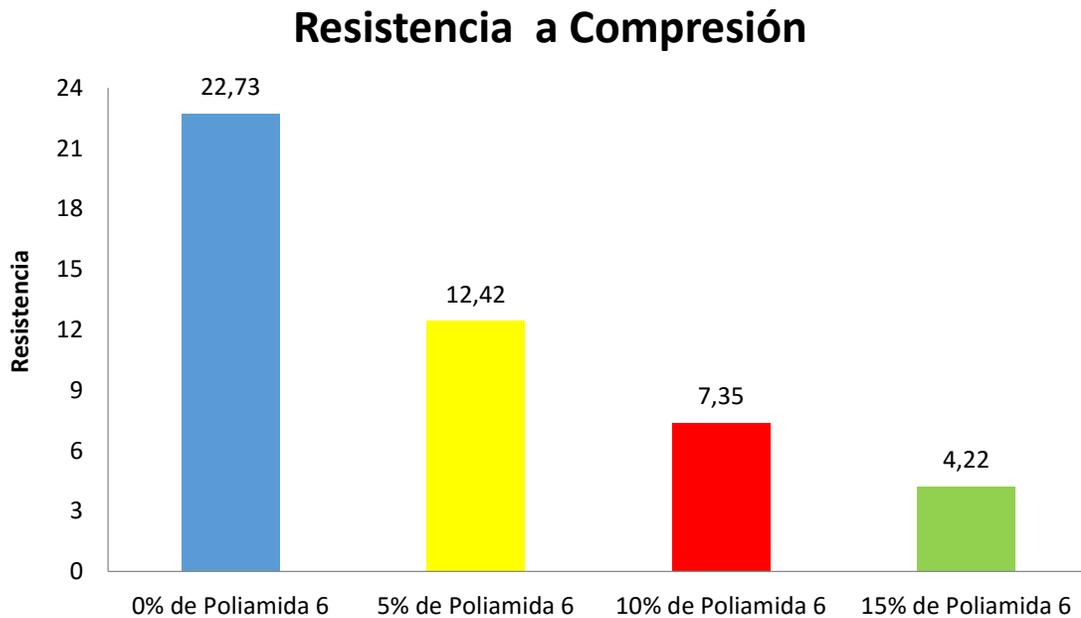


Figura 24. Promedio de Resistencia a Compresión de 21MPa.

4.2.10. Análisis de Resistencia a tracción a los 28 días

Tabla 33. Resultados de tracción a hormigón de 21MPa con 0%.

Nº	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Carga (KN)	Tracción (MPa)
A	155	305	197,5	2,66
B	154	302	154,2	2,11
C	150	300	166,1	2,35
D	153	303	185	2,54
E	151	300	167,2	2,35
Promedio				2,40

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{0.07 + 0.09 + 0.003 + 0.02 + 0.003}{4}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{0.18}{4}}$$
$$\sigma = 0.21$$

Tabla 34. Resultados de tracción a hormigón de 21MPa con 5%.

Nº	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Carga (KN)	Tracción (MPa)
A	154	305	89,1	1,21
B	154	302	97,9	1,34
C	150	300	79,9	1,13
D	153	303	100,5	1,38
E	151	300	101,8	1,43
Promedio				1,30

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.008 + 0.002 + 0.03 + 0.007 + 0.02}{4}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.06}{4}}$$

$$\sigma = 0.12$$

Tabla 35. Resultados de tracción a hormigón de 21MPa con 10%.

Nº	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Carga (KN)	Tracción (MPa)
A	154	305	77,5	1,05
B	150	302	60,5	0,85
C	150	300	61,5	0,87
D	152	303	68,7	0,95
E	153	300	72,8	1,01
Promedio				0,95

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.01 + 0.01 + 0.01 + 0 + 0.004}{4}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.03}{4}}$$

$$\sigma = 0.086$$

Tabla 36. Resultados de tracción a hormigón de 21MPa con 15%.

Nº	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Carga (KN)	Tracción (MPa)
A	151	301	57,1	0,80
B	150	301	56,0	0,79
C	152	305	59,0	0,81
D	151	302	53,7	0,75
E	155	307	62,8	0,84
Promedio				0,80

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0 + 0.0001 + 0.0001 + 0.003 + 0.002}{4}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.005}{4}}$$

$$\sigma = 0.033$$

Resistencia a Tracción

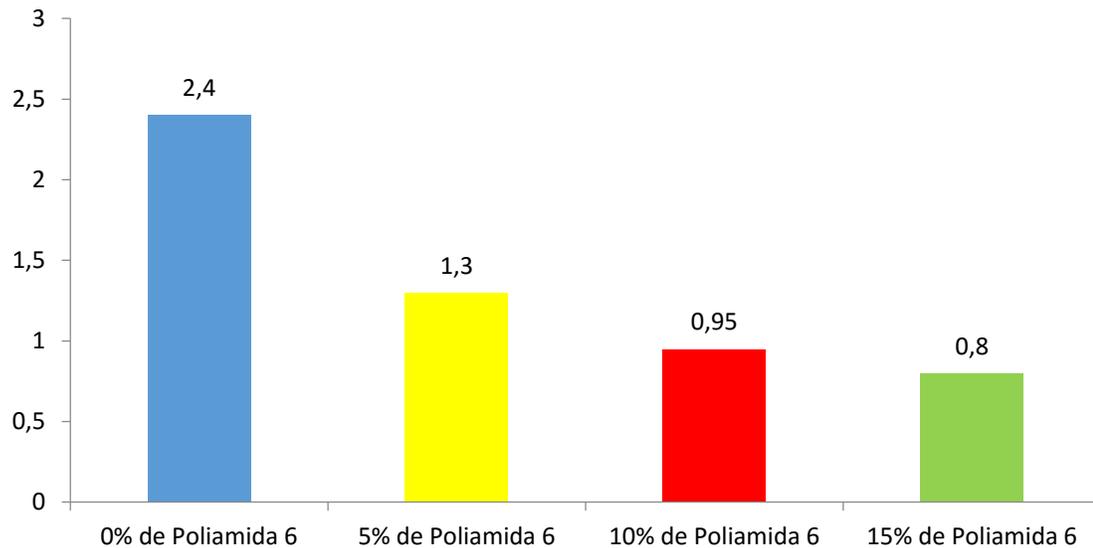


Figura 25. Análisis de ensayo de Tracción.

4.3. Cálculos para 25 MPa

4.3.1. Relación agua/cemento (a/c)

En la Tabla 18 se toma el valor de 0,52 como relación agua cemento para un hormigón de resistencia de 25 MPa, sin embargo, por factor de seguridad tomamos el valor de una resistencia mayor (28 MPa) la cual posee una relación agua cemento de 0.47.

4.3.2. Contenido de cemento

$$C = \frac{a}{a/c}$$

$$C = \frac{195[\text{kg}]}{0.47} = 414.89 [\text{kg}]$$

4.3.3. Masa del Ripio

$$M_R = VR * PUC$$

$$M_R = 0.587[\text{m}^3] * 1516 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$M_R = 889.892 [\text{kg}]$$

4.3.4. Volumen de la Arena

$$V = V_C + V_{Ag} + V_R + V_{Ai} + V_{Ar}$$

$$V = \frac{m_c}{\text{Peso Esp.}_c} + \frac{m_{Ag}}{\text{Peso Esp.}_{Ag}} + \frac{m_R}{\text{Peso Esp.}_R} + V_{Ai} + V_{Ar}$$

$$1000[\text{dm}^3] = \frac{414.89[\text{kg}]}{3,1 \left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right]} + \frac{195 [\text{kg}]}{1 \left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right]} + \frac{889.892 [\text{kg}]}{2.517 \left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right]} + 15 [\text{dm}^3] + V_{Ar}$$

$$V_{Ar} = 1000[\text{dm}^3] - [697.39 [\text{dm}^3]]$$

$$V_{Ar} = 302.61[\text{dm}^3]$$

4.3.5. Masa de la Arena

$$V_{Ar} = \frac{m_{Ar}}{\text{Peso Esp.}_{Ar}}$$

$$m_{Ar} = V_{Ar} * \text{Peso Esp.}_{Ar}$$

$$m_{Ar} = 302.61 * 2.645$$

$$m_{Ar} = 800.41 [\text{kg}]$$

4.3.6. Corrección por humedad

Arena

Arena con mayor humedad al estado SSS

$$\frac{\text{Peso}(100 + W)}{(100 + \text{Abs})} = \frac{800.41 * (100 + 3.72)}{100 + 1.28}$$

$$\frac{\text{Peso}(100 + W)}{(100 + \text{Abs})} = 819.69$$

Agua que está de más respecto al estado SSS

$$\frac{\text{Peso}(W - \text{Abs})}{(100 + \text{Abs})} = \frac{800.41 * (3.72 + 1.28)}{100 + 1.28}$$

$$\frac{\text{Peso}(W - \text{Abs})}{(100 + \text{Abs})} = 19.28 \text{ [kg]}$$

Ripio

Arena con menor humedad al estado SSS

$$\frac{\text{Peso}(100 + W)}{(100 + \text{Abs})} = \frac{889.892 * (100 + 1.24)}{100 + 3.52}$$

$$\frac{\text{Peso}(100 + W)}{(100 + \text{Abs})} = 870.292$$

Agua que falta respecto al estado SSS

$$\frac{\text{Peso}(W - \text{Abs})}{(100 + \text{Abs})} = \frac{834.445 * (1.24 + 3.52)}{100 + 3.52}$$

$$\frac{\text{Peso}(W - \text{Abs})}{(100 + \text{Abs})} = -19.6 \text{ [kg]}$$

4.3.7. Corrección de agua

$$\text{Agua} = 195 - (19.28 - 19.6)$$

$$\text{Agua} = 195.32 \text{ [kg]}$$

4.3.8. Resultados a compresión de muestras de 25MPa

Para realizar los moldes usamos 20 [kg] de cemento obteniendo los siguientes datos que usamos como datos estándar.

Tabla 37. Dosificación Estándar de 25MPa.

	kg	1 saco 50 kg	20 kg	Dosificación
Agua	195.32	23.54	9.42	0.47
Cemento	414.89	50	20	1
Arena	800.41	96.46	38.58	1.93
Ripio	889.89	107.24	42.9	2.14

Para diferentes porcentajes de Poliamida 6 tenemos los siguientes datos.

Tabla 38. Dosificación de 5%,10% y 15% para 21MPa.

	5%		10%		15%	
	kg	Dosif.	kg	Dosif.	kg	Dosif.
Agua	9.42	0.47	9.42	0.47	9.42	0.47
Cemento	20	1	20	1	20	1
Arena	38.58	1.93	38.58	1.93	38.58	1.93
Ripio	40.75	2.03	38.61	1.93	36.46	1.82
Poliamida	2.15	0.11	4.29	0.21	6.44	0.32

4.3.9. Análisis de la compresión

Tabla 39. Resultados de compresión a hormigón de 25MPa con 0%.

N°	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Masa (gr.)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Asentamiento (cm)	Carga (KN)	Compresión (MPa)
A	154	306	18505,94	12740	5662,82	2,25		481,52	26,02
B	151	308	17907,86	12150	5515,62	2,2		512,88	28,64
C	152	306	18145,84	12640	5552,63	2,28	5,7	452,56	24,94
D	154	303	18626,5	12420	5643,83	2,2		481,87	25,87
E	154	307	18626,5	12780	5718,34	2,23		505,9	27,16

Promedio de la densidad

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{2.25 + 2.2 + 2.28 + 2.2 + 2.23}{5}$$
$$\bar{x} = 2.23 \left[\frac{kg}{cm^3} \right]$$

Promedio de la masa

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{12740 + 12150 + 12640 + 12420 + 12780}{5}$$
$$\bar{x} = 12546 \text{ [kg]}$$

Promedio de la resistencia a compresión

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{26.02 + 28.64 + 24.94 + 25.87 + 27.16}{5}$$
$$\bar{x} = 26.53 \text{ [MPa]}$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{0.26 + 4.47 + 2.52 + 0.43 + 0.40}{4}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{8.073}{4}}$$
$$\sigma = 1.423$$

Tabla 40. Resultados de compresión a hormigón de 25MPa con 5%.

N°	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Masa (gr.)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Asentamiento (cm)	Carga (KN)	Compresión (MPa)
A	153	304	18385,39	11560	5589,16	2,07		239,56	13,03
B	155	303	18869,19	11970	5717,36	2,09		261,34	13,85
C	149	306	17436,62	11390	5335,61	2,13	5,8	260,68	14,95
D	153	306	18385,39	11770	5625,93	2,09		260,15	14,15
E	152	302	18145,84	11570	5480,04	2,11		247,51	13,64

Promedio de la densidad

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{2.07 + 2.09 + 2.13 + 2.09 + 2.11}{5}$$
$$\bar{x} = 2.1 \left[\frac{kg}{cm^3} \right]$$

Promedio de la masa

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{11570 + 11970 + 11390 + 11770 + 11570}{5}$$
$$\bar{x} = 11654 \text{ [kg]}$$

Promedio de la resistencia a compresión

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{13.03 + 13.85 + 14.95 + 14.15 + 13.64}{5}$$
$$\bar{x} = 13.92 \text{ [MPa]}$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{0.8 + 0.01 + 1.05 + 0.05 + 0.08}{4}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{1.989}{4}}$$
$$\sigma = 0.705$$

Tabla 41. Resultados de compresión a hormigón de 25MPa con 10%.

N°	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Masa (gr.)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Asentamiento (cm)	Carga (KN)	Compresión (MPa)
A	152	304	18145,84	10480	5516,34	1,90		132,83	7,32
B	152	301	18145,84	10440	5461,90	1,91		125,02	6,89
C	154	304	18626,50	10640	5662,46	1,88	5,7	138,58	7,44
D	153	303	18385,39	10560	5570,77	1,90		143,22	7,79
E	151	302	17907,86	10470	5408,17	1,94		119,27	6,66

Promedio de la densidad

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{1.9 + 1.91 + 1.88 + 1.90 + 1.94}{5}$$
$$\bar{x} = 1.90 \left[\frac{kg}{cm^3} \right]$$

Promedio de la masa

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{10480 + 10440 + 10640 + 10560 + 10470}{5}$$
$$\bar{x} = 10518 \text{ [kg]}$$

Promedio de la resistencia a compresión

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{7.32 + 6.89 + 7.44 + 7.79 + 6.66}{5}$$
$$\bar{x} = 7.22 \text{ [MPa]}$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{0.01 + 0.11 + 0.05 + 0.32 + 0.31}{4}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{0.806}{4}}$$
$$\sigma = 0.45$$

Tabla 42. Resultados de Compresión a hormigón de 25MPa con 15%.

N°	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Masa (gr.)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Asentamiento (cm)	Carga (KN)	Compresión (MPa)
A	152	303	18145,84	10170	5498,19	1,85		135,01	7,44
B	151	301	17907,86	9910	5390,27	1,84		140,76	7,86
C	153	303	18385,39	10340	5570,77	1,86	2	140,28	7,63
D	153	303	18385,39	10080	5570,77	1,81		126,12	6,86
E	153	300	18385,39	10040	5515,62	1,82		120,06	6,53

Promedio de la densidad

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{1.85 + 1.84 + 1.86 + 1.81 + 1.82}{5}$$
$$\bar{x} = 1.84 \left[\frac{kg}{cm^3} \right]$$

Promedio de la masa

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{10170 + 9910 + 10340 + 10080 + 10040}{5}$$
$$\bar{x} = 10109 [kg]$$

Promedio de la resistencia a compresión

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{7.44 + 7.86 + 7.63 + 6.86 + 6.53}{5}$$
$$\bar{x} = 7.26 [MPa]$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{0.03 + 0.36 + 0.13 + 0.16 + 0.54}{4}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{1.222}{4}}$$
$$\sigma = 0.553$$

4.3.9.1. Grafica de Masa y Densidad

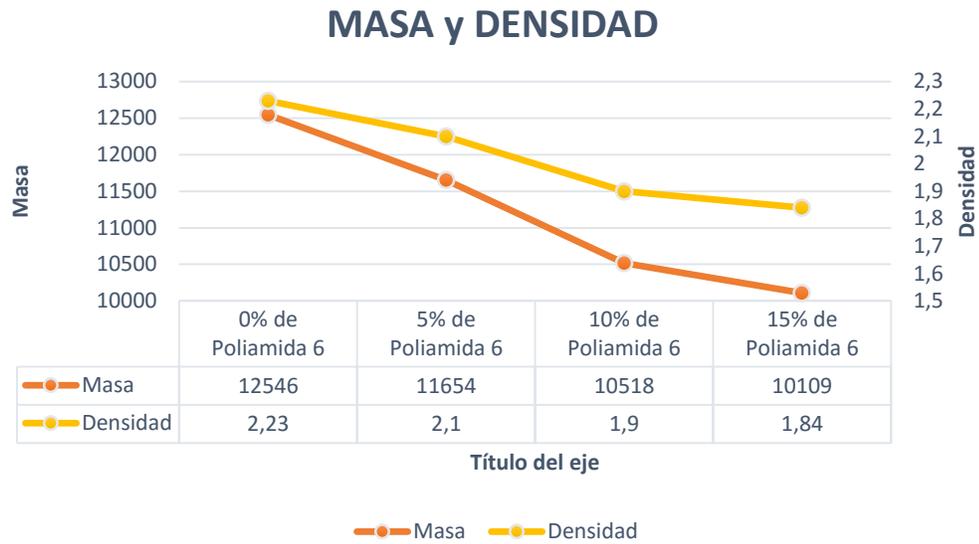


Figura 26. Grafica Masa y Densidad de 25MPa.

4.3.9.2. Promedio de la Resistencia a la Compresión

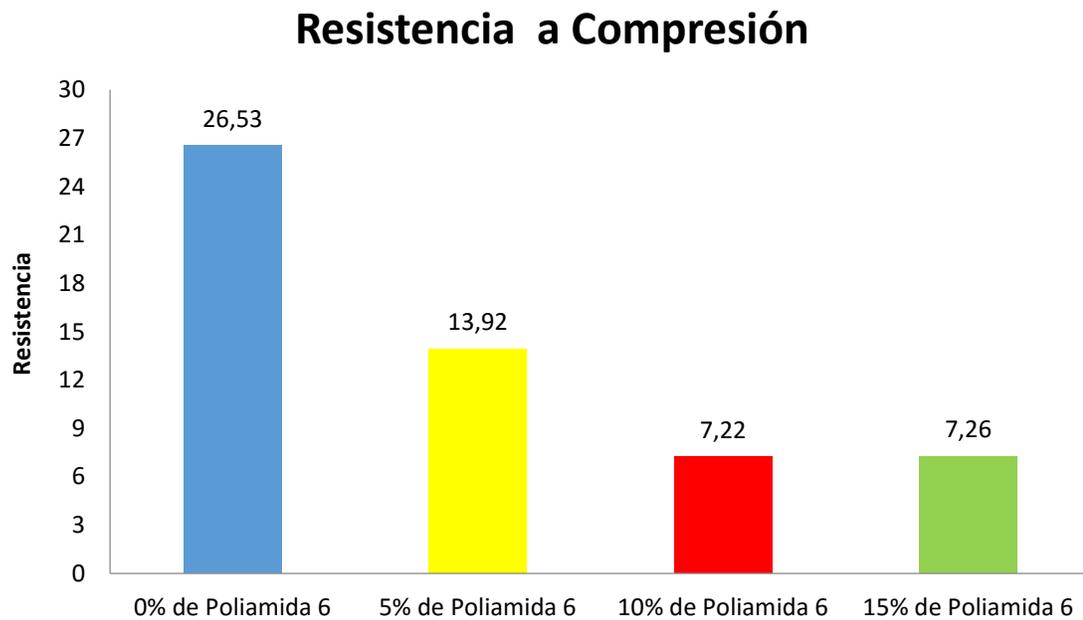


Figura 27. Promedio de Resistencia a Compresión de 25MPa.

4.3.10. Resistencia a tracción

Tabla 43. Resultados de tracción a hormigón de 25MPa con 0%.

Nº	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Carga (KN)	Tracción (MPa)
A	155	300	169,5	2,32
B	151	305	145,5	2,01
C	153	303	158,7	2,18
D	153	303	174	2,39
E	153	300	150	2,08
Promedio				2,20

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.02 + 0.03 + 0 + 0.04 + 0.01}{4}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.101}{4}}$$

$$\sigma = 0.16$$

Tabla 44. Resultados de tracción a hormigón de 25MPa con 5%.

Nº	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Carga (KN)	Tracción (MPa)
A	151	300	107,1	1,51
B	154	305	109,5	1,49
C	150	303	108,9	1,53
D	151	306	101,3	1,4
E	153	300	111,4	1,55
Promedio				1,50

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0 + 0 + 0.001 + 0.009 + 0.003}{4}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.014}{4}}$$

$$\sigma = 0.058$$

Tabla 45. Resultados de tracción a hormigón de 25MPa con 10%.

Nº	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Carga (KN)	Tracción (MPa)
A	153	300	67,8	0,94
B	153	300	76,4	1,06
C	149	304	71,9	1,01
D	156	301	76	1,05
E	151	307	69,2	0,94
Promedio				1

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.004 + 0.004 + 0 + 0.003 + 0.004}{4}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.013}{4}}$$

$$\sigma = 0.058$$

Tabla 46. Resultados de tracción a hormigón de 25MPa con 15%.

Nº	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Carga (KN)	Tracción (MPa)
A	150	305	58,2	0,81
B	152	301	53,9	0,75
C	151	307	56,1	0,77
D	156	302	59,9	0,81
E	157	304	63	0,84
Promedio				0,8

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0 + 0.002 + 0.001 + 0 + 0.002}{4}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.005}{4}}$$

$$\sigma = 0.036$$

Resistencia a Tracción

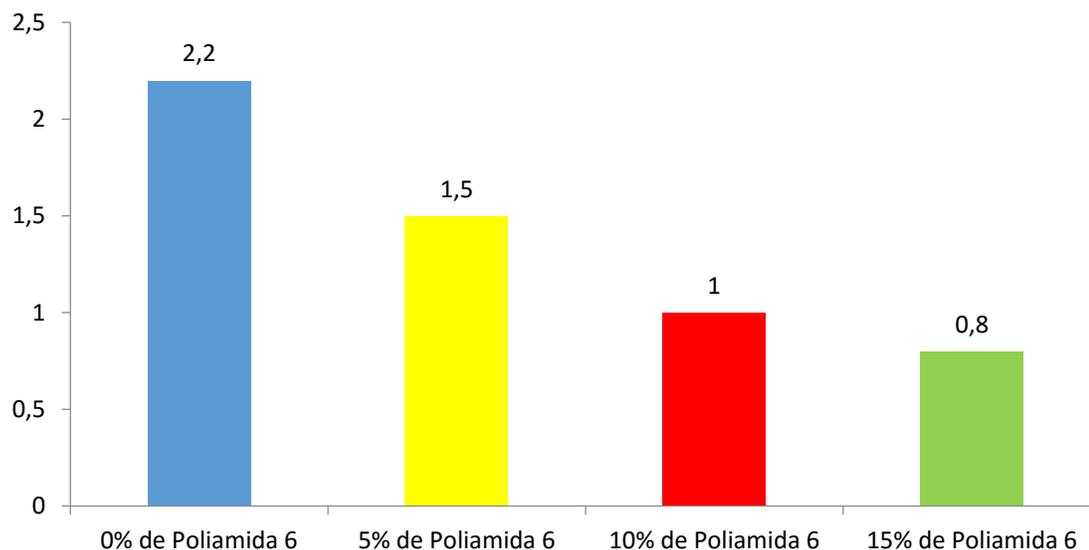


Figura 28. Análisis de ensayo de Tracción.

4.4. Costo de materiales, fabricación y ensayos

Se utilizó materiales áridos en dos presentaciones, cemento entre otros que debieron ser transportados hasta los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana por un valor determinado.

Tabla 47. Costo de Materiales.

Material	Cantidad (Kg)	Valor total \$
Agua	79,16	39,58
Cemento	160	26,4
Agregado fino	332,32	15
Agregado grueso	334,44	12
Poliamida	27	0
Total		92.98

Se tomó en cuenta el costo del alquiler del molino e imprevistos varios que se pueden presentar a lo largo de la fabricación, además del costo unitario por cada ensayo en los laboratorios.

Tabla 48. Costo de Actividades.

Insumos	Concepto	Valor unitario \$	Valor total \$
Costo de laboratorios	Alquiler c/h (50 h)	4	200
Costo de ensayos Compresión	55 ensayos	3.36	184.8
Costo de ensayos tracción	14 ensayos	6.72	94.08
Mano de obra	7 h	3.55	24.85
Molino	Alquiler c/h (6 h)	4	24
Otros	Transporte	50	50
Imprevistos			350
		Total \$	927.73

La cantidad total del costo es de 1020,71 dólares para realizar este proyecto, sin embargo estos valores pueden variar debido al transporte o al lugar de obtención de materiales.

CONCLUSIONES

- La composición teórica del material Poliamida 6 en estado de suministro se desarrolla por medio de una polimerización entre sus mismas moléculas, su estructura química consta de 6 átomos de carbono, 11 átomos de hidrogeno, 1 átomo de oxígeno y nitrógeno, sus principales características son una baja densidad, alta resistencia mecánica, resistente a la corrosión, baja conductividad eléctrica y térmica, así pues su temperatura no debe superar a los 350 °C debido a que el material se vuelve tóxico por la emanación de óxido de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y cianuro de hidrogeno.
- La cantidad de residuo desechado de material Poliamida 6 en los laboratorios de máquinas herramientas de la Universidad Politécnica Salesiana observado en un día es variable según el trabajo que efectúan los estudiantes, en la sección de torno se genera un residuo promedio de 0,7154 kilogramos/día, en la sección fresadora un promedio de desperdicio es de 0.7486 kilogramos/día, obteniendo como resultado una cantidad promedio de 1,464 Kilogramos/día de material Poliamida 6 desechado.
- Para la construcción de las muestras de hormigón de 21 MPa y 25 MPa con adición de material Poliamida 6 en cantidades de 0%, 5%, 10% y 15% en peso, es necesario analizar las propiedades de los agregados debido a que tienden a variar según su almacenamiento, para la fabricación de los cilindros de diámetros 150 mm y altura 300 mm, se emplea la norma A.C.I obteniendo una dosificación estándar ideal, sin embargo por seguridad se toma una resistencia mayor a la de 21MPa y 25 MPa.
- Los ensayos de compresión fueron realizados en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, obteniendo como resultado para las muestras de 21 MPa, una resistencia promedio a compresión de 22.73 ± 3.836 MPa, 12.42 ± 0.74 MPa, 7.35 ± 0.8 MPa y 4.22 ± 0.158 MPa para los porcentajes de 0%, 5%, 10% y 15% respectivamente, y para las muestras de 25 MPa las resistencias promedio a compresión para los porcentajes de 0%, 5%, 10% y 15% de Poliamida 6 son de 26.53 ± 1.423 MPa, 13.92 ± 0.705 MPa, 7.22 ± 0.45 MPa y 7.26 ± 0.55 MPa respectivamente, mientras que los ensayos de tracción se los realizo en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Central arrojaron

resultados de resistencia promedio a la tracción de 2.4 ± 0.21 MPa, 1.3 ± 0.12 MPa, 0.95 ± 0.086 MPa y 0.8 ± 0.033 MPa para los cilindros de 21 MPa con 0%, 5%, 10% y 15% respectivamente y para los de 25 MPa con 0%, 5%, 10% y 15% su resistencia a la tracción fue de 2.2 ± 0.16 MPa, 1.5 ± 0.058 MPa, 1 ± 0.058 MPa y 0.8 ± 0.036 MPa respectivamente.

- El análisis comparativo de los resultados obtenidos en los ensayos de tracción y compresión promedio de las muestras de hormigón reforzado con material Poliamida 6, muestra que la resistencia de 21 y 25 MPa disminuye debido a la variación porcentual de la densidad, entre el agregado grueso y la Poliamida 6.
- Por cuestiones de seguridad la American Concrete Institute (A.C.I), menciona que se debe tomar una resistencia mayor con respecto a la que se pretende diseñar.

RECOMENDACIONES

- Se debe realizar los respectivos estudios y análisis de las propiedades de los agregados finos y gruesos, utilizados en la mezcla minimizando los impactos negativos de diseño.
- Los resultados obtenidos en esta investigación no se pueden generalizar para todo tipo de material agregado fino y grueso con el que se pretenda trabajar.
- De acuerdo a lo observado durante la fabricación y manipulación de las muestras de hormigón con adición de Poliamida 6, se recomienda evitar que estos sean golpeados o tengan un manejo inadecuado durante el desencofrado, curado o al momento de realizar el ensayo ya que esta acción provocaría un declive en la resistencia que se desea conseguir.
- La información recopilada en el presente proyecto servirá como base para una posterior investigación donde se recomienda sustituir la poliamida 6 por el agregado fino, con el fin de analizar las propiedades del hormigón compuesto, mediante la implementación de ensayos que permitan determinar la conductividad térmica, eléctrica y el factor de elasticidad entre otras.
- Fabricar lotes de 15 muestras de hormigón o más para realizar los ensayos, esto permitirá obtener una mejor interpretación de los datos mediante un análisis estadístico que permita determinar la desviación estándar, varianza y la campana de Gauss, para garantizar que los datos de las muestras sean acordes al ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Varios, *Historia*, 1944.
- [2] Varios, «blog3asamuelydani,» 3 Febrero 2009. [En línea]. Available: <https://blog3asamuelydani.wordpress.com/2009/02/03/5/>.
- [3] Varios, *Materiales Compuestos*, 2007.
- [4] Varios, «Plásticos | Textos Científicos,» 16 08 2005. [En línea]. Available: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/plasticos>.
- [5] Varios, *Los plásticos*, Salamanca, 2010.
- [6] B. Durethan, «Poliamida 6».
- [7] N. S. A, «Ficha de seguridad,» Barcelona, 2012.
- [8] L. W. McKeen, *Permeability properties of plastics and elastomers*, 2017.
- [9] S. D. Tohidi, A. M. Rocha, N. V. Dencheva y Z. Denchev, «Single polymer laminate composites by compression molding of knitted textiles and microparticles of polyamide 6: Preparation and structure-properties relationship,» *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf*, vol. 109, pp. 171-183, 2018.
- [10] K. Gonzalez, «Blogspot,» 8 Abril 2013. [En línea]. Available: <http://fibrologia.blogspot.com/>. [Último acceso: 10 Mayo 2018].
- [11] J. S. a. G. V. P. Comino, «El GRC Material Compuesto de Matriz Cementicia reforzado Con fibra de Vidrio AR,» pp. 1-19, 2014.
- [12] J. Chen, N. Ding, Z. Li y W. Wang, «A closed-loop life cycle assessment of recycled aggregate concrete utilization in China,» *Waste Management*, vol. 56, pp. 367-375, 2016.

- [13] J. Rivera, «Polímeros Materiales de Ingeniería,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.plasticseurope.org/application/files/4315/1310/4805/plastic-the-fact-2016.pdf>. [Último acceso: 2018].
- [14] J. Maris, S. Bourdon, J. M. Brossar, L. Cauret, L. Fontaine y V. Montem, «Mechanical recycling: Compatibilization of mixed thermoplastic wastes,» *Polymer Degradation and Stability*, vol. 147, pp. 245-266, 2018.
- [15] E. M. Foundation, «The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics,» p. 120, 2016.
- [16] N. P. Ivleva, A. C. Wiesheu y R. Niessner, «Microplastic in Aquatic Ecosystems,» *Angewandte Chemie*, vol. 56, pp. 1720-1739, 2017.
- [17] J. R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan y K. Lavender Law, «Plastic waste inputs from land into the ocean,» pp. 1655-1734, 2015.
- [18] Varios, «EU Waste Legislation - Environment - European Commission,» [En línea]. Available: <http://ec.europa.eu/environment/waste/legislation/a.htm>. [Último acceso: 20 Mayo 2018].
- [19] J. G. Hachi y D. Rodríguez, «Estudio De Factibilidad Para Reciclar Envases Plásticos De Polietileno Tereftalato(Pet), En La Ciudad De Guayaquil,» p. 237, 2010.
- [20] I. A. Ignatyev, W. Thielemans y B. V. Beke, «Recycling of polymers: a review,» *ChemSusChem*, vol. 7, n° 6, pp. 1579-1593, 2014.
- [21] K. Ragaert, L. Delva y K. Van Geem, «Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste,» *Waste Management*, vol. 69, pp. 24-58, 2017.
- [22] A. Costa del Pozo, «Estudio de hormigones y morteros aligerados con agregados de plástico reciclado como árido y carga en la mezcla,» p. 107, 2012.

- [23] Mariano, «Blogspot,» 6 Febrero 2014. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/>. [Último acceso: 2018 Mayo 27].
- [24] S. M. Al-Salem, P. Lettieri y J. Baeyens, «The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: From re-use to energy and chemicals,» *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 36, pp. 103-129, 2010.
- [25] H. Villalba, «Plásticos,» vol. 3, p. 10, 2011.
- [26] Varios, «Molinos serie pm a pie de maquina modelo 15/21 M.2,6,» Barcelona.
- [27] L. Gu y T. Ozbakkaloglu, «Use of recycled plastics in concrete: A critical review,» *Waste Management*, vol. 51, pp. 19-42, 2016.
- [28] A. B. Kaish, M. Jamil, S. N. Raman, M. F. Zain y L. Nahar, «Ferrocement composites for strengthening of concrete columns: A review,» *Construction and Building Materials*, vol. 160, pp. 326-340, 2018.
- [29] A. Tena Colunga, «Enseñanzas Principales Durante Sismos Recientes,» vol. 1989, pp. 1-37, 2004.
- [30] C. I. DURÁN, *Refuerzo con bandas de fibra de carbono (CFRP) en columnas cortas de concreto reforzado estudio exploratorio*, 2008.
- [31] P. B. Cachim, «Mechanical properties of brick aggregate concrete,» *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 1292-1297, 2009.
- [32] F. M. Khalaf y A. S. DeVenny, «Properties of new and recycled clay brick aggregates for use in concrete,» *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 17, pp. 456-464, 2005.
- [33] H. Binici, «Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties,» *Construction and Building Materials*, vol. 21, pp. 1191-1197, 2007.

- [34] P. Torkittikul y A. Chaipanich, «Utilization of ceramic waste as fine aggregate within Portland cement and fly ash concretes,» *Cement and Concrete Composites*, vol. 32, pp. 440-449, 2010.
- [35] C. Medina, M. I. Sánchez De Rojas y M. Frías, «Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes,» *Cement and Concrete Composites*, vol. 34, pp. 48-54, 2012.
- [36] ASOCRETO, Tecnología del concreto Tomo I, Colombia, 2010.
- [37] J. Á. Peñaloza, «Elaboración de materiales compuestos a base de fibras orgánicas con posibles aplicaciones aeronáuticas.,» 2015.
- [38] F. Stupenengo, «Materiales compuestos,» de *Materiales y materias primas*, Buenos Aires, 2011.
- [39] N. . E. ANASI CHANGO, «Módulo estático de elasticidad del hormigón, en base a su resistencia a la compresión: $f_c = 28$ mpa, fabricado con materiales de la mina villacres, ubicada en el sector de la península cantón ambato en la provincia de tungurahua y cemento holcim,» Quito, 2013.
- [40] Diccionario, «Fundación Laboral de la Construcción,» [En línea]. Available: <http://www.diccionariodelaconstruccion.com/estructuras/albanileria/cemento>. [Último acceso: 06 Julio 2018].
- [41] Cementos Pacasmayo, «Tipo I | Cementos Pacasmayo,» 2018 07 07. [En línea]. Available: <http://www.cementospacasmayo.com.pe/productos-y-servicios/cementos/tradicional/tipo-i/>.
- [42] «Ingeniería Y Arquitectura,» 2018 07 07. [En línea]. Available: [https://manualdelingeniero.wordpress.com/2009/01/31/28/..](https://manualdelingeniero.wordpress.com/2009/01/31/28/)
- [43] «TIPO II,» 2018 07 07. [En línea]. Available: <http://www.cscvenezuela.com.ve/index.php..>

- [44] «Cemento Portland usos y tipos.» 2018 07 07. [En línea]. Available: <http://canalconstruccion.com/cemento-portland-usos-y-tipos.html>.
- [45] E. d. I. T. Civil, «Hormigón,» *Mater Construcción II*, p. 80–97, 2007.
- [46] E. R. Arequipa Maldonado, W. A. Coba Santa Maria, D. F. Garzon Chavez, . D. F. Garzon Chavez y L. A. Vargas Quishpe, «Modulo estatico de elasticidad del hormigon en base a su resistencia a la compresion simple $F'c=21\text{MPa}$ y 30MPa ,» p. 257, 2012.
- [47] Diccionario de la Construcción, «Consistencia del hormigón,» 2018 06 24. [En línea]. Available: <http://www.diccionariodelaconstruccion.com/estructuras/estructuras-de-hormigon/consistencia-del-hormigon>.
- [48] El Hormigon, «Hormigones de ingeniería de Edificación,» p. 41–145, 2002.
- [49] A. Torres, «Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho,» 2014.
- [50] C. T. García, «Materiales-G704 / G742».
- [51] B. O. G. , «Guia practica para el diseño de mezclas de hormigon,» pp. 186, 1987.
- [52] I. G. A. Rivera L, «Dosificación de mezclas de concreto,» p. 169–198, 2013..
- [53] L. Álvarez Valencia, Método de ensayo. Determinación de la resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto., Guatemala.
- [54] A. C496, «Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete,» *Annual Book of ASTM Standards*, vol. I, 2004.
- [55] Varios, «Instituto Ecuatoriano de Normalización,INEN,» 1989.
- [56] INGENIERIA CIVIL EN EL SALVADOR, «ASTM Designación: C 469 - 94,» Abril 2009. [En línea]. Available:

<http://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/04/astm-designacion-c-469-94.html>.
[Último acceso: 11 01 2019].