



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

**TÍTULO: DETERMINACIÓN DE LOS PORCENTAJES ÓPTIMOS DE FIBRA DE
VIDRIO PARA HORMIGONES DE BAJA, MEDIANA Y ALTA RESISTENCIA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO PREVIO A
OPTAR EL GRADO DE INGENIERO CIVIL**

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:

CARLOS LUIS CEVALLOS JIMÉNEZ

NOMBRE DEL TUTOR:

ING. CARMEN TERREROS, PHD, MSC.

SAMBORONDON, SEPTIEMBRE, 2016

CERTIFICACION FINAL DE APROBACION DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del estudiante **Carlos Luis Cevallos Jiménez** que cursa en la Escuela de Ingeniería Civil, dictado en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UEES.

CERTIFICO:

Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **DETERMINACIÓN DE LOS PORCENTAJES ÓPTIMOS DE FIBRA DE VIDRIO PARA HORMIGONES DE BAJA, MEDIANA Y ALTA RESISTENCIA**, presentado por el **estudiante Carlos Luis Cevallos Jiménez** con cedula de ciudadanía N °. 0917971517, como requisito previo para optar el Grado Académico de Ingeniería Civil, y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Defensa Final.

Tutora: Ing. Carmen Terreros, Phd, Msc.

Samborondón, septiembre de 2016.

DEDICATORIA

Hoy le doy gracias a Dios por haberme dado inteligencia, paciencia, constancia y esmero, lo cual fue determinante para lograr culminar mi carrera universitaria. Doy gracias a mi familia; a mi mamá, por su ejemplo de lucha y por inculcarme valores para ser una persona de bien; a mis hermanos, que estuvieron siempre brindándome su apoyo incondicional desde que nací; a mis abuelos, tíos, primos y amigos, que en el transcurso de mi carrera estudiantil, pudieron ser parte esencial tanto de mi crecimiento personal, como de mi éxito intelectual; a mis profesores y mentores, los cuales lograron marcar en mí posturas e impregnar en mi conocimientos que me servirán por el resto de mi vida; y por último, a mi ángel de la guarda, mi padre que sé que siempre ha estado a mi lado y siempre lo estará desde el día en que Dios tuvo mejores planes para él.

- Carlos Luis Cevallos Jiménez

RECONOCIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a mis mentores y profesores, la Ing. Carmen Terreros de Varela y el Ing. Urbano Caicedo, quienes son parte de lo que ha sido toda mi carrera universitaria. Le doy las gracias por haber sido no solo de mí, sino de muchos compañeros y futuros colegas, unos inculcadores del conocimiento el cual ha sido de suma importancia para mi trabajo de titulación, guiándome y dándome la ayuda necesaria para poder así concluir con la misma.

Le agradezco a las empresas HOLCIM, Comercial DISENSA, Cantera CANVER, Comercial Pichincha (Fibras de Vidrio), y sobre todo a la UEES por facilitarme el uso de su institución para llevar a cabo lo que fue un trabajo de investigación neto. Por último, mis más sinceros agradecimientos y reconocimientos a mi amigo, el Ing. Franklin Barros Camargo, el laboratorista de la UEES, por haber sido un compañero incondicional a lo largo de toda mi carrera y ayudarme en todo lo que ha sido mi trabajo de titulación de grado.

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACION FINAL DE APROBACION DEL TUTOR.....	I
DEDICATORIA	II
RECONOCIMIENTO.....	III
TABLA DE CONTENIDO.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT.....	XIV
ABREVIATURAS.....	XVI
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Formulación de problema.....	4
1.4 Sistematización del problema.....	4
1.5 Objetivos de la investigación	4
1.6 Justificación o importancia de la investigación.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO	6
2.1 Hormigón	7
2.1.1 Componentes del hormigón.....	7
2.1.1.1 Cemento	7
2.1.1.2 Agregados	8
2.1.1.2.1 La forma y el tamaño	10
2.1.1.3 Análisis granulométrico.....	11
2.1.1.4 Modulo de finura.....	11

2.1.1.5 Gravedad específica y absorción del agregado fino	12
2.1.1.6 Agua.....	12
2.1.2 Factores que afectan la resistencia a la compresión	13
2.1.2.1 Cemento.....	13
2.1.2.2 Agregados	13
2.1.2.3 Agua.....	14
2.1.2.4 Relación agua-cemento.....	14
2.1.2.5 Relación agregado fino-agregado grueso.....	14
2.1.2.6 Relación agregado-cemento.....	15
2.1.2.7 La edad del hormigón	15
2.1.2.8 La compactación del hormigón.....	15
2.1.2.9 La temperatura	17
2.1.2.10 El curado	17
2.1.3 Resistencia a compresión.....	18
2.1.3.1 Equipos y materiales	19
2.1.4 Resistencia a la flexión.....	19
2.1.4.1 Equipos y materiales	20
2.1.5 Normas.....	21
2.1.6 Diferencias nomenclatura.....	21
2.1.7 Requisitos de desempeño.....	22
2.1.8 Aditivos	22
2.1.8.1 Funciones	23
2.1.9 Dosificación.....	25
2.1.10 Otros ingredientes.....	25
2.2 Fibra de vidrio	26

2.2.1 Fabricación de fibra de vidrio.....	27
2.2.2 Hormigón con fibra de vidrio	27
2.2.2.1 Beneficios	29
2.2.2.2 Funcionamiento.....	29
CAPÍTULO III: LA METODOLOGÍA.....	30
3.1 Diseño de la investigación.....	31
3.2 Instrumentos de recolección de datos.....	34
3.3 Técnicas de investigación y pasos a utilizar.....	35
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	37
4.1 Agregados.....	38
4.1.1 Agregado grueso.....	38
4.1.2 Agregado fino	39
4.1.3 Cemento.....	40
4.1.4 Agua.....	40
4.1.5 Fibra de vidrio	40
4.2 Modelo matemático.....	40
4.3 Análisis del hormigón de $F'c=190 \text{ kg/cm}^2$ con fibra de vidrio	41
4.3.1 Diseño del hormigón de $F'c=190 \text{ kg/cm}^2$	41
4.3.2 Modelo matemático del hormigón de $F'c=190 \text{ kg/cm}^2$	42
4.3.3 Roturas a compresión del hormigón de $F'c=190 \text{ kg/cm}^2$	45
4.3.4 Roturas a flexión del hormigón de $F'c=190 \text{ kg/cm}^2$	46
4.4 Análisis del hormigón de $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con fibra de vidrio	47
4.4.1 Diseño del hormigón de $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$	47
4.4.2 Modelo matemático del hormigón de $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$	48
4.4.3 Roturas a compresión del hormigón de $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$	51

4.4.4 Roturas a flexión del hormigón de $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$	52
4.5 Análisis del hormigón de $F'c=290 \text{ kg/cm}^2$ con fibra de vidrio	53
4.5.1 Diseño del hormigón de $F'c=290 \text{ kg/cm}^2$	53
4.5.2 Modelo matemático del hormigón de $F'c=290 \text{ kg/cm}^2$	54
4.5.3 Roturas a compresión del hormigón de $F'c=290 \text{ kg/cm}^2$	57
4.5.4 Roturas a flexión del hormigón de $F'c=290 \text{ kg/cm}^2$	58
4.6 Análisis del hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con fibra de vidrio	59
4.6.1 Diseño del hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$	59
4.6.2 Modelo matemático del hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$	60
4.6.3 Roturas a compresión del hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$	63
4.6.4 Roturas a flexión del hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$	64
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
5.1 Conclusiones	66
5.1.1 Diseños del hormigón.....	66
5.1.2 Resumen de investigación	66
5.1.3 Normalización de hormigón con fibra de vidrio	67
5.1.4 Incremento a compresión y flexión	68
5.1.5 Ductilidad	68
5.1.6 Otras características.....	69
5.2 Recomendaciones.....	69
5.2.1 Trabajabilidad.....	69
5.2.2 Futuras investigaciones.....	70
CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA	71
6.1 Referencias bibliográficas.....	72
CAPÍTULO VII: ANEXOS	74

7.1 Anexo 1: Ficha técnica del cemento GU.....	75
7.2 Anexo 2: Ficha técnica de la fibra de vidrio	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de cemento.....	21
Tabla 2: Tabla de materiales y laboratorio donde se realiza la practica	31
Tabla 3: Relación agua cemento.....	32
Tabla 4: Granulometría de piedra 3/4	38
Tabla 5: Granulometría de arena homogenizada	39
Tabla 6: Diseño de cantidades de hormigón de $F'c=190 \text{ kg/cm}^2$	41
Tabla 7: Resultados de esfuerzos de hormigones de $f'c=190 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de fibra de vidrio.....	42
Tabla 8: Modelo matemático para hormigones de $f'c=190 \text{ kg/cm}^2$	43
Tabla 9: Tabla con resultados de rupturas a compresión de hormigones de $f'c=190 \text{ kg/cm}^2$	45
Tabla 10: Tabla con resultados de rupturas a flexión de hormigones de $f'c=190 \text{ kg/cm}^2$	46
Tabla 11: Diseño de cantidades de hormigón de $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$	47
Tabla 12: Resultados de esfuerzos de hormigones de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de fibra de vidrio.....	48
Tabla 13: Modelo matemático para hormigones de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	49
Tabla 14: Tabla con resultados de rupturas a compresión de hormigones de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	51
Tabla 15: Tabla con resultados de rupturas a flexión de hormigones de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	52
Tabla 16: Diseño de cantidades de hormigón de $F'c=290 \text{ kg/cm}^2$	53
Tabla 17: Resultados de esfuerzos de hormigones de $f'c=290 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de fibra de vidrio.....	54
Tabla 18: Modelo matemático para hormigones de $f'c=290 \text{ kg/cm}^2$	55
Tabla 19: Tabla con resultados de rupturas a compresión de hormigones de $f'c=290 \text{ kg/cm}^2$	57
Tabla 20: Tabla con resultados de rupturas a flexión de hormigones de $f'c=290 \text{ kg/cm}^2$	58
Tabla 21: Diseño de cantidades de hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$	59
Tabla 22: Resultados de esfuerzos de hormigones de $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de fibra de vidrio.....	60
Tabla 23: Modelo matemático para hormigones de $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	61
Tabla 24: Tabla con resultados de rupturas a compresión de hormigones de $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	63
Tabla 25: Tabla con resultados de rupturas a flexión de hormigones de $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	64

Tabla 26: Tabla hormigón/fibra de vidrio..... 66
Tabla 27: Tabla hormigón/fibra de vidrio estándar 67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Sacos de cemento Holcim.....	8
Ilustración 2: Agregados del hormigón.....	9
Ilustración 3: Máquina para tamizar	11
Ilustración 4: Hidratación del concreto.....	12
Ilustración 5: Encofrado metálico de cilindros	16
Ilustración 6: Encofrado metálico de viguetas.....	16
Ilustración 7: Piscina de curado	17
Ilustración 8: Viguetas en proceso de ruptura por flexión.....	19
Ilustración 9: Ensayo a flexión en vigas de hormigón simple	20
Ilustración 10: Fibra de vidrio.....	27
Ilustración 11: Concretera para realizar la mezcla de agregados.....	32
Ilustración 12: Prensa para ensayo de compresión y flexión de concreto	33
Ilustración 13: Curva granulométrica de piedra 3/4	38
Ilustración 14: Curva granulométrica de arena homogenizada.....	39
Ilustración 15: Curva parabólica del modelo matemático en hormigones de $f'c=190$ kg/cm ²	44
Ilustración 16: Curva parabólica del modelo matemático en hormigones de $f'c=210$ kg/cm ²	50
Ilustración 17: Curva parabólica del modelo matemático en hormigones de $f'c=290$ kg/cm ²	56
Ilustración 18: Curva parabólica del modelo matemático en hormigones de $f'c=350$ kg/cm ²	62
Ilustración 19: Ecuación lineal de la Tabla 27 de hormigón /fibra de vidrio estándar	67

RESUMEN

Hoy en día el material de construcción más usado por el hombre es el hormigón armado. Este se requiere para la construcción de viviendas, carreteras, edificaciones; en sí, un sin número de obras civiles que ameriten un material resistente, y que a su vez brinde seguridad y durabilidad. La resistencia de este elemento se mide en kilogramos por centímetros cuadrados, es decir, en términos fáciles, cuántos kilogramos de fuerza soporta un centímetro cuadrado de área previo a la ruptura. El hormigón puede tener diferentes tipos de resistencias, las cuales tienen que ver con los agregados que se usen. Este, básicamente está conformado por agua, arena, piedra, y cemento, pero el ser humano vive experimentando, reemplazando o añadiendo otros agregados.

Este proyecto de investigación trata de añadirle fibra de vidrio a un diseño de hormigón convencional. Las resistencias que se usan para esta investigación serán de ciento noventa kilogramos por metros cuadrados, doscientos diez kilogramos por metros cuadrados, doscientos noventa kilogramos por metros cuadrados, y trescientos cincuenta kilogramos por metros cuadrados. ¿Para que añadirle fibra de vidrio al hormigón convencional? Pues visto que el hormigón en sí es el material más usado en obras civiles por diferentes factores (resistencia, costo, trabajabilidad, durabilidad, entre otros), se espera que, con este material de fibra, la resistencia a compresión incremente. ¿Por qué se utilizan estas resistencias para realizar este experimento? Pues en términos comunes y de parte de profesionales de todo el mundo, las resistencias debajo de los doscientos diez kilogramos por centímetros cuadrados son de baja resistencia, asimismo la resistencia de doscientos diez es el límite entre estructural y no estructural, y las superiores a esta ya se van considerando de resistencia media y alta. Por otra parte, otros efectos positivos se podrían observar y cuantificar en la experimentación. El esfuerzo a flexión que sufren las estructuras civiles también es de gran importancia, y con esta investigación se propone que la misma también aumente.

Se pretende aportar para el conocimiento del ingeniero ecuatoriano. No obstante, se espera que se haga uso de este trabajo para futuras investigaciones e incluso que sea de

conocimiento público para que sirva en el área profesional, fuera de los estudios, que sea productivo en el ámbito de aplicación de obras civiles en la República del Ecuador.

Palabras clave: hormigón, hormigón con fibra de vidrio, fibra de vidrio, porcentaje óptimo de fibra de vidrio, porcentaje óptimo, concreto, concreto con fibra de vidrio, hormigón resistente, concreto resistente, resistencia a compresión, resistencia a flexión, ductilidad en hormigón, ingeniería civil, ingeniería.

ABSTRACT

Nowadays in the world, the most used construction material is the reinforced concrete. This is required for the construction of housing, roads, buildings; itself, a number of civil works that merit a durable material, which also provide security and durability. The resistance of this element is measured in kilograms per square centimeter; in easy terms, how many kilograms of force are supported by a square centimeter of area until the rupture. The concrete may have different types of strength, which have to do with the aggregates that are being used. This, is basically made up of water, sand, stone and cement, but he human being is always experiencing replacing or adding other aggregates in the conventional formula.

This research project is adding fiberglass to a conventional concrete design. The strength used for this research will be of one hundred ninety kilograms per square meter, two hundred and ten kg per square meter, two hundred and ninety kg per square meter, and three hundred and fifty kilograms per square meter. Why adding fiberglass to a conventional concrete? As is known, the concrete is the main material used in civil works by different factors (resistance, cost, workability, durability, etc.), it is expected that with this fiber material, that the resistance to compression increase. Why these strengths are used to perform this experiment? In common and professional terms, the resistance below two hundred and ten kilograms per square centimeters are low resistance, the resistance of two hundred and ten is the boundary between structural and non-structural resistance, and above this already they are considering medium and high strength. Furthermore, other positive effects could be observed and quantified in experimentation. The bending stress experienced by civil structures is also of great importance, and the research suggests that it also heightens.

It is intended to contribute to the knowledge of the Ecuadorian engineer. However, it is expected to use this work for future research. It would be grateful if the thesis is also shared for public knowledge and in the professional area, so it would be applied in the civil works of the Republic of Ecuador.

Keywords: concrete, concrete with fiberglass, fiberglass, optimal percentage of fiberglass, optimal concrete, concrete with fiberglass, resistant concrete, concrete resistant percent, compressive strength, flexural strength, ductility in concrete, civil engineering, engineering.

ABREVIATURAS

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
GU	Hormigón de Uso General
HAD	Hormigón de Alto Desempeño
HAR	Hormigón de Alta Resistencia
HFV	Hormigón con Fibras de Vidrio
ZTI	Zona de Transmisión Interfacial
HRWR	Reductores de Agua de Amplio Rango
sf	Sin Fecha
SF	Sin Fibra
Kg/cm ²	Kilogramo – Centímetro Cuadrado
Kg/m ³	Kilogramo – Metro Cúbico
m/s ²	Metro – Segundo Cuadrado
m ² /kg	Metro Cuadrado – Kilogramo
m ³	Metro Cúbico
MF	Módulo de Finura
MR	Módulo de Rotura

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

El hormigón al igual que las piedras naturales tiene cualidades muy útiles para la compresión, pero por otro lado tiene muy poca resistencia ante la tracción y flexión, lo que lo lleva a no ser la primera opción de material para trabajos en el cual este tipo de esfuerzos sean requeridos.

Durante los últimos tiempos esta falla se ha considerado dentro de investigaciones y se ha desarrollado para hacer que este material sea más productivo ante estas situaciones. Tras los primeros resultados de las investigaciones realizadas se logró un material llamado “Fibroemento” que es el hormigón con fibras de amianto, haciendo que este rinda más y reduzca los costos en la obra.

Entre las combinaciones de materiales que logren un compuesto bastante fuerte y robusto, se ha combinado el hormigón con materiales de fibra orgánica como el aramidas, el nylon, el polipropileno, el rayón, entre otros; sin mencionar también la combinación con las fibras inorgánicas como lo es el carbono el vidrio o el boro; así como también las metálicas como el hierro, el acero y el aluminio.

Como resultado de todas las mezclas de materiales que se han experimentado; hasta el momento la que mejor rinde y menos cuesta, sin contar también el hecho de que facilita el trabajo y le otorga mejor manejabilidad haciendo de este un material seguro y resistente; es la fibra de vidrio.

Las fibras de vidrio usadas en los primeros intentos de refuerzos de hormigón fueron las de tipo “E”; este tipo de vidrio es usado comúnmente para el refuerzo de materiales plásticos o de poliésteres ya que contienen una alta resistencia. Pero al usarlo y combinarlo, el resultado no fue el esperado ya que al mezclarlo al mortero se convertía en un problema sin posibles soluciones, debido a que dependía de los ataques químicos que producían los cristales alcalinos que se generan en el proceso de hidratación del cemento.

En el Reino Unido; en el año 1967, el Doctor Majundar parte del Building Research Establishment, investigó los vidrios que poseían Circonio, logrando la conversión de alguno de ellos en fibra y comprobando su resistencia en medios agresivos. De esta manera después de cuatro años de investigaciones rigurosas y continuas, el refuerzo duradero del hormigón cumplió su objetivo y la patente fue otorgada al National Research Development Corporation. (Follis, Lubari, Nicolai, & Pepe, 2002)

Para ser posible la producción en una escala de comercialización, los dueños de la patente se comunicaron con una empresa inglesa llamada Pilkington Brothers; y juntos, también con la ayuda de una compañía llamada Fibreglass Limited, lograron la explotación comercial e industrial de un producto de calidad y duradero.

Finalmente, en 1989 este nuevo material fue adquirido por la firma Saint. Gobain a través de su delegación llamada Cristalería Española S.A. y la Vetrotex España S.A. quien se encargaba de la fabricación y comercialización del mismo.

Actualmente, en el Ecuador se ha investigado muy poco del tema, y como consiguiente, se espera proporcionar resultados que nos brinden mezclas estándares en nuestro país para tener un hormigón con fibras de vidrio eficiente y accesible.

1.2 Planteamiento del problema

El hormigón armado siempre ha sido una de las mejores alternativas para usarse como material de construcción por su resistencia a la compresión, durabilidad, ductilidad, accesibilidad, costo y facilidad de manejo. Es por eso que este es el principal material usado en las construcciones del Ecuador, pero este, asimismo, tiene una desventaja que es la debilidad ante esfuerzos de tracción y flexión. Es una desventaja que preocupa ya que, en una emergencia como un sismo o un tsunami, los esfuerzos son de todo tipo y las construcciones y obras civiles son las más afectadas, y si se mejora este aspecto se podría crear un material estructural más resistente ante estas situaciones.

Hoy en día ya existe un hormigón flexible. Creado por ingenieros de la Universidad de Michigan en los Estados Unidos. Este incluso se repara solo cuando aparecen grietas con agua y dióxido de carbono. A pesar de que ya hay este invento, no existe en el Ecuador, es muy costoso, y no está hecho con fibras de vidrio.

El propósito de esta investigación es buscar una mezcla de hormigón con fibras de vidrio accesible y económica que nos brinde una resistencia significativa a la compresión y flexión. Se hará experimentando con diferentes porcentajes de fibras de vidrio para encontrar la mezcla óptima, y así, dé buenos resultados.

1.3 Formulación de problema

Identificar cuáles son las mejores proporciones de fibra de vidrio para hormigones de baja, mediana y alta resistencia mediante ensayos de laboratorio, para de esta manera normalizar diseños de hormigón con fibras de vidrio y contribuir para futuras investigaciones.

1.4 Sistematización del problema

1. ¿Cuáles son los mejores diseños de hormigón para trabajarlos con fibras de vidrio?
2. ¿Qué porcentaje de fibra de vidrio es el más adecuado para cada diseño de hormigón?
3. ¿De qué manera reacciona la resistencia a compresión, tracción y flexión con la incorporación de fibras de vidrio en las vigas y cilindros de hormigón?
4. ¿Qué tan factible nos resulta realizar hormigones con fibras de vidrio?

1.5 Objetivos de la investigación

Objetivo General.

Determinar los porcentajes óptimos de fibra de vidrio para hormigones de baja, mediana y alta resistencia.

Objetivos Específicos.

1. Diseñar hormigones convencionales de baja, mediana y alta resistencia.
2. Identificar porcentajes óptimos de fibra de vidrio para hormigones compuestos.
3. Normalizar diseños de hormigón con fibra de vidrio para rangos de baja, mediana y alta resistencia.

1.6 Justificación o importancia de la investigación

Crear un hormigón resistente, flexible, accesible y económico, para mejorar la calidad del material de las estructuras civiles en el Ecuador.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1 Hormigón

En su forma más simple, el concreto es una mezcla de pasta y áridos. La pasta, compuesto de cemento portland y agua, cubre la superficie de los agregados finos y gruesos. A través de una reacción química llamada hidratación, la pasta se endurece y gana resistencia para formar una masa mejor conocida como el hormigón (Jiménez, 1991).

El hormigón se produce en cuatro formas básicas, cada una con aplicaciones y propiedades únicas.

1. Concreto premezclado, es la forma más común, representa casi tres cuartas partes de todo el concreto usado en obra. Se ha dosificado en las plantas locales para la entrega de los camiones familiares con tambores giratorios.
2. Los productos prefabricados de hormigón se hacen en fábricas. Estos productos se benefician de estricto control de calidad alcanzable en una planta de producción. Estos productos pueden ser: ladrillos de hormigón, adoquines, vigas, componentes estructurales, paneles de pared, entre otros.
3. Los materiales a base de cemento, que comparten muchas de sus cualidades son: el mortero, la lechada, y terrazo. El suelo-cemento y hormigón compactado con rodillo se utilizan para pavimentos y presas. Otros productos en esta categoría incluyen relleno fluido y bases tratadas con cemento.
4. Una nueva generación de productos avanzados incorpora fibras y agregados especiales, sirven para crear tejas, revestimiento solapado, e incluso otros hormigones con diferentes características.

2.1.1 Componentes del hormigón

2.1.1.1 Cemento

Los documentos de construcción a menudo especifican un tipo de cemento basado en el rendimiento requerido de las condiciones de colocación de concreto o, algunas plantas de

fabricación de cemento sólo producen ciertos tipos de cemento portland. ¿Cuáles son las diferencias entre estos tipos de cemento y la forma en que se pusieron a prueba, producidos, y se identificaron en la práctica?

En el sentido más general, el cemento portland se produce por fuentes de calor de cal, hierro, sílice, y alúmina a la temperatura de clinkerización (1300 a 1600 grados Celsius) en un horno rotatorio. Luego se continúa moliendo el clinker en polvo fino. El calentamiento que se produce en el horno transforma las materias primas en nuevos compuestos químicos. Por lo tanto, la composición química del cemento se define por los porcentajes en masa y la composición de las fuentes primas de cal, hierro, sílice, y alúmina, así como la temperatura y la duración del calentamiento. Es esta variación en la fuente de materias primas y de las características específicas de la planta, así como los procesos de acabado, que definen el cemento producido. (Goldenhorn, 1951)



Ilustración 1: Sacos de cemento Holcim

Fuente: (Holcim Web Page, s.f.)

2.1.1.2 Agregados

Los áridos son materiales granulares inertes tales como arena, grava o piedra triturada que, junto con el agua y el cemento portland, son un ingrediente esencial en el concreto.

Para una buena mezcla de concreto, agregados deben ser, partículas sólidas duras limpias libres de productos químicos o revestimientos de arcilla y otros materiales nobles absorbidos que podrían causar el deterioro del hormigón. Los agregados, que representan

de 60 a 75 por ciento del volumen total de hormigón, se dividen en dos categorías distintas: fino y grueso. Estos agregados generalmente consisten en arena natural o piedra triturada con la mayoría de las partículas que pasan a través de un tamiz de 3/8 pulgadas. Los agregados gruesos son cualesquiera partículas mayores de 0,19 pulgadas, pero generalmente oscilan entre 3/8 y 1,5 pulgadas de diámetro. Las gravas que constituyen la mayoría del agregado grueso utilizado en concretos son piedras trituradas. (Romo Proaño)

La grava y arena por lo general se excavan o dragan de un pozo, río, lago o lecho marino. El agregado triturado es producido por la trituración de roca de cantera, cantos rodados, adoquines o gravas de gran tamaño. El hormigón reciclado es una fuente viable de agregado y se ha utilizado satisfactoriamente en subbases granulares, suelo-cemento, y en concreto nuevo.



Ilustración 2: Agregados del hormigón

Fuente: (Tecnologimartin, 2015)

Después de la producción, el agregado se procesa: tritura, tamiza, y se lava para obtener la limpieza y la gradación adecuada. Una vez procesados, los agregados se manipulan y almacenan para minimizar la segregación, degradación y prevenir la contaminación.

Los agregados influyen fuertemente en el mezclado y en el endurecido del hormigón, las proporciones de mezcla, y su economía. En consecuencia, la selección de los agregados es un proceso importante. Aunque se espera una cierta variación en las propiedades globales, las características que se consideran son:

- Clasificación
- Durabilidad
- Forma de las partículas y la textura de la superficie
- La abrasión y resistencia al deslizamiento
- Peso y porosidad
- La absorción de humedad

2.1.1.2.1 La forma y el tamaño

La forma de las partículas y la textura de la superficie influencia las propiedades del hormigón recién mezclado y en el hormigón endurecido. Las partículas de textura rugosa, angulares y alargadas requieren de más agua para producir un concreto trabajable, que las redondeadas. En consecuencia, el contenido de cemento también se debe aumentar para mantener la relación agua-cemento. En general, las partículas planas y alargadas se evitan o se limitan a un 15 por ciento en peso del total agregado.

El contenido de vacíos entre las partículas afecta a la cantidad de pasta de cemento requerida para la mezcla. Agregados angulares aumentan el contenido de vacíos. Los tamaños más grandes de agregado bien graduado y una mejor clasificación disminuirán el contenido de vacíos. La absorción de humedad y la superficie del agregado se miden al seleccionar agregados debido a que la estructura interna del agregado se compone de material sólido y huecos que pueden o no pueden contener agua. La cantidad de agua en la mezcla de hormigón debe ser ajustado conforme a las condiciones de humedad del agregado.

La abrasión y la resistencia al deslizamiento de un agregado son esenciales cuando el agregado es para ser utilizado en el hormigón constantemente sujeto a la abrasión como en

suelos pesados o pavimentos. Los diferentes minerales, el desgaste acumulado, y la exposición de pulimiento a un ritmo agresivo, son temas a considerar para la selección de los agregados en condiciones altamente abrasivas para minimizar el desgaste.

2.1.1.3 Análisis granulométrico

Este análisis es un proceso que separa por tamices los diferentes tamaños de los agregados. Los agregados gruesos son más fáciles de separar ya que a simple vista más o menos se ven qué agregados son de diferente tamaño, pero en la separación de los agregados finos es donde más nos ayuda este análisis granulométrico ya que permite saber porcentualmente los valores granulométricos que se necesita. Deberían cumplir especificaciones ASTM C-136 para su tamaño máximo y para agregado fino la norma ASTM C-33.

2.1.1.4 Modulo de finura

Se calcula sumando los porcentajes de los acumulados del tamiz 3/8 a la N 100, y dividiendo para 100, esto nos sirve como un índice que sirve para determinar si un agregado es fino o es grueso. Son normales valores entre 2,3 y 3,1 para arenas. (Gadget, s.f.)



Ilustración 3: Máquina para tamizar

Fuente: Autor

2.1.1.5 Gravedad específica y absorción del agregado fino

Esta es la relación que se conoce entre el volumen de los sólidos, donde no se consideran los poros que tiene el agregado, y el peso seco del agregado. La denominada Densidad Saturada Superficialmente Seca es la gravedad específica más conocida como *Bulk* (Terreros, 2011)

Esta absorción de la que se habla es debido a la cantidad de poros que contiene el agregado y a su permeabilidad. Un agregado puede ser muy poroso, pero si los poros no están interconectados se vuelve impermeable. Es preferible que los agregados sean impermeables.

2.1.1.6 Agua

Poco después de los áridos, el agua y el cemento se combinan, la mezcla comienza a endurecerse. Todos los cementos portland son cementos hidráulicos que establecen y se endurecen a través de una reacción química con la llamada agua de hidratación. Durante esta reacción, se forma un nodo en la superficie de cada partícula de cemento. El nodo crece y se expande hasta que enlaza con nodos de otras partículas de cemento o se adhiere a los agregados adyacentes.



Ilustración 4: Hidratación del concreto

Fuente: (Osorio, s.f.)

Una vez que el hormigón se mezcla a fondo deberá ser colocado en encofrados antes de que la mezcla se vuelva demasiado rígida.

Durante la colocación, el hormigón se compacta dentro de las formas y eso eliminará defectos potenciales, como panales y bolsas de aire.

Para losas de hormigón se deja reposar hasta que la película húmeda de la superficie desaparezca.

El curado se inicia después de que las superficies expuestas del hormigón se han endurecido lo suficiente como para resistirlo. El curado asegura la hidratación continua del cemento para que el hormigón siga ganando fuerza. Las superficies de concreto se curan por aspersión con niebla de agua, o mediante el uso de telas que retienen la humedad, tales como arpillera o algodón esteras. Otros métodos de curado evitan la evaporación del agua mediante el sellado de la superficie con plástico o *sprays* especiales llamados compuestos de curado.

La mayor parte del aumento de la hidratación y la fuerza tienen lugar durante el primer mes del ciclo de vida del hormigón, pero la hidratación continúa a un ritmo más lento durante muchos años.

2.1.2 Factores que afectan la resistencia a la compresión

2.1.2.1 Cemento

Siempre que el cemento cumple con su especificación y se ha almacenado correctamente (es decir, en condiciones secas), debería ser adecuado para su uso en el concreto.

2.1.2.2 Agregados

La calidad de los agregados, su tamaño, la forma, la textura, la dureza, etc. determina la resistencia del hormigón. La presencia de sales (cloruros y sulfatos), limo y arcilla también reduce la resistencia del hormigón.

2.1.2.3 Agua

Con frecuencia la calidad del agua está cubierta por una cláusula que indica que el agua debe ser potable. Este criterio, aunque no es absoluto, debe hacerse referenciando a los respectivos códigos y normas.

2.1.2.4 Relación agua-cemento

Cuanto mayor sea la relación agua / cemento, mayor es la separación inicial entre los granos de cemento y mayor será el volumen de huecos residuales no ocupados por los productos de hidratación.

Para un contenido de cemento dado, la trabajabilidad del hormigón se reduce si la relación agua / cemento se reduce. Una relación agua cemento bajo significa menos agua, o más cemento y menor capacidad de trabajo.

Sin embargo, si la trabajabilidad se convierte en demasiado baja, el hormigón se hace difícil para compactar y la fuerza se reduce. Para un conjunto dado de materiales y las condiciones del ambiente, la resistencia a cualquier edad depende no sólo de la relación agua-cemento, sino de una compactación perfecta.

2.1.2.5 Relación agregado fino-agregado grueso

- Si la proporción de finos se incrementa en relación con el agregado grueso, la superficie global agregado aumentará.
- Si el área de superficie del agregado se ha incrementado, la demanda de agua también aumentará.
- Suponiendo que la demanda de agua ha aumentado, la relación agua/cemento aumentará.
- Puesto que la relación agua/cemento ha aumentado, la resistencia a la compresión se reducirá.

2.1.2.6 Relación agregado-cemento

- Si el volumen sigue siendo el mismo y la proporción de cemento en relación con la de la arena se incrementa, también aumentará la ZTI (Zona de Transmisión Interfacial).
- Si la superficie de los sólidos ha aumentado, la demanda de agua será la misma para la trabajabilidad constante.
- Suponiendo un aumento en el contenido de cemento, pero ningún aumento en la demanda de agua, la relación agua/cemento disminuirá.
- Si la relación agua cemento reduce, la resistencia del hormigón aumentará.

2.1.2.7 La edad del hormigón

El grado de hidratación es sinónimo de la edad de hormigón siempre que el hormigón permanezca húmedo o la temperatura es demasiado baja.

En teoría, cada vez que el hormigón no se seque, la resistencia siempre va a estar aumentando, aunque a un ritmo cada vez menor. Por conveniencia y para aplicaciones más prácticas, generalmente es aceptado que la mayor resistencia es alcanzada al superar los 28 días.

2.1.2.8 La compactación del hormigón

Cualquier aire atrapado resultante de la compactación inadecuada del hormigón plástico dará lugar a una reducción de la resistencia. Si había 10% de aire atrapado en el hormigón, la resistencia caerá en un rango de 30 a 40%.



Ilustración 5: Encofrado metálico de cilindros

Fuente: Autor



Ilustración 6: Encofrado metálico de viguetas

Fuente: Autor

2.1.2.9 La temperatura

El agua y resistencia son dependientes directos de la temperatura. Si la temperatura aumenta también aumenta la resistencia. Esto significa que, si el hormigón se mantiene a una temperatura más alta, ganará fuerza más rápido que un hormigón similar que se mantenga a una temperatura más baja.

Sin embargo, la resistencia final de un hormigón que se mantiene en una temperatura alta, será menor. Esto se debe a la forma física de la pasta de cemento endurecida es menos estructurada y más porosa cuando la hidratación avanza a ritmo veloz.

Este es un punto a destacar ya que la temperatura tiene un efecto perjudicial similar o más pronunciado que la permeabilidad del hormigón.

2.1.2.10 El curado

Si se permite que el concreto se seque, la reacción del curado se detendrá. La reacción de la hidratación no puede proceder sin humedad. A medida que menos se cure el hormigón, menos resistencia alcanzara con el tiempo.



Ilustración 7: Piscina de curado

Fuente: Autor

2.1.3 Resistencia a compresión

La principal finalidad del ensayo a compresión es precisar la máxima resistencia que tiene el cilindro de muestra de un hormigón de cara a una carga axialmente aplicada.

Para determinar la resistencia máxima de los cilindros en el ensayo a compresión, es necesario revisar la información de la ASTM, con fin de conseguir una buena distribución uniforme de la carga; La Práctica Normativa para El Cabeceo de Especímenes Cilíndricos de Concreto (ASTM C617/C617M - 98, 2003), y La Práctica Normativa para El Uso de Capas No Adheridas en la Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido (ASTM C1231/C1231M - 00e1).

En resumen, es recomendable seguir los siguientes pasos para ejecutar correctamente la práctica:

- El diámetro del cilindro se debe medir previo al ensayo. La medición debe ser en los extremos con ángulos rectos entre sí. Deben promediarse para luego calcular el área, ya que no pueden diferir en más del dos por ciento.
- Los extremos de contacto del hormigón con la probeta deben estar con buena perpendicularidad, no más del 0,50% de desviación.
- El cilindro debe estar adecuadamente centrado en la prensa previo al ensayo.
- La fractura cónica es un factor común.
- La resistencia (kg/cm^2) es calculada dividiendo la carga máxima que soporta el hormigón que provee la prensa, sobre el área donde fue aplicada. (ASTM C39/C39M - 12, 2012)
- Se debe someter por lo menos dos cilindros de la misma edad para luego promediarlos y sacar una resistencia más exacta.

Una vez ya realizado todo el procedimiento, anotar los datos es el post-proceso del cual el técnico operador debe tener en cuenta. La fecha de elaboración, la fecha de rotura, la identificación de la probeta, las dimensiones del cilindro, el peso de la muestra, la edad de los

cilindros, la carga máxima aplicada, y el tipo de fractura, son por lo general los datos más esenciales para un buen análisis.

2.1.3.1 Equipos y materiales

- Cilindros de hormigón con altura de 20 cm y con diámetro de 10 cm
- Prensa para aplicar carga
- Dial para la carga
- Balanza de laboratorio

2.1.4 Resistencia a la flexión

Para determinar la resistencia a la flexión del hormigón lo que se hace básicamente es aplicar cargas en los tercios de la luz de una viga simplemente apoyada o en el centro de la viga.



Ilustración 8: Viguetas en proceso de ruptura por flexión

Fuente: Autor

2.1.4.1 Equipos y materiales

La base de la máquina de ensayo deberá estar provista de dos rodillos de acero, de 38 mm de diámetro, en el que la muestra se va a apoyar, y estos rodillos se lo monta de modo que la distancia de centro a centro sea de 60 cm para especímenes de 15 cm o 40 cm para especímenes de 10 cm. La carga se aplica a través montados dos rodillos similares a los terceros puntos del tramo de apoyo, es decir, espaciadas a 20 o 13,3 cm de centro a centro. La carga se divide por igual entre los dos rodillos de carga, y todos los rodillos se montan de una manera tal que la carga se aplica axialmente y sin someter a la muestra a cualquier tensión o restricción de torsión.

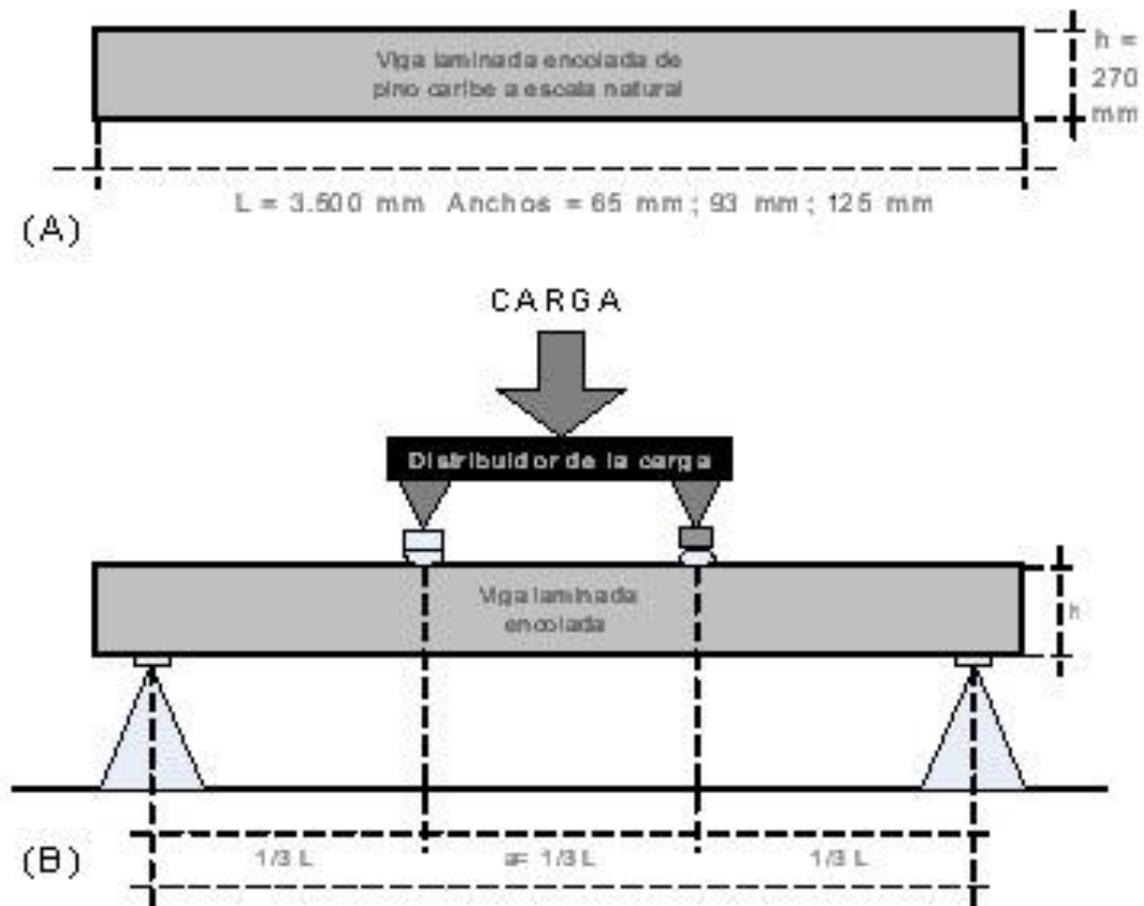


Ilustración 9: Ensayo a flexión en vigas de hormigón simple

Fuente: (Contreras, 2007)

2.1.5 Normas

Para garantizar un nivel de coherencia entre las plantas productoras de cemento, se coloca cierta química y límites físicos en el cemento. Estos límites químicos se definen por una variedad de normas y especificaciones. Por ejemplo, la American Society for Testing Materials (ASTM), tiene especificaciones para todo tipo de hormigón. Los hormigones más usados son con cemento portland y cemento hidráulico. La especificación estándar del cemento portland se encuentra en el ASTM C150, la especificación estándar para cemento hidráulico en el ASTM C595, o ASTM C1157 para la especificación de rendimiento para cementos hidráulicos.

Algunas agencias estatales se refieren a especificaciones muy similares: AASHTO M 85 para el cemento portland y M 240 para cementos mezclados. Estas especificaciones se refieren a métodos de prueba estándar para asegurar que la prueba se realiza de la misma manera. Por ejemplo, ASTM C109 (Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico utilizando 2 pulgadas cubicas), describe en detalle cómo fabricar y cubos de mortero de prueba para las pruebas de resistencia a la compresión de una manera estandarizada.

2.1.6 Diferencias nomenclatura

La ASTM C1157 describe cementos por sus atributos de rendimiento:

Tipo de Cemento	Descripción
Tipo GU	Uso General
Tipo HE	Alta Resistencia Temprana
Tipo MS	Moderada Resistencia a los Sulfatos
Tipo HS	Alta Resistencia a los Sulfatos
Tipo MH	Moderado Calor de Hidratación
Tipo LH	Bajo Calor de Hidratación

Tabla 1: Tipos de cemento

Fuente: Autor

2.1.7 Requisitos de desempeño

Las pruebas químicas verificar el contenido y la composición de cemento, mientras que la prueba física demuestra criterios físicos.

En C150 / M 85 y C595 / M 240, las propiedades tanto químicas y físicas son limitadas. En C1157, los límites son casi en su totalidad los requisitos físicos.

Los requerimientos físicos típicos para cementos son: contenido de aire, la finura, la expansión, la fuerza, el calor de hidratación, y el tiempo de fraguado. La mayoría de estas pruebas físicas se llevan a cabo utilizando pasta de mortero o creado a partir del cemento. El rendimiento del hormigón en el campo se determina por todos los ingredientes concretos, su cantidad, así como el medio ambiente, y el manejo y la colocación de los procedimientos utilizados.

2.1.8 Aditivos

Los aditivos químicos son los ingredientes en el hormigón que no sea el cemento portland, agua, y el agregado que se agregan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. Los productores utilizan aditivos principalmente para reducir el costo de construcción de hormigón; para modificar las propiedades de hormigón endurecido; para asegurar la calidad del hormigón durante la mezcla, transporte, colocación y curado; y para superar determinadas situaciones de emergencia durante las operaciones concretas.

El uso exitoso de las mezclas depende de la utilización de métodos apropiados de dosificación y hormigonado. La mayoría de los aditivos se suministran en forma líquida listos para su uso y se añaden al hormigón en la planta o en el lugar de trabajo. Ciertos aditivos, tales como pigmentos, agentes expansivos y ayudas de bombeo se utilizan sólo en muy pequeñas cantidades y por lo general se procesan por lotes a mano de recipientes previamente medidos.

La eficacia de una mezcla depende de varios factores: el tipo y cantidad de cemento, contenido de agua, tiempo de mezcla, depresión, y las temperaturas del hormigón y el aire. A veces, efectos similares a los conseguidos mediante la adición de aditivos pueden lograrse mediante la alteración de la mezcla de la reducción de la relación agua-cemento de hormigón, la adición de cemento adicional, usando un tipo diferente de cemento, o cambiar el agregado y la gradación de agregado.

2.1.8.1 Funciones

Los aditivos se clasifican según su función. Hay cinco clases distintas de aditivos químicos: incorporador de aire, retardante, acelerante, plastificantes (superplastificantes), y reductor de agua. Todas las demás variedades de mezclas entran en la categoría de especialidad cuyas funciones incluyen la inhibición de la corrosión, la reducción de la contracción, la reducción de la reactividad álcali-sílice, mejora la trabajabilidad, la vinculación, protección contra la humedad, y la coloración. Los aditivos inclusores de aire, se utilizan cuando el hormigón da lugar a burbujas de aire microscópicas.

Los aditivos reductores de agua suelen reducir el contenido de agua requerido para una mezcla de hormigón en alrededor de 5 a 10 por ciento. En consecuencia, el concreto que contiene un aditivo reductor de agua necesita menos agua para llegar a una depresión requerido que el hormigón no tratado. El hormigón tratado puede tener una relación agua/cemento inferior. Esto generalmente indica que un hormigón de mayor resistencia se puede producir sin aumentar la cantidad de cemento. Los recientes avances en la tecnología de mezcla han llevado al desarrollo de los reductores de agua de rango medio. Estos aditivos reducen el contenido de agua de al menos 8 por ciento y tienden a ser más estables en una gama más amplia de temperaturas. Los reductores de agua de gama media proporcionan tiempos de fraguado más consistentes que los reductores de agua estándar.

Los aditivos retardantes frenan la velocidad de fraguado del concreto, se utilizan para contrarrestar el efecto de aceleración de tiempo caliente en el concreto. Las altas temperaturas causan a menudo una mayor tasa de endurecimiento que hace que la colocación y el acabado

sean difícil. Los retardadores mantienen viable el hormigón durante la colocación y retrasan el fraguado inicial del concreto. La mayoría de los retardadores también funcionan como reductores de agua y pueden arrastrar un poco de aire en el hormigón.

Los aditivos acelerantes aumentan la tasa de desarrollo de resistencia inicial, reducir el tiempo requerido para el curado y la protección adecuada, y acelerar el inicio de las operaciones de acabado. Los aditivos acelerantes son especialmente útiles para modificar las propiedades del concreto en clima frío.

Por otra parte, los aditivos superplastificantes, también conocidos como plastificantes o reductores de agua de alto rango (HRWR), reducen el contenido de agua en un 12 a 30 por ciento y se pueden agregar al concreto con baja relación agua/cemento para obtener alto asentamiento del concreto. Así se produce un hormigón de alta fluidez, que se permite colocar con poca o ninguna vibración o compactación. El efecto del superplastificante dura de 30 a 60 minutos, dependiendo de la marca y la dosis, y es seguido por una rápida pérdida de trabajabilidad. Como resultado de la pérdida de asentamiento, superplastificantes normalmente se añaden al hormigón en la obra.

Los aditivos inhibidores de la corrosión entran en la categoría mezcla especialidad y se utilizan para retardar la corrosión del acero de refuerzo en el hormigón. Los inhibidores de corrosión pueden ser utilizados como una estrategia defensiva para estructuras de hormigón, tales como instalaciones marinas, puentes viales y aparcamientos, que serán expuestos a altas concentraciones de cloruro. Otros aditivos de especialidad incluyen mezclas de contracción de reducción y los inhibidores de la reactividad álcali-sílice. Los reductores de contracción se utilizan para controlar la contracción por secado y minimizar el agrietamiento, mientras que los inhibidores de la reacción álcali-sílice controlan problemas de durabilidad asociados con la reactividad de la misma.

2.1.9 Dosificación

La clave para lograr un hormigón durable y fuerte, reside en la dosificación cuidadosa de la mezcla de los ingredientes. Una mezcla que no tiene suficiente pasta para llenar todos los vacíos entre los agregados será difícil de colocar por consiguiente producirá superficies rugosas, a su vez hormigón poroso. Una mezcla con un exceso de pasta de cemento será fácil de colocar y producirá una superficie lisa; Sin embargo, el hormigón resultante no es rentable y puede agrietarse más fácilmente.

La química del cemento portland cobra vida en la presencia de agua. El cemento y el agua forman una pasta que cubre cada una de las partículas de piedra y arena de los agregados. A través de una reacción química llamada hidratación, la pasta de cemento se endurece y aumenta la resistencia.

La calidad de la pasta determina el carácter del hormigón. La fuerza de la pasta, a su vez, depende de la relación de agua/cemento. La relación agua/cemento es el peso del agua de mezcla dividido por el peso del cemento. Una alta calidad del hormigón se produce por la reducción de la relación mencionada anteriormente tanto como sea posible sin sacrificar la trabajabilidad del hormigón fresco, lo que le permite ser colocado correctamente.

Una mezcla bien diseñada posee la trabajabilidad deseada para el hormigón fresco y la durabilidad requerida y la fuerza para el hormigón endurecido. Típicamente, una mezcla es de aproximadamente 10 a 15 por ciento de cemento, 60 a 75 por ciento agregada y 15 a 20 por ciento de agua. Aire arrastrado en muchas mezclas de concreto también puede tomar hasta otro 5 a 8 por ciento.

2.1.10 Otros ingredientes

Cualquier agua natural potable que no tenga sabor ni olor pronunciado se puede utilizar para la mezcla del hormigón. Impurezas excesivas en el agua de mezcla no sólo puede afectar al tiempo y la resistencia del hormigón, sino que también pueden causar eflorescencias, corrosión

del refuerzo, inestabilidad de volumen, y reducción de la durabilidad. Las especificaciones de mezclas de concreto por lo general establecen límites a los cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de amasado a menos que las pruebas se puedan realizar para determinar el efecto que la impureza tenga sobre el resultado final.

Aunque la mayor parte del agua potable es adecuada para la mezcla de concreto, agregados son elegidos con cuidado. Los agregados comprenden 60 a 75 por ciento del volumen total del hormigón. El tipo y tamaño de agregados usados depende del espesor y el propósito del producto final de hormigón

Relativamente secciones delgadas de construcción exigen pequeño agregado grueso, aunque agregados de hasta seis pulgadas de diámetro se han utilizado en las grandes represas. Una gradación continua de tamaños de partículas es deseable para un uso eficiente de la pasta. Además, los agregados deben estar limpios y libres de cualquier asunto que pudiese afectar a la calidad del hormigón.

2.2 Fibra de vidrio

La fibra de vidrio realmente es de vidrio, similar a las ventanas o los vasos. El vidrio se calienta hasta que se funde, dando paso a forzarse a través de orificios superfinos, los cuales crean estos filamentos de vidrio que son tan delgados que se miden mejor en micras.

Estos hilos pueden ser tejidos en muestras más grandes de material, o se dejan en la sustancia hinchada, aunque más familiarizados algo menos estructurado utilizado para el aislamiento o insonorización. Esto dependerá de si se hicieron las hebras extruidas más largas o más cortas, y la calidad de la fibra de vidrio. Para algunas aplicaciones, es importante que las fibras de vidrio tengan pocas impurezas, ya que de lo contrario, esto implica pasos adicionales en el proceso de fabricación.



Ilustración 10: Fibra de vidrio

Fuente: Autor

2.2.1 Fabricación de fibra de vidrio

Se pueden añadir diferentes resinas a la fibra de vidrio una vez que se tejen juntos para darse fuerza, así como también pueden ser moldeados en diversas formas. Los elementos más comunes de fibra de vidrio son piscinas, spas, puertas, tablas de surf, equipos deportivos, cascos de barcos y una amplia gama de piezas exteriores de automóviles.

La naturaleza duradera de la fibra de vidrio también hace que sea ideal para las aplicaciones más delicadas, como en placas de circuitos.

Las fibras de vidrio pueden ser producidas en láminas o hechos a medida para un propósito específico.

2.2.2 Hormigón con fibra de vidrio

El hormigón con fibras de vidrio es un nuevo método de realizar hormigones con alta calidad en la resistencia. Sus estudios previos han resaltado y reflejado datos con altos valores en flexión. Actualmente en el mundo se han realizado estudios sobre el tema, pero lastimosamente en Ecuador no se ha dado la importancia adecuada a este nuevo método que puede beneficiar a

cientos de profesionales en el país, debido a las grandes ofertas y propuestas que este producto ofrece.

¿Por qué se cree que el hormigón con fibras de vidrio nos puede ser útil? Pues el hecho de que las investigaciones a nivel mundial han brindado datos de hormigón con alta resistencia, dan la pauta a revisar e investigar sobre el tema. La fibra de vidrio en Ecuador es un producto muy económico, incluso más económico que el resistente acero. Esta eventualidad nos permite analizar que no nos podemos cerrar y conservar con los métodos constructivos de siempre, sino que también tenemos que ampliar nuestra visión como profesionales. El acero le da la resistencia al hormigón armado. Mientras más acero, más resistencia. Con la fibra de vidrio se ha demostrado que también se le puede dar resistencia al hormigón de manera contundente y sin ningún tipo de método de fabricación (composición y fusión) fuera del alcance de cualquier profesional (incluso estudiantes de pregrado). En tanto a lo económico se puede decir que el hormigón armado se emplea y es la mejor alternativa como material de construcción (con el acero) que se usa hasta el día de hoy debido a la costumbre, y al buen comportamiento que ha presentado al pasar de los años ante la compresión (resistencia), durabilidad, ductilidad, accesibilidad, costo y facilidad de manejo, pero ahora conociendo las fibras de acero y revisando costos, se podría llegar a economizar los presupuestos de obra con esta nueva técnica de elaboración de hormigón para construcciones civiles que es el hormigón con fibras de vidrio, e incluso el comportamiento ante la flexión es mejor en relación al hormigón armado con acero.

El fibrado de vidrio, no es más que un conjunto de materiales que incluyen numerosos filamentos de finos hilos de vidrio, que juntos, mejoran sus cualidades y características físicas y químicas, ya que individualmente no brindan las mismas características que en conjunto.

A su vez, el hormigón con fibra de vidrio está hecho mediante la combinación de una mezcla de arena fina, cemento, polímero (generalmente un polímero acrílico), agua, otros aditivos y fibras de vidrio álcali-resistentes.

2.2.2.1 Beneficios

- Aligerar: aunque la densidad relativa es similar al hormigón, el panel de hormigón con fibra de vidrio puede ser mucho más delgado que los paneles de hormigón tradicionales, haciéndolos más ligeros.
- Aumentar resistencia a la compresión, flexión y tracción: la dosis alta de fibras de vidrio conduce a la resistencia a la tracción mientras que el alto contenido de polímero hace que el hormigón sea flexible y resistente al agrietamiento.

2.2.2.2 Funcionamiento

Las fibras de vidrio utilizadas en el hormigón transmiten su resistencia a él. Por otra parte, estas son resistentes a los alcalinos, actúan como carga de tracción, mientras que la matriz del polímero y hormigón, une las fibras entre sí y se ayudan a transferir las cargas de una fibra a otra. (Follis, Lubari, Nicolai, & Pepe, 2002)

CAPÍTULO III: LA METODOLOGÍA

3.1 Diseño de la investigación

La investigación que se aplica es de tipo experimental, ya que se realizan varios diseños de diferentes resistencias, y lo que en primer lugar se requiere, son los materiales necesarios para proceder a elaborar un hormigón de tipo tradicional. Nuestro medio tiene una alta variedad de canteras e industrias que nos brindan todo tipo de material de construcción para la realización de esta investigación. Para lo nuestro se considerará lo siguiente:

Material	Empresa
Arena Homogenizada	Cantera Canven S.A.
Piedra 3/4	Comercial Disensa
Cemento	Holcim S.A.
Fibra de Vidrio	Comercial Pichincha
Laboratorio	UEES

Tabla 2: Tabla de materiales y laboratorio donde se realiza la practica

Fuente: Autor

En primer lugar, se realiza ensayos preliminares de los agregados, ya que son la parte fundamental para diseñar hormigones con eficacia. Estos, permiten conocer sus propiedades físicas por medio de las normas ASTM. Los ensayos de los que se habla son:

- Granulometría de los agregados fino y grueso
- Densidad saturada superficialmente seca de los agregados
- Peso volumétrico suelto de los agregados
- Peso volumétrico varillado de la piedra
- Absorción

Teniendo en cuenta los ensayos preliminares, se procede a elaborar diseños de hormigón de 190 kg/cm², 210 kg/cm², 290 kg/cm² y 350 kg/cm². Se eligen estas resistencias ya que el método de diseño de la ACI indica que a diferentes tipos de relación A/C, se obtiene diferentes resistencias, por ello se decidió a trabajar con un hormigón no estructural (190 kg/cm²), uno

estructural al límite (210 kg/cm²), uno de resistencia estructural considerable (290 kg/cm²), y uno de alta resistencia (350 kg/cm²). El cuadro del ACI es el siguiente:

A/C	Resistencia kg/cm ²
0.70	140
0.65	190
0.60	210
0.55	250
0.50	290
0.45	310
0.40	350
0.35	390
0.30	410

Tabla 3: Relación agua/cemento

Fuente: (Terreros, Tecnología del Hormigón)

Teniendo los diseños continuamos a la elaboración del hormigón tradicional realizando seis cilindros de cada uno para confirmar si se llega a la resistencia diseñada rompiendo dos a los 7, 14 y 28 días respectivamente.



Ilustración 11: Concretera para realizar la mezcla de agregados

Fuente: Autor

Luego de confirmar que los diseños estén correctamente proporcionados para cada resistencia, se procede a incluirle un porcentaje de fibra de vidrio con respecto al peso de cemento en cada diseño. Estos porcentajes se toman por experiencias previas. Se les agrego el 0.50%, 1%, 1,50% y 2% a cada diseño para observar cómo reacciona la mezcla y como incide está en la resistencia a la compresión y flexión.

Se elaboran dos cilindros para cada porcentaje en cada diseño. Son cuatro diseños, cuatro diferentes porcentajes, y dos cilindros por porcentaje lo que equivale a 32 cilindros.

Con los datos obtenidos, se procede a realizar un modelo matemático de método de mínimos cuadrados para cada uno de los diseños los cuales nos proporcionaran un porcentaje óptimo para cada diseño de hormigón.



Ilustración 12: Prensa para ensayo de compresión y flexión de concreto

Fuente: Autor

Ya teniendo los porcentajes óptimos de fibra de vidrio para cada diseño, se esperan 7, 14 y 28 días para realizar las respectivas rupturas. Se comprueba que los cilindros con el porcentaje de fibra de vidrio hayan reaccionado de forma óptima en su mezcla de hormigón. Los ensayos para la fase de elaboración y rotura de los cilindros son los siguientes:

- Ensayo de compresión
- Ensayo de flexión
- Asentamiento (Cono de Abrams)

Con los resultados se puede dar como concluida la investigación experimental, sacando y dando a conocer conclusiones y recomendaciones que puedan influir en futuras investigaciones, pudiendo con lo realizado confirmar la hipótesis y aportar a los futuros métodos constructivos.

3.2 Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se usaron varios métodos que se encuentran en el ASTM (Asociación Internacional para el Ensayo y Materiales) y el ACI (*American Concrete Institute*), los cuales se basaron en los siguientes:

- Especificación Normalizada para Agregados para Concreto (ASTM C33, 2013)
- *Historical Standard*: Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Gruesos (04, 2012)
- *Historical Standard*: Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Finos (ASTM C128 - 04a, 2012)
- *Historical Standard*: Especificación Normalizada para Concreto Premezclado (ASTM C94/C94M - 09, 2014)
- *Historical Standard*: Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico (ASTM C143/C143M - 10, 2012)

- *Historical Standard*: Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Hormigón en Estado Fresco (ASTM C1688 / C1688M - 14a, 2013)
- *Historical Standard*: Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto (ASTM C39/C39M - 12, 2012)
- *Historical Standard*: Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con Carga en los Tercios del Claro) (ASTM C78/C78M - 02, 2010)
- *Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete* (C1116M, 2015)
- *Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318-02, 2002)
- *Historical Standard*: Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico (ASTM C143/C143M - 10, 2011)

3.3 Técnicas de investigación y pasos a utilizar.

Para lograr tener una claridad en la investigación, es esencial seguir un orden y una organización para adquirir los objetivos programados o para obtener a la información requerida. Esta investigación experimental tiene como base el método científico, donde el mismo incluye técnicas de observación, razonamiento, y predicción. Es por eso que para concebir todo lo mencionado anteriormente, y poder así encaminarse a conseguir información acertada, fiable y lograr comprobar, corregir y emplear conocimiento, es necesario tener en cuenta las siguientes variables para la realización de la misma.

- Hipótesis
- Variables dependientes
- Variables independientes
- Planteamiento del problema
- Objetivos de la investigación
- Formulación del problema
- Justificación del problema
- Delimitación del problema

- Objetivos generales
- Objetivos específicos
- Fuentes consultadas
- Recomendaciones y conclusiones

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Agregados

Los agregados que se utilizaron en el experimento fueron proporcionados por la Cantera Huayco (Comercial Disensa S.A.) y la Cantera CanVen S.A., cuyos materiales son clasificados geológicamente como lutitas silisifacadas en su mayoría. También tienen presencia de areniscas líticas y grauvacas.

4.1.1 Agregado grueso

La piedra $\frac{3}{4}$ que se utiliza en el proyecto tiene las siguientes características:

Tamiz	Diámetro	Peso Parcial	Porcentaje Retenido	Porcentaje Acumulado	Porcentaje Que Pasa	Norma
1"	25.40	0	0%	0%	100%	100
3/8"	9.51	550	55%	55%	45%	20-55
Nº4	4.75	350	35%	90%	10%	0-10
Nº8	2.36	80	8%	98%	2%	0-5
Fondo		20	2%	100%	0%	
		1000	100%			

Tabla 4: Granulometría de piedra $\frac{3}{4}$

Fuente: Autor

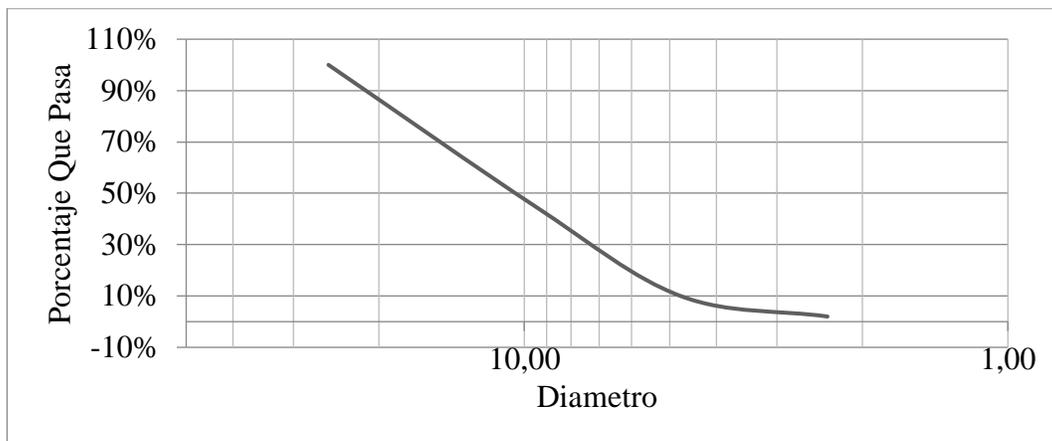


Ilustración 13: Curva granulométrica de piedra $\frac{3}{4}$

Fuente: Autor

4.1.2 Agregado fino

La arena que se utiliza en el proyecto tiene las siguientes características:

Tamiz	Diámetro	Peso parcial	Porcentaje Retenido	Porcentaje Acumulado	Porcentaje Que Pasa	Norma
3/8	9.50	0	0%	0%	100%	100
N4	4.75	40	4%	4%	96%	95-100
N8	2.36	90	9%	13%	87%	80-100
n16	1.18	350	35%	48%	52%	50-85
n30	0.6	230	23%	71%	29%	25-60
n50	0.3	150	15%	86%	14%	5 a 30
N100	0.15	90	9%	95%	5%	0-10
Fondo		50	5%	100%	0%	
		1000	100%			

Tabla 5: Granulometría de arena homogenizada

Fuente: Autor

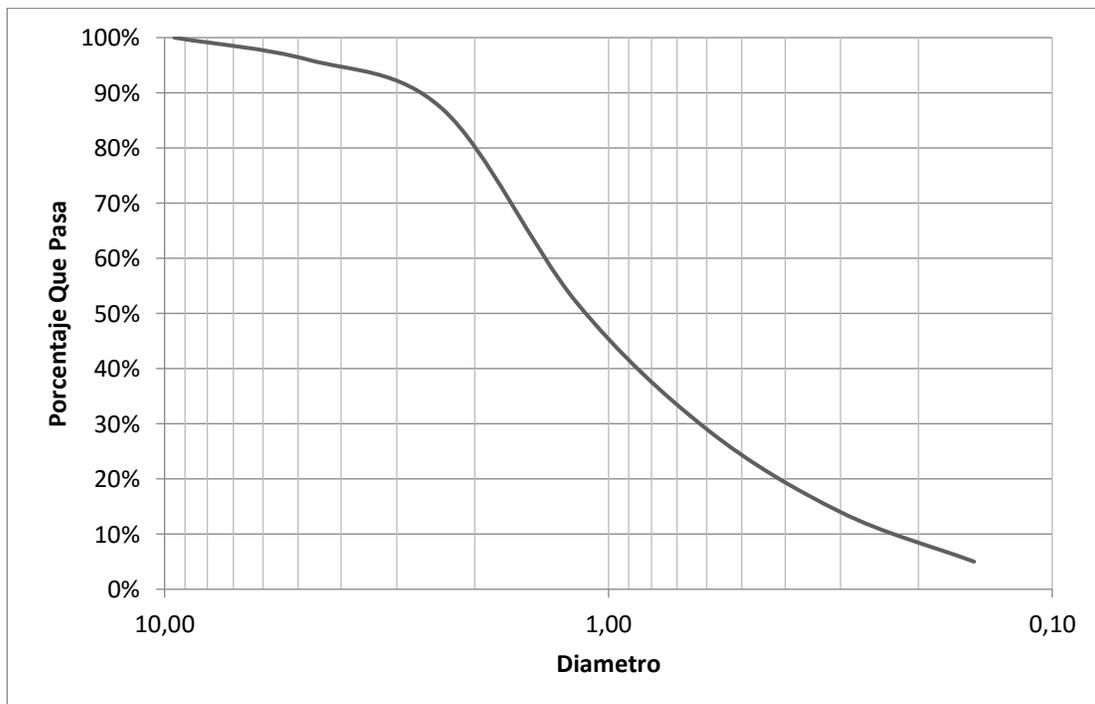


Ilustración 14: Curva granulométrica de arena homogenizada

Fuente: Autor

4.1.3 Cemento

El cemento que se utiliza en este proyecto es de tipo GU y para ver sus características véase el Anexo 1.

4.1.4 Agua

El agua que se usa en los diseños de hormigón de las cuatro diferentes resistencias viene de la red pública de agua potable del cantón de Samborondón. El agua no debe contener ningún tipo de aceite, potasio, sodio, materia organica, sulfato de magnesio, u otras sustancias dañinas que afecten a la resistencia, trabajabilidad y fluidez del hormigón. Ésta cumple con lo requerido.

4.1.5 Fibra de vidrio

Para la investigación, se utiliza fibra de vidrio de la empresa Comercial Pichincha. La misma cumple con las especificaciones ASTM C39 y para ver sus características véase el Anexo 2.

4.2 Modelo matemático

La dispersión de los resultados conlleva a la aplicación del modelo matemático de mínimos cuadrados, el cual es el resultado del ajuste de un conjunto de datos a una función cuadrática, es decir $y=ax^2+bx+c$, donde la matriz “A” corresponde a los coeficientes de cada uno de los elementos de la ecuación, siendo “y” el valor de las resistencias obtenidas y siendo “x” el porcentaje aplicado. Por lo tanto, el objetivo es encontrar los valores “a”, “b” y “c” que se ajusten a la curva más probable.

Nomenclatura para tablas de modelos (Tabla 8, Tabla 13, Tabla 18 y Tabla 23)

- A = Matriz original

- At = Transpuesta de A
- C = At multiplicada por A
- C⁻¹ = Inversa de C
- P = C⁻¹ multiplicada por At
- B = Promedio de resistencias de ensayos con su respectivo porcentaje de fibra de vidrio
- X = Resultados que satisfacen la ecuación (“a”, “b” y “c”)

4.3 Análisis del hormigón de F’c=190 kg/cm2 con fibra de vidrio

4.3.1 Diseño del hormigón de F’c=190 kg/cm2

DISEÑO DE HORMIGON HIDRAULICO					
Resistencia a la compresión f’c (k/cm²):		190			
Revenimiento pedido:		10 cm			
AGREGADO GRUESO	T.Máx.= 3/4 "		AGREGADO FINO		
P.V.V. =	1497	k / m ³	P-V.S. =	1350	k / m ³
P.V.S. =	1366	k / m ³	Ds.s.s. =	2000	k / m ³
D.s.s.s.=	1550	k / m ³	M.F. =	3	
Absorción =	1.52	%	Absorción =	2.2	%
Abs.real =	1.72	%	Abs.real =	2.4	%
a/c =	0.65				
Agua (litros)	205		cemento (k/m ³):	328.3784615	# sacos /m ³ : 6.568
Aire (%):	2		Coefficiente V.A.G.C.:	0.59	
V.Total de agua:	213.45				
VOLUMEN PARA 1 m³ DE HORMIGON			PESO EN KG. PARA 1 m³ DE HORMIGON		
CEMENTO	0.104	0.847537648	CEMENTO:	328.38	kg.
AGUA:	0.213	1.735333333	AGUA:	213.45	kg.
PIEDRA:	0.570	4.632730134	ARENA:	529.85	kg.
AIRE:	0.02	m ³	PIEDRA:	615.945	kg.
ARENA:	0.092	m ³		1687.615	
P+A:	0.662	hghg	0.265	mín. de arena	
Piedra:	0.397				
PESO EN KG. PARA 1 SACO DE CEMENTO			VOLUMEN SUELTO		
CEMENTO:	50	12.5000	ARENA:	0.0598	m ³
AGUA:	20	5.0000	PIEDRA:	0.0687	m ³
ARENA:	80.676	20.1690			
PIEDRA:	93.786	23.4465	GRAMOS		
NUMERO DE CAJONETAS DE 0.40 X 0,40 X 0,20 m..			PORCENTAJE FIBRA		
ARENA:	1.87				
PIEDRA:	2.15				
AGUA:	20	litros			

Tabla 6: Diseño de cantidades de hormigón de F’c=190 kg/cm2

Fuente: Autor

4.3.2 Modelo matemático del hormigón de $F'c=190 \text{ kg/cm}^2$

Diseño de $F_c' = 190$													
Cilindro N°	Fibra de vidrio	Fecha de toma de muestra	Fecha de rotura	Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Porcentaje de resistencia de diseño
1	0.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3623	2.18	8600	105.25	55.39%
2	0.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3667	2.21	8780	107.45	56.55%
3	0.5%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3594	2.17	8920	109.16	57.45%
4	0.5%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3613	2.18	9020	110.39	58.10%
5	1.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3589	2.16	11420	139.76	73.56%
6	1.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3657	2.20	11290	138.17	72.72%
7	1.5%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3603	2.17	11340	138.78	73.04%
8	1.5%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3592	2.17	11580	141.72	74.59%
9	2.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3580	2.16	9810	120.05	63.19%
10	2.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3595	2.17	9870	120.79	63.57%

Tabla 7: Resultados de esfuerzos de hormigones de $f'c=190 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de fibra de vidrio
Fuente: Autor

Método Mínimos Cuadrados									
	0.25	0.5	1		SF	8600	105.25		106.35
A =	1	1	1			8780	107.45		
	2.25	1.5	1		0.50%	8920	109.16		109.77
	4	2	1			9020	110.39		
	0.25	1	2.25	4	1%	11420	139.76		138.96
At =	0.5	1	1.5	2		11290	138.17		
	1	1	1	1	1.50%	11340	138.78		140.25
						11580	141.72		
					2%	9810	120.05		120.42
						9870	120.79		
C = At * A	22.125	12.500	7.500						
	12.500	7.500	5.000						
	7.500	5.000	4.000						
	4.000	-10.000	5.000						
C ⁻¹ =	-10.000	25.800	-13.500		X =	-49.013			109.77
	5.000	-13.500	7.750			129.178			138.96
						57.779		B =	140.25
									120.42
	1.000	-1.000	-1.000	1.000					
P = C ⁻¹ * At	-3.100	2.300	2.700	-1.900					
	2.250	-0.750	-1.250	0.750					
								MAX =	1.32

Tabla 8: Modelo matemático para hormigones de $f'c=190 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Autor

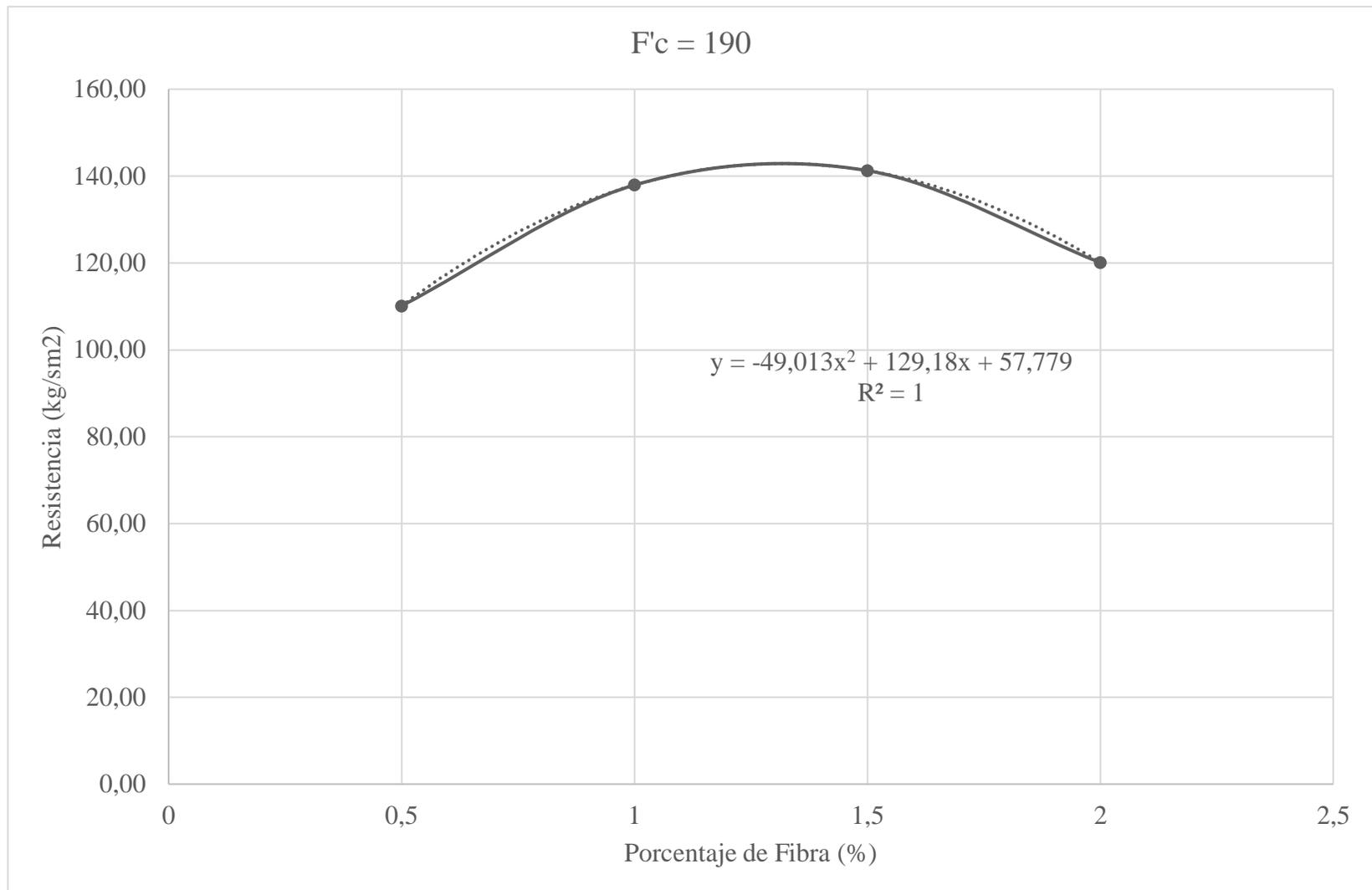


Ilustración 15: Curva parabólica del modelo matemático en hormigones de $f'c=190$ kg/cm²

Fuente: Autor

4.3.3 Roturas a compresión del hormigón de $F'c=190 \text{ kg/cm}^2$

Cilindro N°	$F'c$	Porcentaje de Fibra	Fecha de Elaboración	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Porcentaje de Resistencia de Diseño
1	190	0.00%	05-05-16	12-05-16	7	10	20	78.540	1570.796	3556	8760	111.54	58.70%
2	190	0.00%	05-05-16	12-05-16	7	10	20	78.540	1570.796	3560	8960	114.14	60.07%
3	190	1.32%	05-05-16	12-05-16	7	10	20	78.540	1570.796	3488	9890	125.99	66.31%
4	190	1.32%	05-05-16	12-05-16	7	10	20	78.540	1570.796	3497	10520	134.01	70.53%
5	190	0.00%	05-05-16	19-05-16	14	10	20	78.540	1570.796	3527	11890	151.46	79.72%
6	190	0.00%	05-05-16	19-05-16	14	10	20	78.540	1570.796	3521	11140	141.91	74.69%
7	190	1.32%	05-05-16	19-05-16	14	10	20	78.540	1570.796	3432	12910	164.46	86.56%
8	190	1.32%	05-05-16	19-05-16	14	10	20	78.540	1570.796	3426	13760	175.29	92.26%
9	190	0.00%	05-05-16	29-05-16	28	10	20	78.540	1570.796	3434	15360	195.67	102.98%
10	190	0.00%	05-05-16	29-05-16	28	10	20	78.540	1570.796	3414	14360	182.93	96.28%
11	190	1.32%	05-05-16	29-05-16	28	10	20	78.540	1570.796	3410	17080	217.58	114.52%
12	190	1.32%	05-05-16	29-05-16	28	10	20	78.540	1570.796	3401	16900	215.29	113.31%

Tabla 9: Tabla con resultados de rupturas a compresión de hormigones de $f'c=190 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Autor

4.3.4 Roturas a flexión del hormigón de $F'c=190 \text{ kg/cm}^2$

Vigueta N°	$F'c$	Porcentaje de Fibra	Fecha de Elaboración	Fecha de Rotura	Días	Longitud (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Carga (kg)	Módulo de Resistencia (kg/cm ²)
1	190	0.00%	05-05-16	12-05-16	7	29	10	9	2610	3498	370	11.72
2	190	0.00%	05-05-16	12-05-16	7	29	10	9	2610	3485	390	12.35
3	190	1.32%	05-05-16	12-05-16	7	29	10	9	2610	3510	480	15.20
4	190	1.32%	05-05-16	12-05-16	7	29	10	9	2610	3509	500	15.83
5	190	0.00%	05-05-16	19-05-16	14	29	10	9	2610	3475	500	15.83
6	190	0.00%	05-05-16	19-05-16	14	29	10	9	2610	3523	490	15.52
7	190	1.32%	05-05-16	19-05-16	14	29	10	9	2610	3537.5	690	21.85
8	190	1.32%	05-05-16	19-05-16	14	29	10	9	2610	3521	650	20.58
9	190	0.00%	05-05-16	29-05-16	28	29	10	9	2610	3520	640	20.27
10	190	0.00%	05-05-16	29-05-16	28	29	10	9	2610	3458	630	19.95
11	190	1.32%	05-05-16	29-05-16	28	29	10	9	2610	3485	850	26.92
12	190	1.32%	05-05-16	29-05-16	28	29	10	9	2610	3456	800	25.33

Tabla 10: Tabla con resultados de rupturas a flexión de hormigones de $f'c=190 \text{ kg/cm}^2$
Fuente: Autor

4.4 Análisis del hormigón de F'c=210 kg/cm2 con fibra de vidrio

4.4.1 Diseño del hormigón de F'c=210 kg/cm2

DISEÑO DE HORMIGON HIDRAULICO					
Resistencia a la compresión f'c (k/cm²):		210			
Revenimiento pedido:		10 cm			
AGREGADO GRUESO		T.Máx.= 3/4 "		AGREGADO FINO	
P.V.V. =	1497	k / m³	P-V.S. =	1350	k / m³
P.V.S. =	1366	k / m³	Ds.s.s. =	2000	k / m³
D.s.s.s.=	1550	k / m³	M.F. =	3	
Absorción =	1.52	%	Absorción =	2.2	%
Abs.real =	1.72	%	Abs.real =	2.4	%
a/c =	0.6				
Agua (litros)	205				
Aire (%):	2				
V.Total de agua:	213.45				
VOLUMEN PARA 1 m³ DE HORMIGON		PESO EN KG. PARA 1 m³ DE HORMIGON			
CEMENTO	0.113	0.918165785	CEMENTO:	355.74	kg.
AGUA:	0.213	1.735333333	AGUA:	213.45	kg.
PIEDRA:	0.570	4.632730134	ARENA:	522.90	kg.
AIRE:	0.02	m³	PIEDRA:	607.866	kg.
ARENA:	0.084	m³		1699.951	
P+A:	0.654	hghg	0.261	mín. de arena	
Piedra:	0.392				
PESO EN KG. PARA 1 SACO DE CEMENTO		VOLUMEN SUELTO			
CEMENTO:	50	12.5000	ARENA:	0.0544	m³
AGUA:	20	5.0000	PIEDRA:	0.0625	m³
ARENA:	73.493	18.3733			
PIEDRA:	85.436	21.3590	GRAMOS	PORCENTAJE FIBRA	
NUMERO DE CAJONETAS DE 0.40 X 0,40 X 0,20 m..					
ARENA:	1.70				
PIEDRA:	1.95				
AGUA:	20 litros				

Tabla 11: Diseño de cantidades de hormigón de F'c=210 kg/cm2

Fuente: Autor

4.4.2 Modelo matemático del hormigón de $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Diseño de $F'c = 210$													
Cilindro N°	Fibra de vidrio	Fecha de toma de muestra	Fecha de rotura	Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Porcentaje de resistencia de diseño
1	0.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3579	2.16	9500	116.26	55.36%
2	0.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3632	2.19	9450	115.65	55.07%
3	0.5%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3605	2.17	10230	125.19	59.62%
4	0.5%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3618	2.18	10290	125.93	59.97%
5	1.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3676	2.22	10580	129.48	61.66%
6	1.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3653	2.20	10790	132.05	62.88%
7	1.5%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3692	2.23	12380	151.51	72.15%
8	1.5%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3629	2.19	12430	152.12	72.44%
9	2.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3604	2.17	10770	131.80	62.76%
10	2.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3650	2.20	10610	129.84	61.83%

Tabla 12: Resultados de esfuerzos de hormigones de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de fibra de vidrio
Fuente: Autor

Método Mínimos Cuadrados									
	0.25	0.5	1			SF	9500	116.26	115.95
A =	1	1	1				9450	115.65	
	2.25	1.5	1			0.50%	10230	125.19	125.56
	4	2	1				10290	125.93	
	0.25	1	2.25	4		1%	10580	129.48	130.76
At =	0.5	1	1.5	2			10790	132.05	
	1	1	1	1		1.50%	12380	151.51	151.81
							12430	152.12	
	22.125	12.500	7.500			2%	10770	131.80	130.82
C = At * A	12.500	7.500	5.000				10610	129.84	
	7.500	5.000	4.000						125.56
									130.76
	4.000	-10.000	5.000						B = 151.81
	-								
C ⁻¹ =	10.000	25.800	-13.500				-26.189		130.82
	5.000	-13.500	7.750			X =	72.840		
							92.794		
	1.000	-1.000	-1.000	1.000					
P = C ⁻¹ * At	-3.100	2.300	2.700	-1.900					
	2.250	-0.750	-1.250	0.750					MAX = 1.39

Tabla 13: Modelo matemático para hormigones de $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$
Fuente: Autor

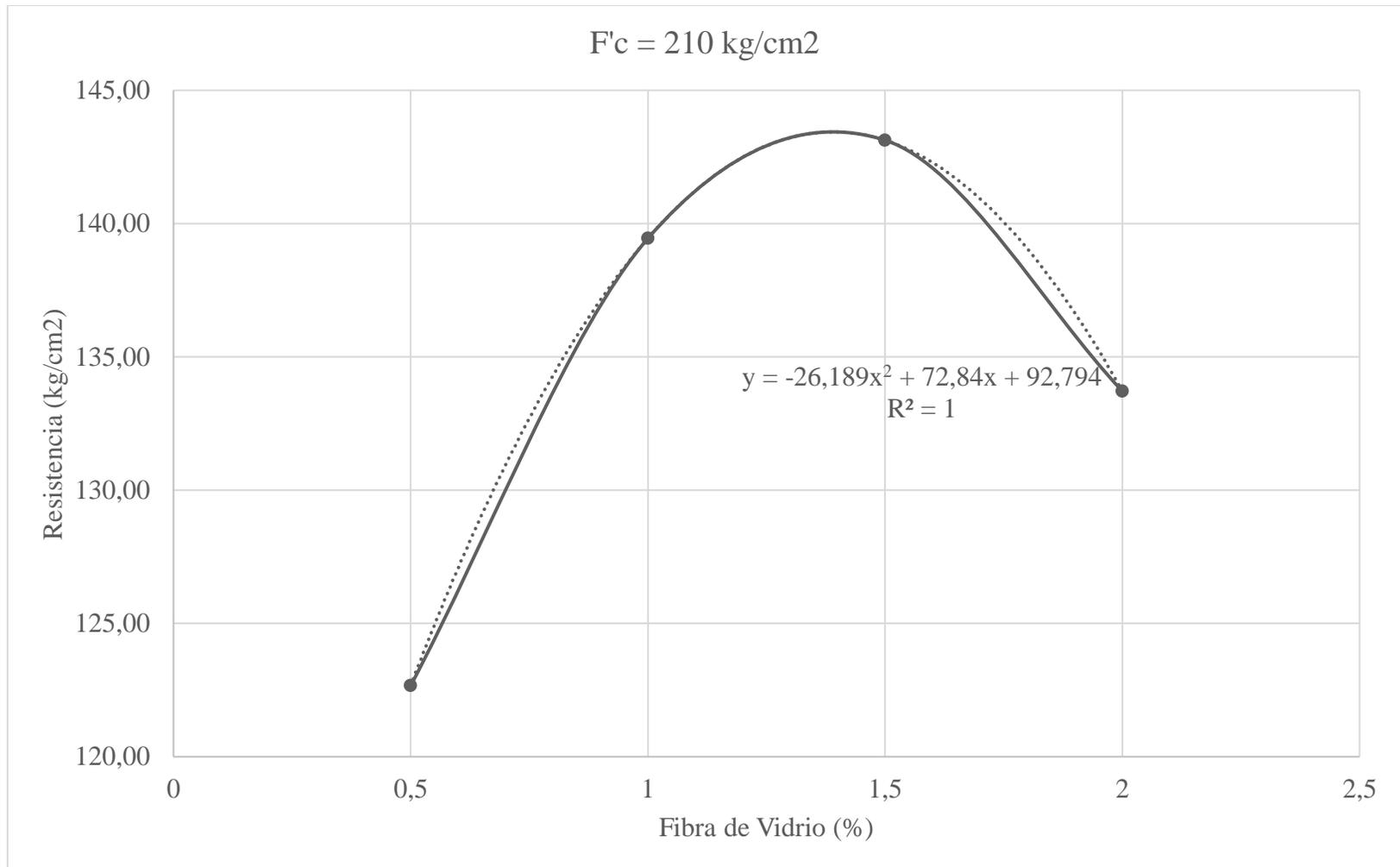


Ilustración 16: Curva parabólica del modelo matemático en hormigones de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Autor

4.4.3 Roturas a compresión del hormigón de $f'c=210$ kg/cm²

Cilindro N°	F'c	Porcentaje de Fibra	Fecha de Elaboración	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Porcentaje de Resistencia de Diseño
1	210	0.00%	16-05-16	23-05-16	7	10	20	78.540	1570.796	3294	9020	114.90	54.72%
2	210	0.00%	16-05-16	23-05-16	7	10	20	78.540	1570.796	3388	9240	117.71	56.05%
3	210	1.39%	16-05-16	23-05-16	7	10	20	78.540	1570.796	3435	11710	149.17	71.03%
4	210	1.39%	16-05-16	23-05-16	7	10	20	78.540	1570.796	3433	11470	146.11	69.58%
5	210	0.00%	16-05-16	30-05-16	14	10	20	78.540	1570.796	3527	12170	155.03	73.82%
6	210	0.00%	16-05-16	30-05-16	14	10	20	78.540	1570.796	3479	12020	153.12	72.91%
7	210	1.39%	16-05-16	30-05-16	14	10	20	78.540	1570.796	3614	15690	199.87	95.18%
8	210	1.39%	16-05-16	30-05-16	14	10	20	78.540	1570.796	3553	15830	201.66	96.03%
9	210	0.00%	16-05-16	13-06-16	28	10	20	78.540	1570.796	3382	16270	207.26	98.70%
10	210	0.00%	16-05-16	13-06-16	28	10	20	78.540	1570.796	3420	16800	214.01	101.91%
11	210	1.39%	16-05-16	13-06-16	28	10	20	78.540	1570.796	3344	20560	261.91	124.72%
12	210	1.39%	16-05-16	13-06-16	28	10	20	78.540	1570.796	3410	20240	257.83	122.78%

Tabla 14: Tabla con resultados de rupturas a compresión de hormigones de $f'c=210$ kg/cm²

Fuente: Autor

4.4.4 Roturas a flexión del hormigón de $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Vigueta N°	F'c	Porcentaje de Fibra	Fecha de Elaboración	Fecha de Rotura	Días	Longitud (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Carga (kg)	Módulo de Resistencia (kg/cm ²)
1	210	0.00%	16-05-16	23-05-16	7	29	10	9	2610	3548	400	12.67
2	210	0.00%	16-05-16	23-05-16	7	29	10	9	2610	3485	410	12.98
3	210	1.39%	16-05-16	23-05-16	7	29	10	9	2610	3425	540	17.10
4	210	1.39%	16-05-16	23-05-16	7	29	10	9	2610	3510	510	16.15
5	210	0.00%	16-05-16	30-05-16	14	29	10	9	2610	3448.5	550	17.42
6	210	0.00%	16-05-16	30-05-16	14	29	10	9	2610	3431.1	540	17.10
7	210	1.39%	16-05-16	30-05-16	14	29	10	9	2610	3520	700	22.17
8	210	1.39%	16-05-16	30-05-16	14	29	10	9	2610	3565	730	23.12
9	210	0.00%	16-05-16	13-06-16	28	29	10	9	2610	3485	730	23.12
10	210	0.00%	16-05-16	13-06-16	28	29	10	9	2610	3468	750	23.75
11	210	1.39%	16-05-16	13-06-16	28	29	10	9	2610	3548	990	31.35
12	210	1.39%	16-05-16	13-06-16	28	29	10	9	2610	3574	930	29.45

Tabla 15: Tabla con resultados de rupturas a flexión de hormigones de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Autor

4.5 Análisis del hormigón de F'c=290 kg/cm2 con fibra de vidrio

4.5.1 Diseño del hormigón de F'c=290 kg/cm2

DISEÑO DE HORMIGON HIDRAULICO					
Resistencia a la compresión f'c (k/cm²):		290			
Revenimiento pedido:		10 cm			
AGREGADO GRUESO		T.Máx.= 3/4 "		AGREGADO FINO	
P.V.V. =	1497	k / m ³	P-V.S. =	1350	k / m ³
P.V.S. =	1366	k / m ³	Ds.s.s. =	2000	k / m ³
D.s.s.s.=	1550	k / m ³	M.F. =	3	
Absorción =	1.52	%	Absorción =	2.2	%
Abs.real =	1.72	%	Abs.real =	2.4	%
a/c =	0.5				
Agua (litros)	205	cemento (k/m ³):	426.892	# sacos /m ³ :	8.538
Aire (%) :	2	Coefficiente V.A.G.C.:	0.59		
V.Total de agua:	213.45				
VOLUMEN PARA 1 m³ DE HORMIGON			PESO EN KG. PARA 1 m³ DE HORMIGON		
CEMENTO	0.136	1.101798942	CEMENTO:	426.89	kg.
AGUA:	0.213	1.735333333	AGUA:	213.45	kg.
PIEDRA:	0.570	4.632730134	ARENA:	504.83	kg.
AIRE:	0.02	m ³	PIEDRA:	586.860	kg.
ARENA:	0.061	m ³		1732.025	
P+A:	0.631	hghg	0.252	mín. de arena	
Piedra:	0.379				
PESO EN KG. PARA 1 SACO DE CEMENTO			VOLUMEN SUELTO		
CEMENTO:	50	12.5000	ARENA:	0.0438	m ³
AGUA:	20	5.0000	PIEDRA:	0.0503	m ³
ARENA:	59.128	14.7820			
PIEDRA:	68.736	17.1841	GRAMOS	PORCENTAJE FIBRA	
NUMERO DE CAJONETAS DE 0.40 X 0,40 X 0,20 m..					
ARENA:	1.37				
PIEDRA:	1.57				
AGUA:	20	litros			

Tabla 16: Diseño de cantidades de hormigón de F'c=290 kg/cm2

Fuente: Autor

4.5.2 Modelo matemático del hormigón de $F'c=290 \text{ kg/cm}^2$

Diseño de $F'c' = 290$													
Cilindro N°	Fibra de vidrio	Fecha de toma de muestra	Fecha de rotura	Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Porcentaje de resistencia de diseño
1	0.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3615	2.18	14320	175.25	60.43%
2	0.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3623	2.18	13300	162.77	56.13%
3	0.5%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3620	2.18	13380	163.74	56.46%
4	0.5%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3547	2.14	13460	164.72	56.80%
5	1.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3604	2.17	14670	179.53	61.91%
6	1.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3571	2.15	14740	180.39	62.20%
7	1.5%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3646	2.20	17970	219.92	75.83%
8	1.5%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3650	2.20	17730	216.98	74.82%
9	2.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3608	2.18	17540	214.65	74.02%
10	2.0%	14-03-16	21-03-16	7	10.2	20.3	81.71	1658.77	3619	2.18	13730	168.03	57.94%

Tabla 17: Resultados de esfuerzos de hormigones de $f'c=290 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de fibra de vidrio
Fuente: Autor

Método Mínimos Cuadrados									
	0.25	0.5	1			SF	14320	175.25	169.01
	1	1	1				13300	162.77	
A =	2.25	1.5	1			0.50%	13380	163.74	164.23
	4	2	1				13460	164.72	
	0.25	1	2.25	4		1%	14670	179.53	179.96
At =	0.5	1	1.5	2			14740	180.39	
	1	1	1	1		1.50%	17970	219.92	218.45
							17730	216.98	
						2%	17540	214.65	191.34
							13730	168.03	
C = At * A	22.125	12.500	7.500						
	12.500	7.500	5.000						
	7.500	5.000	4.000						
	4.000	-10.000	5.000						
C ⁻¹ =	-10.000	25.800	-13.500			X =	-42.833		164.23
	5.000	-13.500	7.750				131.044		179.96
							105.002		218.45
	1.000	-1.000	-1.000	1.000					191.34
P = C ⁻¹ * At	-3.100	2.300	2.700	-1.900					
	2.250	-0.750	-1.250	0.750					
									MAX = 1.53

Tabla 18: Modelo matemático para hormigones de $f'c=290 \text{ kg/cm}^2$
Fuente: Autor

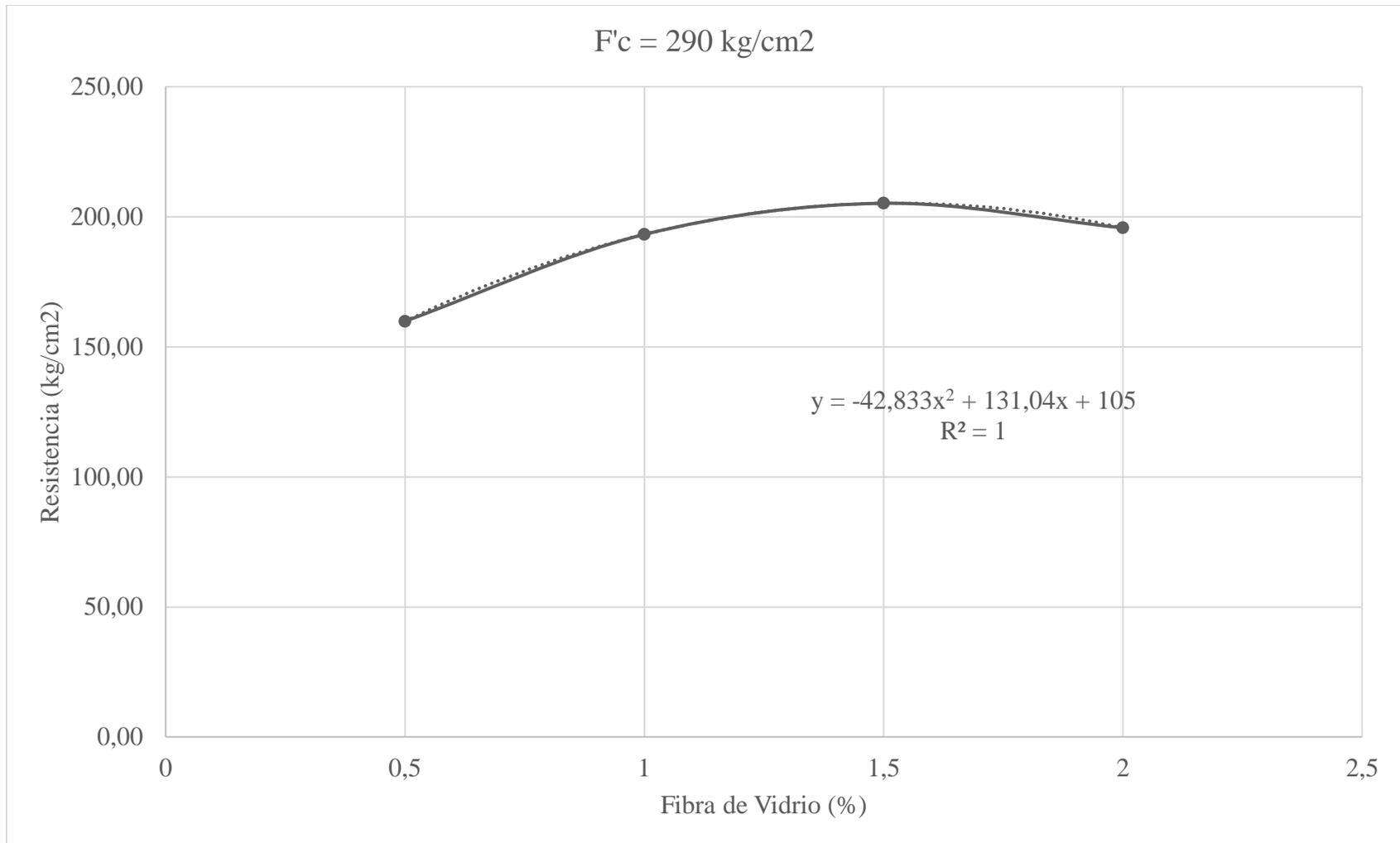


Ilustración 17: Curva parabólica del modelo matemático en hormigones de $f'c=290 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Autor

4.5.3 Roturas a compresión del hormigón de $F'c=290$ kg/cm²

Cilindro N°	F'c	Porcentaje de Fibra	Fecha de Elaboración	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Porcentaje de Resistencia de Diseño
1	290	0.00%	23-05-16	30-05-16	7	10	20	78.540	1570.796	3324	12820	163.23	56.29%
2	290	0.00%	23-05-16	30-05-16	7	10	20	78.540	1570.796	3342	13220	168.32	58.04%
3	290	1.53%	23-05-16	30-05-16	7	10	20	78.540	1570.796	3350	16560	210.85	72.71%
4	290	1.53%	23-05-16	30-05-16	7	10	20	78.540	1570.796	3410	16930	215.56	74.33%
5	290	0.00%	23-05-16	06-06-16	14	10	20	78.540	1570.796	3420	17320	220.52	76.04%
6	290	0.00%	23-05-16	06-06-16	14	10	20	78.540	1570.796	3418	17720	225.62	77.80%
7	290	1.53%	23-05-16	06-06-16	14	10	20	78.540	1570.796	3482	22750	289.66	99.88%
8	290	1.53%	23-05-16	06-06-16	14	10	20	78.540	1570.796	3529	22570	287.37	99.09%
9	290	0.00%	23-05-16	20-06-16	28	10	20	78.540	1570.796	3456	22040	280.62	96.77%
10	290	0.00%	23-05-16	20-06-16	28	10	20	78.540	1570.796	3459	22150	282.02	97.25%
11	290	1.53%	23-05-16	20-06-16	28	10	20	78.540	1570.796	3389	29260	372.55	128.47%
12	290	1.53%	23-05-16	20-06-16	28	10	20	78.540	1570.796	3456	29490	375.48	129.47%

Tabla 19: Tabla con resultados de rupturas a compresión de hormigones de $f'c=290$ kg/cm²

Fuente: Autor

4.5.4 Roturas a flexión del hormigón de $F'c=290$ kg/cm²

Vigueta N°	F'c	Porcentaje de Fibra	Fecha de Elaboración	Fecha de Rotura	Días	Longitud (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Carga (kg)	Módulo de Resistencia (kg/cm ²)
1	290	0.00%	23-05-16	30-05-16	7	29	10	9	2610	3537.2	520	16.47
2	290	0.00%	23-05-16	30-05-16	7	29	10	9	2610	3545.6	550	17.42
3	290	1.53%	23-05-16	30-05-16	7	29	10	9	2610	3554	670	21.22
4	290	1.53%	23-05-16	30-05-16	7	29	10	9	2610	3562.4	660	20.90
5	290	0.00%	23-05-16	06-06-16	14	29	10	9	2610	3570.8	710	22.48
6	290	0.00%	23-05-16	06-06-16	14	29	10	9	2610	3579.2	740	23.43
7	290	1.53%	23-05-16	06-06-16	14	29	10	9	2610	3587.6	920	29.13
8	290	1.53%	23-05-16	06-06-16	14	29	10	9	2610	3596	880	27.87
9	290	0.00%	23-05-16	20-06-16	28	29	10	9	2610	3596	900	28.50
10	290	0.00%	23-05-16	20-06-16	28	29	10	9	2610	3587	920	29.13
11	290	1.53%	23-05-16	20-06-16	28	29	10	9	2610	3698	1180	37.37
12	290	1.53%	23-05-16	20-06-16	28	29	10	9	2610	3587	1150	36.42

Tabla 20: Tabla con resultados de rupturas a flexión de hormigones de $f'c=290$ kg/cm²

Fuente: Autor

4.6 Análisis del hormigón de F'c=350 kg/cm² con fibra de vidrio

4.6.1 Diseño del hormigón de F'c=350 kg/cm²

DISEÑO DE HORMIGON HIDRAULICO					
Resistencia a la compresión f'c (k/cm²):		350			
Revenimiento pedido:		10 cm			
AGREGADO GRUESO		T.Máx.= 3/4 "		AGREGADO FINO	
P.V.V. =	1497	k / m ³	P-V.S. =	1350	k / m ³
P.V.S. =	1366	k / m ³	Ds.s.s. =	2000	k / m ³
D.s.s.s.=	1550	k / m ³	M.F. =	3	
Absorción =	1.52	%	Absorción =	2.2	%
Abs.real =	1.72	%	Abs.real =	2.4	%
a/c =	0.4				
Agua (litros)	205		cemento (k/m ³):	533.615	# sacos /m ³ : 10.672
Aire (%) :	2		Coeficiente V.A.G.C.:	0.59	
V.Total de agua:	213.45				
VOLUMEN PARA 1 m³ DE HORMIGON			PESO EN KG. PARA 1 m³ DE HORMIGON		
CEMENTO	0.169	1.377248677	CEMENTO:	533.62	kg.
AGUA:	0.213	1.735333333	AGUA:	213.45	kg.
PIEDRA:	0.570	4.632730134	ARENA:	477.72	kg.
AIRE:	0.02	m ³	PIEDRA:	555.352	kg.
ARENA:	0.027	m ³		1780.135	
P+A:	0.597	hghg	0.239	mín. de arena	
Piedra:	0.358				
PESO EN KG. PARA 1 SACO DE CEMENTO			VOLUMEN SUELTO		
CEMENTO:	50	12.5000	ARENA:	0.0332	m ³
AGUA:	20	5.0000	PIEDRA:	0.0381	m ³
ARENA:	44.763	11.1907			
PIEDRA:	52.037	13.0092	GRAMOS	PORCENTAJE FIBRA	
NUMERO DE CAJONETAS DE 0.40 X 0,40 X 0,20 m..					
ARENA:	1.04				
PIEDRA:	1.19				
AGUA:	20 litros				

Tabla 21: Diseño de cantidades de hormigón de F'c=350 kg/cm²

Fuente: Autor

4.6.2 Modelo matemático del hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$

Diseño de $Fc' = 350$

Cilindro N°	Fibra de vidrio	Fecha de toma de muestra	Fecha de rotura	Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Porcentaje de resistencia de diseño
1	0,0%	14/03/2016	21/03/2016	7	10,2	20,3	81,71	1658,77	3595	2,17	17370	212,57	60,74%
2	0,0%	14/03/2016	21/03/2016	7	10,2	20,3	81,71	1658,77	3577	2,16	15160	185,53	53,01%
3	0,5%	14/03/2016	21/03/2016	7	10,2	20,3	81,71	1658,77	3581	2,16	15760	192,87	55,11%
4	0,5%	14/03/2016	21/03/2016	7	10,2	20,3	81,71	1658,77	3570	2,15	17140	209,76	59,93%
5	1,0%	14/03/2016	21/03/2016	7	10,2	20,3	81,71	1658,77	3522	2,12	17230	210,86	60,25%
6	1,0%	14/03/2016	21/03/2016	7	10,2	20,3	81,71	1658,77	3551	2,14	17390	212,82	60,81%
7	1,5%	14/03/2016	21/03/2016	7	10,2	20,3	81,71	1658,77	3526	2,13	19500	238,64	68,18%
8	1,5%	14/03/2016	21/03/2016	7	10,2	20,3	81,71	1658,77	3546	2,14	19280	235,95	67,41%
9	2,0%	14/03/2016	21/03/2016	7	10,2	20,3	81,71	1658,77	3568	2,15	18590	227,50	65,00%
10	2,0%	14/03/2016	21/03/2016	7	10,2	20,3	81,71	1658,77	3541	2,13	18340	224,44	64,13%

Tabla 22: Resultados de esfuerzos de hormigones de $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de fibra de vidrio

Fuente: Autor

Método Mínimos Cuadrados									
	0.25	0.5	1			SF	17370	212.57	199.05
A =	1	1	1				15160	185.53	
	2.25	1.5	1			0.50%	15760	192.87	201.31
	4	2	1				17140	209.76	
	0.25	1	2.25	4		1%	17230	210.86	211.84
At =	0.5	1	1.5	2			17390	212.82	
	1	1	1	1		1.50%	19500	238.64	237.29
							19280	235.95	
						2%	18590	227.50	225.97
							18340	224.44	
C = At * A	22.125	12.500	7.500						
	12.500	7.500	5.000						
	7.500	5.000	4.000						
	4.000	-10.000	5.000						
C ⁻¹ =	-10.000	25.800	-13.500						201.31
	5.000	-13.500	7.750						211.84
	1.000	-1.000	-1.000	1.000		X =	-21.845		B =
P = C ⁻¹ * At	-3.100	2.300	2.700	-1.900			74.499		237.29
	2.250	-0.750	-1.250	0.750			166.941		225.97
									MAX = 1.70

Tabla 23: Modelo matemático para hormigones de f'c=350 kg/cm2
Fuente: Autor

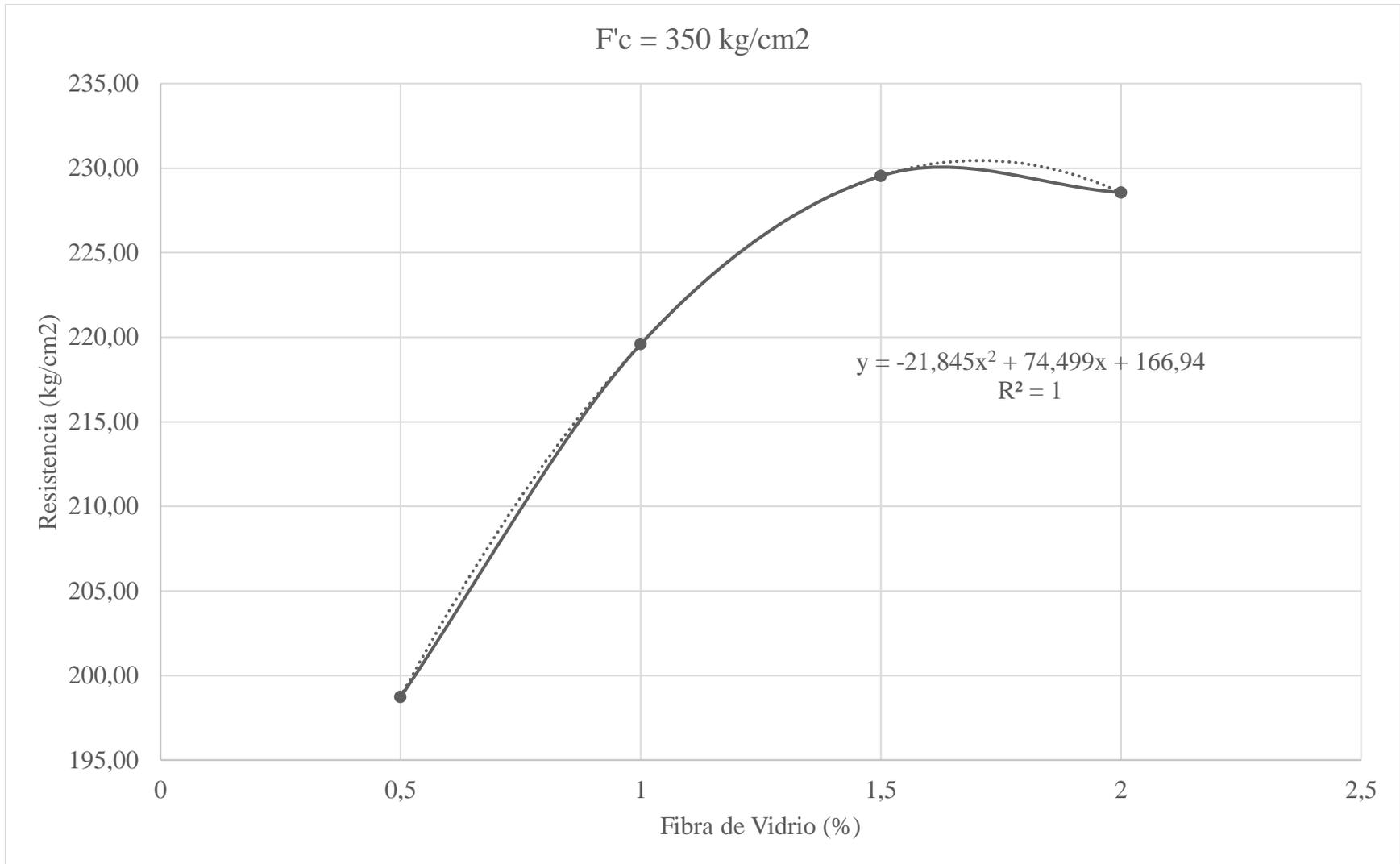


Ilustración 18: Curva parabólica del modelo matemático en hormigones de $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Autor

4.6.3 Roturas a compresión del hormigón de $F'c=350$ kg/cm²

Cilindro N°	F'c	Porcentaje de Fibra	Fecha de Elaboración	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Porcentaje de Resistencia de Diseño
1	350	0.00%	30-05-16	06-06-16	7	10	20	78.540	1570.796	3600	16360	208.41	59.55%
2	350	0.00%	30-05-16	06-06-16	7	10	20	78.540	1570.796	3650	16270	207.26	59.22%
3	350	1.70%	30-05-16	06-06-16	7	10	20	78.540	1570.796	3632	19610	249.81	71.37%
4	350	1.70%	30-05-16	06-06-16	7	10	20	78.540	1570.796	3685	19970	254.39	72.68%
5	350	0.00%	30-05-16	13-06-16	14	10	20	78.540	1570.796	3645	21460	273.38	78.11%
6	350	0.00%	30-05-16	13-06-16	14	10	20	78.540	1570.796	3678	21730	276.82	79.09%
7	350	1.70%	30-05-16	13-06-16	14	10	20	78.540	1570.796	3645	25380	323.31	92.37%
8	350	1.70%	30-05-16	13-06-16	14	10	20	78.540	1570.796	3698	26220	334.01	95.43%
9	350	0.00%	30-05-16	27-06-16	28	10	20	78.540	1570.796	3621	27260	347.26	99.22%
10	350	0.00%	30-05-16	27-06-16	28	10	20	78.540	1570.796	3654	27180	346.24	98.93%
11	350	1.70%	30-05-16	27-06-16	28	10	20	78.540	1570.796	3625	33600	428.03	122.29%
12	350	1.70%	30-05-16	27-06-16	28	10	20	78.540	1570.796	3698	33620	428.28	122.37%

Tabla 24: Tabla con resultados de rupturas a compresión de hormigones de $f'c=350$ kg/cm²

Fuente: Autor

4.6.4 Roturas a flexión del hormigón de $F'c=350$ kg/cm²

Vigueta N°	F'c	Porcentaje de Fibra	Fecha de Elaboración	Fecha de Rotura	Días	Longitud (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Carga (kg)	Módulo de Resistencia (kg/cm ²)
1	350	0.00%	30-05-16	06-06-16	7	29	10	9	2610	3548	660	20.90
2	350	0.00%	30-05-16	06-06-16	7	29	10	9	2610	3558	690	21.85
3	350	1.70%	30-05-16	06-06-16	7	29	10	9	2610	3602	860	27.23
4	350	1.70%	30-05-16	06-06-16	7	29	10	9	2610	3592	810	25.65
5	350	0.00%	30-05-16	13-06-16	14	29	10	9	2610	3541	870	27.55
6	350	0.00%	30-05-16	13-06-16	14	29	10	9	2610	3549	920	29.13
7	350	1.70%	30-05-16	13-06-16	14	29	10	9	2610	3560	1100	34.83
8	350	1.70%	30-05-16	13-06-16	14	29	10	9	2610	3576	1150	36.42
9	350	0.00%	30-05-16	27-06-16	28	29	10	9	2610	3580	1100	34.83
10	350	0.00%	30-05-16	27-06-16	28	29	10	9	2610	3587	1150	36.42
11	350	1.70%	30-05-16	27-06-16	28	29	10	9	2610	3540	1420	44.97
12	350	1.70%	30-05-16	27-06-16	28	29	10	9	2610	3619	1490	47.18

Tabla 25: Tabla con resultados de rupturas a flexión de hormigones de $f'c=350$ kg/cm²
Fuente: Autor

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

5.1.1 Diseños del hormigón

Los diseños del hormigón se hacen en base a los resultados característicos de cada agregado del mismo. La arena homogenizada y la piedra de tamaño máximo $\frac{3}{4}$ deben ser la base para empezar un diseño, ya que las características del cemento siempre serán provistas por la marca y por lo general son constantes. Para realizar el diseño más adecuado es necesario realizar pruebas necesarias, si es que es conveniente, y tener sentido común.

Los diseños se nombran por resistencias en kilogramos sobre centímetros cuadrados (kg/cm²). La relación más cercana para el nombre que se les da es la de agua/cemento. Para eso se tiene la Tabla 3: Relación agua/cemento (ver pág. 32). Los diseños de 190 kg/cm², 210 kg/cm², 290 kg/cm², y 350 kg/cm², se escogen debido que se encuentran como estándares en la Tabla 3, y cada uno de ellos representa un límite: hormigón no estructural, límite de hormigón estructural, hormigón estructural de resistencia media, y hormigón estructural de alta resistencia.

5.1.2 Resumen de investigación

Los porcentajes de fibra de vidrio se descifran realizando los ensayos respectivos. El producto de la investigación infiere en los siguientes resultados:

Resistencia del Hormigón (kg/cm ²)	Fibra de Vidrio Optima (%)	Incremento a Compresión (%)	Incremento a Flexión (%)
190	1.32%	13.92%	29.92%
210	1.39%	23.75%	29.73%
290	1.53%	28.97%	28.02%
350	1.70%	22.33%	29.33%

Tabla 26: Tabla hormigón/fibra de vidrio

Fuente: Autor

5.1.3 Normalización de hormigón con fibra de vidrio

Como sugerencia, ya que se tiene cuatro resultados confiables, se puede ampliar la tabla con el respectivo modelo, la cual nos propone los siguientes resultados:

Resistencia del Hormigón (kg/cm ²)	Fibra de Vidrio Optima (%)
140	1.22
190	1.32
210	1.39
250	1.48
290	1.53
310	1.61
350	1.70
390	1.80
410	1.84

Tabla 27: Tabla hormigón/fibra de vidrio estándar

Fuente: Autor

La tabla se realiza obteniendo una ecuación lineal, ya que, por concepto, y con el análisis previo de los cuatro primeros datos realizados en laboratorio, la ecuación más aproximada es la siguiente.

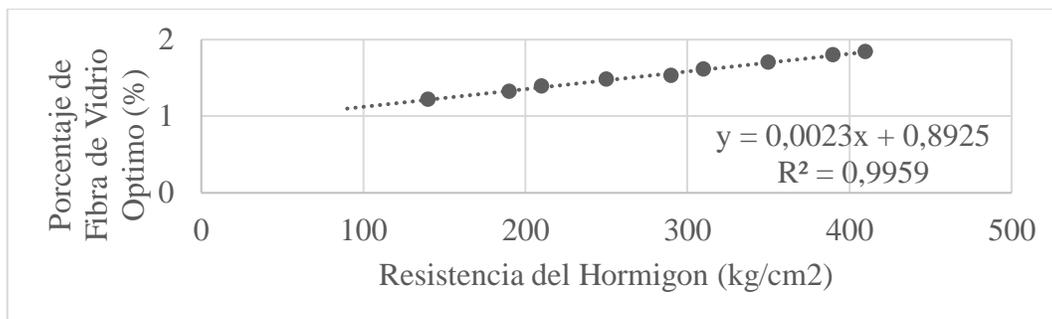


Ilustración 19: Ecuación lineal de la Tabla 27 de hormigón /fibra de vidrio estándar

Fuente: Autor

Se puede observar que siendo lineal la ecuación más aproximada, la fibra de vidrio es directamente proporcional al cemento, ya que va aumentando en correlación con el mismo.

5.1.4 Incremento a compresión y flexión

Se puede concluir que, a mayor uso de cemento, mayor deberá ser mayor el uso porcentual de fibra de vidrio, es decir, el cemento y la fibra de vidrio están directamente relacionados de manera lineal en cuanto al uso en el diseño.

A pesar de saber ya que efectivamente el hormigón con fibra de vidrio aumenta a la resistencia de la flexión en un 28% aproximadamente, ésta a su vez tiene muchos más factores que benefician, complementan y sustentan el uso de la fibra en el mismo.

La flexión, como todos conocen, es una gran debilidad del hormigón, y es por eso que, para realizar las estructuras, los elementos que están sometidos a estos esfuerzos tienen que estar bien abastecidos de una gran cuantía de varilla para poder soportarlos.

Siendo optimistas, este 28% podría ser muy significativo en cualquier movimiento telúrico, ya que la fibra de vidrio no solo le da mayor resistencia a flexión al hormigón, sino que reacciona de tal manera que impide el agrietamiento del mismo, es decir que tiene un mejor comportamiento sismo resistente sobre el hormigón convencional.

5.1.5 Ductilidad

Como todos saben, la ductilidad de un material es la capacidad del mismo al reaccionar de manera plástica, es decir, soportar las cargas aplicadas sin llegar al límite de rotura. A mayor ductilidad, mayor comportamiento plástico previo a la rotura; a menor ductilidad, comportamiento rígido, es decir, una rotura fugaz.

Gracias al incremento de resistencia a la flexión que la fibra de vidrio le otorga al hormigón compuesto, esta, también le otorga este comportamiento más dúctil debido a que la fibra de vidrio es aplicada de forma multidimensional dentro de la mezcla del hormigón compuesto, y junto al incremento de resistencia anteriormente mencionado, proporciona el comportamiento plástico que es una característica esencial para formar un material de hormigón compuesto sismo resistente.

5.1.6 Otras características

Las ventajas de realizar el hormigón con fibra de vidrio no tienen fin, ya que pueden ser directas: como que la resistencia a la compresión y flexión con un mismo diseño aumentan, con respecto al diseño sin fibra; como indirectas: como evitar el reforzamiento con acero en hormigones de resistencia no estructural.

Muchas de las características que lo hacen factible son los siguientes:

- Perdurabilidad (inmunidad de la fibra sobre los álcalis del cemento).
- Impermeabilidad.
- No corrosible.
- Incombustibilidad.
- Peso no varía.
- Resistencia contra fisuras. (fibras multidimensionales)

5.2 Recomendaciones

5.2.1 Trabajabilidad

La fibra de vidrio es un material tipo plástico que viene en tiras como hilos. Para incorporar el fibrado de vidrio es necesario utilizar guantes, ya que hay probabilidades de que por lo fino que el material es, manipularlo puede provocar picazón durante todo el día.

Cuando el material va a ser agregado a la mezcla, es preferible incorporarlo al último. Éste, debe estar debidamente separado e incorporado de a poco, para que no se generen grumos de fibra en ciertas partes, sino que la mezcla sea toda homogénea.

Por experiencia previa, el material cuando se agrega en más del 2% con respecto al peso del cemento, es inmanejable por lo pastosa que se hace la mezcla, pero gracias a la experimentación se pudo concluir que un 2% no sería en ningún caso el valor óptimo para ningún diseño de hormigón.

5.2.2 Futuras investigaciones

Hay variables que no se pudieron llegar a analizar como la permeabilidad, resistencia a tracción, análisis de costos; y todos, con sus respectivas comparaciones con el hormigón convencional. Es por eso que el trabajo realizado se espera que sirva como modelo para futuras investigaciones para poder proporcionar mayor información de la calidad de hormigón que se puede llegar a tener para la ingeniería mundial.

CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA

6.1 Referencias bibliográficas

- 04, A. C. (2012). *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Gruesos.*
- ACI 318-02. (2002). *Building code requirements for structural concrete.* Farmington Hills, Mich. : American Concrete Institute.
- ASTM C1231/C1231M - 00e1. (s.f.). *Historical Standard: Práctica Normativa para El Uso de Capas No Adheridas en la Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido.*
- ASTM C128 - 04a. (2012). *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Finos.*
- ASTM C143/C143M - 10. (2011). *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico.*
- ASTM C143/C143M - 10. (2012). *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico.*
- ASTM C1688 / C1688M - 14a. (2013). *Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Hormigón en Estado Fresco .*
- ASTM C33. (2013). *Especificación Normalizada para Agregados para Concreto (Vol. 04.02).*
- ASTM C39/C39M - 12. (2012). *Historical Standard: Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.*
- ASTM C617/C617M - 98. (2003). *Historical Standard: Práctica Normativa para El Cabeceo de Especímenes Cilíndricos de Concreto.*
- ASTM C78/C78M - 02. (2010). *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con Carga en los Tercios del Claro).*
- ASTM C94/C94M - 09. (2014). *Historical Standard: Especificación Normalizada para Concreto Premezclado.*
- C1116M, A. C. (2015). *Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete.*
- Contreras, W. (26 de Julio de 2007). www.scielo.cl. Recuperado el 28 de Marzo de 2016, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2007000300008
- Follis, M., Lubari, J. P., Nicolai, M., & Pepe, O. (2002). *Hormigón Reforzado con Fibra de Vidrio.* (U. N. Rosario, Ed.) Obtenido de Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y

- Agrimensura: <http://www.fceia.unr.edu.ar/materialescivil/Monografias/02.02.01-Hormigon%20con%20fibra%20de%20vidrio.pdf>
- Gadget, T. G. (s.f.). *Cueva del Civil*. Obtenido de <http://www.cuevadelcivil.com/2011/04/modulo-de-finura-mf.html>
- Goldenhorn, S. (1951). *Calculista de Estructuras de Hormigon Armado, Hierro y Madera*. H.F Martinez de Murguia.
- Holcim Web Page. (s.f.). *Holcim*. Obtenido de <http://www.holcim.com.ec/productos-y-servicios/portafolio-holcim/cementoholcim.html>
- Jiménez, P. (1991). *Hormigón armado*. Barcelona.
- Osorio, J. D. (s.f.). *CONCRETO - 360 GRADOS -BLOG EN CONCRETO 2016*. Obtenido de <http://blog.360gradosenconcreto.com/importancia-del-agua-en-el-concreto/>
- Romo Proaño, M. (s.f.). *Temas de Hormigón Armado*. Valle de los Chillos: Escuela Politécnica del Ejército.
- Tecnologimartin. (22 de Septiembre de 2015). *Plantilla Awesome Inc*. Obtenido de <http://tecnologimartin-2015.blogspot.com/2015/09/semana-vi-agregados.html>
- Terreros, C. (2006). *Materiales de construcción*. Guayaquil: Guayaquil : ESPOL: Centro de Difusión y Publicaciones.
- Terreros, C. (2011). *Diseno de hormigon armado*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Fac. Ciencias Matemáticas y Físicas.
- Terreros, C. (s.f.). *Tecnología del Hormigón*. Guayaquil: ESPOL.

CAPÍTULO VII: ANEXOS

7.1 Anexo 1: Ficha técnica del cemento GU

Especificaciones Técnicas

Cemento Holcim Rocafuerte Tipo GU

Requisitos Químicos

La composición química para el cemento no está especificada en la NTE INEN 2380, sin embargo los constituyentes individuales molidos y mezclados para producirlo son analizados.

Requisitos Físicos

	INEN 2380	Valor referencial
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.80	-0.034
<i>Tiempo de fraguado, método de Vicat</i>		
Inicial, no menos de, minutos	45	220
Inicial, no más de, minutos	420	318
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	3.2
<i>Resistencia a la Compresión, mínimo MPa</i>		
1 día	A	9
3 días	13	18
7 días	20	23
28 días	28	30
Expansión en barras de mortero 14 días, % max.	0.02	0.00

Nota:

1. La información que consta en el cuadro técnico corresponde al promedio de los datos obtenidos en el periodo en curso. Los datos son del cemento típico despachado por Holcim; los despachos individuales pueden tener variaciones.
2. (A) Limite no especificado por la NTE INEN 2380. Resultado reportado sólo como información.

7.2 Anexo 2: Ficha técnica de la fibra de vidrio

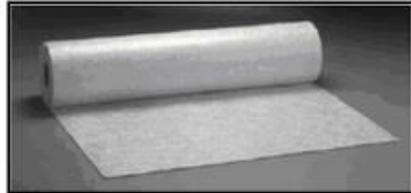


PRODUCT INFORMATION

M133

Chopped Strand Mat for PU panels

This product is produced using Advantex® glass fiber. Advantex® glass fiber combines the electrical and mechanical properties of traditional E-glass with the acid corrosion resistance of E-CR glass.



PRODUCT DESCRIPTION

The M133 chopped strand mat is made with medium size strands of Advantex® Glass, chopped at different lengths to improve the tensile strength and held together by a powder binder which is extremely soluble in styrene. The basic strand has a sizing system containing a silane coupling agent. This sizing system combined with the binder properties make M133 suitable with PU resins. Advantex® glass is a patented glass formulation meeting ASTM D 578 as a boron-free corrosion resistant E-CR glass fiber and ISO 2078 recommendation for use in acid environments.

PRODUCT REFERENCE

Example : M133 300-130 1ST
 M133 : Owens Corning product code
 300 : surface weight (g/m²)
 130 : roll width (cm)
 1ST : number of trimmed edges (zero, one or two)

FEATURES AND PRODUCT BENEFITS

- Good resin wet through
- High tensile strength
- Fast impregnation
- Good fibers' bonding
- Good processability, unwinding and cutting

TECHNICAL CHARACTERISTICS (nominal values)

WEIGHT (G/M ²)	LOSS OF IGNITION (%)	MOISTURE – MAX VALUE(%)
ISO 3374: 2000	ISO 1887: 1995	ISO 3344: 1997
300 ± 20%	4.5 ± 40%	<0.2
450 ± 20%	3.5 ± 40%	
600 ± 20%	3.2 ± 40%	

VISUAL CHARACTERISTICS or POSSIBLE DEFECTS

- Unbound edges
- Holes < 40 mm in diameter or tears
- Dirt spots < 5 mm
- Unsplit strands
- Fiber accumulations < 100 mm

Maximum number of visual defects for a 100 m² roll is 6.

M133

Chopped Strand Mat for PU panels

PRODUCT AVAILABILITY (ROLL CHARACTERISTICS)

Additional weights (from 225 to 900g/m²) and widths (from 10 to 320 cm) are available upon request.

STANDARD WEIGHT (g/m ²)	STANDARD WIDTH (cm)	DIAMETER (cm)	LENGTH (cm)	WEIGHT (Kg)
300	125	39	220	86
450			150	88
600			110	86

A roll is considered to be complete if it measures more than 70% of the nominal length

PACKAGING (STANDARD REF.)

- Each roll is wound on a cardboard tube (internal diameter 101 mm) and wrapped up individually; the height is equal to the width of the mat.
Number of rolls per pallet = 9.

MAT WIDTH	PALLET DIMENSIONS	NET PALLET WEIGHT (Kg)		
(cm)	L x W x H (cm)	300 g/ m ²	450 g/m ²	600 g/m ²
125	120x120x(125+17)	774	792	774

- Special packaging: Strips are packed in cardboard boxes or palletized, according to the quantity.
Rolls higher than 2 m are placed in a wooden cage.

LABELING

Each pallet shall bear two labels with this information: product reference, net and gross weight in kg, packaging and product code, identification code of the palletized unit, and production date.

STORAGE

The M133 mat should be stored in its original packaging in a dry and cool place. Best conditions are at temperature from 10 to 35°C and humidity between 35 and 85%. If you store the product at lower temperatures, please move the soon-to-be-processed pallets to the production area 24 hours ahead of time; remove part of the protective cover of each roll to prevent condensation. You can stock pallets one on one with a plywood plank between the two.

Contact:
ChoppedStrandMats@owenscorning.com



OWENS CORNING
COMPOSITE MATERIALS, LLC
ONE OWENS CORNING PARKWAY
TOLEDO, OHIO 43659
1.800.GET.PINK®
www.owenscorning.com
composites.owenscorning.com

EUROPEAN OWENS CORNING
FIBERGLAS, SPRL
166, CHAUSSEE DE LA HULPE
B-1170 BRUSSELS
BELGIUM
+32 2 674 8211

OWENS CORNING
COMPOSITE SOLUTIONS BUSINESS
ASIA PACIFIC REGIONAL HEADQUARTERS
UNIT 01,02,05,39/F, PUDONG KERRY PARKSIDE,
1155 FANG DIAN ROAD, PUDONG, SHANGHAI
201204, CHINA
+86-21-6101 9666

Advantex® glass is a patented glass formulation meeting ASTM D578 as a boron-free corrosion resistant E-CR glass fiber and ISO 2078 recommendation for use in acid environments. This information and data contained herein is offered solely as a guide in the selection of a reinforcement. The information contained in this publication is based on actual laboratory data and field test experience. We believe this information to be reliable, but do not guarantee its applicability to the user's process or assume any responsibility or liability arising out of its use or performance. The user agrees to be responsible for thoroughly testing any application to determine its suitability before committing to production. It is important for the user to determine the properties of its own commercial compounds when using this or any other reinforcement. Because of numerous factors affecting results, we make no warranty of any kind, express or implied, including those of merchantability and fitness for a particular purpose. Statements in this publication shall not be construed as representations or warranties or as inducements to infringe any patent or violate any law safety code or insurance regulation.

ChoppedStrandMats_M133_emea_10-2013_Rev0

Pub. No. 10018855. Owens Corning reserves the right to modify this document without prior notice. © 2013 Owens Corning. All Rights Reserved.