

**INCIDENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO COMO REFUERZO PARA EL
CONCRETO HIDRÁULICO**

**GERMÁN DARÍO GONZÁLEZ
DIEGO ARMANDO LOPEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2013**

**INCIDENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO COMO REFUERZO PARA EL
CONCRETO HIDRÁULICO**

**GERMÁN DARÍO GONZÁLEZ
DIEGO ARMANDO LOPEZ**

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar por al título de:
Ingeniero Civil**

**Asesor:
ING. VICENTE PARRA SANTACRUZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2013**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en este trabajo son responsabilidad exclusiva del autor”

Artículo 1. Del acuerdo N° 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”

Artículo 13, Acuerdo N. 005 de 2010, emanado del Honorable Concejo Académico.

Nota de aceptación

Director

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, Noviembre de 2013

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiar nuestro camino durante los años de estudio, a nuestros padres, que siempre confiaron en nosotros y que con sus esfuerzos nos permitieron culminar con éxito nuestro objetivo, a todos nuestros familiares y amigos que con sus consejos y palabras sabias nos motivaron en los momentos difíciles, a la Universidad de Nariño por brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales y personas.

A nuestro director. Ingeniero Vicente Parra Santacruz, por orientarnos durante el desarrollo de nuestra investigación, a todos los profesores por brindarnos su conocimiento, al personal del laboratorio de suelos por toda su colaboración y a todo el personal de la Universidad de Nariño.

DEDICATORIA

A mi hermano Carlos José González Delgado, que desde el cielo me acompaña y guía mi camino.

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad".

Albert Einstein

RESUMEN

La presente investigación pretende evaluar la incidencia de las fibras de acero en el concreto simple y su comportamiento como parte integral de cualquier tipo de estructura.

Dentro del campo de la construcción de obras civiles, el concreto hidráulico quizá sea el material más utilizado y por ende en el que se han enfocado diversos tipos de investigaciones para evaluar el comportamiento de sus propiedades físico mecánicas mediante la incorporación de fibras naturales o artificiales.

Se realizó el diseño de la mezcla de concreto simple, basándose en el correcto análisis de los materiales a emplear y con sus respectivas mezclas de prueba para evaluar manejabilidad y resistencia.

Para obtener resultados confiables en el desarrollo de la investigación, se parte de una muestra piloto la que indica si los especímenes evaluados son lo suficientemente concluyentes para obtener datos confiables, y representativos, además se realiza de manera experimental la incorporación de las fibras en diferentes cantidades por metro cúbico de concreto simple para verificar la incidencia de las mismas dentro del nuevo producto, para efectuar de esta manera los análisis correspondientes en cuanto al módulo de rotura y la resistencia a la compresión.

Una vez obtenido el producto final se realiza la estimación económica que toma como precio base el valor por metro cúbico de concreto simple, y el incremento de los costos directos a medida que se varía la cantidad de fibra adicionada por m³ de concreto fibroreforzado.

Para poder correlacionar los valores obtenidos en cuanto a la resistencia a la compresión con su respectivo equivalente al módulo de rotura, partimos de la estadística y sus herramientas para obtener por medio de diferentes regresiones un coeficiente de correlación confiable que relacione las dos variables que se están analizando.

PALABRAS CLAVES.

Fibras de Acero.

Cilindro de Concreto – Ensayo de Compresión.

Concreto Fibroreforzado.

Vigas de Concreto – Ensayo de Flexión.

ABSTRACT

This research aims to assess the impact of steel fibers in plain concrete and its behavior as an integral part of any kind of structure, within the field of construction of civil works, the hydraulic concrete is perhaps the most used item and therefore it is the one which have focused various types of research to evaluate the behavior of their physical mechanical properties by incorporating natural or artificial fibers.

On the design of plain concrete mix was performed, based on the right analysis of the materials for being used and their respective mixtures test to evaluate usability and endurance. to obtain reliable results in the development of research, be part of a pilot sample which indicates whether the specimens are evaluated as conclusive enough to obtain reliable data, and representative, also It is performed in a experimentally way the incorporation of fibers in different amounts per cubic meter of plain concrete to verify occurrence of them in the new product, to thereby carry out the corresponding analyzes in terms of breaking module and compression resistance.

Once the final product is obtained, the economic estimation is performed which is based on the value price per cubic meter of plain concrete, and the increase in direct costs as the amount of fiber added per m^3 of fiber-reinforced concrete varies. To correlate the values obtained in terms of compression resistance equal to its respective module break, we start from the statistics and its tools for by means of different regressions reliable correlation coefficient that relates the two variables that are being analyzed.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
1. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO FIBROREFORZADO	16
2. ALGUNAS APLICACIONES DEL CONCRETO FIBROREFORZADO	17
3. MATERIALES.....	19
3.1 AGREGADOS.	19
4. ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS.....	20
4.1 FIBRA DE ACERO.	20
5. DOSIFICACION DE LA MEZCLA.....	22
6. PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA.....	25
7. ELABORACION DE LA MUESTRA PILOTO.....	29
8. ENSAYOS AL CONCRETO.	39
9. ANÁLISIS ESTADISTICO	58
10. ESTIMACIÓN ECONÓMICA DEL NUEVO PRODUCTO	68
11. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	73
12. CONCLUSIONES.....	77
13. RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla N. 1. Cálculo de los rangos de aceptación de resultados.....	66
Tabla N. 2. Aceptación de datos resultados para 0 kgf y 20 kgf de fibra.....	67
Tabla N. 3. Aceptación de datos resultados para 30 kgf y 40 kgf de fibra.....	67
Tabla N.4. Costos directos del Nuevo Producto.....	69
Tabla N 5. Incidencia de las Fibras de Acero en el costo y resistencia para cada tratamiento.	71
Tabla N. 6. Incidencia de las Fibras de Acero en el Asentamiento.	74
Tabla N. 7. Valores promedios de Resistencia a la Compresión de los diferentes tratamientos.	74
Tabla N. 8. Valores promedios del Módulo de Rotura (fr) de los diferentes tratamientos.	75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura N. 1. Fibras de acero novocon XR.	21
Figura N. 4. Resultado asentamiento obtenido.	27
Figura N. 5. Conjunto completo para la determinación del asentamiento.	40
Figura N. 6. Moldes probetas cilíndricas.	41
Figura N. 7. f'_{cr} vs Tiempo de Curado para 0 kgf de fibra.	43
Figura N. 8. f'_{cr} vs Tiempo de Curado para 20 kgf de fibra.	44
Figura N. 9. f'_{cr} vs Tiempo de Curado para 30 kgf de fibra.	46
Figura N.10. f'_{cr} vs Tiempo de Curado para 40 kgf de fibra.	47
Figura N. 11. Comparación de resultados resistencia a la compresión.	48
Figura N. 12. Método de ensayo a flexión.	49
Figura N. 13. Molde para vigueta.	50
Figura N. 14. f_r vs Tiempo de Curado para 0 kgf de fibra.	51
Figura N. 15. f_r vs Tiempo de Curado para 20 kgf de fibra.	53
Figura N. 16. f_r vs Tiempo de Curado para 30 kgf de fibra.	54
Figura N. 17. f_r vs Tiempo de Curado para 40 kgf de fibra.	56
Figura N. 18. Comparación de resultados módulo de rotura.	57
Figura N. 19. Modelo de la Campana de Gauss.	58
Figura N. 20. Incidencia Económica del nuevo Producto.	70
Figura N. 21. Incidencia de las Fibras de Acero en la (f'_{cr})	70
Figura N. 22. Incidencia de las Fibras de Acero en el Módulo de Rotura (f_r).	71
Figura N. 23. Relación Costo vs. Resistencia a la Compresión.	72
Figura N. 24. Relación Costo vs. Resistencia a la Flexión (f_r).	72

GLOSARIO.

Anova de un factor: El análisis de varianza Anova de un Factor sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa, se trata por lo tanto de una generalización de la prueba T para dos muestras independientes al caso de diseños con más de dos muestras.

Cemento: El cemento portland es un aglomerante hidráulico ya que en combinación con el agua puede desarrollar propiedades, es un producto comercial de fácil adquisición el cual se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de combinarse lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida, el cemento es un Clinker finamente pulverizado, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezclas que contiene cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones, previamente establecidas, para lograr las propiedades deseadas.

Concreto fibroreforzado: Fabricado con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas del concreto simple, las fibras con una adecuada resistencia a la tracción, homogéneamente distribuidas dentro de un concreto, constituyen una micro-armadura la cual, por un lado mejora la fisuración por retracción y, por otro lado, mejora sustancialmente la ductilidad del concreto. NSR 10, Título C, Capítulo C.5.6.6. Basándose en el principio de que el concreto tiene una serie de limitaciones como su comportamiento frágil y baja capacidad de deformación antes de la rotura, como consecuencia de su fragilidad, su resistencia a la tracción resulta muy limitada en comparación con su resistencia a la compresión.

Concreto hidráulico: El concreto hidráulico está compuesto principalmente por cemento Portland, con agregados gruesos y finos, agua, aire atrapado o incluido intencionalmente, además de cierta cantidad de aditivos que se utilizan dependiendo del tipo de uso que requiera la mezcla. NSR 10, Título C.

Diámetro equivalente: Parámetro relacionado respecto a las dimensiones de las placas que conforman las secciones transversales de las láminas (fibras).

Fibras de acero: Producidas a partir de acero laminado en frío, bajo en contenido de carbono, y caracterizadas por su elevado límite elástico (966 -1242 MPa), con ondulaciones continuas que permiten mayor área de contacto con los componentes de la mezcla, la inclusión de las fibras en el concreto tiene como objetivo minimizar el comportamiento frágil característico del mismo, presentando

una resistencia residual a los esfuerzos en él aplicados incluso después de la fisuración.

Potencia: Los estudios cuyos resultados no son estadísticamente significativos suelen denominarse estudios negativos. Sin embargo, la ausencia de significación no implica necesariamente que no exista en la realidad una asociación relevante entre el factor de estudio y la respuesta, la probabilidad de cometer este error se conoce como β , y su complemento $1-\beta$ corresponde a la potencia estadística, en el tamaño de la muestra a estudiar, a mayor tamaño muestral, mayor será la potencia de un estudio.

Relación de aspecto: (Aspect ratio) Se define como la proporción entre su altura y su ancho, para este caso en particular se calcula dividiendo la longitud de la fibra por su diámetro equivalente.

Replicas: En estadística se considera a las réplicas como el número de repeticiones que se necesitan para lograr un nivel de confianza adecuado para poder concluir una de investigación.

INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales de construcción artificiales más antiguos que se conocen, desde la época del imperio romano ya se empezaban a emplear áridos que junto con puzolanas y cal lograban una pasta que utilizaban para realizar sus construcciones, incluso algunas de ellas permanecen en pie hasta nuestros tiempos, logrando sobrevivir más de dos mil años y estando expuestas al ataque de los agentes ambientales.

Una vez manejada la técnica de la elaboración de concretos, se dan los primeros indicios de la incorporación de fibras en el concreto, tales como cabello de cola de caballo fibras de caña y de cabuya.

Con el avance tecnológico en las últimas décadas se han producido innumerables investigaciones con el fin de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto simple.

La incorporación de fibras de acero, plásticas, cerámicas o naturales en el concreto hidráulico que se constituye como la matriz y dispuestas en la proporción adecuada son las que aportan al concreto un mayor o menor refuerzo, que se traduce en una mejora en sus características de tenacidad, control de fisuración y resistencia a flexo tracción. Para que dichas fibras tengan valor, debe producirse adherencia entre la masa del concreto y la fibra añadida, de forma que se genere una mezcla con distribución uniforme que convierta al concreto en un material dúctil que reduzca su fisuración.

En esta investigación trata de cuantificar la incidencia de la incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico, con diferentes variaciones de fibra por m³ de concreto y su posterior evaluación y comparación entre los especímenes elaborados.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Descripción del problema.

El concreto simple ofrece buen comportamiento cuando es sometido a cargas de compresión pero presenta dificultades cuando el mismo es expuesto a cargas de tracción reflejados en el módulo de rotura, muchas investigaciones se han realizado con el fin de mejorar esta propiedad por medio de la incorporación de diferentes tipos de fibras.

Las fibras sintéticas, naturales o artificiales benefician al concreto tanto en estado plástico como endurecido. Algunos de los beneficios incluyen:

- Incremento en la resistencia a la compresión (f_c) y la resistencia a la tracción (f_r) (Módulo de Rotura).
- Reducción del asentamiento (revenimiento).
- Reducción de las fisuras por contracción (retracción) plástica.
- Disminución de la permeabilidad.

El concreto es la herramienta indispensable en la mayoría de las obras civiles, por no decir que en su totalidad, es así que al incorporar al medio un concreto fibroreforzado elaborado con materiales de la región, se estaría aprovechando todas las ventajas que este ofrece, además se debería abrir un espacio considerable para el conocimiento de nuevas tecnologías aplicadas a los diferentes procesos constructivos.

Formulación del problema:

¿Cuál es la incidencia de las fibras de acero como refuerzo en el concreto hidráulico, elaborado con materiales de la región?

Al lograr crear un concreto fibroreforzado, se presenta un incremento en la resistencia a soportar cargas de compresión y flexión considerando esta última como la más favorecida debido a la distribución aleatoria de dichas fibras a lo largo de toda la muestra, además ofrece un refuerzo adicional que proporciona mayor control en las grietas (fisuras) causadas por la pérdida rápida de agua en la superficie del concreto antes de que éste hay fraguado.

OBJETIVOS.

Objetivo general.

- Determinar la incidencia de las fibras de acero como refuerzo en la magnitud de las resistencias a la flexión y compresión del concreto.

Objetivos específicos.

- Determinar la resistencia a la compresión del nuevo producto.
- Estimar la manejabilidad de las mezclas.
- Determinar el módulo de rotura.
- Estimar la incidencia económica en el nuevo producto.

JUSTIFICACIÓN

Dentro del campo de acción del Ingeniero civil, se utiliza concreto en la mayoría de obras, que de acuerdo a su diseño este tendrá diferentes características; con el avance de la tecnología e investigaciones sobre el tema, al concreto se le ha ido incorporando gradualmente diferentes materiales con el fin de buscar el mejor desempeño y rendimiento del producto.

La incorporación de fibras de acero al concreto conlleva a obtener un nuevo producto que probablemente mejore los resultados en el medio de la construcción. Para nuestro trabajo de investigación analizara la influencia de las fibras de acero en una mezcla de concreto hidráulico, su desempeño y mejoras en las propiedades de la misma.

METODOLOGÍA

En este trabajo se realizaran ensayos comparativos entre un concreto patrón, que no contiene fibras y un concreto con distinto porcentaje adicionado de fibra. La fibra adicionada estará relacionada con una cuantía en Kgf por metro cubico así: 20, 30 y 40. El concreto patrón al igual que el fibroreforzado tendrá una resistencia especificada de 17,5 MPa y una resistencia de diseño de 24,5 MPa. Las propiedades del concreto que se estudiaran serán la trabajabilidad, la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión.

1. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO FIBROREFORZADO

Ventajas: Según ponencia expuesta en la “REUNION DEL CONCRETO 2010 (RC)” realizada en Cartagena de Indias, se manifiestan las ventajas de la incorporación de las fibras de acero en el concreto en el concreto simple.¹

Estructurales:

- Mayor control de fisuras.
- Menor permeabilidad.
- Mejora la ductilidad del concreto.
- Mejor resistencia a la fatiga.
- Rápida y sencilla aplicación.
- Mejora el comportamiento y estabilidad de las juntas.
- Permite reducir el número de juntas de retracción.

¹ Manejo de Concreto Fibroreforzado para Obras de Infraestructura, ponente Bruno Luiz Marson Franco.

- No requiere de tratamientos especiales, se aplican las técnicas tradicionales de extendido y acabado.
- Mejora la resistencia a tracción, flexión y corte, produciendo un aumento de la capacidad portante.
- Según otros investigadores permite ahorros de material ya que para revestimientos proyectados con concreto reforzado con fibras, los espesores pueden disminuirse conservando las mismas propiedades.

Constructivas:

- Refuerzo ubicado correctamente en la estructura.
- Reducción en el tiempo de ejecución de la obra.
- Facilidad de manipulación.
- Sustitución parcial o total del refuerzo secundario (mallas electro soldadas)

2. ALGUNAS APLICACIONES DEL CONCRETO FIBROREFORZADO

Pavimentación. Las placas de concreto son expuestas a una alta concentración de esfuerzos de tracción, causado por factores como la deficiencia en la hidratación, retracción y condiciones climatológicas, el esfuerzo ocurre durante la etapa de endurecimiento, el cual es insuficientemente sostenido por un concreto no reforzado, las placas, por estar expuestas a grandes cargas dinámicas, puntuales o distribuidas presentan deformaciones que son transmitidas a la subbase y posteriormente al suelo.

La adición de fibras de acero al concreto simple está concentrada principalmente a control de formación y extensión de las grietas, disminución en la mano de obra, mayor resistencia a la flexión, distribución homogénea de las fibras en la mezcla, entre otras. Este tipo de concreto se ha utilizado con excelentes resultados en diferentes tipos de pavimentos entre otros como:

- Pavimentos industriales.
- Pistas de Aeropuertos.
- Grandes autopistas.
- Reparación de superficies.

Concreto proyectado. Dependiendo del diseño de la mezcla que se considere, la incorporación de fibras de acero al concreto proyectado, puede llegar a reemplazar a la malla electrosoldada, en algunas obras se ha llegado a incrementar el rendimiento de avance hasta un 45%, debido al ahorro de tener que instalar la malla de refuerzo, que además implica un alto riesgo y aumento de costos en la ejecución. Las fibras se distribuyen uniformemente en todo el espesor del concreto proyectado, impartiendo un mejor comportamiento triaxial frente a las tensiones de corte y flexión debido a la disminución drástica de las fisuras por

contracción, sin dejar de mencionar que el efecto de sombra que se produce detrás de la malla electrosoldada puede dejar vacíos que inducen corrosión en la misma y posterior fisuración del concreto.

- Estabilidad de taludes.
- Recubrimiento de paredes en los túneles.
- Industria minera.
- Trabajos de saneamiento.

Prefabricados. Principalmente por la disminución en el refuerzo secundario, el concreto fibroreforzado ofrece un gran desempeño en elementos prefabricados como:

- Dovelas.
- Pequeños tanques de agua.
- Sumideros.
- Fundación tipo zapata.

3. MATERIALES

Para el desarrollo de esta investigación, se realizó la selección de materiales que se emplearan en la mezcla de trabajo, los materiales seleccionados fueron:

- Cemento Portland tipo 1 de ARGOS.
- Arena negra lavada proveniente de la cantera ROSAPAMBA.
- Gravilla tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ ", proveniente de AGRESUR, en Pilcuan.
- Fibras de acero PROPEX NOVOCON XR.

Estos materiales fueron acopiados dentro de la Universidad de Nariño y protegidos de las posibles contaminaciones que se pueden presentar por los cambios climáticos y la interacción con el suelo. Los resultados obtenidos dentro de la caracterización de estos materiales se encuentran en los anexos.

Cemento argos tipo I. De uso general y de fácil adquisición, viene en sacos de 50 kg, de todos los materiales utilizados este es el único cemento que no se puede acopiar en cantidad y por un tiempo prolongado, por lo que solamente se iba comprando la cantidad que se utilizaba en su respectivo momento para evitar su fraguado.

Peso específico. Este ensayo se realiza para saber cuál es el peso por unidad de volumen del cemento ARGOS Tipo I, y con este dato poder dosificar por peso o por volumen. La norma de referencia para este ensayo es la INV E – 307 o ASTM C 114.

3.1 AGREGADOS.

Características generales. Se define como agregado fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el Tamiz N° 4 y cumple con los límites establecidos en la norma ACTM C-33. El agregado podrá consistir en arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias; de perfil preferentemente angular; duro; compacto y resistente; libre de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, exquisitos, pizarras, alcalosis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas para el concreto.

Se define como agregado grueso a aquel material que proviene de la trituración de las rocas extraídas de las canteras, o de los cantos rodados provenientes de los cauces de los ríos naturales o artificiales, es el material retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4) y que cumple con los límites establecidos en la norma ASTM C 33.

4. ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS.

Análisis granulométrico. El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas del agregado, para este fin se determina los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de No.200. La norma de referencia para este ensayo es la INV E – 123. Con los resultados de este ensayo se puede verificar si el material utilizado está bien gradado y por ende lograr una buena granulometría en el conjunto de la mezcla. Se recomiendan para el agregado fino los siguientes límites: (Ver anexo N. 1)

Peso unitario. Este ensayo tiene por objeto establecer el método para determinar el peso unitario y el porcentaje de los vacíos de los agregados, ya sean finos, gruesos o una mezcla de ambos. Se realizó tres ensayos para después promediarlos y obtener un resultado más confiable. La norma de referencia para este ensayo es la INV E – 217 o ASTM C 29/C 29M – 97.

Gravedad específica. Este ensayo tiene por objeto determinar la densidad de los agregados teniendo en cuenta el volumen de vacíos entre partículas y los poros saturables del agregado, en este ensayo se determina la absorción de los materiales, para con estos resultados determinar la cantidad necesaria de agua para el diseño de mezcla. Se realizó tres ensayos para después promediarlos y obtener un valor más certero. La norma de referencia para este ensayo es la INV E – 222, ASTM C 128 – 97, para agregado fino y la INV E – 223, ASTM C 127 – 88 para agregado grueso.

Equivalente de arena. Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. La norma de referencia para este ensayo es la INV E – 133 o ASTM D 2419 – 95, AASHTO T 176 – 02

4.1 Fibra de acero. Propex Novocon XR es una fibra de acero, laminado en frío, bajo en contenido de carbono, con ondulaciones, que se distribuye de manera uniforme en mezclas de concreto para proporcionar una mayor capacidad de unión mecánica y contribuir notablemente en el desempeño del concreto puesto en obra. (Ver figura N. 1).



Figura N. 1. Fibras de acero novocon XR.

Diseños de mezcla y procedimientos. Las Fibras de acero Propex Novocon XR puede ser añadido antes, durante o después de la dosificación del concreto.

Colocación. El concreto armado con fibras de acero Propex Novocon XR puede ser bombeado y colocado usando un equipo convencional, incluyendo equipos de concreto proyectado.

Propiedades físicas y químicas.

- ✓ Peso unitario: 7,37 g/cm³
- ✓ Longitud de la fibra: Entre 38 mm y 50 mm.
- ✓ Diámetro equivalente: 1,14 mm
- ✓ Relación de aspecto: 34 y 44
- ✓ Resistencia a la tracción: (966 a 1242) MPa
- ✓ Deformación: Segmento circular continuamente deformada.
- ✓ Apariencia: Hilo luminoso y limpio.

5. DOSIFICACION DE LA MEZCLA

Generalidades.

Dosificar una mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento, agua y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción en que habrá de utilizarse.

Selección del asentamiento. (Ver anexo N.2)

Se considera un asentamiento de 6,0 cm por consistencia media (plástica), utilizadas en obras como pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones, entre otras, con colocación manual y utilizando la vibración como sistema de compactación.

Tamaño máximo.

- ✓ Tamaño Máximo $1\frac{1}{2}$ "
- ✓ Tamaño Máximo Nominal $\frac{3}{4}$ "

Estimación del agua de mezcla. (Ver anexo N. 3)

Según anexo N. 3 (concreto sin aire incluido) para un Asentamiento de 6,0 cm y para un TMN de $\frac{3}{4}$ " se estima que se necesitan 190 lts de agua por metro cubico de concreto.

Contenido de agua: 190 lts

Determinación de la resistencia de dosificación. (Ver anexo N. 4)

Para justificar el empleo de la resistencia especificada 17,5 MPa se Toma como base lo establecido por la norma NSR – 10 en el artículo C.5.1.1 “El concreto debe dosificarse para que proporcione una resistencia promedio a la compresión, f'_{cr} , según se establece en C.5.3.2, y debe satisfacer los criterios de durabilidad del capítulo C.4. El concreto debe producirse de manera que se minimice la frecuencia de resultados de resistencia inferiores a f'_{c} como se establece en C.5.6.3.3. Para concreto diseñado y construido de acuerdo con el reglamento NSR-10, f'_{c} no puede ser inferior a 17 MPa”

Resistencia de diseño de mezcla $f'_{cr} = 3500 \text{ PSI (24,5 MPa)}$

De anexo N. 4 para concretos menores a 21 MPa.

$$f'_{cr} = f'_c + 7 \text{ MPa} \quad (1)$$

Entonces:

$$24,5 \text{ MPa} = f'_c + 7 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$f'_c = 24,5 \text{ MPa} - 7 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 17,5 \text{ MPa}$$

Partiendo de esta especificación:

$$f'_{cr} = 17,5 \text{ MPa} + 7 \text{ MPa} \quad (3)$$

$$f'_{cr} = 24,5 \text{ MPa}$$

- ✓ Resistencia Especificada $f'_c = 17,5 \text{ MPa (175 kgf/cm}^2)$
- ✓ Resistencia de diseño de Mezcla $f'_{cr} = 24,5 \text{ MPa (245 kgf/cm}^2)$

Selección de la relación agua / cemento (a/c) (Ver Anexo N. 5)

Relación A/C seleccionada = 0.50

Cálculo del contenido de cemento.

$$C = \frac{A}{\left(\frac{A}{C}\right)} \quad (4)$$

$$C = \frac{190}{0.5} \quad (5)$$

$$C = 380 \text{ kgf / m}^3 \text{ de concreto}$$

Agregados. Empleando curva de gradación de fuller. Ver anexo N. 6

$$Vol\ abs.\ Agregados + Vol\ abs.\ Agua + Vol\ abs.\ Cemento = 1000\ dm^3$$

$$Vol\ abs.\ Agregados = 1000\ dm^3 - Vol\ abs.\ Agua - Vol\ abs.\ Cemento$$

$$Vol\ abs.\ Agregados = 1000\ dm^3 - \frac{190}{1} - \frac{380}{3.005} \quad (6)$$

$$Vol\ abs.\ Agregados = 683.54\ dm^3$$

Proporciones obtenidas mediante método gráfico.

$$G\ promedio = \frac{100}{\sum \frac{\%i}{Gi}} = \frac{100}{\frac{40}{2.629} + \frac{60}{2.836}} = 2.75\ \frac{kg}{dm^3} \quad (7)$$

Peso de los Agregados = 683.54 x 2.7 = 1879.74 kgf por m³ de concreto
Peso del Agregado fino = 1879.74 x 0.40 = 751.89 kgf por m³ de concreto
Peso del Agregado Grueso = 1879.74 x 0.60 = 1127.84 kgf por m³ de concreto

Proporciones iniciales en peso (peso seco de agregados)

$$Vol\ abs.\ Material = \frac{Peso\ Material}{Densidad\ o\ Peso\ Especifico} \quad (8)$$

	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	Σ
Peso Mat. (kgf/m ³) ccto	190	380	751.89	1127.84	2449.73
Vol. Abs. Materiales (dm ³ /m ³) concreto	190	126.46	285.94	397.6	1000
Proporciones en peso seco	0.5	1	1.98	2.97	

Proporciones Iniciales en peso seco **0.5: 1: 1.98: 2.97**

6. PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA.

Las disposiciones en general recomiendan que para controles de alta calidad las dosificaciones para la producción del concreto en instalaciones industriales y/o en laboratorios se realicen por peso, para garantizar resultados más confiables de los especímenes evaluados.

Volumen de concreto a preparar

$$\begin{aligned}
 \text{Slump} &= 1 \times 5.165 \text{ dm}^3 = 5.165 \text{ dm}^3 \\
 \text{Cilindros normalizados.} &= 6 \times 5.06 \text{ dm}^3 = 30.36 \text{ dm}^3 \\
 \text{Volumen de concreto a preparar} &= 35.53 \text{ dm}^3 \\
 \text{\% de desperdicios} &= 10 \% \\
 \text{Volumen de concreto a preparar + \% de desperdicios} &= 35.53 \text{ dm}^3 + 3.553 \text{ dm}^3 \\
 \text{Volumen total de concreto a preparar} &= 39.083 \text{ dm}^3 \\
 C_1 = \text{Cantidad de cemento para la primera mezcla de prueba.} & \\
 C_1 = 39.083 \times 380/1000 &= 14.85 \text{ kgf}
 \end{aligned}$$

Humedades de los materiales antes de la mezcla de prueba

$$\begin{aligned}
 \text{Agregado fino: } &3.64 \% & \text{Absorción: } &1.385 \% \\
 \text{Agregado grueso: } &0.95 \% & \text{Absorción: } &1.348 \%
 \end{aligned}$$

(1) Material	(2) Prop. Iniciales (kgf)	(3) Peso Seco (kgf)	(4) Peso Húmedo (kgf)	(5) Aporte Agr. (kgf)	(6) Absorción (kgf)	(7) Agua Libre (kgf)	(8) Aporte (kgf)
AGUA	0.5	7.42					
CEMENTO	1	14.85					
AG. FINO	1,98	29.38	30.45	1.07	0.41	0.66	
AG. GRUESO	2,97	44.06	44.48	0.42	0.59	-0.18	0.49

Peso seco materiales	= Prop. x Peso cemento; (3) = (2) x C ₁
Peso húm. Materiales	= Peso seco x (100+ Wn)/100; (4)=(3)x(100+ Wn)/100
Agua en los Agregados	= Peso húm. mat. - Peso Seco Mat; (5) = (4)-(3)
Absorción	= Peso Seco * %abs./100; (6) = (3) x %abs./100
Agua libre	= Agua en los Agregados - Absorción; (7) = (5) - (6)
Aporte	= Σ Agua libre; (8) = Σ (7)

Agua de mezcla (teórica)	= Agua calculada – Aporte = 7.42 – 0.49 = 6.93 Kgf
Cemento	= 14,85 Kgf
Agregado Fino	= 30.45 Kgf
Agregado. Grueso	= 44,48 Kgf

- ✓ Al realizar la primera mezcla de prueba se observa que para lograr el asentamiento escogido 6 cm, hubo la necesidad de utilizar 7.2 kgf de agua.

Por lo tanto:

Agua = Agua de mezcla (real) + Aporte

Agua = 7.2 + 0.49 = 7.69 kgf

$$\left(\frac{A}{C}\right) Utilizada = \frac{7.69}{14.85} = 0.52 \quad (9)$$

$$\left(\frac{A}{C}\right) Utilizada \neq \left(\frac{A}{C}\right) Seleccionada$$

- ✓ De acuerdo con los resultados obtenidos hubo la necesidad de realizar ajuste por asentamiento.

Ajuste por asentamiento.

MATERIAL	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	SUMATORIA
Proporción Utilizada	0.52	1	1.98	2.97	
Peso Material (kgf)	0.52	1	1.98	2.97	
Vol. Abs. Material (dm ³)	0.52	0.333	0.752	1.046	2.65

$$Contenido\ de\ Cemento = \frac{1000}{2.65} = 377,5\ kgf \quad (10)$$

MEZCLA PREPARADA					
MATERIAL	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	SUMATORIA
Proporción en peso seco	0,52	1,00	1,98	2,97	
Peso Mat. (kgf/m ³ concreto.)	195,40	377,50	746,7	1120,09	2439,7
Vol. Abs. Mat. (dm ³ /m ³ concreto.)	195,40	125,60	284,01	394,95	1000

AJUSTE					
MATERIAL	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	SUMATORIA
Vol. Abs. Mat. (Dm3/m3 ccto.)	194,54	129,53	282,75	393,26	1000,00
Peso Mat. (kgf/m ³ ccto.)	194,54	389,23	743,35	1115,29	2442,41
Proporción en Peso Seco	0,5	1,00	1,91	2,87	

Proporciones ajustadas en peso por asentamiento.

0.5 : 1 : 1.91 : 2.87

SEGUNDA MEZCLA DE PRUEBA.

De acuerdo con las especificaciones mostradas en el anexo N. 2 y después de realizar ajuste por asentamiento, el resultado que se muestra a continuación indica que se encuentra dentro del rango recomendado para las diferentes tipos de construcciones que se desea emplear la mezcla.

✓ Asentamiento obtenido = 6,4 cm (Ver figura N.4)



Figura N. 4. Resultado asentamiento obtenido.

Con las proporciones obtenidas se elaboraron entonces los cilindros de prueba obteniendo los siguientes resultados.

Muestra	Resultados Obtenidos en Maquina de Ensayo (kgf)
1	45800
2	46200
3	46400
4	46000
5	45400
6	45800

Diámetro = 15,4 cm

Area del Cilindro = 186,265 cm²

(11)

$$R_{28} = \frac{\text{Resultados Obtenidos en maquina de ensayo (Kgf)}}{\text{Area del Cilindro}}$$

Especimen	A / C	R28 (kgf / cm²)
1	0,5	245,88
2	0,5	248,03
3	0,5	249,10
4	0,5	246,95
5	0,5	243,73
6	0,5	245,88

Resistencia promedio a los 28 días.

Mezcla	A / C	R28 (kgf / cm²)
1	0,5	246,5

El valor de la resistencia a la compresión a los 28 días obtenida con la muestra primera mezcla de prueba indica que los resultados se encuentran dentro del rango de tolerancia entre ($\pm 5\%$) kgf / cm², por lo tanto no se necesita ajuste por resistencia.

7. ELABORACION DE LA MUESTRA PILOTO

ELABORACIÓN DE CILINDROS.

Concreto simple.

- Volumen de concreto a preparar.

Slump.	$2 \times 5,165 \text{ dm}^3$	$= 10,33 \text{ dm}^3$
Cilindros normalizados.	$10 \times 5,06 \text{ dm}^3$	$= 50,6 \text{ dm}^3$
Volumen de concreto a preparar		$= 60,93 \text{ dm}^3$
% de desperdicios		$= 10 \%$
Volumen de concreto a preparar + % de desperdicios		$= 60,93 \text{ dm}^3 + 6,1 \text{ dm}^3$
Volumen total de concreto a preparar		$= 67,03 \text{ dm}^3$

	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	SUMATORIA
VOLUMEN (dm³)	194,54	129,53	282,75	393,26	1000,00
PESO (Kgf)	194,54	389,23	743,35	1115,29	2442,41
PROPORCIONES	0,5	1,00	1,91	2,87	

$C_2 =$ Cantidad de cemento para la muestra piloto.
 $C_2 = 67,03 \times 389,23 / 1000 = 26,21 \text{ kgf}$

Humedades de los materiales antes de la muestra piloto.

% Humedad agregado fino: 3,73	% Absorción agregado fino: 1,385
% Humedad agregado grueso: 1,1	% Absorción agregado grueso: 1,348

(1) Material	(2) Prop. Iniciales (kgf)	(3) Peso Seco (kgf)	(4) Peso Húmedo (kgf)	(5) Aporte Agr. (kgf)	(6) Absorción (kgf)	(7) Agua Libre (kgf)	(8) Aporte (kgf)
AGUA	0,5	13,05					
CEMENTO	1	26,09					
AG. FINO	1,91	49,83	51,69	1,86	0,69	1,17	
AG. GRUESO	2,87	74,76	75,58	0,82	1,01	-0,19	0,98

Agua de mezcla (teórica)	$= 12,06 \text{ Kgf}$
Cemento	$= 26,09 \text{ Kgf}$
Agregado Fino	$= 51,69 \text{ Kgf}$
Agregado. Grueso	$= 75,58 \text{ Kgf}$

NOTA: Según Norma INV E – 401 – 07 para muestreo de mezclas, indica la necesidad de medir asentamiento por cada proceso de producción del concreto, para este caso y por capacidad de la mezcladora utilizada hubo la necesidad de realizar dos producciones de concreto para obtener los especímenes deseados.

Resultado del asentamiento obtenido:

$$M_1 = 6,5 \text{ cm} \qquad M_2 = 6,3 \text{ cm}$$

✓ Asentamiento promedio = 6,4 cm

Dosificación de las fibras de acero por m³ de concreto. Ver anexo N. 9

✓ PESO UNITARIO (γ) g/cm³

$$\gamma = 7,37$$

✓ DIAMETRO EQUIVALENTE (De) mm

$$De = 1,14$$

✓ RELACION DE ASPECTO (λ)

$$\lambda = \frac{L}{De} \qquad (12)$$

$$\lambda = \frac{38}{1,14} = 33,33$$

Mezcla con 20 kgf de fibra por m³ de concreto:

✓ Volumen de concreto a preparar:

Slump.	2 x 5,165 dm ³	= 10,33dm ³
Cilindros normalizados.	10 x 5,06 dm ³	= 50,6 dm ³
Volumen de concreto a preparar		= 60,93 dm ³
% de desperdicios		= 10 %
Volumen de concreto a preparar + % de desperdicios		= 60.93 dm ³ + 6,1 dm ³
Volumen total de concreto a preparar		= 67,03 dm ³
Peso unitario fibras de acero		= 7,37 gr/cm ³
Volumen de fibra para 20 kgf		= 2,71 dm ³ /m ³
% de participación de fibra por m ³ de concreto		= 0,271 %
% de participación del concreto	= 100 % – 0,271 % = 99,729 % = 0,99729	

	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	FIBRA	SUMATORIA
VOLUMEN (dm³)	194,03	129,19	282,01	392,24	2,71	1000,00
PESO (Kgf)	194,03	388,21	741,41	1112,38	20,00	2456,03
PROPORCIONES	0,5	1,00	1,91	2,87	0,05	

C_3 = Cantidad de cemento para la muestra.

$$C_3 = 67,03 \times 388,21 / 1000 = 26,02 \text{ kgf}$$

Humedades de los materiales antes de la muestra con 20 kgf de fibra por m³

% Humedad agregado fino: 3,80 % Absorción agregado fino: 1,385
 % Humedad agregado grueso: 1,05 % Absorción agregado grueso: 1,348

(1) Material	(2) Prop. Iniciales (kgf)	(3) Peso Seco (kgf)	(4) Peso Húmedo (kgf)	(5) Aporte Agr. (kgf)	(6) Absorción (kgf)	(7) Agua Libre (kgf)	(8) Aporte (kgf)
AGUA	0,50	13,01					
CEMENTO	1,00	26,02					
AG. FINO	1,91	49,70	51,59	1,89	0,69	1,20	
AG. GRUESO	2,87	74,56	75,35	0,78	1,01	-0,22	0,98
FIBRA	0,05	1,34					

Agua de mezcla (teórica)	= 12,03 Kgf
Cemento	= 26,02 Kgf
Agregado Fino	= 51,59 Kgf
Agregado. Grueso	= 75,35 Kgf
Fibra de Acero	= 1,34 kgf

Resultado del asentamiento obtenido:

$$M_1 = 6,1 \text{ cm} \quad M_2 = 5,9 \text{ cm}$$

✓ Asentamiento promedio = 6,0 cm

Mezcla con 30 kgf de fibra por m³ de concreto:

✓ Volumen de concreto a preparar:

Slump.	$2 \times 5,165 \text{ dm}^3$	= 10,33dm ³
Cilindros normalizados.	$10 \times 5,06 \text{ dm}^3$	= 50,6 dm ³
Volumen de concreto a preparar		= 60,93 dm ³
% de desperdicios		= 10 %
Volumen de concreto a preparar + % de desperdicios		= 60,93 dm ³ + 6,1 dm ³

Volumen total de concreto a preparar = 67,03 dm³
 Peso unitario fibras de acero = 7,37 gr/cm³
 Volumen de fibra para 30 kgf = 4,07 dm³
 % de participación de fibra por m³ de concreto = 0,407 %
 % de participación del concreto = 100 % - 0,407 % = 99,593 % = 0,99593

	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	FIBRA	SUMATORIA
VOLUMEN (dm³)	193,74	128,99	281,59	391,64	4,07	1000,00
PESO (Kgf)	193,74	387,63	740,29	1110,70	30,00	2462,35
PROPORCIONES	0,5	1,00	1,91	2,87	0,08	

C₄ = Cantidad de cemento para la muestra.

$$C_4 = 67,03 \times 387,63 / 1000 = 25,98 \text{ kgf}$$

Humedades de los materiales antes de la muestra con 30 kgf de fibra por m³.

% Humedad agregado fino: 3,95 % Absorción agregado fino: 1,385
 % Humedad agregado grueso: 1,02 % Absorción agregado grueso: 1,348

(1) Material	(2) Prop. Iniciales (kgf)	(3) Peso Seco (kgf)	(4) Peso Húmedo (kgf)	(5) Aporte Agr. (kgf)	(6) Absorción (kgf)	(7) Agua Libre (kgf)	(8) Aporte (kgf)
AGUA	0,50	12,99					
CEMENTO	1,00	25,98					
AG. FINO	1,91	49,62	51,58	1,96	0,69	1,27	
AG. GRUESO	2,87	74,45	75,21	0,76	1,00	-0,24	1,03
FIBRA	0,08	2,01					

Agua de mezcla (teórica)	= 11,96	Kgf
Cemento	= 25,98	Kgf
Agregado Fino	= 51,58	Kgf
Agregado. Grueso	= 75,21	Kgf
Fibra de Acero	= 2,01	kgf

Resultado del asentamiento obtenido:

$$M_1 = 5,0 \text{ cm}$$

$$M_2 = 4,8 \text{ cm}$$

✓ Asentamiento promedio = 4,9 cm

Mezcla con 40 kgf de fibra por m³ de concreto:

✓ Volumen de concreto a preparar:

Slump.	2 x 5,165 dm ³	= 10,33dm ³
Cilindros normalizados.	10 x 5,06 dm ³	= 50,6 dm ³
Volumen de concreto a preparar		= 60,93 dm ³
% de desperdicios		= 10 %
Volumen de concreto a preparar + % de desperdicios		= 60,93 dm ³ + 6,1 dm ³
Volumen total de concreto a preparar		= 67,03 dm ³
Peso unitario fibras de acero		= 7,37 gr/cm ³
Volumen de fibra para 40 kgf		= 5,427 dm ³
% de participación de fibra por m ³ de concreto		= 0,5427 %
% de participación del concreto = 100 % - 0,5427 %		= 99,457 % = 0,99457

	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	FIBRA	SUMATORIA
VOLUMEN (dm³)	193,50	128,84	281,25	391,17	5,43	1000,00
PESO (Kgf)	193,50	387,16	739,39	1109,35	40,00	2469,41
PROPORCIONES	0,5	1,00	1,91	2,87	0,10	

C₅ = Cantidad de cemento para la muestra con 40 Kgf de fibra por m³.

$$C_5 = 67,03 \times 387,16/1000 = 25,95 \text{ kgf}$$

Humedades de los materiales antes de la muestra con 40 kgf de fibra por m³.

% Humedad agregado fino: 3,86 % Absorción agregado fino: 1,385
 % Humedad agregado grueso: 0,97 % Absorción agregado grueso: 1,348

(1) Material	(2) Prop. Iniciales (kgf)	(3) Peso Seco (kgf)	(4) Peso Húmedo (kgf)	(5) Aporte Agr. (kgf)	(6) Absorción (kgf)	(7) Agua Libre (kgf)	(8) Aporte (kgf)
AGUA	0,50	12,98					
CEMENTO	1,00	25,95					
AG. FINO	1,91	49,56	51,47	1,91	0,69	1,23	
AG. GRUESO	2,87	74,36	75,08	0,72	1,00	-0,28	0,95
FIBRA	0,10	2,68					

Agua de mezcla (teórica)	= 12,98	Kgf
Cemento	= 25,95	Kgf
Agregado Fino	= 51,47	Kgf
Agregado. Grueso	= 75,08	Kgf
Fibra de Acero	= 2,68	kgf

Resultado del asentamiento obtenido:

$$M_1 = 4,2 \text{ cm} \qquad M_2 = 4,0 \text{ cm}$$

✓ Asentamiento promedio = 4,1 cm

ELABORACIÓN VIGAS DE ENSAYO.

La elaboración de una viga o losa de concreto no reforzada, se realiza con el fin de medir el módulo de rotura de la mezcla diseñada, al igual que comprobar las correlaciones correspondientes con respecto a su resistencia a la compresión.

Mezcla de concreto simple.

✓ Volumen de concreto a preparar.

Slump.	$2 \times 5,165 \text{ dm}^3$	= 10,33 dm^3
Vigas normalizadas.	$10 \times 11,25 \text{ dm}^3$	= 112,5 dm^3
Volumen de concreto a preparar		= 122,83 dm^3
% de desperdicios		= 10 %
Volumen de concreto a preparar + % de desperdicios		= 122,83 dm^3 + 12,28 dm^3
Volumen total de concreto a preparar		= 135,11 dm^3

	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	SUMATORIA
VOLUMEN (dm^3)	194,54	129,53	282,75	393,26	1000,00
PESO (Kgf)	194,54	389,23	743,35	1115,29	2442,41
PROPORCIONES	0,5	1,00	1,91	2,87	

C_6 = Cantidad de cemento para la muestra.

$$C_6 = 135,11 \times 390,95/1000 \qquad = 52,82 \text{ kgf}$$

Humedades de los materiales antes de la muestra.

% Humedad agregado fino:	3,97	% Absorción agregado fino:	1,385
% Humedad agregado grueso:	0,99	% Absorción agregado grueso:	1,348

(1) Material	(2) Prop. Iniciales (kgf)	(3) Peso Seco (kgf)	(4) Peso Húmedo (kgf)	(5) Aporte Agr. (kgf)	(6) Absorción (kgf)	(7) Agua Libre (kgf)	(8) Aporte (kgf)
AGUA	0,50	26,41					
CEMENTO	1,00	52,82					
AG. FINO	1,91	100,88	104,77	3,89	1,40	2,50	
AG. GRUESO	2,87	151,35	152,82	1,47	2,04	-0,57	1,92

Agua de mezcla (teórica)	=	24,49	Kgf
Cemento	=	52,82	Kgf
Agregado Fino	=	104,77	Kgf
Agregado. Grueso	=	152,82	Kgf

Resultado del asentamiento obtenido:

$$M_1 = 6,4 \text{ cm}$$

$$M_2 = 6,0 \text{ cm}$$

✓ Asentamiento Promedio = 6,2 cm

Mezcla con 20 kgf de fibra por m³ de concreto.

✓ Volumen de concreto a preparar.

Slump.	2 x 5,165 dm ³	=	10,33 dm ³
Vigas normalizadas.	10 x 11,25 dm ³	=	112,5 dm ³
Volumen de concreto a preparar		=	122,83 dm ³
% de desperdicios		=	10 %
Volumen de concreto a preparar + % de desperdicios		=	122,83 dm ³ + 12,28 dm ³
Volumen total de concreto a preparar		=	135,11 dm ³
Peso unitario fibras de acero		=	7,37 gr/cm ³
Volumen de fibra para 20 kgf		=	2,71 dm ³
% de participación de fibra por m ³ de concreto		=	0,271 %
% de participación del concreto	= 100 % - 0.271 %	=	99,729 % = 0,99729

	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	FIBRA	SUMATORIA
VOLUMEN (dm ³)	194,03	129,19	282,01	392,24	2,71	1000,00
PESO (kgf)	194,03	388,21	741,41	1112,38	20,00	2456,03
PROPORCIONES	0,5	1,00	1,91	2,87	0,05	

C₇ = Cantidad de cemento para la muestra.

$$C_7 = 135,11 \times 388,21/1000 = 52,45 \text{ kgf}$$

Humedades de los materiales antes de la muestra con 20 kgf de fibra por m³.

% Humedad agregado fino: 3,99 % Absorción agregado fino: 1,385
 % Humedad agregado grueso: 1,00 % Absorción agregado grueso: 1,348

(1) Material	(2) Prop. Iniciales (kgf)	(3) Peso Seco (kgf)	(4) Peso Húmedo (kgf)	(5) Aporte Agr. (kgf)	(6) Absorción (kgf)	(7) Agua Libre (kgf)	(8) Aporte (kgf)
AGUA	0,50	26,23					
CEMENTO	1,00	52,45					
AG. FINO	1,91	100,17	104,17	4,00	1,39	2,61	
AG. GRUESO	2,87	150,29	151,80	1,50	2,03	-0,52	2,09
FIBRA	0,05	2,70					

Agua de mezcla (teórica)	=	24,14	Kgf
Cemento	=	52,45	Kgf
Agregado Fino	=	104,17	Kgf
Agregado. Grueso	=	151,80	Kgf
Fibra	=	2,70	kgf

Resultado del asentamiento obtenido:

$$M_1 = 6,1 \text{ cm} \quad M_2 = 5,7 \text{ cm}$$

✓ Asentamiento Promedio = 5,9 cm

Mezcla con 30 kgf de fibra por m³ de concreto.

✓ Volumen de concreto a preparar.

Slump. $2 \times 5,165 \text{ dm}^3 = 10,33 \text{ dm}^3$
 Vigas normalizadas. $10 \times 11,25 \text{ dm}^3 = 112,5 \text{ dm}^3$
 Volumen de concreto a preparar = 122,83 dm³
 % de desperdicios = 10 %
 Volumen de concreto a preparar + % de desperdicios = 122,83 dm³ + 12,28 dm³
 Volumen total de concreto a preparar = 135,11 dm³
 Peso unitario fibras de acero = 7,37 gr/cm³
 Volumen de fibra para 30 kgf = 4,07 dm³
 % de participación de fibra por m³ de concreto = 0,407 %
 % de participación del concreto = 100 % - 0,407 % = 99,593 % = 0,99593

	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	FIBRA	SUMATORIA
VOLUMEN (dm³)	193,74	128,99	281,59	391,64	4,07	1000,03
PESO (kgf)	193,74	387,63	740,29	1110,70	30,00	2462,35
PROPORCIONES	0,5	1,00	1,91	2,87	0,08	

C_8 = Cantidad de cemento para la muestra.

$$C_8 = 135,11 \times 387,63 / 1000 = 52,37 \text{ kgf}$$

Humedades de los materiales antes de la muestra con 30 kgf de fibra por m³.

% Humedad agregado fino: 3,97 % Absorción agregado fino: 1,385
 % Humedad agregado grueso: 0,99 % Absorción agregado grueso: 1,348

(1) Material	(2) Prop. Iniciales (kgf)	(3) Peso Seco (kgf)	(4) Peso Húmedo (kgf)	(5) Aporte Agr. (kgf)	(6) Absorción (kgf)	(7) Agua Libre (kgf)	(8) Aporte (kgf)
AGUA	0,50	26,19					
CEMENTO	1,00	52,37					
AG. FINO	1,91	100,02	103,99	3,97	1,39	2,59	
AG. GRUESO	2,87	150,07	151,55	1,49	2,02	-0,54	2,05
FIBRA	0,08	4,05					

Agua de mezcla (teórica)	= 24,14	Kgf
Cemento	= 52,37	Kgf
Agregado Fino	= 103,99	Kgf
Agregado. Grueso	= 151,55	Kgf
Fibra	= 4,05	kgf

Resultado del asentamiento obtenido:

$$M_1 = 5,1 \text{ cm} \qquad M_2 = 4,9 \text{ cm}$$

✓ Asentamiento promedio = 5,0 cm

Mezcla con 40 kgf de fibra por m³ de concreto.

✓ Volumen de concreto a preparar.

Slump. $2 \times 5,165 \text{ dm}^3 = 10,33 \text{ dm}^3$
 Vigas normalizadas. $10 \times 11,25 \text{ dm}^3 = 112,5 \text{ dm}^3$
 Volumen de concreto a preparar $= 122,83 \text{ dm}^3$
 % de desperdicios $= 10 \%$

Volumen de concreto a preparar + % de desperdicios = 122,83 dm³ + 12,28 dm³
 Volumen total de concreto a preparar = 135,11 dm³
 Peso Unitario Fibras de Acero = 7,37 gr/cm³
 Volumen de Fibra para 40 kgf = 5,427 dm³
 % de fibra por m³ de Concreto = 0,5427 %
 % de Concreto = 100 % - 0,5427 % = 99,457 % = 0,99457

	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	FIBRA	SUMATORIA
VOLUMEN (dm³)	193,50	128,84	281,25	391,17	5,43	1000,18
PESO (kgf)	193,50	387,16	739,39	1109,35	40,00	2469,41
PROPORCIONES	0,5	1,00	1,91	2,87	0,10	

C₉ = Cantidad de cemento para la muestra.
 C₉ = 135,11 x 388,83/1000 = 52,53 kgf

Humedades de los materiales antes de la muestra con 40 kgf de fibra por m³.

% Humedad Agregado Fino: 4,00 % Absorción Agregado Fino: 1,385
 % Humedad Agregado Grueso: 1,01 % Absorción Agregado Grueso: 1,348

(1) Material	(2) Prop. Iniciales (kgf)	(3) Peso Seco (kgf)	(4) Peso Húmedo (kgf)	(5) Aporte Agr. (kgf)	(6) Absorción (kgf)	(7) Agua Libre (kgf)	(8) Aporte (kgf)
AGUA	0,50	26,15					
CEMENTO	1,00	52,31					
AG. FINO	1,91	99,90	103,90	4,00	1,38	2,61	
AG. GRUESO	2,87	149,88	151,40	1,51	2,02	-0,51	2,11
FIBRA	0,10	5,40					

Agua de mezcla (teórica)	= 26,15	Kgf
Cemento	= 52,31	Kgf
Agregado Fino	= 103,90	Kgf
Agregado. Grueso	= 151,40	Kgf
Fibra	= 5,40	kgf

Resultado del asentamiento obtenido:

M₁ = 4,0 cm M₂ = 3,9 cm

✓ Asentamiento Promedio = 4,0 cm

8. ENSAYOS AL CONCRETO.

CONCRETO FRESCO: El concreto fresco depende de los procedimientos de muestreo que permitan contar con porciones representativas, luego del conocimiento de las propiedades en este estado y las pruebas que las evalúan. La Norma ASTM C-172, da las pautas a seguirse en el muestreo, y que consisten básicamente en:

- El tiempo transcurrido entre la obtención de dos porciones para formar una muestra de ser como máximo 15 minutos.
- Las muestras deben transportarse al sitio donde se realizaran los ensayos o donde se moldearan probetas, teniendo que efectuarse un re –mezclado con una pala para uniformizar la mezcla.
- Las pruebas de control de concreto fresco deben efectuarse a más tardar 5 minutos después de obtenida la muestra a ensayar.
- El moldeo de probetas para ensayos de compresión debe iniciarse dentro de los 15 minutos luego del muestreo.
- El tiempo entre la obtención y el uso de la muestra debe ser el menor posible, cuidando en todo momento de protegerla del sol, el viento y otras fuentes de evaporación.

Es importante tener en cuenta que todas estas limitaciones están establecidas para que la muestra que se obtenga sea optima desde el punto de vista estadístico, y que si bien el incumplimiento de alguna de ellas no ocasiona un perjuicio aparente al concreto, si puede estar afectando al resultado del control, y consecuentemente obtener un mal resultado de un buen concreto.

Ensayo del cono de abrams – asentamiento.

- ✓ Norma INV E 404 – 07
- ✓ ASTM C 143/ C 143M – 03
- ✓ AASHTO T 119M/ T 119 – 05

El ensayo de slump (cono de abrams) proporciona información útil sobre la uniformidad de las mezclas y es una herramienta muy importante en el control de calidad del concreto fresco. Las variaciones en el cono de Abrams en varias mezclas de una misma dosificación indican que algún cambio ha ocurrido en las características físicas y granulometría de los agregados, el contenido de aire, la temperatura o el uso de aditivos. (Ver Figura N. 5.)



Figura N. 5. Conjunto completo para la determinación del asentamiento.

Asentamiento del concreto simple.

Medida del asentamiento para 10 Cilindros y 10 Vigas

DESCRIPCION	SIMBOLO	M1 (cm)	M2 (cm)	M3 (cm)	M4 (cm)
Asentamiento	Δ	6,5	6,3	6,4	6,0

$$\Delta = 6,3 \text{ cm}$$

Asentamiento concreto reforzado con 20 kgf de fibra.

DESCRIPCION	SIMBOLO	M1 (cm)	M2 (cm)	M3 (cm)	M4 (cm)
Asentamiento	Δ	6,1	5,9	6,1	5,7

$$\Delta = 5,9 \text{ cm}$$

Asentamiento concreto reforzado con 30 kgf de fibra

DESCRIPCION	SIMBOLO	M1 (cm)	M2 (cm)	M3 (cm)	M4 (cm)
Asentamiento	Δ	5,0	4,8	5,1	4,9

$$\Delta = 4,9 \text{ cm}$$

Asentamiento concreto reforzado con 40 kgf de fibra.

DESCRIPCION	SIMBOLO	M1 (cm)	M2 (cm)	M3 (cm)	M4 (cm)
Asentamiento	Δ	4,2	4,0	4,0	3,9

$$\Delta = 4,3 \text{ cm}$$

CONCRETO ENDURECIDO.

Resistencia a la compresión: La Resistencia a la Compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto a carga axial. Generalmente se expresa en Kilogramos por centímetro cuadrado (Kgf/cm²) a una edad de 28 días y se le designa con la nomenclatura *f*'c. Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas a especímenes de concreto sobre cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura aproximadamente. Las normas de referencia son:

✓ INV E – 410 – 07 - ASTM C 39 - 04.



Figura N. 6. Moldes probetas cilíndricas.

Diámetro = 15,4 cm

Area del Cilindro = 186,265 cm²

$$R_{28} = \frac{\text{Resultados Obtenidos en maquina de ensayo (Kg)}}{\text{Area del Cilindro}} \quad (13)$$

Resultados de los ensayos a compresión.

✓ **Concreto simple.**

Fecha de moldeo: 11/06/2013

Fecha de rotura: 18/06/2013

Tiempo de curado: 7días.

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm²)
CP-7D	15,4	31500	169,11
CP-7D	15,4	32900	176,63

PROMEDIO	172,87
DESVIACION ESTANDAR	5,32

Fecha de moldeo: 11/06/2013

Fecha de rotura: 25/06/2013

Tiempo de curado: 14 días.

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm²)
CP-14D	15,4	39600	212,6
CP-14D	15,4	40200	215,8

PROMEDIO	214,2
DESVIACION ESTANDAR	2,26

Fecha de moldeo: 11/06/2013

Fecha de rotura: 09/07/2013

Tiempo de curado: 28 días

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm²)
CP-28D	15,4	46600	250,18
CP-28D	15,4	45400	243,74
CP-28D	15,4	47200	252,40
CP-28D	15,4	44800	240,52
CP-28D	15,4	46000	246,96
CP-28D	15,4	46300	248,57

PROMEDIO	247,06
DESVIACION ESTANDAR	4,34

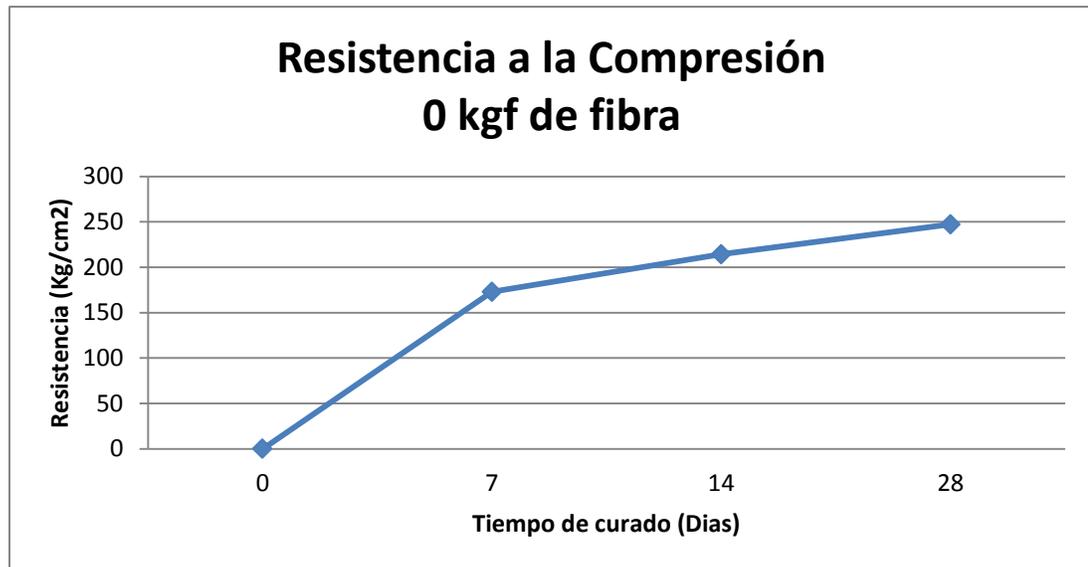


Figura N. 7. f'_{cr} vs Tiempo de Curado para 0 kgf de fibra.

✓ **Concreto reforzado con 20 kgf de fibra.**

Fecha de moldeo: 11/06/2013

Fecha de rotura: 18/06/2013

Tiempo de curado: 7 días.

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm ²)
CR20-7D	15,4	31800	170,72
CR20-7D	15,4	30900	165,89

PROMEDIO	168,31
DESVIACION ESTANDAR	3,42

Fecha de moldeo: 11/06/2013

Fecha de rotura: 25/06/2013

Tiempo de curado: 14 días.

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm ²)
CR20-14D	15,4	39900	214,21
CR20-14D	15,4	40800	219,04

PROMEDIO	216,60
DESVIACION ESTANDAR	3,46

Fecha de moldeo: 11/06/2013
 Fecha de rotura: 09/07/2013
 Tiempo de curado: 28 días.

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm ²)
CR20-28D	15,4	45700	245,35
CR20-28D	15,4	48400	259,84
CR20-28D	15,4	48400	259,84
CR20-28D	15,4	46600	250,18
CR20-28D	15,4	48429	260,00
CR20-28D	15,4	47571	255,40

PROMEDIO	255,1
DESVIACION ESTANDAR	6,14

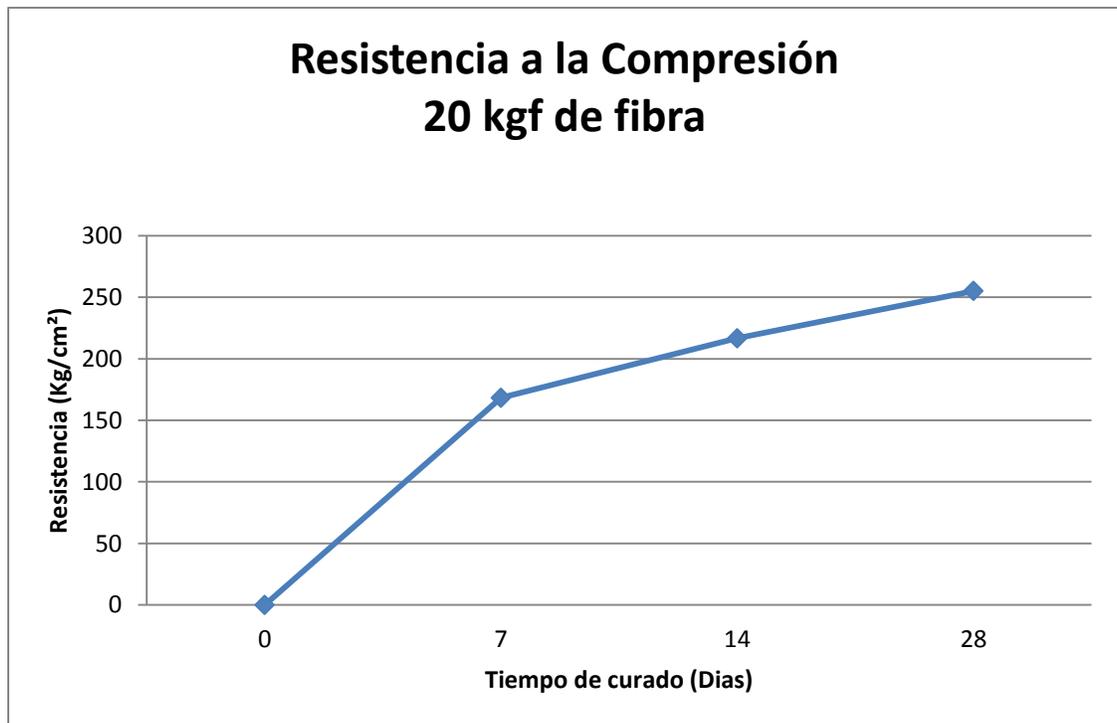


Figura N. 8. f'cr vs Tiempo de Curado para 20 kgf de fibra.

✓ **Concreto reforzado con 30 kgf de fibra.**

Fecha de moldeo: 12/06/2013

Fecha de rotura: 19/06/2013

Tiempo de curado: 7 días.

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm ²)
CR30-7D	15,4	30900	165,89
CR30-7D	15,4	31800	170,72

PROMEDIO	168,31
DESVIACION ESTANDAR	3,42

Fecha de moldeo: 12/06/2013

Fecha de rotura: 26/06/2013

Tiempo de curado: 14 días.

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm ²)
CR30-14D	15,4	39000	209,38
CR30-14D	15,4	39600	212,6

PROMEDIO	210,99
DESVIACION ESTANDAR	2,28

Fecha de moldeo: 12/06/2013

Fecha de rotura: 10/07/2013

Tiempo de curado: 28 días.

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm ²)
CR30-28D	15,4	46900	251,79
CR30-28D	15,4	49900	267,90
CR30-28D	15,4	49600	266,29
CR30-28D	15,4	46500	249,64
CR30-28D	15,4	46600	250,18
CR30-28D	15,4	48700	261,46

PROMEDIO	257,88
DESVIACION ESTANDAR	8,35

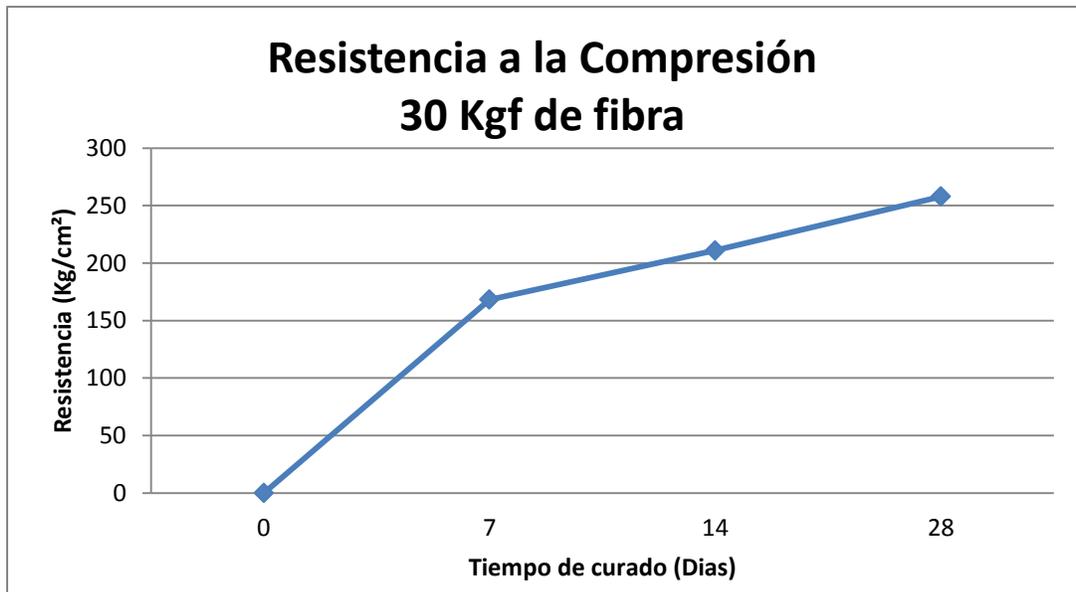


Figura N. 9. f_{cr} vs Tiempo de Curado para 30 kgf de fibra.

✓ **Concreto reforzado con 40 kgf de fibra.**

Fecha de moldeo: 12/06/2013

Fecha de rotura: 19/06/2013

Tiempo de curado: 7 días.

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm ²)
CR40-7D	15,4	30600	164,28
CR40-7D	15,4	30900	165,89

PROMEDIO	165,09
DESVIACION ESTANDAR	1,14

Fecha de moldeo: 12/06/2013

Fecha de rotura: 26/06/2013

Tiempo de curado: 14 días.

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm ²)
CR40-14D	15,4	39300	210,99
CR40-14D	15,4	38700	207,77

PROMEDIO	209,38
DESVIACION ESTANDAR	2,28

Fecha de moldeo: 12/06/2013

Fecha de rotura: 10/07/2013

Tiempo de curado: 28 días.

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm ²)
CR40-28D	15,4	50800	272,73
CR40-28D	15,4	46000	246,96
CR40-28D	15,4	46600	250,18
CR40-28D	15,4	50200	269,51
CR40-28D	15,4	46900	251,79
CR40-28D	15,4	46300	248,57

PROMEDIO	256,62
DESVIACION ESTANDAR	10,30

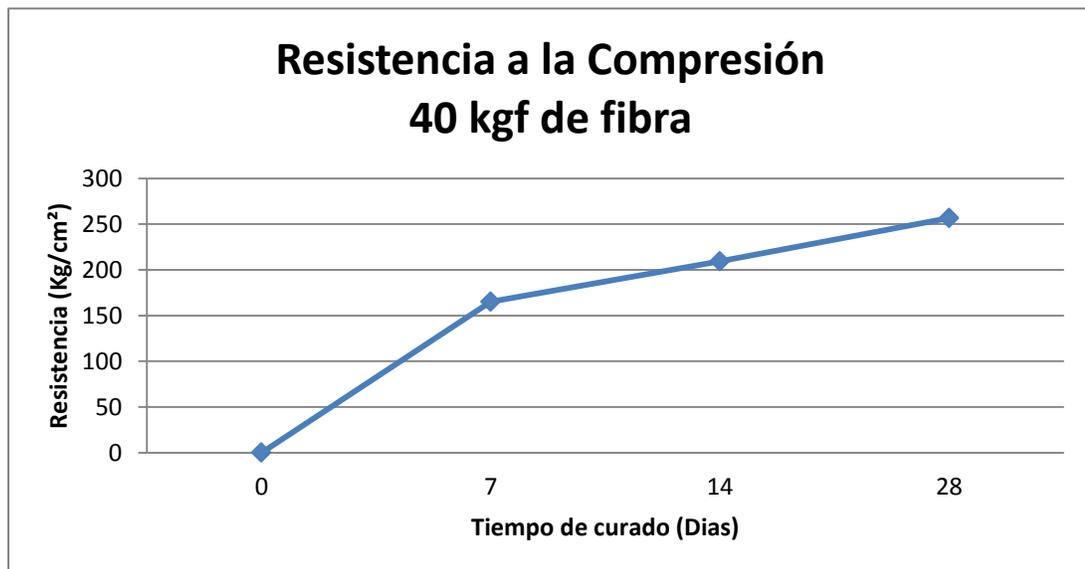


Figura N.10. f'_{cr} vs Tiempo de Curado para 40 kgf de fibra.

✓ **Comparación de resultados**

Tiempo (Días)	Resistencia a la Compresión (kgf/cm ²)			
	0 kgf	20 kgf	30 kgf	40 kgf
0	0	0	0	0
7	172,87	168,31	168,31	165,09
14	214,21	216,63	210,99	209,38
28	247,23	255,10	257,88	256,62

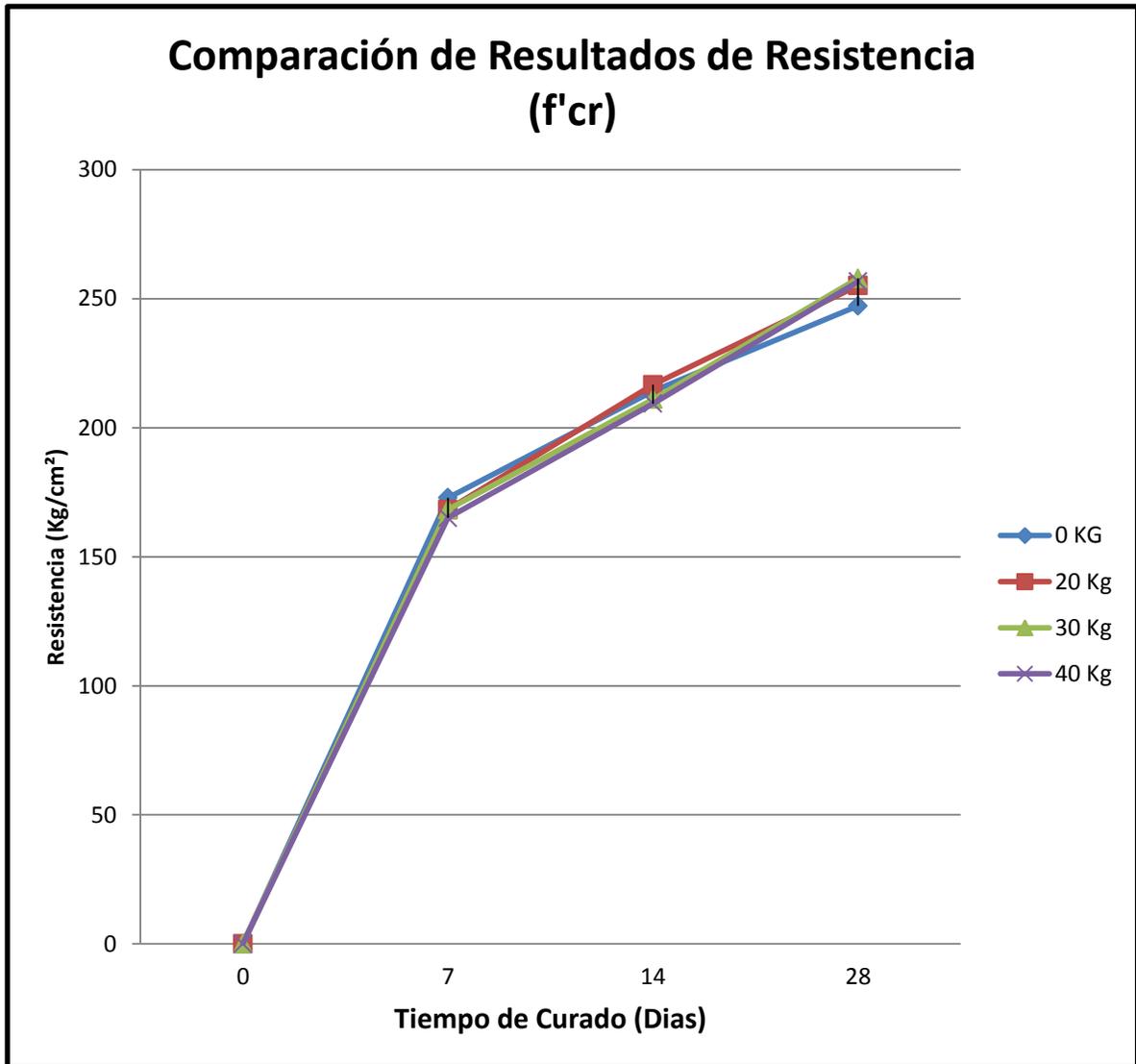


Figura N. 11. Comparación de resultados resistencia a la compresión.

Resistencia a la flexión: Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de 15 x 15 cm de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor (50 cm en este caso).

La resistencia a la flexión se expresa como el módulo de rotura (f_r) en MPa y es determinada mediante los métodos de ensayo INV E – 414 (cargada en los tercios) o INV E – 415 (cargada en el punto medio).

El módulo de rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a la compresión, dependiendo del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado.

El módulo de rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones tanto como en un 15%. Las normas de referencia para el método de la viga simple cargada en los tercios de la luz son:

- ✓ INV E 414 – 07.
- ✓ ASTM C 78 – 02.
- ✓ AASHTO T 97 – 03.

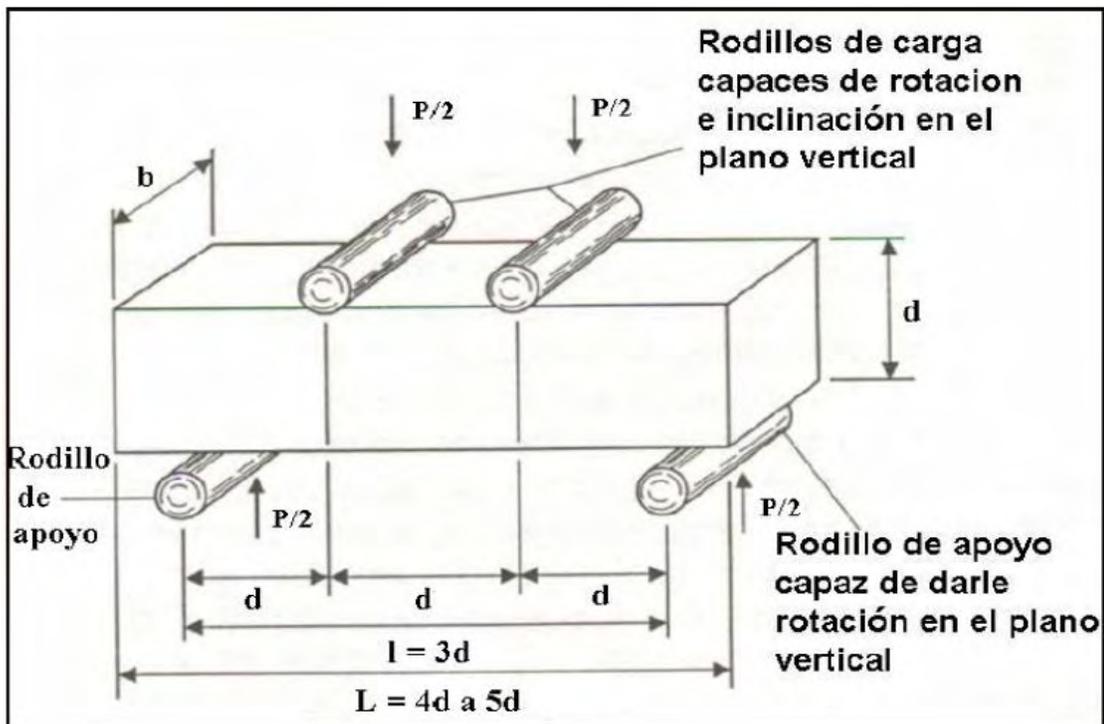


Figura N. 12. Método de ensayo a flexión.

B= Ancho de la viga en cm.

H= altura de la viga en cm.

P= Carga aplicada sobre la viga en kgf.

fr (MR) = Resistencia a la flexión en Kgf/cm².



Figura N. 13. Molde para vigueta.

Resultados de los ensayos de flexión.

✓ Concreto simple.

Fecha de moldeo: 24/06/2013

Fecha de rotura: 01/07/2013

Tiempo de curado: 7 días.

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V0 – 7d	15	15	1951	26,01
V0 – 7d	15	15	1930	25,73

PROMEDIO	25,87
DESVIACION ESTANDAR	0,20

Fecha de moldeo: 24/06/2013

Fecha de rotura: 08/07/2013

Tiempo de curado: 14 días.

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V0 – 14d	15	15	2190	29,20
V0 – 14d	15	15	2122	28,30

PROMEDIO	28,75
DESVIACION ESTANDAR	0,64

Fecha de moldeo: 24/06/2013

Fecha de rotura: 22/07/2013

Tiempo de curado: 28 días.

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V0 – 28d	15	15	3053	40,71
V0 – 28d	15	15	2983	39,77
V0 – 28d	15	15	2759	36,79
V0 – 28d	15	15	2859	38,12
V0 – 28d	15	15	3027	40,36
V0 – 28d	15	15	3105	41,40

PROMEDIO	39,52
DESVIACION ESTANDAR	1,74

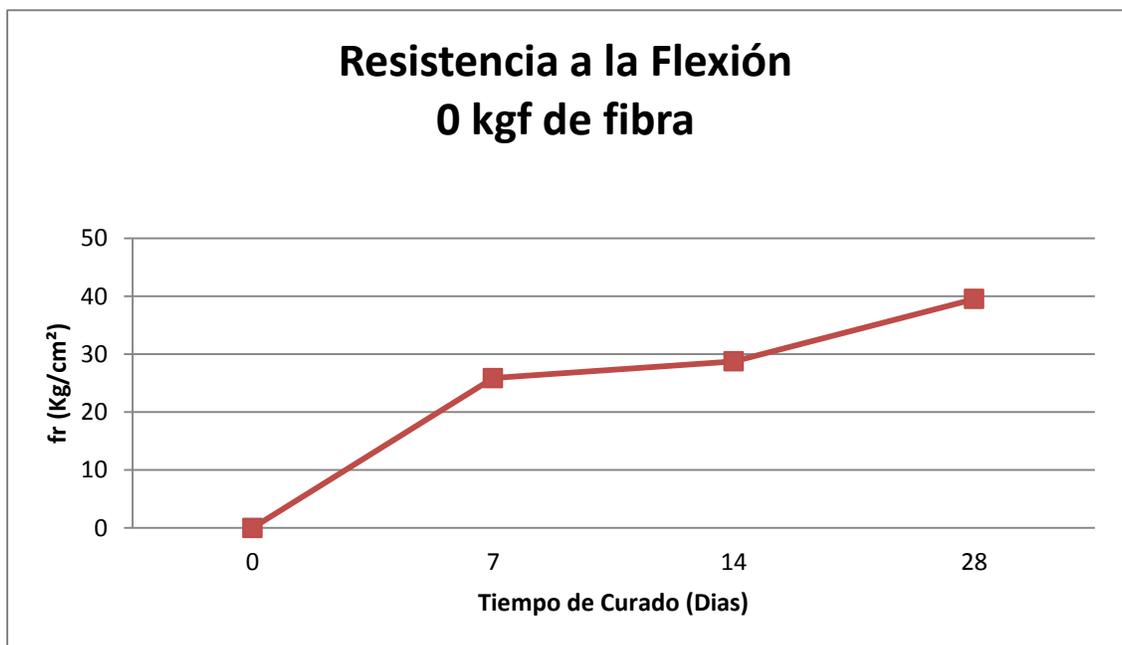


Figura N. 14. fr vs Tiempo de Curado para 0 kgf de fibra.

✓ **Concreto reforzado con 20 kgf de fibras.**

Fecha de moldeo: 25/06/2013

Fecha de rotura: 02/07/2013

Tiempo de curado: 7 días.

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V20 – 7d	15	15	2247	29,96
V20 – 7d	15	15	1996	26,61

PROMEDIO	28,29
DESVIACION ESTANDAR	2,37

Fecha de moldeo: 25/06/2013

Fecha de rotura: 09/07/2013

Tiempo de curado: 14 días.

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V20 – 14d	15	15	2715	36,20
V20 – 14d	15	15	2626	35,01

PROMEDIO	35,61
DESVIACION ESTANDAR	0,84

Fecha de moldeo: 25/06/2013

Fecha de rotura: 23/07/2013

Tiempo de curado: 28 días.

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V20 – 28d	15	15	3741	49,88
V20 – 28d	15	15	2539	33,85
V20 – 28d	15	15	3504	46,72
V20 – 28d	15	15	2715	36,20
V20 – 28d	15	15	3547	47,29
V20 – 28d	15	15	3606	48,08

PROMEDIO	43,67
DESVIACION ESTANDAR	6,82

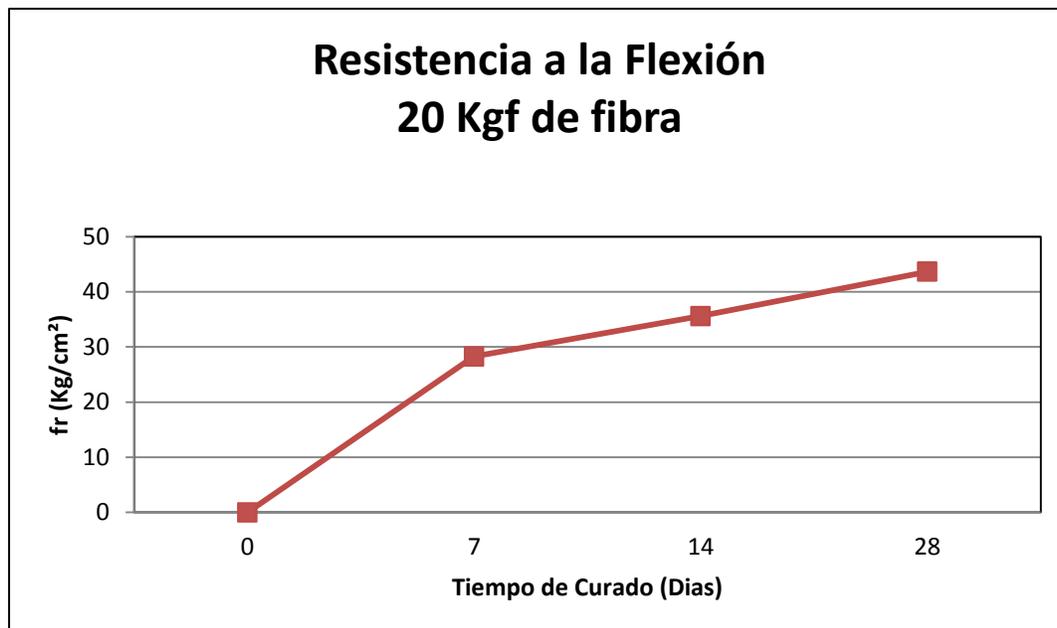


Figura N. 15. fr vs Tiempo de Curado para 20 kgf de fibra.

✓ **Concreto reforzado con 30 kgf de fibras.**

Fecha de moldeo: 26/06/2013

Fecha de rotura: 03/06/2013

Tiempo de curado: 7 días.

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V30 – 7d	15	15	2284	30,45
V30 – 7d	15	15	2364	31,52

PROMEDIO	30,99
DESVIACION ESTANDAR	0,76

Fecha de moldeo: 26/06/2013

Fecha de rotura: 10/07/2013

Tiempo de curado: 14 días.

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V30 – 14d	15	15	2665	35,53
V30 – 14d	15	15	2845	37,93

PROMEDIO	36,73
DESVIACION ESTANDAR	1,70

Fecha de moldeo: 26/06/2013

Fecha de rotura: 24/07/2013

Tiempo de curado: 28 días.

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm²)
V30 – 28d	15	15	3956	52,75
V30 – 28d	15	15	3798	50,64
V30 – 28d	15	15	3965	52,87
V30 – 28d	15	15	2961	39,48
V30 – 28d	15	15	3740	49,87
V30 – 28d	15	15	3165	42,25

PROMEDIO	47,98
DESVIACION ESTANDAR	5,70

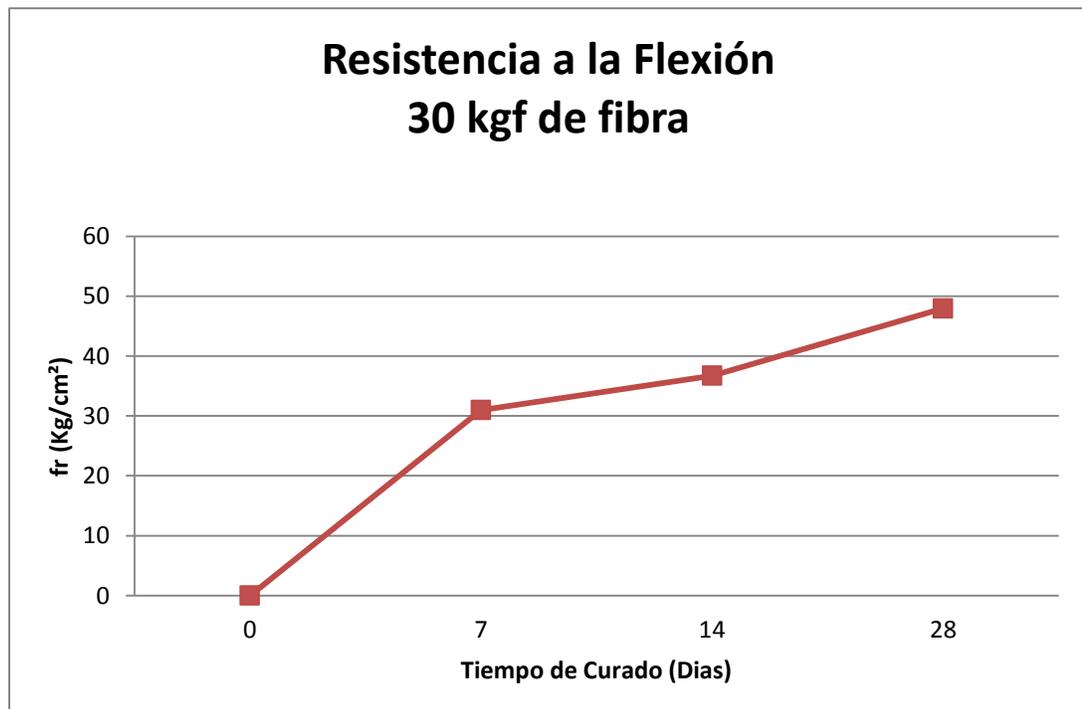


Figura N. 16. fr vs Tiempo de Curado para 30 kgf de fibra.

✓ **Concreto reforzado con 40 kgf de fibras.**

Fecha de moldeo: 27/06/2013

Fecha de rotura: 04/07/2013

Tiempo de curado: 7 días.

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V40 – 7d	15	15	2447	32,63
V40 – 7d	15	15	2358	31,44

PROMEDIO	32,03
DESVIACION ESTANDAR	0,84

Fecha de moldeo: 27/06/2013

Fecha de rotura: 11/07/2013

Tiempo de curado: 14 días.

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V40 – 14d	15	15	2919	38,92
V40 – 14d	15	15	2826	37,68

PROMEDIO	38,30
DESVIACION ESTANDAR	0,88

Fecha de moldeo: 27/06/2013

Fecha de rotura: 25/07/2013

Tiempo de curado: 28 días.

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V40 – 28d	15	15	3957	52,76
V40 – 28d	15	15	3829	51,05
V40 – 28d	15	15	4373	58,31
V40 – 28d	15	15	3995	53,27
V40 – 28d	15	15	3748	49,97
V40 – 28d	15	15	4056	54,08

PROMEDIO	53,24
DESVIACION ESTANDAR	2,90

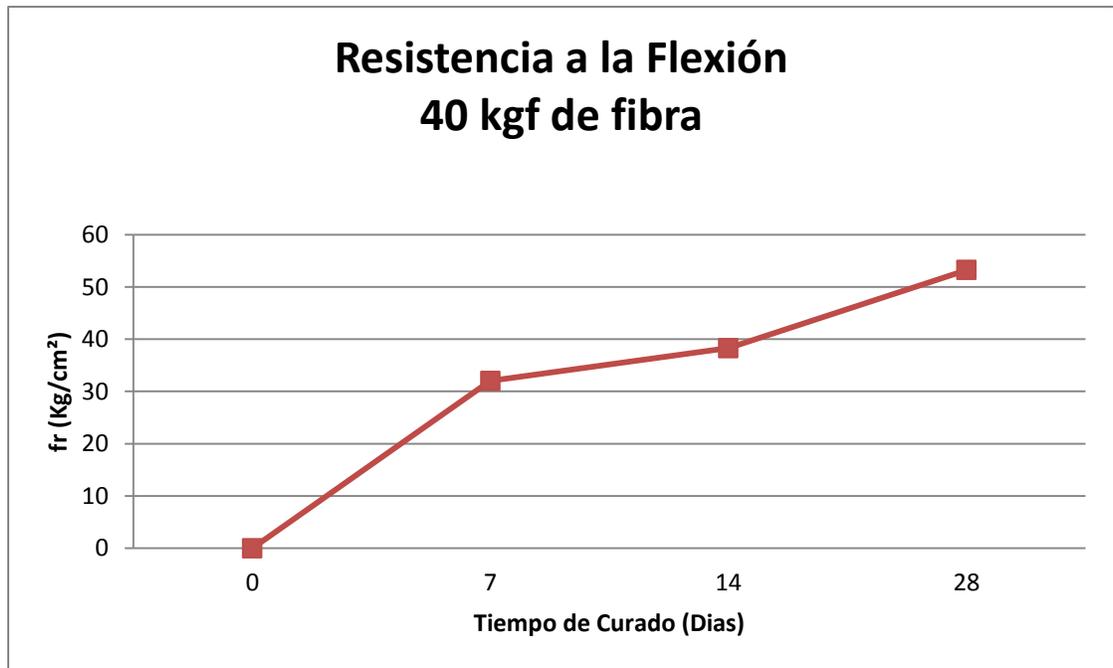


Figura N. 17. fr vs Tiempo de Curado para 40 kgf de fibra

✓ Comparación de resultados.

Tiempo (Días)	Resistencia a la Flexión (kgf/cm ²)			
	0 kgf	20 kgf	30 kgf	40 kgf
0	0	0	0	0
7	25,87	28,29	30,99	32,03
14	28,75	35,61	36,73	38,30
28	39,52	43,67	47,98	53,24

Comparación de Resultados Módulo de Rotura (fr)

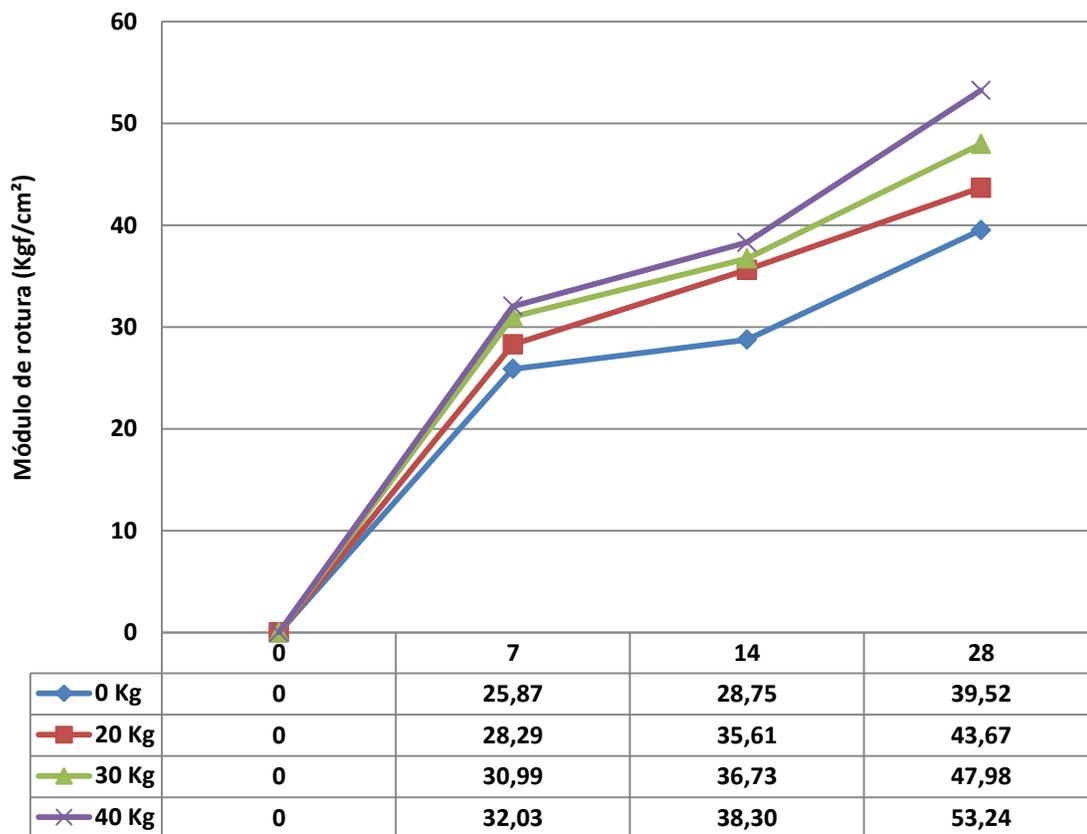


Figura N. 18. Comparación de resultados módulo de rotura.

9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para esta investigación el parámetro a evaluar es la resistencia obtenida a los 28 días de edad, y que dicha evaluación en ningún caso resulte menor que la resistencia especificada (f'_c), que representara el extremo izquierdo de la campana de gauss, la norma sismo resistente (NSR - 10) indica que a esta resistencia se le debe adicionar 7 MPa para obtener la resistencia de diseño (f_{cr}), que se representa en el centro de la campana y 7 MPa adicionales que conformaran el extremo derecho de la campana de la siguiente manera.

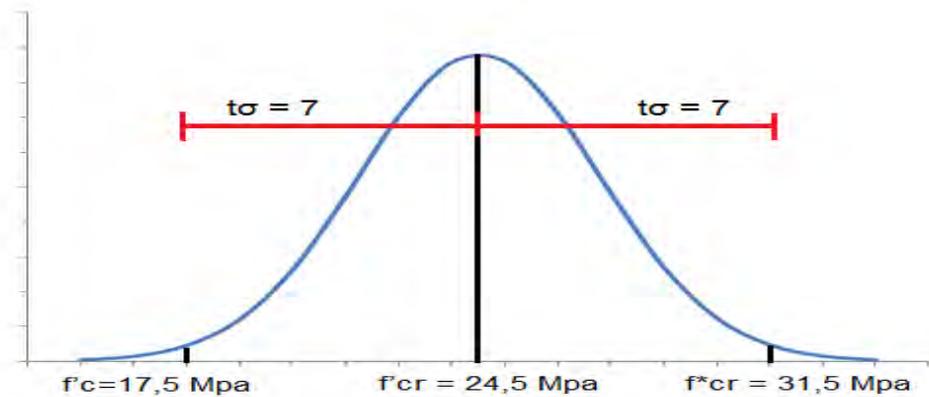


Figura N. 19. Modelo de la Campana de Gauss

f'_c = Resistencia especificada = Resistencia en el extremo izquierdo de la campana.

f'_{cr} = Resistencia de diseño de la mezcla.

f^*_{cr} = Resistencia en el extremo derecho de la campana.

$$f'_{cr} + \sigma = 31,5 \text{ MPa}$$

σ = Factor (Anexo 4) en [MPa]

Para concretos con $f'_c < 21 \text{ MPa}$ $\sigma = 7 \text{ MPa}$

Determinación del tamaño real de la muestra: La gran mayoría de investigaciones lleva implícito en la fase de diseño la determinación del tamaño muestral necesario para la ejecución del mismo. El no realizar dicho proceso, lleva a dos situaciones diferentes: primera que se realice el estudio sin el número adecuado de especímenes, con lo cual no podremos ser precisos al

estimar los parámetros y además no encontrar diferencias significativas cuando en la realidad sí existen. La segunda situación es que se podría estudiar un número innecesario de especímenes, lo cual lleva implícito no solo la pérdida de tiempo e incremento de recursos innecesarios sino que además la calidad del estudio, puede verse afectada en sentido negativo.

Se optó por desarrollar 10 unidades muestrales para poder obtener datos al fallarlas distribuidos de la siguiente manera, 2 a los 7 días, 2 a los 14 días y 6 a los 28 días, con el fin de conocer también la incidencia de las fibras en el tiempo de curado, cabe anotar que para la determinación del tamaño real de la muestra se evaluaron 6 especímenes a los 28 días de edad obteniendo los siguientes resultados.

CILINDROS				
N°	Edad (días)	Fibra (kgf)	Resistencia f'cr (kgf/cm²)	UNIDAD
5	28	0	250,18	1
6	28	0	243,74	1
7	28	0	253,40	1
8	28	0	240,52	1
9	28	0	246,96	1
10	28	0	248,57	1
5	28	20	245,35	1
6	28	20	259,84	1
7	28	20	259,84	1
8	28	20	250,18	1
9	28	20	260,00	1
10	28	20	255,40	1
5	28	30	251,79	1
6	28	30	267,90	1
7	28	30	266,29	1
8	28	30	249,64	1
9	28	30	250,18	1
10	28	30	261,46	1
5	28	40	272,73	1
6	28	40	246,96	1
7	28	40	250,18	1
8	28	40	269,51	1
9	28	40	251,79	1
10	28	40	248,57	1

VIGAS				
N°	Edad (días)	fibra (kgf)	MR (kgf/cm²)	UNIDAD
5	28	0	40,71	2
6	28	0	39,77	2
7	28	0	36,79	2
8	28	0	38,12	2
9	28	0	40,36	2
10	28	0	41,40	2
5	28	20	49,88	2
6	28	20	33,85	2
7	28	20	46,72	2
8	28	20	36,20	2
9	28	20	47,29	2
10	28	20	48,08	2
5	28	30	52,75	2
6	28	30	50,64	2
7	28	30	52,87	2
8	28	30	39,48	2
9	28	30	49,87	2
10	28	30	42,25	2
5	28	40	52,76	2
6	28	40	51,05	2
7	28	40	58,31	2
8	28	40	53,27	2
9	28	40	49,97	2
10	28	40	54,08	2

El procedimiento empleado es el análisis de varianza para replicas desiguales que se encuentra en el libro principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones para el desarrollo de investigaciones de Robert Kuehi, pág. 62. Para esto se calcula medias, errores estándar e intervalos de confianza del 95% para la determinación del tamaño de la muestra en cilindros y vigas.

CILINDROS								
Descriptivos								
Resistencia a la Compresión f'_{cr} (kgf/cm²)								
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
0	6	247,23	4,60	1,88	242,40	252,06	240,52	253,40
20	6	255,10	6,14	2,51	248,66	261,54	245,35	260,00
30	6	257,88	8,34	3,41	249,12	266,63	249,64	267,90
40	6	256,62	11,39	4,65	244,67	268,58	246,96	272,73
Total	24	254,21	8,61	1,76	250,57	257,84	240,52	272,73

VIGAS								
Descriptivos								
Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm²)								
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
0	6	43,92	1,93	0,79	34,38	45,34	40,87	46,00
20	6	48,52	7,58	3,09	38,68	53,40	37,61	55,42
30	6	53,31	6,33	2,58	43,69	58,01	43,87	58,74
40	6	59,16	3,22	1,32	47,65	57,81	55,53	64,79
Total	24	51,23	7,59	1,55	48,02	54,40	37,61	64,79

Se calcula la ANOVA de un factor:

CILINDROS					
ANOVA de un factor					
Resistencia a la Compresión f'_{cr} (kgf/cm²)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	412,840	3	137,613	2,132	0,128
Intra-grupos	1290,805	20	64,540		
Total	1703,644	23			

VIGAS					
ANOVA de un factor					
Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	767,665	3	255,888	9,169	0,001
Intra-grupos	558,129	20	27,906		
Total	1325,794	23			

	VIGAS	T ²	CILINDROS	T ²
T1	-7,309	53,43	-6,979	48,71
T2	-2,702	7,30	0,895	0,80
T3	2,081	4,33	3,669	13,46
T4	7,930	62,89	2,416	5,84
ΣT^2		127,94		68,81
EMC (σ^2)		27,91		64,540
Niveles trat. (t)	4		4	
replicas (r)	6		12	
phi (Φ)	2,62		1,79	
v1	3		3	
v2	15		33	
Significación (α)	0,05		0,05	

VIGAS		CILINDROS	
Replicas	potencia	Replicas	potencia
6	0,97	6	0,4
8	0,99	8	0,65
-	-	10	0,71
-	-	12	0,82
-	-	14	0,88
-	-	15	0,9

Con estos resultados, para obtener un margen de error de 5%, un nivel de confianza del 95% y una potencia de 0,82 y teniendo en cuenta que la mínima recomendable para una investigación es 0,8. Se optó por elaborar 6 cilindros más para cada tratamiento con el fin de conseguir 12 datos con un tiempo de curado a los 28 días.

A pesar de que los resultados obtenidos con las vigas fueron muy confiables, ya que se logró una potencia de 0,97 con seis especímenes iniciales, se consideró

también realizar seis más con el fin de lograr igualdad de probetas entre cilindros y vigas y de esta manera poder correlacionar la resistencia a la compresión con el modulo de rotura.

Para la determinación del tamaño de la muestra se trabajó cilindros y vigas por separado, esto porque son unidades muestrales diferentes. Dando como resultado que en los cilindros hay más variación en los resultados, por consiguiente se necesitan más datos para disminuir el margen de error y aumentar el nivel de confianza.

Datos obtenidos para el complemento del tamaño de la muestra.

Estos especímenes se los elaboró en las mismas condiciones que en la muestra piloto (materiales, dosificación, asentamiento, tiempo de curado). Los resultados obtenidos fueron:

✓ **Concreto simple.**

Fecha de moldeo: 03/09/2013

Fecha de rotura: 01/10/2013

Tiempo de curado: 28 días.

Cilindros:

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm²)
CP-28D	15,4	45700	245,35
CP-28D	15,4	46000	246,96
CP-28D	15,4	46600	250,18
CP-28D	15,4	46600	250,18
CP-28D	15,4	47200	253,40
CP-28D	15,4	47500	255,01

Vigas:

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm²)
V0 – 28d	15	15	2853	38,04
V0 – 28d	15	15	2970	39,60
V0 – 28d	15	15	2980	39,73
V0 – 28d	15	15	3050	40,67
V0 – 28d	15	15	3110	41,47
V0 – 28d	15	15	3170	42,27

✓ **Concreto reforzado con 20 kgf de fibra.**

Fecha de moldeo: 04/09/2013

Fecha de rotura: 02/10/2013

Tiempo de curado: 28 días.

Cilindros:

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm ²)
CR20-28D	15,4	46600	250,18
CR20-28D	15,4	47200	253,40
CR20-28D	15,4	47500	255,01
CR20-28D	15,4	47800	256,62
CR20-28D	15,4	48400	259,84
CR20-28D	15,4	48700	261,46

Vigas:

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V20 – 28d	15	15	3270	48,44
V20 – 28d	15	15	3474	51,47
V20 – 28d	15	15	3490	51,70
V20 – 28d	15	15	3520	52,15
V20 – 28d	15	15	3695	54,74
V20 – 28d	15	15	3749	55,54

✓ **Concreto reforzado con 30 kgf de fibra.**

Fecha de moldeo: 05/09/2013

Fecha de rotura: 03/10/2013

Tiempo de curado: 28 días.

Cilindros:

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA f'cr (kgf/cm ²)
CR30-28D	15,4	47500	255,01
CR30-28D	15,4	47850	256,89
CR30-28D	15,4	48300	259,31
CR30-28D	15,4	48700	261,46
CR30-28D	15,4	49200	264,14
CR30-28D	15,4	50400	270,58

Vigas:

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V30 – 28d	15	15	3660	48,80
V30 – 28d	15	15	3745	49,93
V30 – 28d	15	15	3829	51,05
V30 – 28d	15	15	3908	52,11
V30 – 28d	15	15	3925	52,33
V30 – 28d	15	15	3980	53,07

✓ **Concreto reforzado con 40 kgf de fibra.**

Fecha de moldeo: 06/09/2013

Fecha de rotura: 04/10/2013

Tiempo de curado: 28 días.

Cilindros:

N° testigos	D (cm)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA f'cr (kgf/cm ²)
CR40-28D	15,4	46900	251,79
CR40-28D	15,4	47200	253,40
CR40-28D	15,4	47500	255,01
CR40-28D	15,4	47500	255,01
CR40-28D	15,4	48700	261,46
CR40-28D	15,4	49500	265,75

Vigas:

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h (cm)	Carga (kgf)	Módulo de Rotura (fr) (kgf/cm ²)
V40 – 28d	15	15	3850	51,33
V40 – 28d	15	15	3890	51,87
V40 – 28d	15	15	3946	52,61
V40 – 28d	15	15	3970	52,93
V40 – 28d	15	15	4030	53,73
V40 – 28d	15	15	4118	54,91

Análisis de los datos obtenidos.

En las estadísticas, un valor que este distante ya sea muy por debajo o muy por encima de los valores que conforman un conjunto de datos, se los consideran como valores atípicos. Tomando como referencia la diferencia entre el primer cuartil (Q_1) y el tercer cuartil (Q_3) o valor intercuartil, en un diagrama de caja se considera un valor atípico aquel que se encuentra 1,5 veces esa distancia de uno de esos cuartiles (Valor atípico leve) ó a 3 veces esa distancia (Valor atípico extremo).

Valor atípico leve.

Siendo Q_1 y Q_3 el primer y el tercer cuartil, y IQR el rango intercuartil ($Q_3 - Q_1$), un valor atípico leve será aquel que:

$$< Q_1 - 1.5 * IQR \quad \text{ó} \quad > Q_3 + 1.5 * IQR$$

	0 kgf		20 kgf		30 kgf		40 kgf	
	Cilindros	Vigas	Cilindros	Vigas	Cilindros	Vigas	Cilindros	Vigas
Q_1	245,75	38,49	250,99	44,20	250,98	49,06	250,58	51,46
Q_3	252,59	41,23	256,00	47,88	265,21	52,64	264,70	54,00
<i>Rango. Inferior</i>	235,49	34,38	243,475	38,68	229,635	43,69	229,40	47,65
<i>Rango. Superior</i>	262,85	45,34	263,515	53,4	286,555	58,01	285,88	57,81

Tabla N. 1. Cálculo de los rangos de aceptación de resultados.

En las tablas 2 y 3 se indican los valores que no son tenidos en cuenta para el análisis de los resultados, debido al cálculo estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil, obteniendo los siguientes rangos de aceptación descartando los valores atípicos.

N°	0 Kg		20 Kg	
	Resistencia Cilindros (kgf/cm ²)	Resistencia Vigas MR (kgf/cm ²)	Resistencia Cilindros (kgf/cm ²)	Resistencia Vigas MR (kgf/cm ²)
1	240,52	38,12	245,35	46,00
2	243,74	39,77	250,18	43,00
3	245,35	38,04	250,18	43,60
4	246,96	40,36	253,40	46,32
5	246,96	39,60	255,01	46,53
6	248,57	41,40	255,40	48,08
7	250,18	40,71	256,62	46,93
8	250,18	39,73	259,84	33,85
9	250,18	40,67	259,84	46,72
10	253,40	36,79	259,84	49,27
11	253,40	41,47	260,00	47,29
12	255,01	42,27	261,46	49,99
PROMEDIO	248,70	39,91	255,59	46,70
DESVIACIÓN ESTANDAR	4,26	1,60	5,02	2,09

Tabla N. 2. Aceptación de datos resultados para 0 kgf y 20 kgf de fibra.

N°	30 Kg		40 Kg	
	Resistencia Cilindros (Kgf/cm ²)	Resistencia Vigas MR (Kgf/cm ²)	Resistencia Cilindros (Kgf/cm ²)	Resistencia Vigas MR (Kgf/cm ²)
1	249,64	39,48	246,96	52,76
2	250,18	49,87	248,57	51,05
3	251,79	52,75	250,18	58,31
4	255,01	48,80	251,79	53,27
5	256,89	49,93	251,79	49,97
6	259,31	51,05	253,40	54,08
7	261,46	42,25	255,01	51,33
8	261,46	52,11	255,01	51,87
9	264,14	52,33	261,46	52,61
10	266,29	52,87	265,75	52,93
11	267,90	50,64	269,51	53,73
12	270,58	53,07	272,73	54,91
PROMEDIO	259,55	51,34	256,85	53,07
DESVIACIÓN ESTANDAR	7,00	1,49	8,49	2,15

Tabla N. 3. Aceptación de datos resultados para 30 kgf y 40 kgf de fibra.

10. ESTIMACIÓN ECONÓMICA DEL NUEVO PRODUCTO

Al incluir un nuevo material al concreto simple como parte integral de la mezcla, en este caso fibras de acero, hará que los costos directos de producción aumenten, pero de igual manera afectan positivamente la propiedades mecánicas del nuevo producto, como la resistencia a la compresión y más considerablemente la resistencia a la flexión, logrando así mejoras en el comportamiento estructural del concreto.

En esta parte de la investigación se hará una estimación del incremento de los costos directos a medida que se varía la cantidad de fibra adicionada por m³ de concreto.

A continuación se muestra los precios unitarios del concreto con las diferentes variaciones de fibras:

ITEM N° : 1

UNIDAD: m³

**CONCRETO f'c 17,5 MPa y f'cr 24,5 MPa
0 Kgf DE FIBRA**

DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	VR.UNITARIO (\$)	VR. PARCIAL (\$)
Cemento Argos tipo I	Kg	389,23	500	194.615
Gravilla TM 3/4 Agresur	m ³	0,75	60.000	45.000
Arena negra lavada	m ³	0,61	45.000	27.450
Agua	Lts	195,40	30	5.862
Desperdicio	%	0,05	272.927	13.646
TOTAL COSTO DIRECTO				\$286.573

ITEM N° : 2

UNIDAD: m³

**CONCRETO f'c 17,5 MPa y f'cr 24,5 MPa
20 Kgf DE FIBRA**

DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	VR.UNITARIO (\$)	VR. PARCIAL (\$)
Cemento Argos tipo I	Kg	388,21	500	194.105
Gravilla TM 3/4 Agresur	m ³	0,74	60.000	44.400
Arena negra lavada	m ³	0,60	45.000	27.000
Fibra de Acero NOVOCON XR	Kg	20,00	4.000	80.000
Agua	Lts	192,66	30	5.780
Desperdicio	%	0,05	351.285	17.564
TOTAL COSTO DIRECTO				\$368.849

ITEM N° : 3

UNIDAD: m³

**CONCRETO f'c 17,5 MPa y f'cr 24,5 MPa
30 Kgf DE FIBRA**

DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	VR.UNITARIO (\$)	VR. PARCIAL (\$)
Cemento Argos tipo I	Kg	387,63	500	193.815
Gravilla TM 3/4 Agresur	m ³	0,74	60.000	44.400
Arena negra lavada	m ³	0,60	45.000	27.000
Fibra de Acero NOVOCON XR	Kg	30,00	4.000	120.000
Agua	Lts	191,33	30	5.740
Desperdicio	%	0,05	390.955	19.548
TOTAL COSTO DIRECTO				\$410.503

ITEM N° : 4

UNIDAD: m³

**CONCRETO f'c 17,5 MPa y f'cr 24,5 MPa
40 Kgf DE FIBRA**

DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	VR.UNITARIO (\$)	VR. PARCIAL (\$)
Cemento Argos tipo I	Kg	387,16	500	193.580
Gravilla TM 3/4 Agresur	m ³	0,74	60.000	44.400
Arena negra lavada	m ³	0,60	45.000	27.000
Fibra de Acero NOVOCON XR	Kg	40,00	4.000	160.000
Agua	Lts	189,99	30	5.700
Desperdicio	%	0,05	430.680	21.534
TOTAL COSTO DIRECTO				\$452.214

Con lo anterior es posible obtener una relación costo beneficio teniendo en cuenta los costos directos y la resistencia obtenida para los diferentes tratamientos empleados.

	Valor m ³	Resistencia a la Compresión	Resistencia a la flexión (fr)
		(Kgf/cm ²)	(Kgf/cm ²)
Concreto simple	\$ 286.573	248,7	39,91
Con 20 Kgf de Fibras	\$ 368.849	255,6	46,70
Con 30 Kgf de Fibras	\$ 410.503	259,6	51,34
Con 40 Kgf de Fibras	\$ 452.214	256,85	53,07

Tabla N.4. Costos directos del Nuevo Producto.

En la Figura N. 20 se ilustra la incidencia de las fibras de acero en el costo directo del nuevo producto.

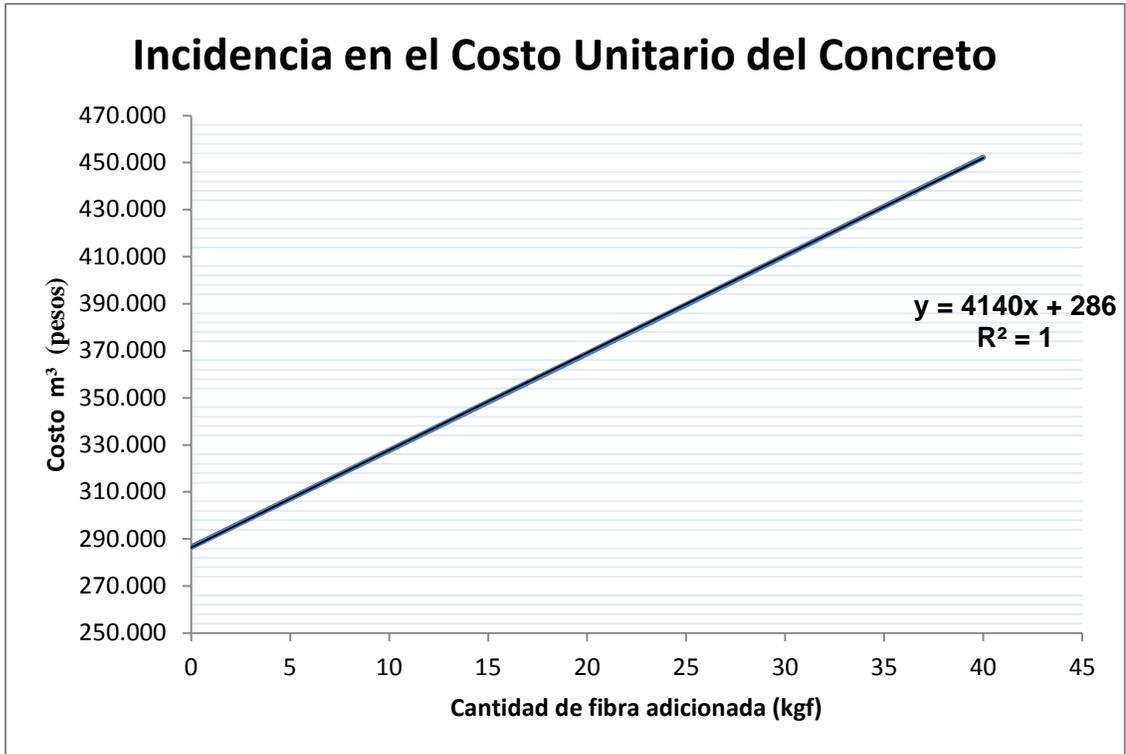


Figura N. 20. Incidencia Económica del nuevo Producto.

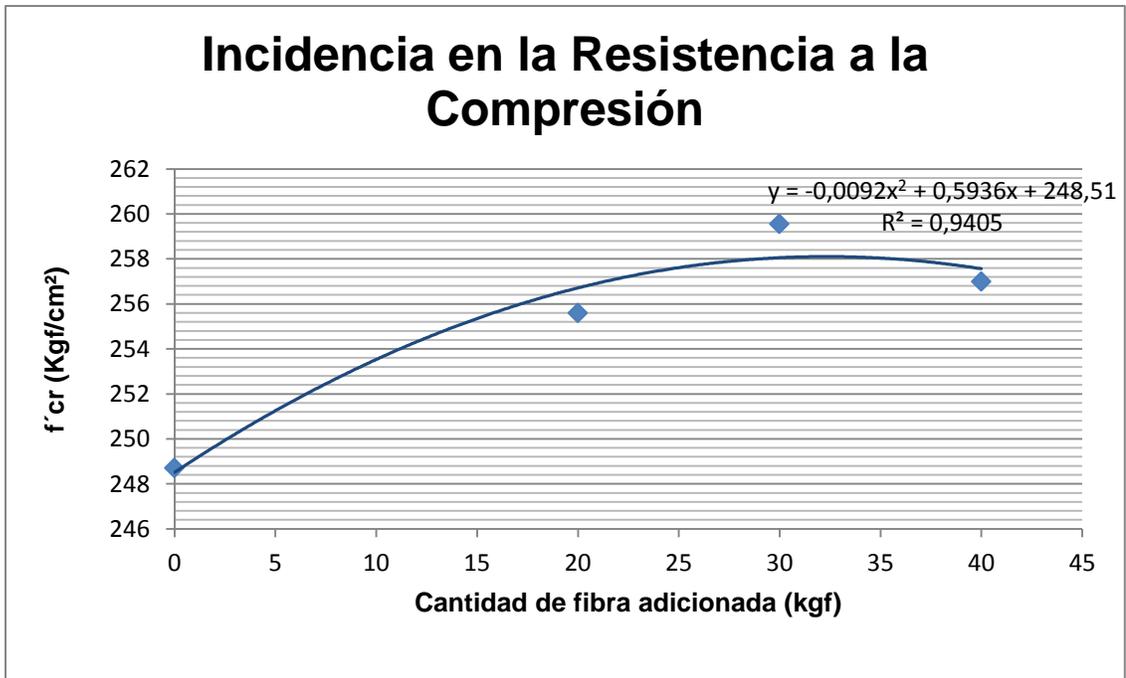


Figura N. 21. Incidencia de las Fibras de Acero en la (f'_{cr})

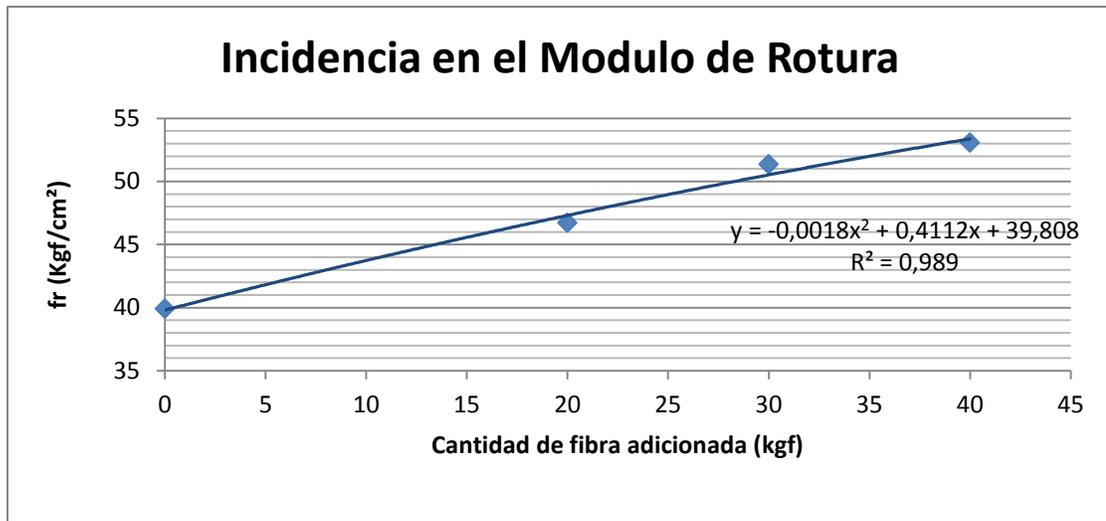


Figura N. 22. Incidencia de las Fibras de Acero en el Módulo de Rotura (fr)

Variación Fibra (kgf)	Costo Unitario (\$)	Aumento (%)	f'cr (kgf/cm²)	Aumento (%)	fr (kgf/cm²)	Aumento (%)
0	286573	0	248,7	0	39,9	0
20	368849	28,7	255,6	2,8	46,07	15,5
30	410503	43,2	259,6	4,4	51,34	28,7
40	452214	57,8	256,8	3,3	53,07	33,0

Tabla N 5. Incidencia de las Fibras de Acero en el costo y resistencia para cada tratamiento.

Como se puede observar los costos son directamente proporcionales a la cantidad de fibra adicionada al nuevo producto, pero de igual manera este costo se compensa con la resistencia adquirida, cabe resaltar que se obtienen mejoras en baja proporción en cuanto a la resistencia a la compresión y un aumento muy favorable en cuanto al módulo de rotura.

La mejora de las propiedades físico mecánicas del concreto fibroreforzado es evidente para cada nivel de tratamiento empleado en la investigación, y la muestra más notable se la observa en la mezcla con 40 kgf de fibra de acero por m³ de concreto para los ensayos a la flexión, ya que se observa un aumento considerable en cuando al módulo de rotura y por ende controla de manera más eficaz la fisuración temprana en las placas de concreto por deficiencias en el curado, entre otras, para los ensayos a la compresión se observa mejor comportamiento cuando se le adiciona 30 kgf de fibra de acero por m³ de concreto, aunque el aumento sea en baja proporción en consideración con la resistencia a la flexión.

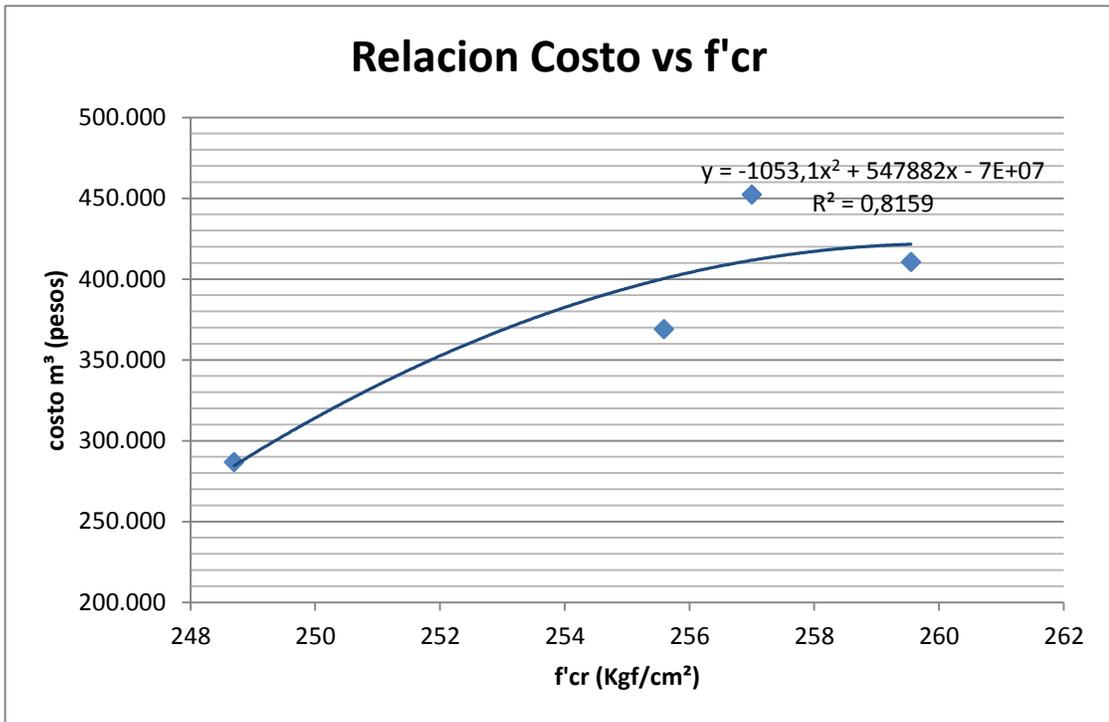


Figura N. 23. Relación Costo vs. Resistencia a la Compresión.

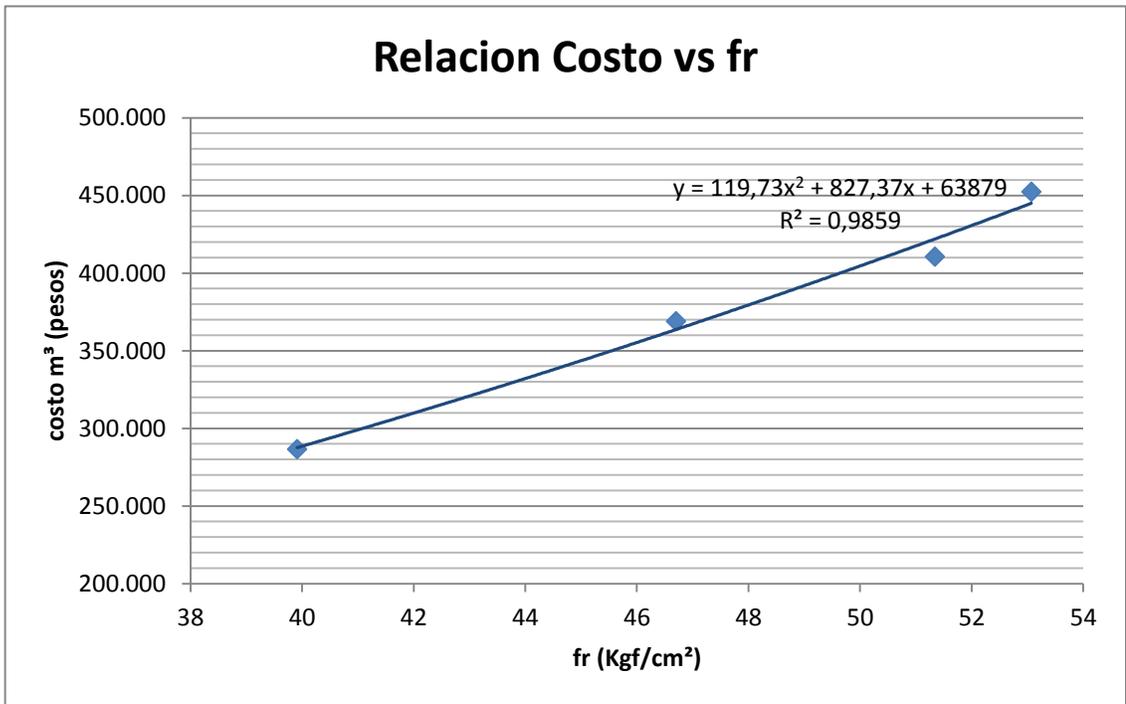


Figura N. 24. Relación Costo vs. Resistencia a la Flexión (fr)

11. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Análisis de los materiales empleados.

- ✓ El tipo de cemento utilizado para la investigación fue cemento ARGOS TIPO I, el cumplió con todos los lineamientos dados por el fabricante, además su comportamiento frente al concreto fresco no tuvo ninguna acción negativa que incidiera de forma directa durante el proceso de ensayo de los especímenes fabricados.
- ✓ El agregado fino utilizado (arena negra) procedente de la cantera rosapamba, ubicado en el municipio de catambuco (nariño), los cuales cumplieron con los requisitos expuestos en las normas de ensayo de los que destacamos un módulo de finura de 2,48 que se encuentra dentro del rango especificado por las recomendaciones de 2,3 a 3,1 que garantiza que el material presenta una granulometría bien gradada.
- ✓ El agregado grueso utilizado, procedente de agresur, ubicado en el municipio de pilcuan (nariño), presentó una granulometría muy bien gradada, con un tamaño máximo de 1½" y un tamaño máximo nominal de ¾". Las características del material empleado cumplió con todas las especificaciones dadas por las normas.
- ✓ Para la investigación se utilizaron fibras de Acero laminado en frío NOVOCON® XR STEEL FIBERS que cumple con la norma ASTM A 820, que presenta una longitud de 38mm, diámetro equivalente de 1.14 mm, relación de aspecto de 33,33 y peso Unitario de 7,37 gr/cm³
- ✓ Se utilizó agua potable para el curado y mezclado de los especímenes.

Análisis de los ensayos del concreto fresco.

- ✓ Al realizar el ensayo de asentamiento, cono de abrams, se observa claramente la influencia que ejercen las fibras de acero en el concreto fresco, se produce una disminución directa en el asentamiento, a medida en que se incrementa la participación de las mismas en la mezcla de concreto, es así, que podríamos hablar de una proporcionalidad inversa entre la cantidad de fibra adicionada y el asentamiento. Es decir, a mayor porcentaje de fibra adicionado menor será el asentamiento obtenido por la distribución de las mismas a lo largo de la mezcla de ensayo.

Variación Fibra (kgf)	Asentamiento (cm)	Variación (%)
0	6,3	0
20	5,9	-6,3
30	4,9	-22,2
40	4,3	-31,7

Tabla N. 6. Incidencia de las Fibras de Acero en el Asentamiento.

- ✓ De acuerdo con lo anterior, y al realizar la comparación con el concreto patrón diseñado para el asentamiento seleccionado, y la adición en diferentes proporciones de fibra por m³ de concreto, se observa claramente la incidencia de las fibras en el manejo y trabajabilidad de la mezcla.

Ensayo de resistencia a la compresión.

Los ensayos de resistencia a la compresión fueron elaborados de acuerdo a la norma INV E – 410 – 07, es una medida universal de la calidad del concreto, se realiza con probetas cilíndricas, no está muy relacionada con las condiciones de trabajo de un pavimento rígido dado que la relación entre los esfuerzos de compresión del tránsito y la resistencia de compresión del concreto es muy pequeña para influir sobre el espesor de diseño de las losas.

Una vez que las probetas estén listas y enrazadas se procede a desencofrar después de las 24 horas de haber sido elaboradas para su posterior colocación en el pozo de curado, previamente acondicionado.

A continuación, se presentan los valores promedios de las diferentes muestras analizadas.

RESISTENCIA A LA COMPRESION (kgf / cm ²)				
TIPO	EDAD	7	14	28
CONCRETO PATRON		172,87	214,21	248,70
NOVOCON® XR 20 kgf		168,30	216,63	255,60
NOVOCON® XR 30 kgf		168,31	210,99	259,60
NOVOCON® XR 40 kgf		165,09	209,38	257,00

Tabla N. 7. Valores promedios de Resistencia a la Compresión de los diferentes tratamientos.

De tabla N. 7 se puede deducir.

La mayor resistencia a la compresión se obtuvo con la mezcla de concreto fibroreforzado con la dosificación de 30 kgf/m³, alcanzando valores cercanos de 257,88 kgf/cm² a los 28 días

Ensayo de resistencia a la flexión.

La resistencia a la flexión se determina mediante ensayos de módulo de rotura, norma INV E – 414 – 07, sobre probetas prismáticas de 15 cm x 15 cm x 50 cm, apoyadas en los extremos y aplicando dos cargas concentradas a los tercios de la luz.

Es el esfuerzo en la fibra extrema de la carga de rotura, este valor se utiliza en el diseño de pavimentos rígidos, debido a que la relación de los esfuerzos de flexión producidos por el tránsito y la resistencia a flexión del concreto es alta, a menudo mayor de 0.5

Por lo general el proceso de curado se realiza a los 28 días de edad para pavimentos en vías y a los 90 días para concretos empleados en pistas de aeropuertos, cabe anotar que el proceso de elaboración de las vigas es extremadamente sensible y responde directamente a la manipulación y curado de las probetas. Las vigas son muy pesadas y pueden ser dañadas cuando se transportan desde el lugar de trabajo hasta el pozo de curado y hasta la máquina de ensayo.

A continuación, se presentan los valores promedios de las diferentes muestras analizadas.

MODULO DE ROTURA (kgf / cm²)				
TIPO	EDAD	7	14	28
CONCRETO SIMPLE		25,87	28,75	39,91
NOVOCON® XR 20 kgf		28,29	35,61	46,70
NOVOCON® XR 30 kgf		30,99	36,73	51,34
NOVOCON® XR 40 kgf		32,03	38,30	53,07

Tabla N. 8. Valores promedios del Módulo de Rotura (fr) de los diferentes tratamientos.

Con los resultados obtenidos podemos observar que la mezcla con 40 Kgf de fibra por m³ de concreto ofrece mayor Modulo de rotura (fr) en comparación con las demás mezclas analizadas.

Observaciones según parámetros estadísticos logrados.

Para lograr la correlación entre los resultados hubo la necesidad de formar parejas de datos, por lo que se realizaron 12 vigas y 12 cilindros fallados a los 28 días de edad, este procedimiento fue realizado para cada tratamiento.

A pesar que se realizaron las pruebas con gran precisión, fue necesario suprimir algunos datos que se clasificaron como valores atípicos según el método del primer y tercer cuartil, por motivo que estaban muy alejados de los demás datos.

Con los resultados fue posible correlacionar la cantidad de fibra adicionada (0, 20, 30 y 40 Kgf) con los resultados obtenidos al momento de fallas las vigas (f_r) y los cilindros (f'_{cr}). La regresión cuadrática es la que más se ajusta a los datos obtenidos en cada tratamiento. Se observa que la incidencia de las fibras de acero es más notable en el módulo de rotura (f_r).

Con estas gráficas y las fórmulas que relacionan las variables en cada gráfico, se facilita la apreciación de la incidencia de las fibras de acero tanto en el costo como en la resistencia a la compresión y el Modulo de Rotura.

12. CONCLUSIONES

El costo unitario del concreto es directamente proporcional a la cantidad de fibra adicionada al nuevo producto como se indica en la figura 20, los costos varían en un 28.7, 43.2 y 57.8% para 20, 30, 40 kgf de fibra adicionada respectivamente, en comparación con el precio unitario del concreto que no contiene fibras.

La figura 21 indica el comportamiento del concreto fibroreforzado ensayado a la compresión, se observa un incremento del 2.8, 4.4% y 3.3% para 20, 30, 40 kgf de fibra adicionada respectivamente, el aumento más significativo se lo observa con la adición de 30 kgf de fibra de acero, obteniendo un porcentaje de aumento del 4,4% con respecto al concreto sin fibra, por lo que claramente se observa que la adición de fibras de acero para un concreto expuesto a esfuerzos de compresión no ofrecería beneficios considerables, teniendo en cuenta el aumento en el costo directo del nuevo producto.

De igual manera en la figura 22 se aprecia que la resistencia a la flexión (Módulo de Rotura), adquiere un incremento del 15.5, 28.7 y 33% que es proporcional a la cantidad de fibra adicionada (20, 30 y 40 kgf) respectivamente, por lo que si bien existe un incremento en el costo directo del nuevo producto, se obtendrá mejoras de las propiedades mecánicas del concreto fibroreforzado, aspecto que incidiría mucho tanto en losas para pavimentos rígidos, así como en la mejora del parámetro denominado momento de agrietamiento (o fisuramiento) que se emplea para la determinación de las deflexiones (flechas) en elementos de concreto armado.

La adición de las fibras de acero tiene una incidencia negativa sobre la manejabilidad, comparando los resultados del asentamiento obtenidos (tabla 13) de una mezcla de concreto que no contiene fibras frente a un concreto fibroreforzado se observa una disminución en el asentamiento en una magnitud de 6.3, 22.2, 31.7 % según la cantidad de fibra adicionada 20, 30 y 40 Kgf respectivamente, esto como consecuencia de la distribución de las mismas a lo largo de la mezcla de ensayo, aspecto que demanda mayor energía de compactación en los propósitos de colocación del concreto dentro de las formaletas.

El concreto Fibroreforzado adquiere un aumento en la ductilidad, propiedad que aunque no fue posible cuantificar en el laboratorio, es apreciable cuando los

cilindros y vigas son fallados. Las briquetas que contienen fibra no presentan una falla frágil o explosiva, sino que por el contrario, estas siguen manteniendo su forma y resistiendo en buena parte la carga que aún actúa sobre las mismas, esto debido a que las fibras de acero se distribuyen en la mezcla y conforman un refuerzo en todas las direcciones, por lo que se puede afirmar que el concreto que contiene fibras de acero, comparado con un concreto normal, aunque tenga la misma resistencia, ofrece características físicas y mecánicas superiores.

El diseño ondulado que presentan las fibras de Acero Novocon XR, hace que se adhieran de buena manera con el concreto simple, formando así una sola matriz.

13. RECOMENDACIONES

Contar con un adecuado acopio y cantidad de los materiales que se vayan a utilizar, protegiéndolos de cualquier situación que puedan alterar sus propiedades naturales, y así se garantice la elaboración de por lo menos el doble de los ensayos que se vayan a realizar para evitar variaciones en los resultados por la variación en los materiales.

Trabajar con asentamientos mayores a los 6 cm para evitar dificultades para la manipulación del concreto fibroreforzado en su estado fresco.

Realizar futuras investigaciones en laboratorios que cuenten con la infraestructura necesaria para evitar cualquier alteración que se pueda presentar en cuanto a los resultados de resistencia a la compresión como al módulo de rotura, siendo éste en el que se observan mayores inconvenientes por la falta de instrumentos necesarios que garanticen resultados confiables.

Realizar variaciones no solo en las proporciones de fibra adicionada, sino también en las resistencias del concreto, esto con el fin de apreciar en un rango más amplio las mejoras que las fibras de acero pueden ofrecer al concreto endurecido. Así mismo se podría trabajar con la curva esfuerzo vs deformación, para cuantificar que tanto mejora la calidad del concreto.

Realizar ajustes a las dosificaciones de mezcla empleadas para cada tratamiento, con el fin de conocer que tanto disminuye el costo directo del concreto fibroreforzado sin alterar la resistencia deseada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

CODIGO COLOMBIANO DE COSTRUCIONES SISMO RESISTENTES. Decreto 1400, Bogotá Colombia. 1984.

http://www.asocreto.org.co/rc_2010/pdf/Presentaciones_preeventos_RC2010/Consideraciones/4%20Concreto%20fibroreforzadoruno%20Luis%20Marson.pdf

<http://www.imcyc.com/ct2007/mar07/productos3.htm>

http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=118&virtuemart_category_id=25&Itemid=157&lang=es

REUNION DEL CONCRETO 2010 (RC), Cartagena de Indias, septiembre 22, 23, 24 de 2010. Ponente .Bruno Luiz Marson Franco.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Normas I.N.V. E 2007.

KUEHL, ROBERTO O. Diseño de experimentos, principios estadísticos de diseño y análisis de investigación, segunda edición. Estados Unidos: Universidad de Arizona. 2001.

Límites de gradación de Agregado Fino. Norma, ASTM C33.

Tolerancias sobre las dimensiones. Norma, ASTM A820.

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR 10. Titulo C, Concreto Estructural.

RIVERA L, Gerardo. Tecnología del concreto. Colombia: Universidad del Cauca, 2008.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del Mortero. Colombia. Bhandar Editores Ltda. Cuarta Edición. Año 2000.

TORRENT, Roberto. Concretos del siglo XXI. Trabajo presentado en el XI Congreso Internacional de estudiantes y profesionales de Ingeniería Civil realizado en la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Agosto 2012.