



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO SIMPLE
CON ADICIÓN DE FIBRAS POLIMÉRICAS RECICLADAS PET

PRESENTADO POR:

JESUS EDUARDO LUGO MEJÍA CÓD.506125
YEFRI STIVEN TORRES PÉREZ CÓD.506161

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO SIMPLE
CON ADICIÓN DE FIBRAS POLIMÉRICAS RECICLADAS PET

PRESENTADO POR:

JESUS EDUARDO LUGO MEJÍA CÓD.506125
YEFRI STIVEN TORRES PÉREZ CÓD.506161

DIRECTOR:

CAMILO HIGUERA FLÓREZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2019



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Compartir bajo la Misma Licencia — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO
DEL CONCRETO SIMPLE CON ADICIÓN DE FIBRAS
POLIMÉRICAS RECICLADAS PET

FECHA: 18 de octubre de 2017

VERSIÓN 3

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

BOGOTA D.C.



DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedicamos a Dios por darnos la dedicación, paciencia y perseverancia para sacar este proyecto adelante, a pesar de todas las circunstancias ocurridas durante la elaboración del proyecto.

Este trabajo de investigación el cual hemos desarrollado, va dedicado también a nuestros padres, que con tanto esfuerzo y dedicación nos han apoyado a lo largo de la carrera, y que gracias a ellos hoy estamos un paso más cerca de cumplir unas de las metas más importantes de nuestra vida profesional.



AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor Camilo Higuera que nos apoyó desde el principio, hasta el final de la elaboración de este proyecto de investigación, temiéndonos paciencia y brindándonos ideas para realizar una investigación de calidad

A las personas encargas de los laboratorios, por su paciencia y su apoyo durante la elaboración de cada una de las prácticas realizadas.

Finalmente, a nuestros familiares por su apoyo moral y la confianza depositada en nosotros



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
1 GENERALIDADES	14
1.1 antecedentes.....	14
1.2 planteamiento del problema.....	15
1.2.1 Descripción del problema	15
1.2.2 Formulación del problema	15
1.2.3 Sistematización	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 JUSTIFICACIÓN	17
1.5 DELIMITACIONES	18
1.5.1 Espacio	18
1.5.2 Tiempo	18
1.5.3 Contenido.....	18
1.5.4 Alcance	18
1.6 MARCO DE REFERENCIA	19
1.6.1 Marco conceptual	19
1.6.2 Marco teórico.....	31
1.6.3 Marco legal.....	34
1.6.4 Estado del arte	37
1.7 METODOLOGÍA.....	40
1.7.1 Consulta bibliográfica	40
1.7.2 Obtención de materia prima.....	40



1.7.3	Características de la materia prima	41
1.7.4	Diseño de mezcla	41
1.7.5	Elaboración de las muestras.....	41
1.7.6	Características de la muestra	42
1.7.7	Obtención y análisis de resultados	42
1.7.8	Elaboración del documento	43
1.8	Cronograma de actividades	42
2	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	43
2.1	Caracterización de agregados	43
2.2	Caracterización del cemento	45
3	DISEÑO DE MEZCLA	47
4	ELABORACIÓN DE MUESTRAS	58
5	ENSAYOS REALIZADOS.....	61
5.1	Ensayo de compresión	61
5.2	Ensayo de tracción	62
5.3	Ensayo de flexión	63
6	RESULTADOS OBTENIDOS	64
6.1	Resistencia a la compresión	64
6.2	Resistencia a la tracción.....	66
6.3	Resistencia a la flexión	67
7	ANÁLISIS DE RESULTADOS	68
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
8.1	Conclusiones.....	70
8.2	Recomendaciones.....	70
9	BIBLIOGRAFÍA.....	71
10	ANEXOS.....	74



TABLA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Figure 1 Sección de prisma sometido a una carga axial	19
Figure 2 Ejemplo de esfuerzo a Tensión.....	20
Figure 3 Ejemplo esfuerzo a compresión	21
Figure 4. Ejemplo esfuerzo a Flexión.....	21
Figure 5. Ejemplo esfuerzo cortante	22
Figure 6-límite de elasticidad	25
Figure 7-Grafica esfuerzo vs deformación	26
Figure 8. Propiedades de los polímeros.....	28
Figure 9. consistencia del hormigon.....	29
Figure 10. Instrumentos para el ensayo de Abrams.....	29
Figure 11. Metodología-Ensayo de Abrams.....	30
Figure 12-VALORES DE ASENTAMIENTO RECOMENDADOS PARA DIVERSAS CLASES DE CONSTRUCCIÓN.....	50
Figure 13-VALORES RECOMENDADOS DE TMN SEGÚN EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN	51
Figure 14-VALORES RECOMENDADOS PARA EL CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN.....	52
Figure 15-requerimientos de agua de mezclado	53
Figure 16-curvas de resistencia a la compresión vs relaciones agua/cemento	54
Figure 17-volumen de gravilla por unidad de volumen de concreto (b/bo)	55
Figure 18- Fundida de cilindros y vigas.....	60
Figure 19 - Prensa.....	61
Figure 20-cilindro a tracción.....	62
Figure 21-esfuerzo a flexión	63
Figure 22- FALLA DE CILINDROS A COMPRESION.....	74
Figure 23-Cilindros con 96 g de fibras a los 7 días de curado.....	76



Figure 24-Falla de cilindros con 188g a los 7 días	77
Figure 25-falla de cilindros con 282 g de fibras a los 7d.....	78
Figure 26-Falla de cilindros a compresión sin fibras a los 28 D.....	79
Figure 27-falla de cilindros con 96 g de fibras a los 28D	80
Figure 28-falla a compresión de cilindros con 188 g a los 28 D	81
Figure 29-falla de cilindros a compresión con 282 g a los 28D	82
Figure 30-falla de cilindros sin fibras a tracción a los 28D.....	83
Figure 31-falla de cilindros con 98 g de fibras a los 28D	84
Figure 32-falla de cilindros con 188g de fibras a los 28D	84
Figure 33-Falla de cilindros a tracción con 282 g de fibras a los 28 D.....	85
Figure 34-Falla de vigas a flexión sin fibras (28D)	86
Figure 35- falla de viga a flexión con 96 g a los 28D	86
Figure 36-Falla de vigas a flexión con 188 (28D).....	87
Figure 37-Falla de vigas a flexión con 282(28D).....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Cantidad de cilindros con fibras PET	41
Tabla 2-Cantidad de vigas con fibras PET	42
Tabla 3- ensayos en agregados gruesos y finos	43
Tabla 4- Granulometría.....	44
Tabla 5- Propiedades químicas del cemento	45
Tabla 6-Propiedades físicas del cemento	46
Tabla 7-Características de la arena	49
Tabla 8-Características de la grava	49
Tabla 9-Característica del cemento	50
Tabla 10-resumen de volúmenes y masas unitarias para un metro cubico	56
Tabla 11-volumen total por mezcla	57



Tabla 12-cantidad de masa unitaria por material, para una mezcla	57
Tabla 13-Tipos de falla	74

ÍNDICE DE GRAFICAS

Graficas 1- Curva granulométrica	44
Graficas 2-Resistencia a la compresión vs cantidad de fibras (7 días).....	64
Graficas 3-Resistencia a la compresión vs la cantidad de fibras (28 días).....	65
Graficas 4- Resistencia a la tracción vs cantidad de fibras (28 días).....	66
Graficas 5-Resistencia a flexión vs cantidad de fibras (28días).....	67



PERIODO: 2019-2

PROGRAMA ACADÉMICO: INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIANTE: YEFRI STIVEN TORRES

CÓDIGO: 506161

ESTUDIANTE: JESUS EDUARDO LUGO

CÓDIGO: 506125

DIRECTOR SUGERIDO: HÉCTOR CAMILO HIGUERA FLÓREZ

ALTERNATIVA: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



RESUMEN

Este trabajo de investigación trata del comportamiento mecánico del concreto con la adición de fibras PET o polímeros reciclables. Además, se recopiló información existente de trabajos realizados anteriormente con el fin de ampliar este eje temático. En el documento se encuentra el diseño de muestra, la metodología, la caracterización de los materiales, el proceso de fundida, curado y posterior falla de muestras. En el proceso de caracterización de las muestras se encuentra la toma del peso de cada muestra, las dimensiones de las mismas, los esfuerzos presentados, las gráficas de resistencias vs cantidad de fibras y finalmente la comparación del concreto común vs el concreto con adición de fibras PET.



INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objetivo recopilar información existente sobre las fibras de polímeros PET, mostrar su utilidad en el sector de la construcción más específicamente en el concreto, presentar una metodología clara de diseño y el desarrollo de una mezcla de concreto con fibras PET, determinar las propiedades mecánicas de dicho concreto y finalmente determinar su viabilidad para su posterior uso en el sector de la construcción, ver el comportamiento de las fibras PET en el concreto en distintas cantidades y con distintos días de curado (7 días, 28 días) lo cual se determinara mediante ensayos de laboratorio, esperando obtener resultados óptimos de las fibras en el concreto y de tal manera generar ideas para el uso de elementos reciclables como lo son las fibras de polímeros. Finalmente buscamos realizar una comparación del concreto común versus el concreto con fibras de polímeros logrando observar así, si este presenta un mejor rendimiento.



1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

En la industria de la construcción siempre se busca presentar mayores valores de resistencia en la compresión y flexión de los elementos estructurales. Esto conlleva a que se hagan mejoras en la mezcla del concreto ya sea con aditivos, o cambiando las proporciones de la mezcla. Adicionalmente el uso de los recursos naturales y la constante afectación que ocasiona el sector de la construcción para el medio ambiente crea la necesidad de buscar soluciones para mitigar y reducir estos impactos ocasionados en cada uno de los proyectos de construcción.

Se han desarrollado diversos estudios de las fibras PET y sus distintos usos, en el sector de la construcción, se ha buscado emplear las fibras PET en diferentes campos, aunque no se habla de las proporciones o cantidades exactas a añadir a la mezcla de concreto para obtener los mejores resultados, sin embargo los resultados han sido alentadores y se han presentado mejoras en varias de las mezclas desarrolladas con las fibras PET, mejorando las propiedades mecánicas del concreto, despertando interés en innovar con estas fibras en buscas de mejorar diversos procesos en el sector de la construcción.

“En la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU) de la Universidad de Buenos Aires existen bolsas de Polietileno, botellas de agua mineral y parachoques de autos, separados de los residuos, los cuales se convertirán por medio de un emprendimiento social en placas de revestimiento, viguetas y otros materiales, para la construcción de casas económicas y de calidad.”¹

Este proyecto nace como la necesidad de continuar innovando en el desarrollo de las construcciones sostenibles. Se busca generar un nuevo tipo de concreto el cual permita generar mayores resistencias con el aprovechamiento de materiales reciclados como lo son las fibras de polímeros PET; De este modo no solo presentar un mejor producto sino reducir el impacto generado en la mayoría de proyectos y obras civiles.

¹ ALESMAR, Luis; RENDÓN, Natalia; KORODY, María Eugenia. DISEÑOS DE MEZCLA DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) – CEMENTO. [En línea], VOL 23, N° 1 Caracas Venezuela, [Citado24-Marzo-2019]. Disponible en internet: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000100006



1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema

Reducir el impacto ambiental de la construcción, con la ayuda de materiales amigables con el medio ambiente.

Las fibras de polímeros reciclables PET atienden a este llamado con la ayuda de estas se busca generar un concreto con propiedades mecánicas iguales o mejores a las del concreto convencional, promoviendo el desarrollo de las construcciones sostenibles y sustentables.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es el comportamiento a compresión, flexión y tracción del concreto con adiciones de fibras PET recicladas?

1.2.3 Sistematización

- ¿Es viable el uso de las fibras PET en el concreto?
- ¿se puede convertir el concreto en un elemento amigable con el medio ambiente?
- ¿Qué se necesita para que las fibras PET funcionen en el concreto y mejore sus propiedades?



1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Describir el comportamiento mecánico del concreto simple con diferentes porcentajes de adición de fibras poliméricas recicladas PET.

1.3.2 Objetivos específicos

- Recopilación de información existente sobre el uso de las fibras PET en ingeniería civil
- Establecer dentro del diseño de la mezcla, las proporciones ideales de cada material para 1m³ de concreto.
- Determinar la resistencia a la compresión, tracción y flexión de la mezcla de concreto con la adición de polímeros
- Realizar la comparación de resistencia entre el concreto común y el modificado con fibras, adicionalmente revisar el balance económico y ver el beneficio del mismo.



1.4 JUSTIFICACIÓN

La problemática ambiental que crece diariamente sin dar tregua crea la necesidad de buscar soluciones para reducir y mitigar los impactos generados por los distintos procesos industriales, se cree que cerca del 40% de los océanos del mundo han sido afectados por residuos y basuras, juntamente los ecosistemas terrestres se han visto gravemente afectados por el manejo de residuos y desechos, varios estudios señalan al sector de la construcción como uno de los más grandes responsables. Uno de los principales agentes contaminantes es el plástico el cual tarda cientos de años en degradarse. el tereftalato de polietileno o también conocido como PET es uno de los muchos tipos de plásticos existentes, es un plástico transparente, ligero, fuerte, es usados en bebidas y textiles, la reutilización del PET es una tendencia debido a que este puede ser reciclado múltiples veces, la industria de la construcción no se queda atrás y también ha empezado a emplear el PET en diferentes procesos, a través de este proyecto buscamos ampliar el conocimiento que se tiene acerca de las fibras PET, analizando sus propiedades mecánicas en conjunto con él concreto y así promover más su uso y ayudar a mitigar en gran medida los impactos y afectaciones generados diariamente al medio ambiente.



1.5 DELIMITACIONES

1.5.1 Espacio

La caracterización de los materiales y la mezcla de los mismos se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad Católica De Colombia, el espacio para ejecutar cualquier investigación similar debe contar con una serie de elementos, como lo son: trompo de mezcla, camisas para testigos o cilindros, formaletas para vigas, prensa o maquina universal, un espacio adecuado donde se pueda realizar la fundida de las muestras, un tanque para el curado de las muestras.

1.5.2 Tiempo

La disponibilidad de tiempo es uno de los factores más importantes, para este proyecto solo se contó con un periodo de 6 meses (junio-noviembre) en el cual se ejecutó a cabalidad todos los objetivos propuestos y el desarrollo del trabajo.

Tabla 1-Tiempos empleados en el laboratorio

Actividad	tiempo empleado (H)
Caracterización de materiales (grava, arena, cemento, fibras)	6
Elaboración de muestras (2H X Diseño)	8
Desenfrado de muestras (30 min X Diseño)	2
Falla de muestras y toma de resultados (2 H por falla de muestra)	8

Fuente de elaboración propia

1.5.3 Contenido

Recopilación de información existente, antecedentes, teorías relacionadas con el tema, metodología y desarrollo del proyecto, análisis y conclusión de resultados

1.5.4 Alcance

El proyecto tiene como fin describir el comportamiento mecánico del concreto con la adición de las fibras PET, adicionalmente identificar la proporción ideal de fibras para el aumento de la resistencia en el concreto.



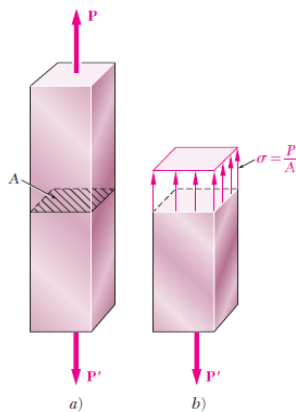
1.6 MARCO DE REFERENCIA

1.6.1 MARCO CONCEPTUAL

1.6.1.1 Esfuerzo Axial o Normal

Según el libro Mecánica de materiales de Ferdinand P. Beer se define esfuerzo como: “La fuerza por unidad de área, o la intensidad de las fuerzas distribuidas a través de una sección dada, se llama esfuerzo sobre esa sección y se representa con la letra griega σ (sigma). El esfuerzo en un elemento con área transversal A sometido a una carga axial P se obtiene, por lo tanto, al dividir la magnitud P de la carga entre el área A ”²

Figure 1 Sección de prisma sometido a una carga axial



ECUACIÓN DE ESFUERZO

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

P: Carga axial actuante.

A: Área de sección transversal

Fuente 1. PIERRE, Ferdinand; RUSSELL JOHNSTON, E. Jr.; T. DEWOLF, John. MECANICA DE MATERIALES. 5ta Ed. Mc Graw Hill. 5 P.

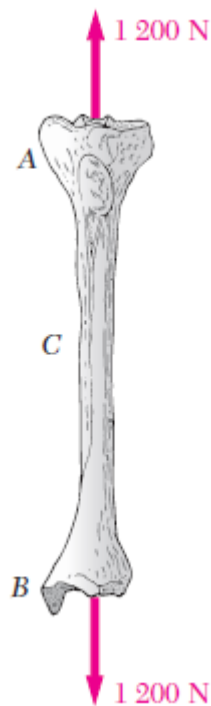
² PIERRE, Ferdinand; RUSSELL JOHNSTON, E. Jr.; T. DEWOLF, John. MECANICA DE MATERIALES. 5ta Ed. Mc Graw Hill. 5 P.



1.6.1.2 Esfuerzo A Tensión

Este esfuerzo es ocasionado cuando una estructura está sometido a dos fuerzas o cargas de sentido opuesto entre sí, ocasionando que la estructura se deforme por alargamiento.

Figure 2 Ejemplo de esfuerzo a Tensión



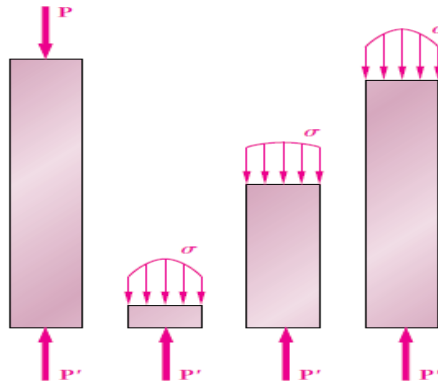
Fuente 2. PIERRE, Ferdinand; RUSSELL JOHNSTON, E. Jr.; T. DEWOLF,
John. MECANICA DE MATERIALES. 5ta Ed. Mc Graw Hill. 18 P.



1.6.1.3 ESFUERZO A COMPRESIÓN

una estructura es sometida a un esfuerzo de compresión si está bajo la acción de dos fuerzas en sentido opuesto, que ocasiona una deformación por aplastamiento sobre la estructura.

Figure 3 Ejemplo esfuerzo a compresión

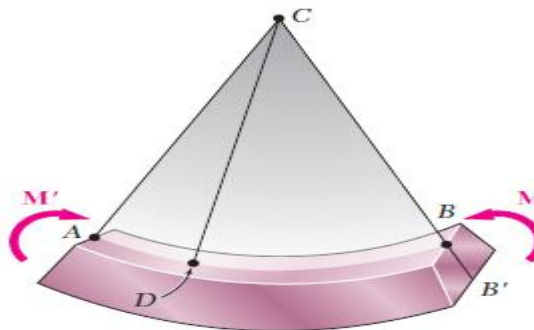


Fuente 3. PIERRE, Ferdinand; RUSSELL JOHNSTON, E. Jr.; T. DEWOLF,
John. MECANICA DE MATERIALES. 5ta Ed. Mc Graw Hill. 8 P.

1.6.1.4 Esfuerzo A Flexión

Una estructura está sometida a flexión cuando se encuentra bajo fuerzas que provocan que la estructura se doble.

Figure 4. Ejemplo esfuerzo a Flexión



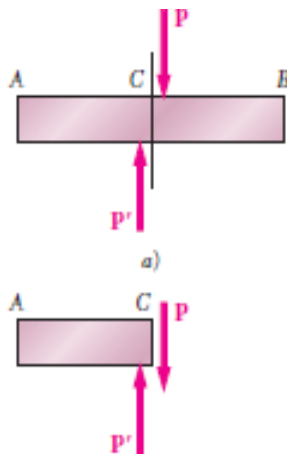
Fuente 4. Ferdinand; RUSSELL JOHNSTON, E. Jr.; T. DEWOLF,
John. MECANICA DE MATERIALES. 5ta Ed. Mc Graw Hill. 213 P.



1.6.1.5 Esfuerzo Cortante

Según el libro de mecánica de materiales de Ferdinand P. Beer³ el esfuerzo cortante se da al dividir el cortante P entre el área A de la sección transversal, se obtiene el esfuerzo cortante promedio en la sección. El cual se representa a través de la letra griega τ (tau).

Figure 5. Ejemplo esfuerzo cortante



ECUACIÓN ESFUERZO CORTANTE

$$\tau_{prom} = \frac{P}{A}$$

Donde:

τ : esfuerzo cortante promedio

P : Fuerza transversal

A : Área sección transversal

Fuente 5. PIERRE, Ferdinand; RUSSELL JOHNSTON, E. Jr.; T. DEWOLF, John. MECANICA DE MATERIALES. 5ta Ed. Mc Graw Hill. 35 P.

³ PIERRE, Ferdinand; RUSSELL JOHNSTON, E. Jr.; T. DEWOLF, John. MECANICA DE MATERIALES. 5ta Ed. Mc Graw Hill. 35 P.



1.6.1.6 Ley De Hooke o De Elasticidad

La ley de Hooke habla acerca de la deformación sobre un material elástico la cual es directamente proporcional al esfuerzo aplicado.

Ecuación ley de HOOKE

$$\sigma = E\varepsilon$$

Donde:

σ = Esfuerzo axial

ε = Deformación

E= Modulo de elasticidad

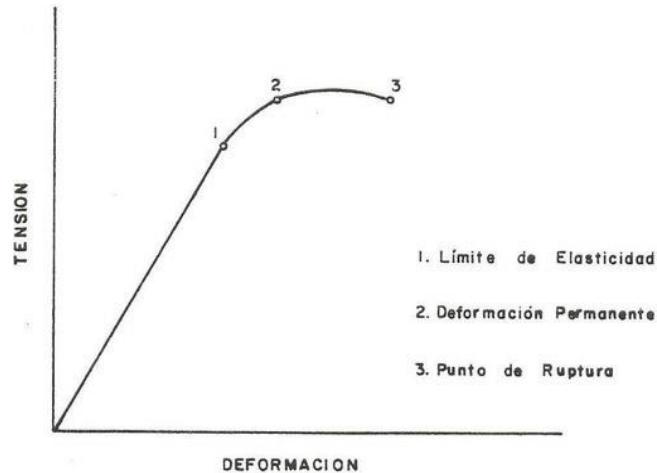
1.6.1.7 Elasticidad

La elasticidad se refiere a la propiedad mecánica que hace que los materiales tengan la posibilidad de deformarse por fuerza externas y volver a su estado original sin romperse o fracturarse. Los materiales completamente elásticos pueden llegar hasta cierta deformación máxima, que es lo que se conoce como límite elástico.⁴

⁴ ING. OSORIO, Jesús. ARGOS-Blog. ¿QUÉ ES EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN EL CONCRETO? [En línea], [Citado24-Marzo-2019]. Disponible en internet: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>



Figure 6-límite de elasticidad



Fuente 6-<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>

1.6.1.8 Limite elástico

El limite elástico o también conocido como límite de elasticidad, es la tensión máxima que puede llegar a soportar un material elástico sin presentar deformaciones permanentes.⁵

1.6.1.9 Módulo de Young o de elasticidad

El módulo de elasticidad de un material hace referencia a la relación, entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Cuando se presenta una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación unitaria a esta se le denomina LEY DE HOOKE.⁶

⁵ ACADEMIC. Diccionario académico. Limite elástico. [En línea], [Citado24-Marzo-2019]. Disponible en internet: http://enciclopedia.universal.esacademic.com/54169/L%C3%ADmite_el%C3%A1stico

⁶ ING. OSORIO, Jesús. ARGOS-Blog. ¿QUÉ ES EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN EL CONCRETO? [En línea], [Citado24-Marzo-2019]. Disponible en internet: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>



Figure 7-Grafica esfuerzo vs deformación

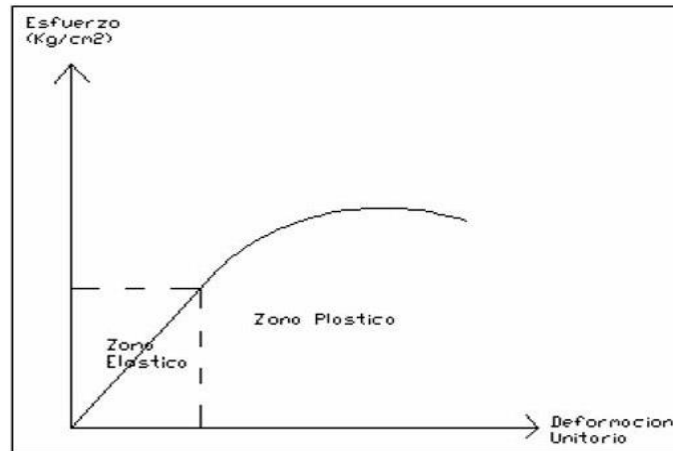


Figura 1. Grafica Esfuerzo - Deformación

Fuente 7-<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>

1.6.1.10 Módulo de elasticidad estática del concreto

El módulo de elasticidad del hormigón representa la rigidez del concreto ante una carga impuesta sobre el mismo. El ensayo para poder determinar el Módulo de elasticidad estática del concreto se realiza por medio de la NTC 4025 la cual tiene como antecesora a la ASTM C 469, esta tiene como principio la aplicación de una carga estática y su deformación unitaria correspondiente.

La primera fase es la zona elástica, donde el esfuerzo y la deformación unitaria pueden extenderse aproximadamente entre 0% al 40% y 45% de la resistencia a la compresión del concreto.⁷

⁷ ING. OSORIO, Jesús. ARGOS-Blog. ¿QUÉ ES EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN EL CONCRETO? [En línea], [Citado 24-Marzo-2019]. Disponible en internet: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>



1.6.1.11 Polímeros

Es una molécula en forma de cadena donde cada unidad química se repite a lo largo de la misma y por lo general en cantidades muy grandes. la relación por la cual se forman los polímeros se denomina polimerización que consiste en la formación de monómeros activados, eventualmente la cadena activada y por último pierde actividad y se produce el polímero.⁸

los polímeros sobresalen de los materiales que se componen por moléculas de tamaño normal debido a que sus propiedades mecánicas tienen cierta resistencia debido a la fuerza de atracción que existe entre las cadenas.

1.6.1.12 PET

Se caracteriza por una alta pureza, resistencia y tenacidad. Presenta propiedades de transparencia y resistencia química. Existen una variedad de PET y se clasifican por su peso molecular y cristalinidad. Los de bajo peso molecular se denominan fibras, los de un peso molecular medio se llaman grado película y los de mayor peso molecular, grado ingeniería. Este material no presenta estiramiento y no lo afectan ácidos ni gases atmosféricos, es resistente al calor y no absorbe mucha cantidad de agua, forma fibras fuertes y flexibles. Su punto de fusión es elevado, y esto facilita su planchado, es resistente ante el ataque de bacterias, polillas y hongos.

⁸ UNIVERSIDAD Rafael Landívar. POLIMEROS. [En línea], [Citado 24-Marzo-2019]. Disponible en internet: <https://www.coursehero.com/file/p2bv727/1-FUNDAMENTO-TE%3%93RICO-MARCO-TE%3%93RICO-POL%3%8DMEROS-Un-pol%3%ADmero-es-una-mol%3%A9cula-en/>



Figure 8. Propiedades de los polímeros

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,34 – 1,39
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0.01 – 0.04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ / °C	15.2 – 24
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3.65
Absorción de agua (24 h)	%	0.02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Fuente: *Industria del Plástico. Plástico Industrial. Richardson & Lokensgard.*

Fuente 8. Industria del Plástico. Plástico industrial Richardson & Lokensgard

1.6.1.13 Método de asentamiento del cono de Abrams

Es un ensayo sencillo de realizar, que permite medir la consistencia de un hormigón fresco, además no requiere de equipos costosos o difíciles de adquirir, ni de personal especializado. Genera resultados eficientes, ya que el resultado de asentamiento medido es menor, será mayor el trabajo que tienen que realizar los operarios y las máquinas que manipulan el hormigón en la obra.⁹

⁹ UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL, Determinación de la consistencia del hormigón fresco mediante el ensayo de asentamiento con el tronco de cono de Abrams, [En línea], [Citado 24-Marzo-2019]. Disponible en internet: http://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/1384/Ensayo_de_consistencia_de_hormig%C3%B3n_y_confecci%C3%B3n_de_probetas.pdf

Figure 9. consistencia del hormigon

Consistencia del Hormigón	Aspecto	Asentamiento [cm]	Método de compactación
A – 1	Suelto y sin cohesión	1,00 a 4,50	Vibración potente, apisonado enérgico en capas delgadas
A – 2	Levemente cohesivo	5,00 a 9,50	Vibración normal, varillado y apisonado
A – 3	Levemente fluido	10,00 a 15,00	Vibración leve, varillado
A – 4	Fluido	15,50 a 22,00	Muy leve y cuidadosa vibración, varillado.

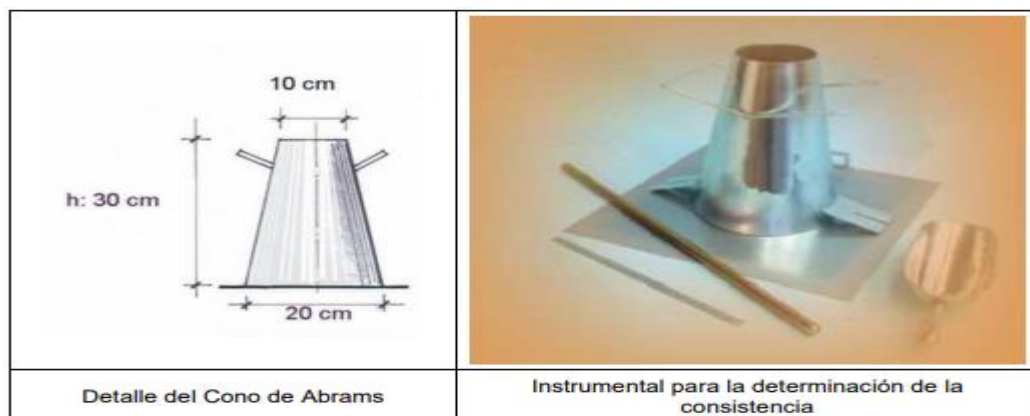
Fuente 9.

http://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/1384/Ensayo_de_consistencia_de_hormig%C3%B3n_y_confecci%C3%B3n_de_probetas.pdf

Instrumentos

- Tronco de cono de chapa de 30 cm de altura, 20 cm de diámetro en la base mayor y 10 cm en la menor.
- Varilla de acero común liso de 16 mm de diámetro y 60 cm de longitud con la punta redondeada en semiesfera.
- Regla graduada que permita apreciar al 0,5 cm.

Figure 10. Instrumentos para el ensayo de Abrams



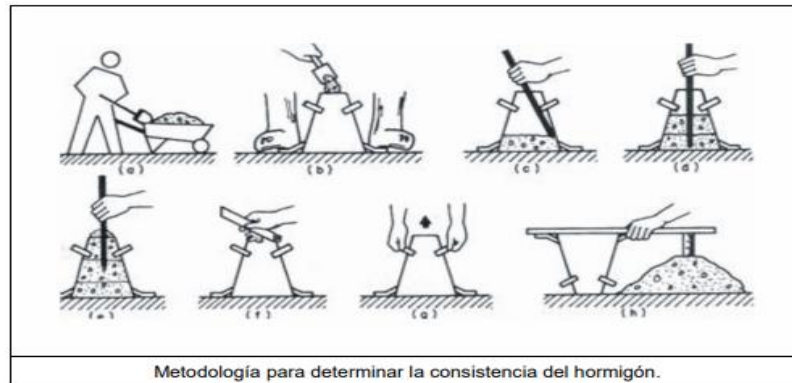
Fuente 10.

http://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/1384/Ensayo_de_consistencia_de_hormig%C3%B3n_y_confecci%C3%B3n_de_probetas.pdf



Procedimiento: Se ubica el tronco de cono sobre un área lisa, plana, horizontal, no absorbente y, además asegurado al piso. El cono tiene unas alitas en la parte inferior donde el operario tiene que pararse para que el cono no se mueva y se sujete con el propio peso del operario. La mezcla a la que se va realizar el ensayo, se vierte con una cuchara en tres capas iguales de volumen y en cada uno de estas capas se realizan 25 golpes con la varilla metálica. Se nivela la última capa con la cuchara para que de esta manera quede lisa la superficie del hormigón y sea más eficiente el ensayo y por último se levanta el molde tomándolo de las manijas.¹⁰

Figure 11. Metodología-Ensayo de Abrams



Fuente 11.

[http://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/1384/Ensayo de consistencia de hormig%C3%B3n y confecci%C3%B3n de probetas.pdf](http://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/1384/Ensayo_de_consistencia_de_hormig%C3%B3n_y_confecci%C3%B3n_de_probetas.pdf)

Medición: Se ubica la varilla sobre el molde, de forma perpendicular a la muestra y se mide el descenso en el punto central de la base superior con respecto a la altura original después de haber retirado el molde.

Después de ser medido el asentamiento, se golpea suavemente la probeta con la barra. El comportamiento del hormigón en esta fase le ayuda a determinar al operario la cohesión, trabajabilidad y plasticidad de la mezcla. Un asentamiento lento y uniforme revela buen comportamiento; si es de mala calidad, se desmorona y el material se segrega.

¹⁰ UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL, Determinación de la consistencia del hormigón fresco mediante el ensayo de asentamiento con el tronco de cono de Abrams, [En línea], [Citado 24-Marzo-2019]. Disponible en internet: http://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/1384/Ensayo_de_consistencia_de_hormig%C3%B3n_y_confecci%C3%B3n_de_probetas.pdf



1.6.2 MARCO TEÓRICO:

1.6.2.1 Estudios de le las fibras pet

Las fibras pet han generado un gran impacto en los estudios de materiales reutilizables y amigables con el medio ambiente, ya que hoy en día se busca reducir costos y generar uso de aquellos materiales que botamos a diario. Por lo tanto, se han realizado una serie de estudios en diferentes sitios del mundo.

En la Universidad Nacional de México realizaron un estudio del comportamiento mecánico del polietileno tereftalato (pet) y sus aplicaciones geotécnicas, y para esto ejecutaron una investigación de la reutilización de envases de polietileno-tereftalato (pet) como una sustancia de materiales ligeros que usan en la nivelación o reemplazo del suelo, para ello realizaron búsqueda de la caracterización mecánica de los envases de pet más populares y definieron que estas fibras se utilizan para estructuras ligeras.

Al realizar una serie de ensayos mecánicos definieron que estos envases pet representan una alternativa potencial para el uso como material de reemplazo, aligeramiento y nivelación en secciones con grandes áreas que vayan a ser sometidas a cargas livianas.

La resistencia química de las fibras PET ante la acción de agentes promedio, hacen que la durabilidad de la estructura obtengas más vida útil.¹¹

En la Universidad Nacional Autónoma De México realizan un estudio del uso del polietileno tereftalato(PET) como material de restitución en suelos de baja capacidad de carga, inicialmente realizaron estudios para conocer el comportamiento estático de los envases de PET mediante una prueba de laboratorios y de esta manera poder clasificar diversos envases para bebidas carbonatadas y agua mineral poseen una mayor resistencia que aquellos usados para el envasado de agua.

También realizaron un estudio del comportamiento de envases rellenos de residuos inorgánicos, y concluyeron que estos envases aumentan su resistencia a un 140% y su peso a un 570% por lo tanto al utilizarlo en una estructura es bastante interesante debido a que no solo se reutiliza el envase sino también el material inorgánico que lo rellena.¹²

¹¹ (Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas, 2014)

¹² (PÉREZ, 2012)



1.6.2.2 impacto ambiental del PET

El PET es uno de los materiales con mayores aptitudes para el reciclado, por lo tanto, en la sociedad como en cada uno de los hogares, se está generando la cultura de reciclar este tipo de material, y de esta manera distribuirlo en cada una de las empresas encargadas en la reutilización de este material y puntos de recolección de este, llegando a ser uno de los principales materiales más reutilizados a nivel mundial, también a logrado ser de gran interés para cada estudiante o persona interesada de realizar algún proyecto, usando el PET como un material adicional que puede generar mejoras en el producto. Este material se ve reutilizado en productos como: alfombras, cuerdas, cepillos, escobas y últimamente es frecuente verlo representado en fibras las cuales de utilizan como material adicional en mezclas de obras civiles.¹³

1.6.2.3 Historia de las fibras PET

El PET, es conocido también como tereftalato de polietileno, fue patentado como un polímero para fibra por J.R. Whinfield y J.T. Dickson en 1941. La fabricación comercial de la fibra de poliéster comenzó en 1955; Y desde ese momento el PET ha presentado un continuo crecimiento tecnológico hasta lograr un alto nivel de sofisticación basado en el desarrollo de la demanda del producto a escala mundial y la variación de sus posibles usos.

Whinfield y Dickson junto con los inventores W.K. Birtwhistle y C.G. Ritchie they crearon la primera fibra de poliéster llamada Terileno en 1941 (primera producción de Industria Química Imperial o ICI). La segunda fibra de poliéster fue el Dracón de DuPont.

“en 1920, DuPont estaba en competencia directa con Industria Química Imperial. DuPont e ICI acordaron en octubre de 1929 compartir información acerca de las patentes e investigaciones desarrolladas. En 1952, la alianza de las compañías fue disuelta. El polímero que después llegó a ser poliestireno tiene inicios en las escrituras de Wallace Carothers. Sin embargo, DuPont se dedicó a concentrarse en una investigación más prometedora, el nylon. Cuando DuPont reasumió su investigación del poliéster, la ICI había patentado el poliestireno de Terileno. En 1950, una planta piloto en Seaford, Delaware, facilitó la producción de la fibra de Dacrón (poliéster) con la modificación de la tecnología del nylon”¹⁴

¹³ (Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas, 2014)

¹⁴ (QuimiNet, 2005)



En 1976 se dio inicio a la utilización del PET para la fabricación de recipientes leves, transparentes y resistente principalmente para líquidos. Además de eso también ha tenido un desempeño extraordinario para empaques.

“En la actualidad el PET ha evolucionado con la tecnología permitiendo el desarrollo en las siguientes etapas:

1. Sustitución de otros materiales y evolución del peso del envase de PET.
2. Evolución de materiales constituyentes o relacionados con el envase.
3. Impacto en la logística - distribución
4. Desarrollo de la industria y de la tecnología de Reciclado.
5. Desarrollo de mercados de usuarios de PET2.”¹⁵

1.6.2.4 Aplicaciones de fibras PET

Las fibras son usadas en el concreto con frecuencia en busca de reducir las fisuras y de aumentar la resistencia al agrietamiento, se suelen añadir cantidades bajas de fibras menores o cercanas al 1% del peso del concreto.

Existen diferentes tipos de fibras:

- **Fibra de vidrio:** Todos aquellos compuestos hechos en base a las fibras de vidrio son conocidos como GRC (Glass Fiber Reinforced Cement), estas fibras presentan una alta durabilidad, ayudan a combatir la rigidez inducida por la hidratación. El uso más frecuente del concreto con fibras de vidrio es para la elaboración de paneles para fachada.
- **Fibras sintéticas:** son aquellas que son elaboradas por el hombre, principalmente por la industria petroquímica y textil, y los tipos de fibras sintéticas existentes son de poliéster, polietileno, polipropileno, nylon, aramida, acrílicas y carbón. La función de estas fibras es disminuir la contracción plástica y con ello la fisuración en el concreto.
- **Fibras de acero:** Compuesta por pequeños tramos de acero discontinuos con una relación longitud diámetro alrededor de 20-100. Este tipo de fibras se usa para concretos prefabricados en busca de aumentar la resistencia a los impactos o la tenacidad.

¹⁵ (ING. ARMANDO, 2014)



1.6.3 MARCO LEGAL

1.6.3.1 NSR-10: TITULO C - Concreto Estructural

“El Título C proporciona los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos de concreto estructural de cualquier estructura construida según los requisitos del NSR-10 del cual el Título C forma parte. El Título C también cubre la evaluación de resistencia de estructuras existentes.”¹⁶

En dicho título podemos encontrar el capítulo C3-MATERIALES dentro del mismo se encuentra los ensayos de materiales y los aditivos que sería lo que respecta para este proyecto.

EL capítulo C4-REQUISITOS DE DURABILIDAD y el capítulo C5-CALIDAD DEL CONCRETO, MEZCLADO Y COLOCACION, el cual en el numeral C.4.3, C.5.2, C.5.3 da las pautas o requisitos para las mezclas de concreto.

1.6.3.2 CCP-14: Norma Colombiana De Diseño De Puentes

“Las disposiciones de la sección 5 se aplican al diseño de elementos de puentes y de muros de contención contruidos con concreto de densidad normal o concreto liviano y reforzados con barras de acero, mallas electro soldadas, y/o torones, barras, o alambres pretensados. Las disposiciones se basan en resistencias de concreto que varían entre 17.5 MPa a 70 MPa, excepto donde se permita resistencias más altas para concreto de densidad normal”¹⁷
Las subsecciones que respectan al proyecto serian:

5.4-PROPIEDADES DE LOS MATERIALES:

los diseños deben basarse en las propiedades de los materiales citadas aquí y en el uso de los materiales que cumplan con las normas para los grados de materiales de construcción que se especifican en AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications.

5.5-ESTADOS LIMITES:

Los elementos estructurales deben dimensionarse para satisfacer los requisitos en todos los estados límites de servicio, fátiga, resistencia y eventos extremos.

¹⁶ REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. TITULO C CONCRETO ESTRUCTURAL. Alcance C.1.1. C-1 P. LEY 400-1997 BOGOTÁ DC.

¹⁷ NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES. SECCIÓN 5-ESTRUCTURAS EN CONCRETO. Alcance 5.1. 5-1 P. Convenio de asociación No. 1314 de 2013 INGENIERIA SISMICA-AIS.



5.6-CONSIDERACIONES DE DISEÑO:

Los elementos y las conexiones deben diseñarse para resistir combinaciones de carga que se especifican en la sección, en todas las etapas durante la vida de la estructura, incluyendo aquellas durante la construcción. Los factores de carga deben ser los que se especifican en la sección 3.

5.7-DISEÑO PARA FUERZAS DE FLEXIÓN Y FUERZAS AXIALES:

La resistencia de los elementos de concreto debe basarse en las condiciones de equilibrio y compatibilidad de deformaciones, con los factores de resistencia especificados en el artículo 5.5.4.2.

1.6.3.3 NTC-673-Ensayo De Resistencia A La Compresión De Especímenes Cilíndricos De Concreto

“Este método de ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene un peso unitario mayor que 800 kg/m³ [50 lb/ft³].”¹⁸

1.6.3.4 NTC-3459- AGUA PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO

“Esta norma tiene por objeto determinar el método para establecer por medio de ensayos, si el agua es apropiada para la elaboración de concreto. Los ensayos a que se refiere esta norma no proporcionan información con respecto a la durabilidad del concreto a largo plazo.”¹⁹

¹⁸ NORMA TECNICA COLOMBIANA. SECCION NTC-673 CONCRETOS. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO. Objeto 1 P. 3RA actualización. Decreto 2269 de 1993 INCONTEC.

¹⁹ NORMA TECNICA COLOMBIANA. SECCION NTC-3459 CONCRETOS. AGUA PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO. Objeto 1 P. 3RA actualización. Decreto 2269 de 1993 INCONTEC.



1.6.3.5 NTC-4025- MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y LA RELACIÓN DE POISSON EN CONCRETO A COMPRESIÓN

“Esta norma determina: (1) el módulo de elasticidad secante (o módulo de Young) y (2) la relación de Poisson de cilindros de concreto normalizados y núcleos de concreto, cuando éstos se hallan bajo esfuerzos de compresión longitudinal. Las definiciones de módulo de elasticidad secante y de relación de Poisson, se encuentran en las definiciones de la NTC 4525 (ASTM E6).”²⁰

1.6.3.6 I.N.V.E-402-07: Elaboración Y Curado En El Laboratorio De Muestras De Concreto Para Ensayos De Compresión Y Flexión

“Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto compactado por apisonado o vibración como se describe en la presente norma.”²¹

1.6.3.7 ASTM C 192/C 192M –02: Práctica Normalizada Para La Preparación Y Curado De Las Muestras De Ensayo De Hormigón En El Laboratorio

“Esta práctica describe los procedimientos para preparar (curar las probetas de ensayo de hormigón en el laboratorio bajo un control preciso de los materiales (de las condiciones de ensayo, usando hormigón que puede ser consolidado mediante apisonado o vibración como lo describe esta práctica.”²²

²⁰ NORMA TECNICA COLOMBIANA. SECCION NTC-4025- MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y LA RELACIÓN DE POISSON EN CONCRETO A COMPRESIÓN. Objeto 1 P. 3RA actualización. Decreto 2269 de 1993 INCONTEC.

²¹ NORMA I.N.V SECCION 400. Sub sección 400-07 ELABORACIÓN Y CURADO EN EL LABORATORIO DE MUESTRAS DE CONCRETO PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN. Objeto 1 P.

²² NORMA ASTM. SECCION C 192/C 192M – 02 PRÁCTICA NORMALIZADA PARA LA PREPARACIÓN Y CURADO DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO DE HORMIGÓN EN EL LABORATORIO. Alcance 1 P.



1.6.4 ESTADO DEL ARTE

A lo largo de la historia la humanidad ha ido evolucionando al pasar el tiempo, lo cual hace ver cosas innovadoras cada día, y de esta manera motivar otras personas a crear o mejorar cosas que ayuden en diferentes sectores de la industria. En las fibras de polímeros reciclados en el concreto se ven varios estudios los cuales tienen como propósito principal ayudar al medio ambiente y algunos de ellos son:

1. En la Universidad de Chiang Mai en Tailandia el 3 de febrero del año 2017 se aprobó un artículo acerca de un estudio comparativo sobre la elasticidad del hormigón cauchutado con y sin fibras de poli (terefalato de etileno). Este estudio consistió en ver el comportamiento del concreto agregándole materiales de desechos reciclables. Y según una serie de estudios e informes acerca de caucho de miga y fibra de poli (tereftalato de etileno) (PET), que fueron importantes para el estudio que se realizó. (Optimization of mechanical properties in concrete reinforced with fibers from solid urban wastes (PET bottles) for the production of ecological concrete, 2017)

Al concreto se le realizó una mezcla de 7 proporciones diferentes de caucho de miga con 2 en diferentes proporciones de fibras PET, y de esto se recolectaron 108 muestras de cilindros de concreto para probar la resistencia a la compresión, los cilindros contaban con un diámetro de 100mm, los cuales se observaron a los 3, 7 y 28 días de curado. Y llegaron a la conclusión que el valor aplicable del caucho de miga no debía exceder el 8% para cumplir el requisito. Resistencia a la flexibilidad, el índice de ductilidad, disipación de energía y análisis de deformación, se utilizaron 6 muestras de vigas de hormigón armado las cuales fueron sometidas a una carga de 40.000 kg a los 28 días de ser fundidas.

Y como resultado final obtuvieron que el concreto reciclado tiene una menor resistencia a la compresión que un hormigón convencional, pero además es evidente que el concreto adiciones de cauchos de miga y fibras PET, mejoraron significativamente a la flexibilidad, disipación de energía y capacidad de tensión, comparado con el concreto convencional.²³

²³ (A comparison study on elasticity of rubberized concrete with and without poly (ethylene terephthalate) fibre , 2017)



2. El 22 de agosto del 2015 fue publicado un artículo que consiste en el Uso de los residuos plásticos en el concreto y su revisión, el cual consiste en una visión general de algunas investigaciones realizadas anteriormente del aprovechamiento de los residuos plásticos en hormigón. En donde se tuvieron en cuenta tres tipos de plásticos que son: las partículas PET, fibra plástica, hojuelas de plástico pequeños. Donde a cada uno de ellos se tiene en cuenta su trabajabilidad, densidad fresca y seca, fuerza compresiva, resistencia a la tracción dividida, fuerza flexible, módulo de elasticidad, conductividad térmica y prueba de velocidad de pulso ultrasónico (UPVT).²⁴

A partir de cada uno de estos temas mencionados anteriormente, concluyeron que al incluir plástico en el hormigón no mejora efectivamente la resistencia del hormigón. Sin embargo, es útil para superficies de plástico con materiales reactivos, como humo de sílice y metakaolin. Además, la trabajabilidad y el módulo de elasticidad del concreto disminuye a medida que aumenta la cantidad de residuos plásticos. Para mejorar la compresión del hormigón con fibras plásticas se debe tener un tratamiento con lejía alcalina y esto ayudara a que el hormigón reforzado con fibra pueda mejorar. La resistencia a la flexión del hormigón mejora con la adición de fibras plásticas y además ayuda a detener la propagación de grietas. Y por último el hormigón reforzado con fibras plásticas puede usarse para estructuras que no estén sometidas a cargas muy pesadas, como bancos de parque y piedra bordillo y esto ayudara a reducir la cantidad de residuos plásticos.²⁵

3. El 1 de junio del 2017 fue publicado un artículo que trata de la Optimización de propiedades mecánicas en el hormigón armado con fibras de residuos sólidos urbanos (botellas PET) para la producción de un hormigón ecológico. Esto fue creado con la necesidad de resolver problemas estructurales como grietas causadas por la retracción de fraguado y además para evaluar el comportamiento de las fibras PET en el producto a creado llamado concreto ecológico o hormigón ecológico, con el fin de optimizar las propiedades mecánicas de compresión y tensión, basándose en la norma de Asociación Brasileña de Estándares Técnicos (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT) para el concreto convencional.

²⁴ (Use of different forms of waste plastic in concrete e a review, 2015)

²⁵ (Use of different forms of waste plastic in concrete e a review, 2015)



Se refleja en los resultados de este artículo que el porcentaje del volumen de fibras agregadas al concreto tienen una influencia en la resistencia a compresión y en la tracción del hormigón ecológico, además las longitudes de las fibras también afectan la resistencia a la tracción. Por lo tanto, generaron algunos modelos matemáticos que ayudan a definir una longitud y volumen adecuado de fibras PET para que el hormigón ecológico sea más eficiente a la hora de estar sometido a cargas.²⁶

4. El 28 de enero del 2016 la Universidad de Malta publicó un artículo acerca del rendimiento en edades tempranas y las características mecánicas del hormigón reforzado con fibras PET. Donde se analiza el rendimiento del hormigón reforzado con fibras PET producidas a partir de residuos no biodegradables.

Se realizaron 9 muestras con dos perfiles (fibras rectas y deformes) de fibra ya que tenían longitudes diferentes, una de 50mm y otra de 30mm, también con tres volúmenes distintos que son del 0,5%, 1% y 1,5%. Se concluyó que las fibras PET recicladas conduce a una reducción entre el 0.5% y el 8.5% en resistencia a la compresión y a flexión, comparado con la mezcla control que viene a ser el concreto convencional y es reflejado en ambos perfiles de fibras al aumentar las fracciones de volumen. Las muestras que contienen fibras más cortas se comportaron mejor que las fibras más largas. Ante la resistencia residual las muestras con mayores volúmenes fibra obtuvieron un mejor comportamiento.

Las fibras de longitud más corta tuvieron una capacidad de carga menor comparado con las otras mezclas y también una ligera reducción en la resistencia residual post-grieta y una baja fuerza de unión o compactación.

Lo que conlleva a mejoras interesantes en el rendimiento de varias características del concreto con fibras PET, ofreciendo una alternativa potencial para este material usado en obras civiles o arquitectónicas.²⁷

²⁶ (Optimization of mechanical properties in concrete reinforced with fibers from solid urban wastes (PET bottles) for the production of ecological concrete, 2017)

²⁷ (Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET, 2016)



1.7 METODOLOGÍA

1.7.1 Consulta bibliográfica

En esta etapa se realizó la consulta y selección bibliográfica de información necesaria para tener las bases teóricas y conceptuales que ayudan a la elaboración y desarrollo del proyecto, búsqueda de toda la información existente.

1.7.2 Enfoque de la investigación

Una vez realizada la consulta bibliográfica y la realización del estado del arte, se escogió el enfoque para la investigación, en este caso fue la proporción o cantidad de fibras que tenía que tener la mezcla para que presentara las mayores resistencias ante la acción de los esfuerzos de tracción, flexión y compresión.

1.7.3 Objetivos a cumplir con la realización de la investigación

Con el enfoque claro de investigación y la temática establecida se procede a trazar los objetivos con el fin de que la investigación a realizar tenga un fin, en este caso promover el uso de las fibras PET en el concreto, aumentado la resistencia del mismo y generar en la comunidad la conciencia del uso y la utilidad de los elementos reciclables.

1.7.4 Viabilidad económica y relevancia de la investigación

Se identificó la importancia del enfoque del proyecto, en busca de ampliar el conocimiento existente sobre este tema. Posteriormente Se estableció un presupuesto de trabajo en el cual se incluyó: la compra y transporte de los materiales necesarios para la mezcla, el equipo y la herramienta, el tiempo empleado y los imprevistos que pudieran presentarse.

1.7.5 Creación del cronograma y búsqueda de materiales

Se definen los tiempos de ejecución del proyecto, tales como: prácticas de laboratorio, búsqueda y obtención de materia prima, diseño, elaboración de muestras, análisis, y elaboración de documento

1.7.6 Obtención de materia prima

Para esta etapa se realiza la cotización de cada uno los materiales, que sean cómodos a nuestro presupuesto y a la vez que sean eficientes a la hora de realizar la muestras.

Finalmente se realizará la compra y obtención de la materia prima para la elaboración de las muestras.

1.7.7 Características de la materia prima

En esta etapa se realiza la verificación de los materiales pétreos, cementante y fibras PET, Con sus respectivas pruebas de laboratorio.

- Cemento: Pruebas de densidad y finura del cemento; y estas deben estar reguladas por la norma NTC mencionada anteriormente.
- Agregados pétreos: humedad natural, absorción, granulometría, masas unitarias, densidad.
- Fibras PET recicladas: Resistencia a tensión, densidad.

1.7.8 Diseño de mezcla

En esta fase se realiza las proporciones con una cantidad de fibras PET del peso de la muestra del concreto. Se caracterizarán los materiales (concreto, arena y gravilla) para cada una de las muestras a realizar tanto viguetas como cilindros y su respectiva etiqueta para que sea más fácil de identificar a la hora de realizar el estudio. Se hace más énfasis de este ítem en el capítulo 3.

1.7.9 Elaboración de las muestras

En esta etapa se pretende realizar la fundición de las mezclas del concreto con fibras PET reciclables, se pretende realizar un aproximado de 144 muestras con PET y 12 sin fibras PET distintas características dadas en el siguiente cuadro. Se hace más énfasis de este ítem en el capítulo 4 del documento.

Tabla 2- Cantidad de cilindros con fibras PET

CILINDROS			
	TIEMPOS DE CURADO	kg x m3	# DE MUESTRAS
COMPRESIÓN	7 DÍAS	SIN FIBRAS	3
		2	3
		4	3
		6	3
	28 DÍAS	SIN FIBRAS	3
		2	3
		4	3
		6	3

TRACCIÓN	28 DÍAS	SIN FIBRAS	3
		2	3
		4	3
		6	3
TOTAL, DE MUESTRAS			36

Fuente de elaboración propia

Tabla 3-Cantidad de vigas con fibras PET

VIGAS			
3 MUESTRAS X ENSAYO	TIEMPOS DE CURADO	CANTIDAD DE FBR (KG/M3)	# DE MUESTRAS
FLEXIÓN	28 DÍAS	SIN FIBRAS	2
		2	2
		4	2
		6	2
TOTAL, DE MUESTRAS			8

Fuente de elaboración propia

1.7.10 Características de la muestra

Se realizan las pruebas mecánicas para poder evaluar el comportamiento de los materiales, se llevará a cabo el ensayo del cono de Abrams para determinar el asentamiento de las muestras y otras propiedades como durabilidad, trabajabilidad, consistencia y proporción.

– los ensayos a realizar serán: esfuerzo a compresión, esfuerzo a tracción, esfuerzo a flexión. Adicionalmente dentro de estos ensayos podrá determinarse la deformación y los módulos de elasticidad correspondientes.

1.7.11 Obtención y análisis de resultados

Se procede a fallar las muestras, los cilindros a los 7 días a compresión y a los 28 días nuevamente a compresión y a tracción, finalmente las vigas a flexión a los 28 días, para esto se emplea la maquina universal. Se hace énfasis de estos ensayos en los posteriores capítulos.



1.7.12 Elaboración del documento

Después obtener los resultados y sus respectivos análisis, se elaboran graficas de esfuerzo deformación se concluye sobre ellas, se determina el porcentaje más efectivo de fibras PET y se termina la elaboración del trabajo haciendo las respectivas comparaciones entre el concreto común y el que tiene fibras PET adicionadas.



1.8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

No.	PROCESOS / ACTIVIDAD A DESARROLLAR	MES	JUN				JUL				AGO				SEP				OCT				NOV				CONTROL DEL CUMPLIMIENTO
			SE	MA	NA	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	%Cumplimiento Mes de Análisis	
1	CONSULTA BIBLIOGRAFICA	P																								100%	
		E	█	█	█	█																					
2	OBTENCION DE MATERIA PRIMA	P																								100%	
		E					█	█	█																		
3	CARACTERIZACIÓN	P																								100%	
		E								█	█																
4	DISEÑOS DE MEZCLA	P																								100%	
		E									█	█	█														
5	ELABORACION DE MEZCLAS	P																								100%	
		E												█	█	█											
6	CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS	P																								100%	
		E														█	█	█									
7	OBTENCIÓN DE RESULTADOS	P																								100%	
		E															█	█	█								
8	ANALISIS	P																								100%	
		E															█	█	█	█							
9	ELABORACION DE DOCUMENTOS	P																								100%	
		E																█	█	█	█						
		P: Programado, E: Ejecutado																							TOTAL, EJECUTADO: 100%		



2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

2.1 CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

Lo primero antes de realizar el diseño de mezcla es caracterizar cada uno de los materiales comprados, la arena, la grava y el cemento, esto se realizó durante diferente ensayo y los resultados concernientes se encuentran presente en las siguientes tablas.

Tabla 4- ensayos en agregados gruesos y finos

Ensayo	Método	Requisito	Resultado
Gravedad especifica agregado 1"	AASHTO T84-00 AASHTO T85-91		2,51
Gravedad aparente agregado 1"			2,61
absorción agregado 1"			1,75%
Gravedad especifica agregado 3/4"			2,52
Gravedad aparente agregado 3/4"			2,65
adsorción agregado 3/4"			1,85%
Gravedad especifica arena de rio			2,51%
Gravedad aparente arena de rio			2,64%
absorción arena de rio			1,68%
equivalente de arena	AASHTO T 176-02	50% mínimo	76%
caras fracturadas a una cara	ASTM D 5821-01	78% mínimo	87%
índice de alargamiento	NLT 354-91	10% max	9,50%
índice de aplanamiento	NLT 354-91	10% max	9,50%
ataque en sulfato de magnesio	ASTM C 88-99a	18% max	12,90%
microdeval	AASHTO T 327-05	25% max	22,30%
10% de finos (resistencia en seco)	DNER ME 096-98	90 KN min	115 KN
10% de finos (relación húmedo/seco)		75% min	83%
Resistencia Máquina de los Ángeles	AASHTO T 96-02	35% max	24,60%

Fuente de elaboración propia

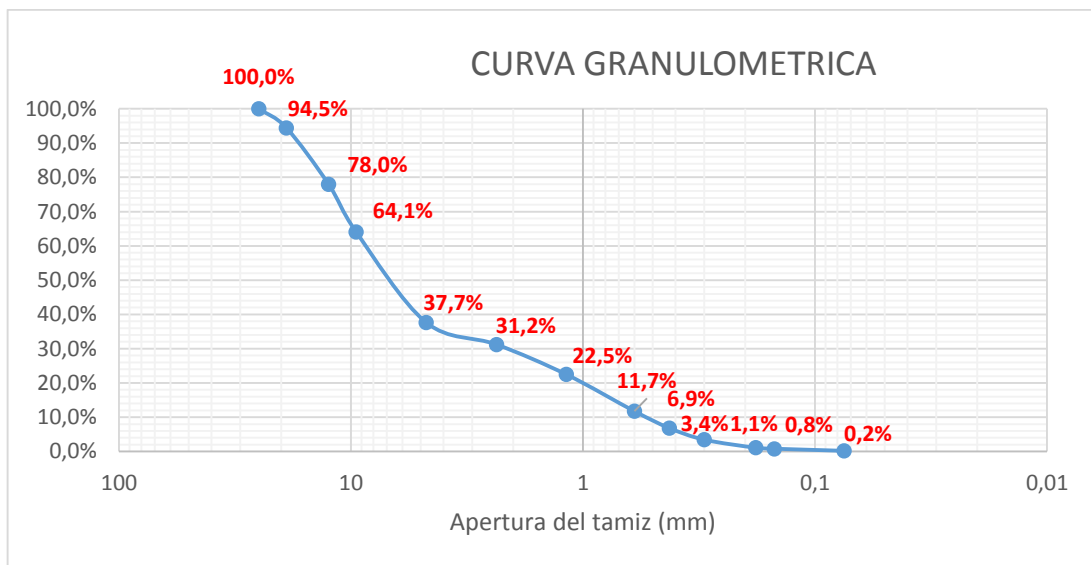


Tabla 5- Granulometría

TAMIZ	APER. mm	RETENIDO (G)	%RETENIDO	% QUE PASA	%RETENIDO ACUMULADO
1"	25	0	0,0%	100,0%	0,0%
3/4"	19	257,03	5,5%	94,5%	5,5%
1/2"	12,5	763,69	16,4%	78,0%	22,0%
3/8"	9,5	648,93	14,0%	64,1%	35,9%
#4	4,75	1225,93	26,4%	37,7%	62,3%
#8	2,36	300,43	6,5%	31,2%	68,8%
#16	1,18	406,27	8,7%	22,5%	77,5%
#30	0,6	499,09	10,7%	11,7%	88,3%
#40	0,425	226,98	4,9%	6,9%	93,1%
#50	0,3	159,04	3,4%	3,4%	96,6%
#80	0,18	108,95	2,3%	1,1%	98,9%
#100	0,15	13,31	0,3%	0,8%	99,2%
#200	0,075	28,31	0,6%	0,2%	99,8%
FINOS		9,27	0,2%	0,0%	100,0%
Σ		4647,23	100,0%		

Fuente de elaboración propia

Graficas 1- Curva granulométrica



Fuente de elaboración propia



2.2 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO

En cuanto al cemento empleado, trabajamos con una marca comercial HOLCIM la ficha técnica tomada de su página nos sirvió de referencia para poder caracterizar el cemento que empleamos en el diseño de mezcla.

Tabla 6- Propiedades químicas del cemento

Composición química	
Oxido	%
SiO ₂ %	40.7
Al ₂ O ₃ %	7
Fe ₂ O ₃ %	2.66
CaO %	40.3
MgO %	0.7
SO ₃ %	3.5
P.I. %	3.8
Na ₂ O %	0.1
K ₂ O %	0.84
TiO ₂ %	0.33
P ₂ O ₅ %	0.26
Cl %	0
Suma	100.2

Fuente de elaboración propia



Tabla 7-Propiedades físicas del cemento

Ensayos físicos			
Ensayo	Unidad	Resultado	Especificación NTC 121_2014
Blaine	m ² /kg	520	N.A.
Densidad	g/cm ³	2.7	N.A.
Finura 45 µm	%	14.2	N.A.
Fraguado inicial- Vicat	minutos	155	45-420
Fraguado final- Vicat	minutos	255	N.A.
Consistencia Normal	%	28.5	N.A.
Resistencia 1 día	Mpa	5.2	N.A.
Resistencia 3 días	Mpa	12.2	≥ 8
Resistencia 7 días	Mpa	19.3	≥ 15
Resistencia 28 días	Mpa	33	≥ 24
A/C	-	54.6	N.A.
Contenido de aire	%	3	≤ 12
Expansión Autoclave	%	0.02	≤ 0,80
Expansión barras mortero	%	-0.01	≤ 0,020

Fuente de elaboración propia



2.3 CARACTERIZACIÓN DE FIBRAS

Las fibras empleadas para la elaboración de las mezclas son a base de polietileno, este material se consigue 100% de materiales reutilizados, dentro de diferentes tipos de envases plásticos. Estas fibras poseen una contextura rugosa, corrugada, son delgadas y flexibles.

Figure 12-Fibras PET empleadas en la mezcla



Fuente de elaboración propia

Una de las principales empresas productoras de estas fibras es ACEBRI SAS “una empresa cuyos orígenes se remontan al año 1983, cuando el Señor Carlos Briceño empieza la actividad industrial, desde ese momento hasta la fecha de hoy Acebri ha tenido una serie de transformaciones adaptándose a las circunstancias, a las nuevas oportunidades y a las realidades cambiantes con el fin de resolver los retos planteados en pro de la competitividad y adaptación cuando los resultados de los negocios no son favorables. Acebri siempre ha preservado la ética empresarial y la seriedad comercial, convirtiéndose en una importante compañía en la transformación de plásticos y en la construcción de obras civiles brindando soluciones a sectores claves de la economía.”²⁸ La marca bajo la cual esta empresa comercializa estas fibras es “fibraplas concrete”²⁹

²⁸ (ACEBRI, 2019)



A continuación, se presentan las características de las fibras empleadas para la mezcla:

Tabla 8- Características de las Fibras

Parametro	Dato
Diámetro (mm)	0,68
Longitud (mm)	25
Densidad (g/cm ³)	1,26
Resistencia a tensión (Mpa)	385
Módulo de elasticidad (Mpa)	4405

Fuente 12 Elaboración propia

Los porcentajes utilizados por mezcla se presentan a continuación:

Tabla 9- Porcentajes utilizados por mezcla

cantidad de fibras por mezcla	
% de fibras de la mezcla	cantidad total de fibras en kg dentro de la mezcla
0,088%	0,094
0,176%	0,188
0,264%	0,282

Fuente 13 Elaboración propia



3 DISEÑO DE MEZCLA

La resistencia que se desea lograr con este diseño es de 4000 psi, $f'c = 27$ mpa. Este diseño de mezcla se realizó en base a los procedimientos del American Concrete Institute elaborado por el comité ACI 211 y el de Road Note Laboratory (RNL). Este método americano ACI es muy reconocido y ampliamente usado. Se basa en la relación agua/cemento desarrollado por Abrams. y esto consiste básicamente en una serie de pasos para la determinación de la cantidad de cada material en peso y en volumen, para 1m³ de concreto.

Principalmente antes de realizar nuestro diseño se deben tener los siguientes datos:

- ✓ 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 compactada de la grava
- ✓ Humedad de los agregados inmediatamente antes de hacer las mezclas
- ✓ Densidad del cemento

Tabla 10-Características de la arena

arena	
δ_a (kg/m ³)	2573
MUC(kg/m ³)	1900
MF	2.8
abs(%)	1.68

Fuente de elaboración propia

Tabla 11-Características de la grava

grava	
δ_g (kg/m ³)	2520
MUC(kg/m ³)	1750
abs(%)	1.85
TMN	3/4"

Fuente de elaboración propia

Tabla 12- Característica del cemento

cemento	
δ_c (kg/m ³)	2800

Fuente de elaboración propia

Después de los datos anteriores podemos guiarnos con algunos datos experimentales para definir algunas de las variables que se necesitan para nuestro diseño

- ✓ Elección del asentamiento

Basándonos en la figura 12 valores de asentamiento recomendados para diversas clases construcción. Definimos que este asentamiento va a ser de 5cm, ya que tendrá una consistencia (tipo de concreto) semi-seca y un grado de trabajabilidad pequeño debido a que se piensa usar para fundaciones en concreto simple.

Figure 13- VALORES DE ASENTAMIENTO RECOMENDADOS PARA DIVERSAS CLASES DE CONSTRUCCIÓN

ASENTAMIENTO (CM)	CONSISTENCIA (TIPO DE CONCRETO)	GRADO DE TRABAJABILIDAD	TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN
0-2,0	MUY SECA	MUY PEQUEÑO	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaletas
2,0-3,5	SECA	PEQUEÑO	Pavimentos vibrados con máquina mecánica
3,5-5,0	SEMI-SECA	PEQUEÑO	Construcciones en masas voluminosas. 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
10,0-15,0	HUMEDA	ALTO	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración

Fuente 14-NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.



- ✓ Elección del tamaño máximo nominal (TMN)

Según la figura 13 Para elegir el tamaño máximo nominal se toma como referencia la dimensión mínima de los elementos a fundir, por lo tanto, las dimensiones mínimas de nuestras muestras están en el rango de 6-15cm, eso quiere decir que el TMN es de $\frac{3}{4}$ ".

Figure 14-VALORES RECOMENDADOS DE TMN SEGÚN EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN

DIMENSIÓN MÍNIMA DEL ELEMENTO (cm)	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL EN MM (PULGADAS)			
	MUROS REFORZADOS, VIGAS Y COLUMNAS	MUROS SIN REFUERZO	LOSAS MUY REFORZADAS	LOSAS SIN REFUERZO O POCO REFORZADAS
6-15	12(1/2") - 19(3/4")	19(3/4")	19(3/4") - 25(1")	19(3/4") - 38(1 1/2")
19-29	19(3/4") - 38(1 1/2")	38(1 1/2")	38(1 1/2") - 76(3")	
30-74	38(1 1/2") - 76(3")	76(3")	38(1 1/2") - 76(3")	76(3")
75 O MAS	38(1 1/2") - 76(3")	152(6")	38(1 1/2") - 76(3")	76(3") - 152(6")

Fuente 15-NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

- ✓ Estimar el contenido de aire

En la figura 14 con el TMN podemos obtener el porcentaje promedio aproximado de aire atrapado en la mezcla. Como nuestro TMN es de $\frac{3}{4}$ " eso quiere decir que nuestro contenido de aire en el concreto es del 2%



Figure 15-VALORES RECOMENDADOS PARA EL CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN

AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA LOS SIGUIENTES GRADOS DE EXPOSICIÓN		
PULGADAS	mm		SUAVE	MEDIANO	SEVERO
3/8	9,51	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,50	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19,10	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25,40	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38,10	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	5,0
3	76,1	0,3	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

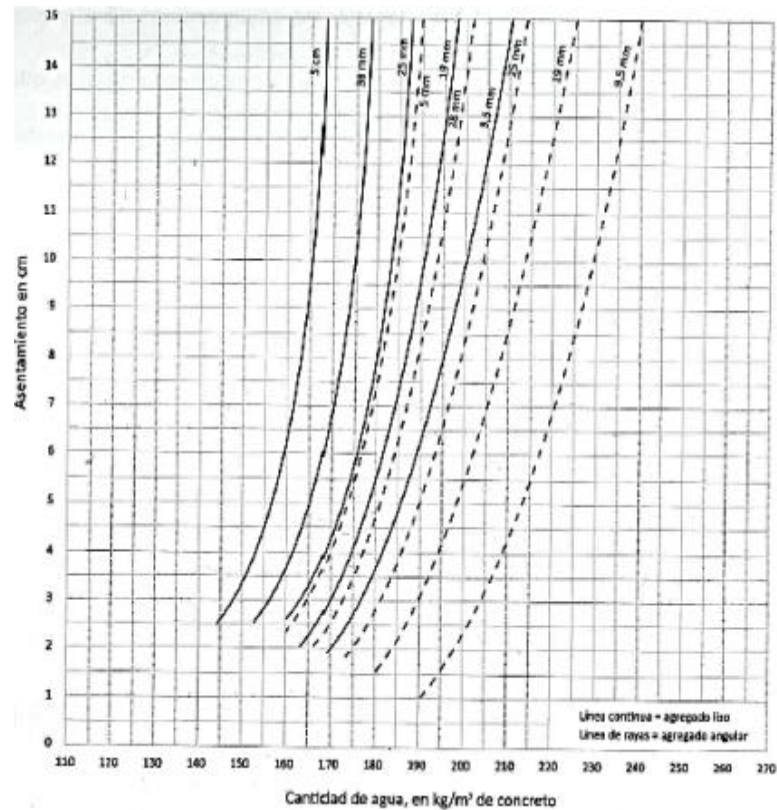
Fuente 16-NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

- ✓ Estimación de la cantidad de agua de mezclado

En la figura 15 se ve una gráfica la cual depende del asentamiento y el tamaño máximo nominal, para poder hallar la cantidad de agua, en kg/ m³ de concreto. Tenemos un asentamiento de 5cm y un TMN de 19mm, al ubicarnos en la gráfica y relacionar los datos nos da una proporción de 183 kg/m³, y como estos datos son para 1m³, multiplicamos 183kg/m³ * 1m³ y nos da una masa de 183kg, teniendo este valor ya podemos sacar el volumen dividiéndolo por la densidad (1000kg/m³) y nos da un volumen de 0.183m³.



Figure 16-requerimientos de agua de mezclado



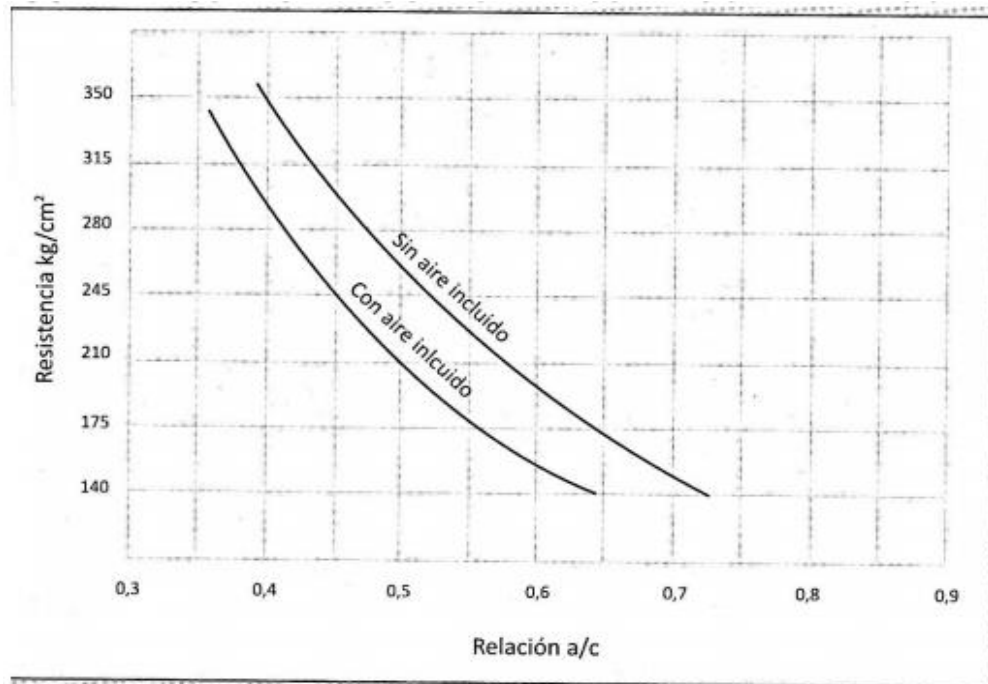
Fuente 17-NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

- ✓ Elección de la relación agua/cemento (a/c)

En la figura 16 se refleja las curvas de resistencia a la compresión vs relaciones agua cemento, por lo tanto, de esta grafica se toma el dato de la relación agua cemento con la resistencia del material y ubicándonos en la curva de "sin aire incluido". Nuestra resistencia es de 280kg/cm² por lo tanto nuestra relación a/c es de 0.48 aproximadamente.



Figure 17-curvas de resistencia a la compresión vs relaciones agua/cemento



Fuente 18-Fuente NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

✓ Cálculo del contenido de cemento

Al tener la relación agua/cemento(a/c) y el contenido de agua(a), calculados en los dos pasos anteriores, se despeja el contenido de cemento (c)

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

Ecuación 1

Al hacer la operación nos da un contenido de cemento de 381.25kg, por lo tanto, al dividirlo por la densidad de 2800kg/m³ nos da un volumen de 0.136m³



✓ Estimación del contenido de agregado grueso

Se hace la sumatoria de los volúmenes hallados anteriormente (volumen cemento 0.136m³, volumen de agua 0.183m³ y volumen del aire 0.02m³) eso nos da un total de 0.339m³, por lo tanto, el restante es para los agregados (Vag 0.661m³).

Para hallar el contenido de agregado grueso por metro cubico. Se basa en el volumen del agregado grueso, seco y apisonado por volumen unitario de concreto (m³) y esto se expresa en la relación b/bo donde b es el volumen de las partículas de agregados gruesos por metro cubico de concreto y bo es el volumen de las partículas del agregado grueso por metro cubico de agregado grueso.

Nos ubicamos en la figura 17 no ubicamos con nuestro máximo tamaño nominal de 3/4" o 19mm y con nuestro módulo de finura de 2.8 esto nos da una de relación de b/bo de 0.62

Figure 18-volumen de gravilla por unidad de volumen de concreto (b/bo)

MÁXIMO TAMAÑO NOMINAL DE AGREGADOS		VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO SECADO EN EL HORNO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES MÓDULOS DE FINURA DE AGREGADO FINO			
		MÓDULO DE FINURA			
PULGADAS	mm	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8	9,51	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2	12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	19,1	0,66	0,64	0,62	0,60
1	25,4	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	38,1	0,75	0,73	0,71	0,69
2	50,8	0,78	0,76	0,74	0,72
3	76,1	0,82	0,80	0,78	0,76
6	152,4	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente 19-NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

El volumen de los agregados gruesos por metro cubico de concreto se calcula multiplicando el valor de b/bo obtenido anteriormente, por el valor de bo' (volumen de partículas de agregado grueso por metro cubico de agregado grueso). Este valor de bo' se obtiene a partir de la más unitaria compactada (MUC) y de la densidad de la grava (dg).

$$bo' = \frac{MUC}{dg}$$

Ecuación 2



Donde el MUC es de 1750kg/m³ y el dg es de 2520kg/m³, esto quiere decir que nuestro valor de bo' es igual a 0.694.

Obtenidos los anteriores datos multiplicamos bo' por la relación b/bo para sacar el volumen de los agregados gruesos, que nos da un valor de 0.43 (Vg). Este valor lo multiplicamos por la densidad (2520kg/m³) para sacar el valor de la masa por metro cubico y da 1085kg.

✓ Estimación del contenido de agregado fino

Ya calculado el volumen de los agregados gruesos, la forma de calcular este volumen de una manera exacta es restándole a un metro cubico el volumen del agua, aire, cemento, y agregados gruesos. Con lo dicho anteriormente se realiza la operación y nos da un volumen de agregados finos de 0.231m³ por lo tanto este valor se multiplica por la densidad para sacar el valor de la masa por metro cubico y da un valor de 594kg.

✓ Resumen de los valores obtenidos anteriormente

Tabla 13-resumen de volúmenes y masas unitarias para un metro cubico

material	v(m ³)	m(kg)
cemento	0.136	381
agua	0.183	213
aire	0.02	0
arena	0.231	594
grava	0.43	1085
fibras		.2-4-6

Fuente de elaboración propia

✓ Cantidad de mezcla para 9 cilindros y 2 vigas más desperdicios

Esta cantidad de mezcla es básicamente respecto a los volúmenes que tienen los cilindros y las vigas, donde las dimensiones de los cilindros son de 5cm de diámetro y 20cm de altura, las vigas tienen un ancho de 15cm por 15cm de altura y una longitud de 55cm.

Donde se elaboraron 9 cilindros y 2 vigas por mezcla, así que volumen para estas muestras es de 0.047m³, dentro de este se tuvo en cuenta un 20% de desperdicio.



Tabla 14-volumen total por mezcla

Volumen para cantidad de material		
9 cilindros	14137	cm3
2 vigas	24750	cm3
total	38887	cm3
total	38.887	lts
total + desperdicio	0.047	m3

Fuente de elaboración propia

Al tener este volumen por mezcla se realiza la multiplicación de dicho volumen por las masas unitarias por metro cubico, con el fin de sacar el peso por material y de esta manera realizar la mezcla.

Tabla 15-cantidad de masa unitaria por material, para una mezcla

cantidades para 9 cilindros y 2 vigas		
cemento	17.78	kg
agua	10.24	kg
arena	27.74	kg
grava	50.57	kg
fibras	.094-.188-.282	kg

Fuente de elaboración propia



4 ELABORACIÓN DE MUESTRAS

Para realizar el diseño de mezcla, lo primero que se debe realizar es caracterizar los materiales que se van a emplear mediante ensayos de laboratorio. Para poder así conocer las características físicas de los materiales.

Una vez caracterizados los materiales y con el diseño de mezcla calculado previamente en el capítulo anterior, se procede a medir el material y separar las cantidades para posteriormente realizar la mezcla.

Al fundir las vigas y los testigos (cilindros) se debe tener en cuenta que debe vaciarse el concreto dentro del molde en 3 capas esto con el fin de ir sacando los vacíos dentro del molde, para esto se emplea una varilla apisonadora con punta redonda de 5/8" de diámetro y se da una serie de golpes alrededor de cada capa con fin de sacar todos los vacíos en la mezcla, una vez llena la formaleta o molde se debe enrazar la mezcla para esto puede emplearse una llana, espátula o hasta la misma varilla apisonadora, y por ultimo deben golpearse los costados de la formaleta de 10 a 15 veces en busca de eliminar los últimos vacíos presentes en la mezcla para esto se emplea un mazo de caucho o comúnmente llamado chapulín.

Finalmente se procede a dejar las muestras en un lugar seguro donde pueda fraguar el concreto, esto proceso lo general tarda alrededor de 2 días después de este tiempo procede a desencofrarse las muestras y sumergirlas en la piscina de cilindros para que entren en su tiempo de curado.

El concreto es uno de los materiales con mayores resistencias a la compresión. Mediante la adición de fibras PET se busca aumentar aún más esta característica del concreto para ello empleamos 24 cilindros con diferentes características:

6 cilindros sin fibras los cuales fueron fallados a los 7 y 28 días de curado esto con el fin de ver la resistencia original del concreto sin fibras.

6 cilindros con un porcentaje de fibras de 0.088% del peso de la muestra es decir para este caso 2 kg por m³ de mezcla los cuales fueron fallados a los 7 y 28 días esto con el fin de determinar cómo se comportaba el concreto con una cantidad relativamente baja de fibras.

6 cilindros con un porcentaje medio de fibras del 0.176%, para esta mezcla se emplearon 4 kg por m³ de mezcla.

Y finalmente 6 cilindros con un porcentaje aún más alto de fibras del 0.264%, 6 kg por m³ de mezcla.



El proceso de fundida se efectuó en varias sesiones de laboratorio, durante el proceso de fundida, el único cambio dentro del diseño de la mezcla era la cantidad de fibras (véase la tabla) el diseño original del concreto nunca se modificó, el asentamiento medido por el cono de Abrams en promedio fue de 5cm, por ultimo durante el proceso de fundida de los testigos o cilindros se tuvo en cuenta sacar los vacíos dentro de la mezcla para esto se vació el concreto en 3 capas y cada una era compactada mediante 15 golpes alrededor de la mezcla de manera circular y con una varilla.

Tabla 16-Diseño de muestras

<i>Diseño para 2kg x m3</i>			
	Peso por material para 1m3 (kg)	peso para 0,047m3 (kg)	% del material dentro de la mezcla
Cemento	381	17,907	17%
Agua	213	10,011	9%
arena	594	27,918	26%
grava	1085	50,995	48%
fibras	2	0,094	0,088%
PESO TOTAL	2275	106,925	100%

<i>Diseño para 4kg x m3</i>			
	Peso por material para 1m3 (kg)	peso para 0,047m3 (kg)	% del material dentro de la mezcla
Cemento	381	17,907	17%
Agua	213	10,011	9%
arena	594	27,918	26%
grava	1085	50,995	48%
fibras	4	0,188	0,176%
PESO TOTAL	2277	107,019	100%

<i>Diseño para 6kgx m3</i>			
	Peso por material para 1m3 (kg)	peso para 0,047m3 (kg)	% del material dentro de la mezcla
Cemento	381	17,907	17%
Agua	213	10,011	9%
arena	594	27,918	26%
grava	1085	50,995	48%
fibras	6	0,282	0,264%
PESO TOTAL	2279	107,113	100%

Fuente 20 Elaboración propia



Para tracción se emplearon 12 cilindros de concreto, los cuales se fundieron con las mismas proporciones que los cilindros para compresión: sin fibras, 2 kg/m³, 4 kg/m³, 6 kg/m³.

Se fundieron 3 muestras de cada uno y con un tiempo de curado de 28 días.

Finalmente, para flexión se fundieron 4 vigas de 0.15mx0.15mx0.55m, sin fibras, 2 kg/m³, 4 kg/m³, 6 kg/m³. Todas con un tiempo de curado de 28 días.

Figure 19- Fundida de cilindros y vigas



Fuente de elaboración propia



5 ENSAYOS REALIZADOS

5.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN

Este ensayo consiste en determinar la resistencia del hormigón a las deformaciones cuando actúa sobre este un esfuerzo de compresión.

La máquina empleada para realizar el fallo de los cilindros a compresión fue la prensa, una vez introducido el cilindro dentro de la prensa esta comienza a aplicar carga a compresión hasta que el testigo fallaba. De esta manera se determinaba la carga ultima. Y con esta los esfuerzos.

$$\sigma = \frac{p}{a} = \frac{p}{\pi * r^2}$$

Ecuación 2- Esfuerzo de compresión en cilindros

r =radio del cilindro

P=carga ultima soportada por el cilindro

σ = esfuerzo ultimo de compresión

Figure 20 - Prensa



Fuente de elaboración propia



5.2 ENSAYO DE TRACCIÓN

Este ensayo consiste en determinar la resistencia de los cilindros sometidos a esfuerzos de tracción, para este se emplea la prensa o la maquina universal se colocan los cilindros de manera transversal y se procede a aplicar carga hasta que el cilindro falla, con esta carga ultima se procede a determinar el esfuerzo ultimo dado por:

$$\sigma = \frac{2p}{\pi * D * h}$$

Ecuación 3- Esfuerzo de tracción en cilindros

D =Diámetro del cilindro

P=carga ultima soportada por el cilindro

σ = esfuerzo ultimo de tracción

h=altura del cilindro

Figure 21-cilindro a tracción



Fuente de elaboración propia



5.3 ENSAYO DE FLEXIÓN

Para poder determinar la resistencia del concreto a flexión se deben emplear vigas, con secciones de 0.55x0.15x0.15 según lo estipula la norma, el concreto a flexión presenta una menor resistencia a la flexión o a la comparación, para ello se pone la viga dentro de la maquina universal y procede a someterse a carga hasta que esta falla siendo esta la carga ultima se calcula el esfuerzo mediante la ecuación:

$$\sigma = \frac{P * L}{B * H^2}$$

Ecuación 4- Esfuerzo de flexión en vigas

L =largo de la viga

P=carga ultima soportada por la viga

B= Base de la viga

H= Alto de la viga

σ = esfuerzo ultimo de flexión

Figure 22-esfuerzo a flexión



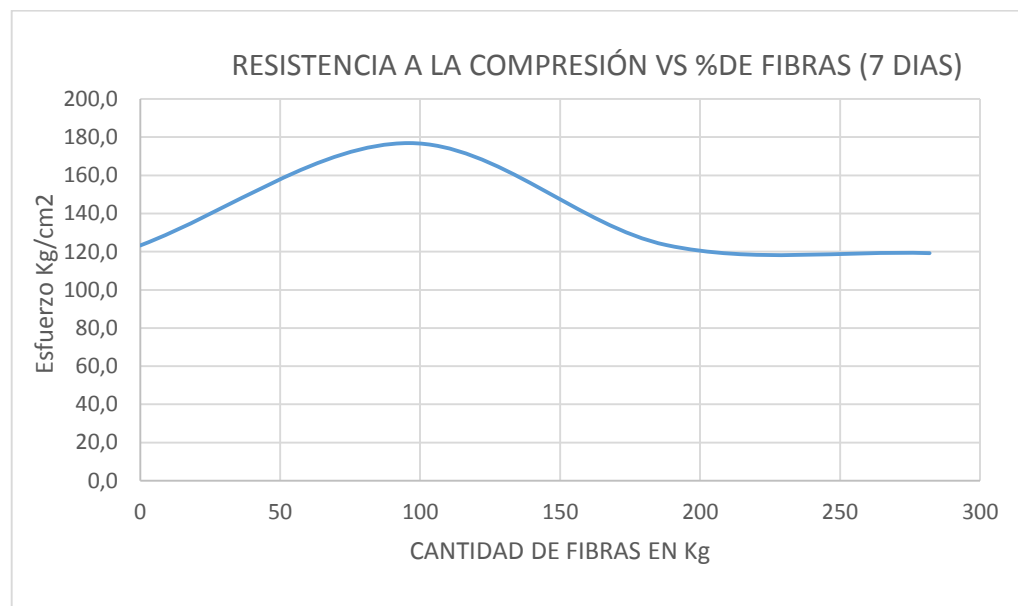
Fuente de elaboración propia



6 RESULTADOS OBTENIDOS

6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Graficas 2-Resistencia a la comprsión vs cantidad de fibras (7 días)

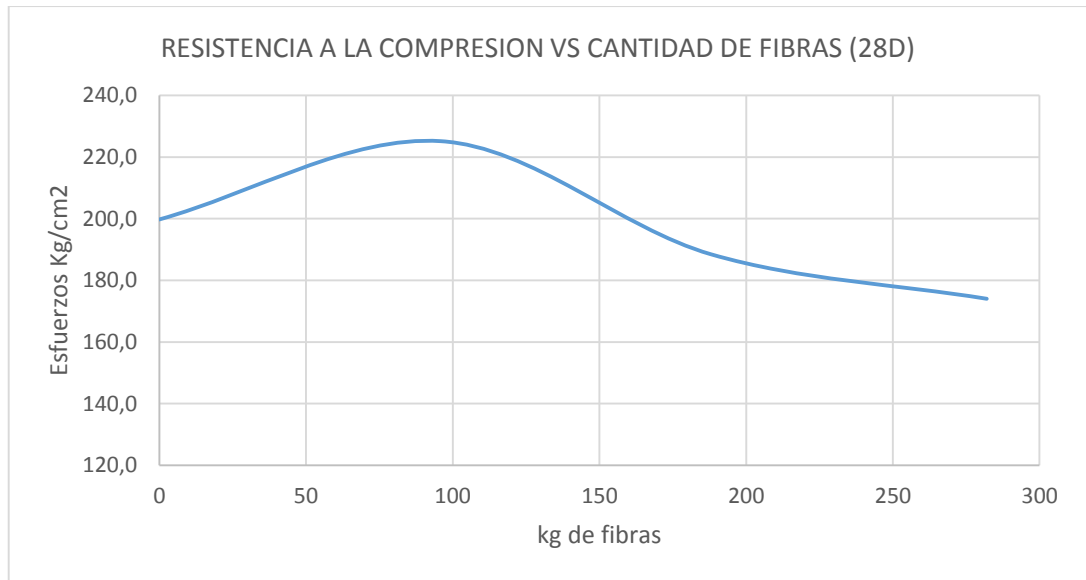


Fuente de elaboración propia

La anterior grafica representa el promedio de esfuerzos de los 3 cilindros fallados a los 7 días para cada mezcla (sin fibras, 96 kg, 188 kg y 282 kg de fibras). En ella podemos ver que las mayores resistencias se presentan en el rango de 50 a 100 kg después de esto es como si el uso de las fibras perdiera efectividad al punto en el que llega a presentar la misma resistencia que el concreto sin adición de fibras. Este dato nos resulta sumamente importante ya que resalta la importancia de la proporción de las fibras para alcanzar una resistencia óptima.



Graficas 3-Resistencia a la compresión vs la cantidad de fibras (28 días)



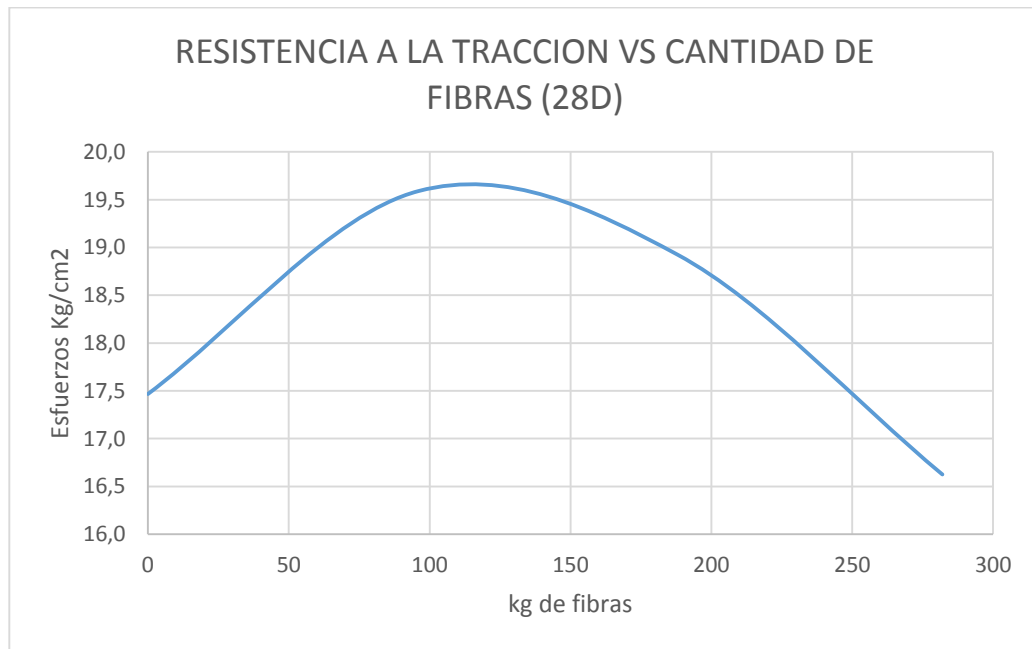
Fuente de elaboración propia

De esta grafica podemos concluir que, aunque las resistencias aumentaron considerablemente en todas las mezclas esto es debido al tiempo de curado y no al porcentaje de fibras ya que la curva sigue presentando el mismo comportamiento donde las mayores resistencias se presentan hasta los 96 g de fibras de ahí en adelante la resistencia del concreto empieza a reducirse, lo que quiere decir que el rango óptimo de fibras para la mezcla el porcentaje ideal de fibras es entre el 2 y el 2.5% del peso de la muestra. Es decir, entre 75-96 kg de fibras dentro de la mezcla.



6.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Graficas 4- Resistencia a la tracción vs cantidad de fibras (28 días)



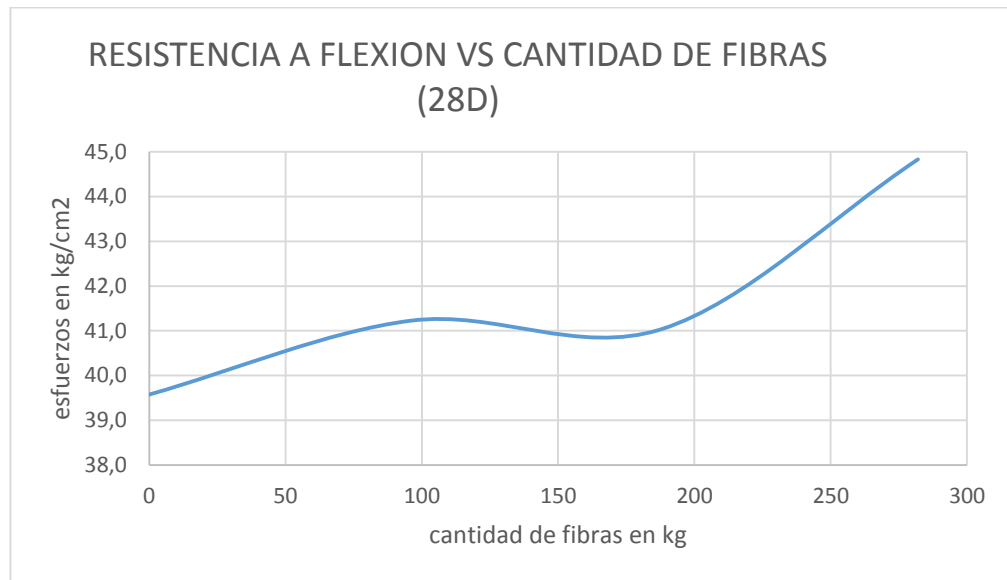
Fuente de elaboración propia

Al ver esta grafica podemos analizar nuevamente que las mayores resistencias se presentan en el rango de 100 a 125 g de fibras en las mezclas, la cantidad de fibras entre 2 y 2.8% respecto al peso de la muestra, aunque las resistencias son mucho menores en comparación a las resistencias dadas a compresión. Esto es debido a que el concreto no es muy bueno actuando a tracción, lo que se concluye de la gráfica es que el rango de cantidad de fibras para mejorar la resistencia del concreto a tracción aumento, pasó de un límite de 100 kg a 125 kg.



6.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Graficas 5-Resistencia a flexión vs cantidad de fibras (28días)



Fuente de elaboración propia

De la gráfica anterior podemos observar que el comportamiento a compresión del concreto es directamente proporcional a la cantidad de fibras, a mayor cantidad de fibras mayores esfuerzos resiste a flexión, la resistencia a la flexión después de la compresión es una de las mayores fortalezas en el concreto, aunque la curva tiende a ser directamente proporcional vemos que hay un punto donde se vuelve casi que constante donde la resistencia no aumenta y hasta tiene a reducirse, entre los 100-175 kg aproximadamente. A pesar de esto suele ser mucho mayor que la resistencia inicial del concreto sin fibras, lo que indica una clara mejora en las características del concreto dentro de su comportamiento a flexión.



7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de la información recopilada sobre el uso de las fibras en el concreto es evidente que la eficacia de las fibras ya sea de vidrio, polímeros, caucho de miga, PET entre otras radica en un porcentaje de adición a la mezcla específico el cual no debe ser sobrepasado para que las fibras cumplan su función y mejoren las características del concreto. Además de esto todas las fibras presentaban una mejora sustancial en el concreto ante los diferentes tipos de esfuerzos, principalmente a flexión.

La mayoría de fibras en el concreto generan un efecto a favor al reducir la retracción por fraguado y el agrietamiento generado ya sea por la misma retracción o por ser sometido a la acción de cargas.

Según la norma ACI 211 existen unos parámetros estándar para elaborar un diseño con base a una resistencia deseada, dicho parámetros están dados por el diámetro de la partícula de los agregados, cantidad y relación agua cemento, porcentaje de humedad, densidades de los materiales, el asentamiento del concreto, la consistencia de la mezcla y la estimación del contenido de aire, entre otros. Finalmente, todos estos parámetros juegan un papel fundamental para el desarrollo del diseño de la mezcla, y a partir de estos se estimarán los volúmenes de cada material para 1m³ de la mezcla deseada.

El diseño realizado y con el cual se tuvo el punto de partida fue de un $F'c = 4000$ psi, lo resultados, aunque no hayan sido los deseados, arrojan una alta mejora en el concreto con la ayuda de las fibras. Sin fibras $F'c = 2844.67$ psi, con una cantidad de fibras de 96 kg de fibras se presentó una resistencia a la compresión de $F'c = 3201.67$ psi. Se presenta un aumento del 12.55% en la resistencia del concreto.

Existen varias razones por las cuales es posible que no se haya logrado la resistencia deseada de diseño, tales como el tipo de material, la marca del proveedor y la garantía de calidad del mismo, la elaboración de las muestras fallas tales como posibles vacíos dentro de las muestras, retraso en la iniciación del tiempo de curado, errores en la lectura de las gráficas dentro de las normas de la ACI 211, dichos errores pueden presentarse por decimales o una mala interpretación y aproximación de los valores dados por las gráficas.

Al realizar el análisis costo beneficio es evidente que el uso de las fibras es útil para la mejora del concreto, aumentando la vida útil y la resistencia del mismo, gracias al bajo costo de las fibras y la disminución del acero en algunos casos.

Los resultados hablan de la eficacia de las fibras en el concreto para la compresión y la tracción dentro de unos rangos, esto es importante resaltarlo dado que en la gráfica 4 y la



gráfica 3 vemos que después de un tiempo de curado de 28 días, si la mezcla contiene más que el ideal de fibras no solo se pierde eficacia para la mejora de la resistencia del concreto, sino que resulta perjudicial en la resistencia del mismo, tanto así que se llegan a presentar menores resistencias que las del concreto normal (sin adición de fibras), esto resalta la importancia de la proporción de fibras.

Caso contrario ocurre con la flexión, donde a mayores fibras se presenta aumento en las resistencias, esto es muy útil debido que uno de los conflictos que suelen presentarse en la ingeniería son las vigas con grandes luces, o las columnas con grandes entre pisos y nos vemos en la obligación de colocar un apoyo extra para evitar que se presenten deflexiones, alabeos o pandeos en estos elementos estructurales, con la ayuda de las fibras es posible disminuir este conflicto, logrando así empelar en algunos casos vigas un poco más esbeltas y con luces algo mayores a las convencionales.

Finalmente es importante resaltar el proceso de mezclado durante la elaboración de las muestras esto debido principalmente a que es posible que pueda presentarse una mala distribución de las fibras dentro de los elementos y esto reduzca considerablemente el aumento de la resistencia del concreto, se debe buscar siempre que la mezcla sea uniforme y para esto, es aconsejable durante el proceso de mezcla se debe verter gradualmente las mezclas dentro del trompo mezclador donde se encuentra la mezcla de concreto.

Otro dato que es relevante en este proceso es el enfoque que se le quiere dar a las fibras para de esta manera aplicar el porcentaje ideal de fibras a la muestra, esto debido a que en compresión y tracción por ejemplo, los porcentajes de fibras donde se presentan los mayores valores de resistencia para los esfuerzos son diferentes y si no se tiene en cuenta a qué esfuerzo será sometido el elemento, y no se agrega el porcentaje ideal para dicho esfuerzo, no es posible garantizar a ciencia cierta que el comportamiento del concreto será optimizado, y esto puede conllevar inclusive a la reducción de la resistencia en el concreto inicial sin fibras.



8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- Existe una cantidad de fibras óptimas para que esta mezcla presente resistencia a grandes esfuerzos, y esto está en un rango entre 96kg y 110kg de fibras respecto al diseño trabajado en este proyecto, también se puede establecer un porcentaje respecto al peso según los resultados, el cual se determina como el cociente del peso de las fibras sobre el peso total de la muestra.
- En la flexión el comportamiento del concreto es proporcional, lo que quiere decir que a mayor cantidad de fibras mayores serán las resistencias a los esfuerzos de flexión.
- Es importante definir a que será sometido el elemento estructural que se desea fundir para de esta manera predecir el esfuerzo o los esfuerzos a los que será sometido y así identificar el porcentaje o cantidad ideal de fibras para mejorar las características del concreto y presentar mayores resistencias dentro del elemento estructural ante la acción de los esfuerzos.

8.2 RECOMENDACIONES

- A la hora de comprar los materiales hay que asegurar que sus características estén a favor de cumplir con la resistencia que se quiere dar dentro del diseño establecido y además que sean suministrados por un proveedor de confianza que garantice las cualidades de dichos materiales.
- Se debe garantizar que no queden vacíos dentro de las muestras, para esto es necesario emplear el chipote e ir golpeando los costados de las muestras en busca de eliminar todos los vacíos, esto debe realizarse por capas evitando así el hormiguo dentro de las muestras.
- hay que tener en cuenta las formaletas y camisas, que se encuentren en buen estado y limpias, y aplicarles grasa para no se pegue la mezcla en estas.
- tener muy detallado el diseño de mezcla para de esta manera tener claridad en la cantidad de material que se va a emplear para cada mezcla y así obtener los resultados deseados del diseño inicial.



9 BIBLIOGRAFÍA

ING. OSORIO, Jesús. ARGOS-Blog. ¿QUÉ ES EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN EL CONCRETO? [En línea], [Citado24-Marzo-2019]. Disponible en internet: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>.

A comparison study on elasticity of rubberized concrete with and without poly (ethylene terephthalate) fibre. **Sakulneya, Apidej y Wattanachai, Pitiwat. 2017.** Thailand : SJST, 3 de February de 2017.

ACADEMIC. Diccionario académico. Limite elástico. [En línea], [Citado24-Marzo-2019]. Disponible en internet: http://enciclopedia_universal.esacademic.com/54169/L%C3%ADmite_el%C3%A1stico.

ACEBRI. 2019. ACEBRI S.AS. *acebri*. [En línea] <https://www.cebri.com>, 16 de 11 de 2019. [Citado el: 16 de 11 de 2019.] <https://www.cebri.com>.

ALESMAR, Luis; RENDÓN, Natalia; KORODY, María Eugenia. DISEÑOS DE MEZCLA DE TEREFALATO DE POLIETILENO (PET) – CEMENTO. [En línea], VOL 23, N° 1 Caracas Venezuela, [Citado24-Marzo-2019]. Disponible en internet: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sc>.

Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas. **Eduardo Botero Jaramillo, Liliana Muñoz, Alexandra Ossa, Miguel P. Romo. 2014.** Medellín : s.n., 2014, Vols. Print version ISSN 0120-6230.

Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET. **Ruben, Paul, Borg, Owen, Baldacchino y Liberato, Ferrara. 2016.** Milan : Construction and Building Materials , 28 de january de 2016.

Eduardo Botero Jaramillo, Liliana Muñoz, Alexandra Ossa, Miguel P. Romo. 2008. *scielo. scielo*. [En línea] 18 de 3 de 2008. [Citado el: 16 de 11 de 2019.] http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302014000100020.

INCONTEC., NORMA TECNICA COLOMBIANA. SECCION NTC-3459 CONCRETOS. AGUA PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO. Objeto 1 P. 3RA actualización. Decreto 2269 de 1993.

INCONTEC., NORMA TECNICA COLOMBIANA. SECCION NTC-4025- MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y LA



RELACIÓN DE POISSON EN CONCRETO A COMPRESIÓN. Objeto 1 P. 3RA actualización. Decreto 2269 de 1993.

ING. ARMANDO, PALACIOS, SANTILLÁN. 2014. Acerca de nosotros: [ptolomeo.unam.mx](http://www.ptolomeo.unam.mx). *ptolomeo.unam.mx*. [En línea] Octubre de 2014. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7000/TESIS.pdf?sequence=1>.

NORMA ASTM. SECCION C 192/C 192M – 02 PRÁCTICA NORMALIZADA PARA LA PREPARACIÓN Y CURADO DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO DE HORMIGÓN EN EL LABORATORIO. Alcance 1 P.

NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES. SECCIÓN 5-ESTRUCTURAS EN CONCRETO. Alcance 5.1. 5-1 P. Convenio de asociación No. 1314 de 2013 INGENIERIA SISMICA-AIS.

NORMA I.N.V SECCION 400. Sub sección 400-07 ELABORACIÓN Y CURADO EN EL LABORATORIO DE MUESTRAS DE CONCRETO PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN. Objeto 1 P.

NORMA TECNICA COLOMBIANA. SECCION NTC-673 CONCRETOS. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO. Objeto .

Optimization of mechanical properties in concrete reinforced with fibers from solid urban wastes (PET bottles) for the production of ecological concrete. **Erlon, Lopes, Pereira, Anddré, luis, de Oliveira, Junior y Adonai, Gomes, Fineza. 2017.** Brasil : s.n., 1 de June de 2017.

PÉREZ, LILIANA MUÑOZ. 2012. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO*. [En línea] 12 de 11 de 2012. [Citado el: 2019 de 11 de 16.] <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2514/1/TESIS.pdf>.

PIERRE, Ferdinand; RUSSELL JOHNSTON, E. Jr.; T. DEWOLF, John. MECANICA DE MATERIALES. 5ta Ed. Mc Graw Hill. 35 P.

PIERRE, Ferdinand; RUSSELL JOHNSTON, E. Jr.; T. DEWOLF, John. MECANICA DE MATERIALES. 5ta Ed. Mc Graw Hill. 5 P. .

QuimiNet. 2005. Acerca de nosotros: [QuimiNet.com](http://www.quiminet.com). *QuimiNet.com*. [En línea] 22 de 11 de 2005. <https://www.quiminet.com/articulos/historia-del-pet-2561181.htm>.



REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. TITULO C
CONCRETO ESTRUCTURAL. Alcance C.1.1. C-1 P. LEY 400-1997 BOGOTÁ DC.

2019. SCIELO. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela.* [En línea] 24 de MARZO de 2019.
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000100006.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL, Determinación de la consistencia del hormigón fresco mediante el ensayo de asentamiento con el tronco de cono de Abrams, [En línea], [Citado 24-Marzo-2019]. Disponible en internet: <http://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/138>.

UNIVERSIDAD Rafael Landívar. POLIMEROS. [En línea], [Citado 24-Marzo-2019]. Disponible en internet: <https://www.coursehero.com/file/p2bv727/1-FUNDAMENTO-TE%3%93RICO-MARCO-TE%3%93RICO-POL%3%8DMEROS-Un-pol%3%ADmero-es-una-mol%3%A9cula-en/>.

Use of different forms of waste plastic in concrete e a review. **Raju, Sharma y Bansal, Prem Pal. 2015.** India : s.n., 22 de August de 2015.



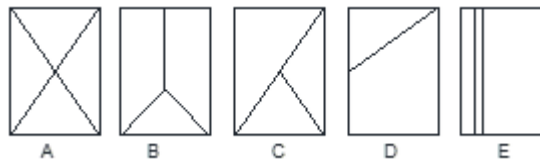
10 ANEXOS

Tipos de falla:

La manera en que los cilindros o testigos pueden fallar son 5:

Tabla 17-Tipos de falla

TIPOS DE FALLA	
A	CONICA
B	CONICA Y DIVIDA
C	CONICA Y TRASVERSAL
D	TRANSVERSAL
E	COLUMNAR



A continuación se presentan algunas imágenes de los tipos de falla que se presentaron para los cilindros fundidos sin fibras y fallados a los 7 días de curado.

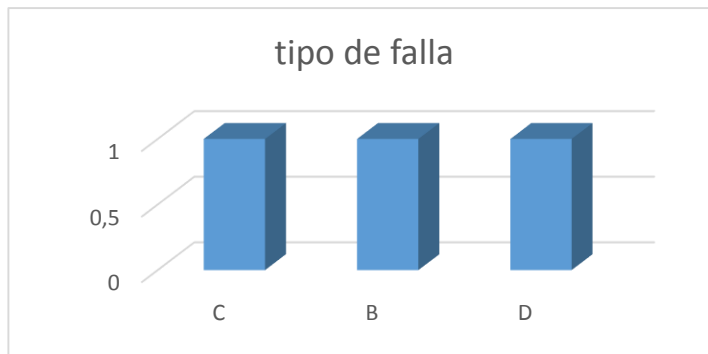
Figure 23- FALLA DE CILINDROS A COMPRESION



Fuente de elaboración propia



12/09/2019	# CILINDRO		
sin fibr(7dias)	1	2	3
Diámetro(cm)	10,03333	10,06	9,996667
altura(cm)	20	20,46667	20,38
peso muestra (g)	3580	3560	3565
tipo de falla	C	B	D
carga máxima(kn)	88,3	104,8	93,5
carga máxima(kg)	9004	10686	9534
Esfuerzo (Kg/cm ²)	113,8814	134,446	121,4741



TIPOS DE FALLAS		
C	B	D
1	1	1



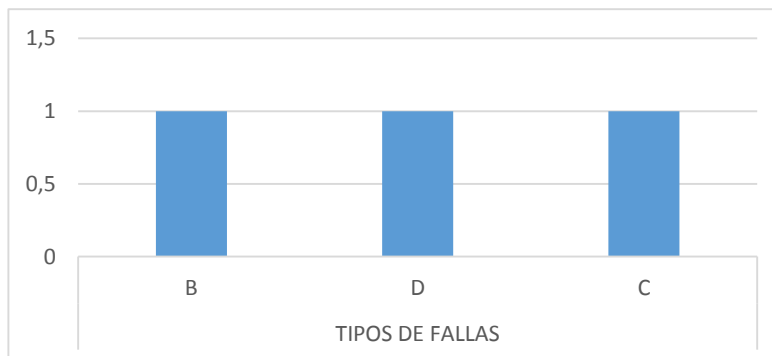
Para los cilindros fundidos con la segunda mezcla es decir con un primera cantidad de fibras de 2 kg/m³ de mezcla se dieron los siguientes resultados:

Figure 24-Cilindros con 96 g de fibras a los 7 días de curado



Fuente de elaboración propia

14/09/2019	# CILINDRO		
96g de fibr(7dias)	1	2	3
Diámetro(cm)	10,06667	10	10,06667
altura(cm)	20,56667	20,5	20,43333
peso muestra (g)	3754	3774	3772
tipo de falla	B	D	C
carga máxima(kn)	137,2	122,4	153
carga máxima(kg)	13990	12481	15601
Esfuerzo (Kg/cm ²)	175,7783	158,9147	196,021



TIPOS DE FALLAS		
B	D	C
1	1	1



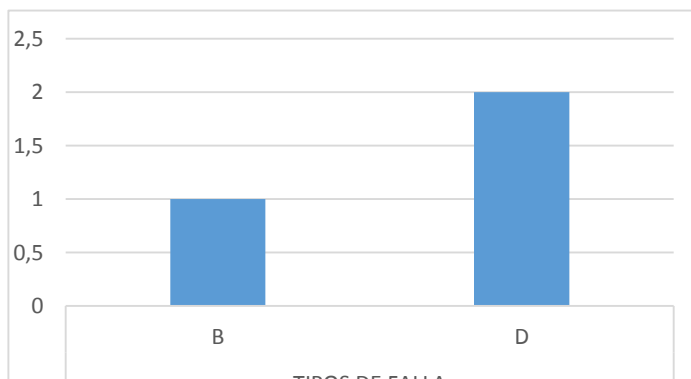
Con la segunda proporción de fibras de 4 kg/m³ de mezcla se obtuvieron los siguientes resultados:

Figure 25-Falla de cilindros con 188g a los 7 días



Fuente de elaboración propia

20/09/2019	# CILINDRO		
188g de fibr(7dias)	1	2	3
diámetro(cm)	10,09	10,15733	10,03333
altura(cm)	20,61667	20,52	20,45333
peso muestra (g)	3645	3589	3633
tipo de falla	D	D	C
carga máxima(kn)	91	98,3	101,3
carga máxima(kg)	9279	10024	10330
Esfuerzo (Kg/cm ²)	116,0491	123,702	130,6476



TIPOS DE FALLA	
B	D
1	2



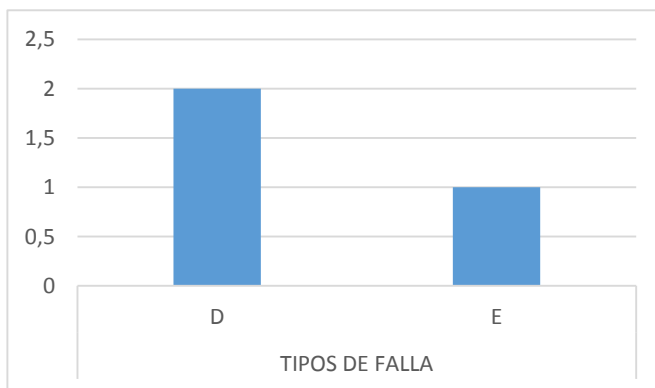
Para la mezcla con 6 kg/m³ se presentaron las siguientes resistencias a la compresión:

Figure 26-falla de cilindros con 282 g de fibras a los 7d



Fuente de elaboración propia

20/09/2019	# CILINDRO		
282g de fibr(7dias)	1	2	3
diametro(cm)	10,14	10,135	10,1
altura(cm)	20,43333	20,32667	20,47333
peso muestra (g)	3710	3602	3645
tipo de falla	D	D	B
carga maxima(kn)	86,3	96,2	99,9
carga maxima(kg)	8800	9810	10187
Esfuerzo (Kg/cm ²)	108,9726	121,5934	127,1468



TIPOS DE FALLA	
D	E
2	1



A LOS 28 DÍAS

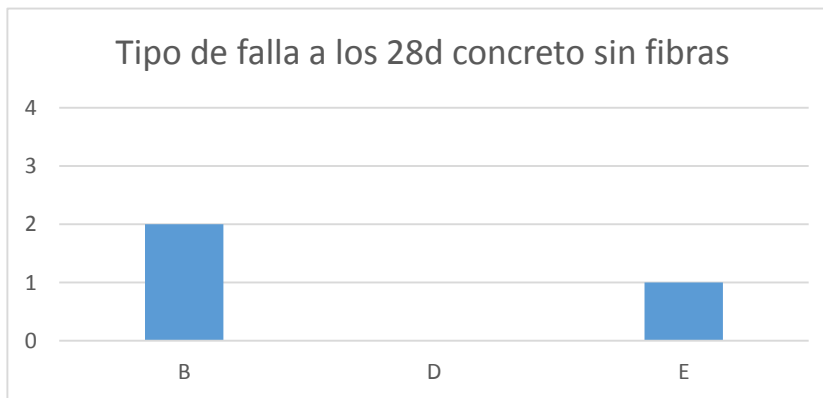
- Para la muestra sin fibras a los 28 días

Figure 27-Falla de cilindros a compresión sin fibras a los 28 D



Fuente de elaboración propia

03/10/2019	COMPRESION		
sin fibr(28días)	1	2	3
diámetro(cm)	10,003	10,053	9,9867
altura(cm)	19,977	20,467	20,38
peso muestra (g)	3698	3522	3684
tipo de falla	B	B	D
carga máxima(kn)	153	126,4	183,1
carga máxima(kg)	15601	12889	18671
Esfuerzo (Kg/cm ²)	198,51	162,37	238,36



TIPOS DE FALLAS		
B	D	E
2	0	1



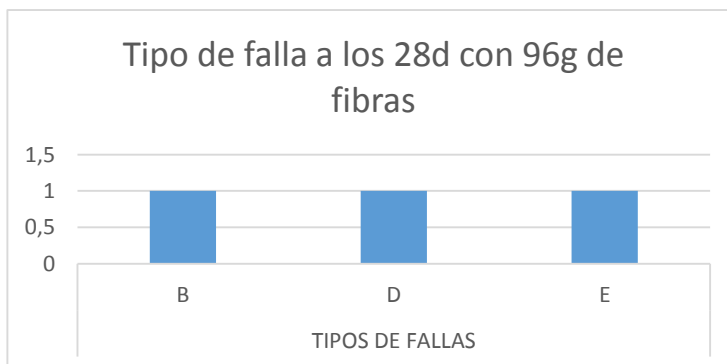
- Para la muestra con **96 g** se presentaron las siguientes resistencias

Figure 28-falla de cilindros con 96 g de fibras a los 28D



Fuente de elaboración propia

05/10/2019	COMPRESION		
96g de fibr(28dias)	1	2	3
diametro(cm)	10,213	10,137	10,103
altura(cm)	20,077	19,903	19,877
peso muestra (g)	3816	3782	3674
tipo de falla	B	E	D
carga máxima(kn)	175,6	171,8	188,5
carga máxima(kg)	17906	17518	19221
Esfuerzo (Kg/cm ²)	218,56	217,08	239,75



TIPOS DE FALLAS		
B	D	E
1	1	1



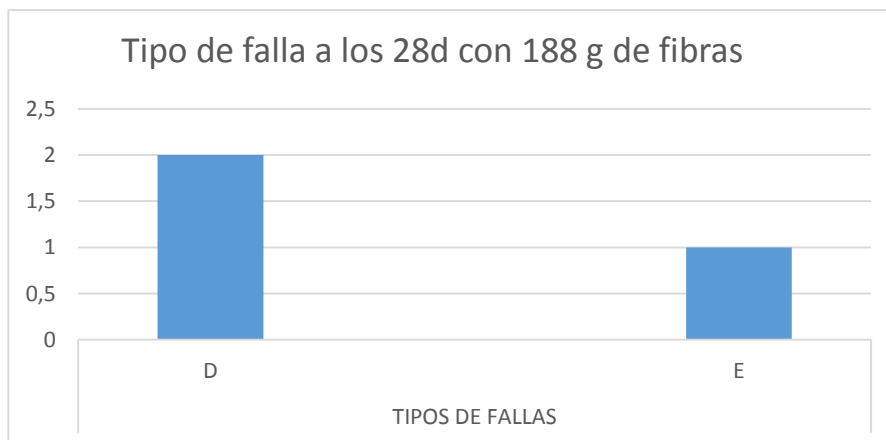
-en la muestra de 188 g de fibras se presentaron las siguientes cargas:

Figure 29-falla a compresión de cilindros con 188 g a los 28 D



Fuente de elaboración propia

11/10/2019	COMPRESION		
188g de fibr(28dias)	1	2	3
diámetro(cm)	10,26	10,073	10,027
altura(cm)	20,127	19,832	19,903
peso muestra (g)	3690	3651	3693
tipo de falla	E	D	D
carga maxima(kn)	151,7	150,1	144,2
carga maxima(kg)	15469	15306	14704
Esfuerzo (Kg/cm2)	187,1	192,05	186,22



TIPOS DE FALLAS	
D	E
2	1



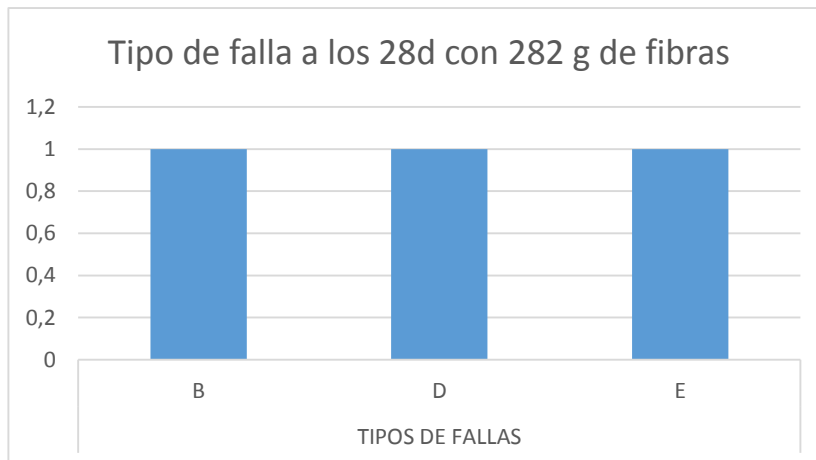
- En la muestra de 282 g se presentaron los siguientes resultados:

Figure 30-falla de cilindros a compresión con 282 g a los 28D



Fuente de elaboración propia

11/10/2019	COMPRESION		
282g de fibr(28días)	1	2	3
diametro(cm)	9,8967	9,97	10,07
altura(cm)	20,02	19,86	20,05
peso muestra (g)	3720	3710	3648
tipo de falla	B	E	D
carga maxima(kn)	127,4	137,3	135,8
carga maxima(kg)	12991	14000	13848
Esfuerzo (Kg/cm2)	168,88	179,33	173,87



TIPOS DE FALLAS		
B	D	E
1	1	1



Comportamiento del concreto sin fibras a tracción

Figure 31-falla de cilindros sin fibras a tracción a los 28D



Fuente de elaboración propia

03/10/2019	TRACCION		
sin fibr(28días)	4	5	6
diámetro(cm)	9,9533	9,99	9,79
altura(cm)	19,903	20,217	19,817
peso muestra (g)	3568	3595	3532
tipo de falla	E	E	E
carga máxima(kn)	52,5	56,2	51,2
carga máxima(kg)	5353	5731	5221
Esfuerzo (Kg/cm2)	17,204	18,064	17,132

Todos los cilindros al ser fallados a tracción tienden a presentar falla tipo E es decir columnar.



-Resistencia de los cilindros fallados con 98 g de fibras

Figure 32-falla de cilindros con 98 g de fibras a los 28D



05/10/2019	TRACCION		
96g de fibr(28días)	4	5	6
diámetro(cm)	10,017	10,22	10,003
altura(cm)	19,8	19,87	20,137
peso muestra (g)	3680	3786	3741
tipo de falla	E	E	E
carga máxima(kn)	55,4	63,2	63,4
carga máxima(kg)	5649	6445	6465
Esfuerzo (Kg/cm ²)	18,133	20,203	20,432

Fuente de elaboración propia

-Resistencia de los cilindros con 188

Figure 33-falla de cilindros con 188g de fibras a los 28D



11/10/2019	TRACCION		
188g de fibr(28días)	4	5	6
diámetro(cm)	10,093	10,22	10,033
altura(cm)	19,83	19,777	19,477
peso muestra (g)	3668	3719	3606
tipo de falla	E	E	E
carga máxima(kn)	53,9	58	62,2
carga máxima(kg)	5496	5914	6343
Esfuerzo (Kg/cm ²)	17,482	18,628	20,663

Fuente de elaboración propia



- Resistencia de los cilindros con 282g de fibras

Figure 34-Falla de cilindros a tracción con 282 g de fibras a los 28 D



11/10/2019	TRACCION		
282g de fibr(28dias)	4	5	6
diámetro(cm)	9,9567	9,9267	10,037
altura(cm)	19,803	20,033	20,053
peso muestra (g)	3628	3670	3750
tipo de falla	E	E	E
carga máxima(kn)	47,7	53,1	52,2
carga máxima(kg)	4864	5415	5323
Esfuerzo (Kg/cm2)	15,704	17,334	16,836

Fuente de elaboración propia



Para poder examinar el comportamiento del concreto a flexión se fundieron vigas y se fallaron.

- Comportamiento del concreto sin fibras:

Figure 35-Falla de vigas a flexión sin fibras (28D)



VIGAS		
FLEXION		
muestra	1	2
sección	55,5x14,85x15	55,6x14,9x14,87
volumen	0,012362625	0,012318903
carga máxima(kn)	25,8	20,6
carga máxima(kg)	2631	2101
Esfuerzo (Kg/cm ²)	43,70	35,45

Fuente de elaboración propia

- Comportamiento con 96 g de fibras

Figure 36- falla de viga a flexión con 96 g a los 28D



VIGAS		
FLEXION		
muestra	1	2
sección	55,21x14,62x15,2	55,5x14,8x15
volumen	0,012268987	0,012321
carga máxima(kn)	25,1	23,9
carga máxima(kg)	2559	2437
Esfuerzo (Kg/cm ²)	41,83	40,62

Fuente de elaboración propia

- Comportamiento con 188 g de fibras



Figure 37-Falla de vigas a flexión con 188 (28D)



Fuente de elaboración propia

-comportamiento con 282

Figure 38-Falla de vigas a flexión con 282(28D)



Fuente de elaboración propia

VIGAS		
FLEXION		
muestra	1	2
sección	55,32x14,8x15,2	55,2x14,92x14,7
volumen	0,012444787	0,012106685
carga máxima(kn)	23,4	24,9
carga máxima(kg)	2386	2539
Esfuerzo (Kg/cm2)	38,60	43,47

VIGAS		
FLEXION		
muestra	1	2
seccion	55x15,3x15,21	55,2x15,2x15,4
volumen	0,012799215	0,012921216
carga maxima(kn)	28,7	28,3
carga maxima(kg)	2927	2886
Esfuerzo (Kg/cm2)	45,47	44,19