

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1 ANTECEDENTES.

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción, pues ofrece una serie de ventajas que lo hacen muy atractivos. El hormigón es un material que toma casi cualquier forma deseada, posee alta resistencia a la compresión, monolitismo, relativa facilidad de obtención de sus componentes.

Una de las desventajas de este material es la baja resistencia a la tracción, respecto a la compresión aproximadamente de 1 a 10 generando comportamientos frágiles en su estado no mejorado. La resistencia a tracción es considerada generalmente cero, por lo que cuando se tienen tensiones de tracción en el hormigón se debe disponer de algún mecanismo de refuerzo usualmente metálicas en barras, fibras, mallas. La técnica de mezclar fibras con materiales frágiles para reforzarlos no es algo novedoso, ni que requiera imprescindiblemente de procedimientos sofisticados para su utilización. Se conocen construcciones de miles de años de antigüedad realizadas con técnicas similares y en la actualidad con bajos recursos económicos se sigue construyendo con materiales como barro, paja estiércol de animales entre otros. Los materiales compuestos mejorados con fibras están constituidos por fibras embebidas o ancladas en una matriz. Generando una interface entre las fibras y la matriz en este esquema, manteniendo sus características físicas y mecánicas, produciendo unas propiedades que no podrían alcanzar con cada uno de los constituyentes por separado. En general las fibras son las que asumen las tensiones de tracción, mientras que la matriz que lo rodea mantiene su localización y orientación, actuando como un medio de transferencia de carga entre ellas además de proteger a las fibras de agentes agresivos del medio ambiente como la humedad y temperatura entre otros. En consecuencia, podemos afirmar que la utilización de fibras para mejorar hormigones es de una importancia significativa.

Hasta la fecha se han presentado diferentes adiciones, sustracciones a la mezcla de hormigón con el objeto de mejorar su comportamiento, abaratar costos y reducir el peso del mismo.

El hormigón es un material compuesto por los agregados pétreos que permiten formar una pasta moldeable y consistente; el segundo está compuesto por agua y cemento, esta combinación reacciona químicamente logrando de esta manera el endurecimiento. En nuestro país, el hormigón es uno de los principales materiales utilizados en construcción de obras civiles. Sus propiedades mecánicas son capaces de resistir esfuerzos a compresión y tracción, teniendo amplia ventaja su resistencia a compresión.

La evaluación de los áridos, desde un enfoque de desarrollo sostenible, requiere considerar aspectos socioeconómicos y medioambientales, considerando su ciclo de vida que contempla: su extracción, producción, distribución y utilización, no perdiendo de vista el consumo de energía, los contaminantes que produce, lo cual nos permite comparar diversas estrategias y cuantificar los impactos negativos y sus beneficios, de tal forma que nos permita definir el proceso más sostenible para el desarrollo, utilización y reutilización de estos recursos

1.1 EL PROBLEMA.

1.1.1 Planteamiento del problema

Es indiscutible que la industria de la construcción requiere de un hormigón de calidad para la ejecución de obras, lo cual hace inevitable la necesidad de áridos o agregados de calidad, que cumplan las especificaciones señaladas en normas técnicas. Es así que debemos estar seguros que los áridos satisfacen plenamente otros requerimientos de la industria de la construcción, y así puedan ser usados en la preparación de hormigones.

En la actualidad la mayoría de profesionales de la construcción en nuestro país continúan utilizando los mismos materiales tradicionales para la edificación de obras, lo cual nos hace reflexionar que estamos dejando de lado el concepto de innovar para mejorar.

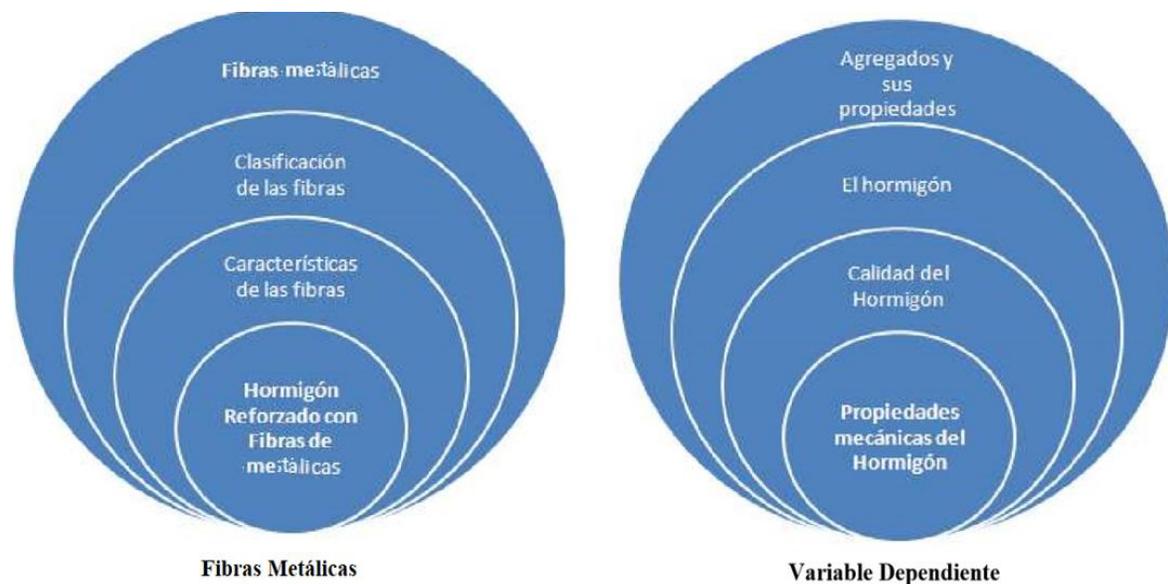
La utilización de un hormigón especial producto de incorporar nuevos componentes a uno ya existente, como el hormigón mejorado con fibras metálicas dentro del mercado de la construcción lleva a realizar diversos análisis previos, con el objetivo de conocer a cabalidad cuales son las nuevas propiedades del material y consideraciones que se tomarían al momento de planificar y ejecutar una obra civil.

De no existir este tipo de estudios que busquen innovaciones para generar nuevos materiales que ayuden a los profesionales inmiscuidos en esta área tan explotada que son los hormigones y muy necesarias para el progreso de la región y del país, se continuará utilizando los materiales convencionales en las obras, edificaciones y por ende existiría un estancamiento.

Adicionalmente si no se comienza ya a incorporarse hormigones especiales y continúa el uso del hormigón normal en las construcciones, seguirá existiendo la compleja problemática de la durabilidad del concreto lo que afecta directamente al servicio que las estructuras brindan a la comunidad.

De ahí que se plantea la necesidad del estudio de hormigones mejorados con fibras metálicas con agregados naturales, ya que estos elementos aportarían con mejoras en la resistencia de los hormigones y de una posible aplicación estructural.

1.1.2 Formulación del Problema.



1.1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Se han Realizado obras con fibras metálicas en nuestro medio?

¿Qué obras civiles fueron realizadas con fibras metálicas en Tarija?

¿Qué obras hubieran sido factibles construidas con fibras metálicas en la ciudad de Tarija?

Utilización de fibras metálicas en la ciudad de Tarija.

La inclusión de fibras con una apropiada resistencia mecánica a la tensión como las fibras metálicas, homogéneamente distribuidas en el hormigón fresco conforman una micro-armadura, la cual por un lado trabaja eficazmente en controlar la formación de grietas o fisuras por tracción cosiendo el matriz cementante y por otro lado confiere al concreto mejores respuestas en sus propiedades físico mecánicas.

En las últimas décadas, la incorporación del hormigón reforzado con fibras metálicas, ha generado una impresionante evolución en el campo de la construcción alrededor del mundo, mas no ha significado un gran avance en nuestro país y especialmente en Tarija, en el que aún se ve al hormigón a uno de sus materiales, primordiales para las consideraciones de diseño y costo de los proyectos que se estudian y ejecutan pero que aún no visualiza el empleo de materiales innovadores que ayudarían en la optimización de recursos y en la edificación de estructuras durables en el tiempo con la capacidad de soportar las acciones del medio natural, ataques físicos, u otros procesos de deterioro con un mínimo mantenimiento.

Desde aquel punto de vista se plantea en este trabajo de investigación el estudio y una posible utilización de este tipo de hormigones especiales para la ciudad de Tarija. En la actualidad la parte de profesionales de la construcción en el país y en Tarija continúan utilizando los mismos materiales tradicionales para la edificación de obras, lo cual nos hace reflexionar que estamos dejando a un lado el concepto de innovar para mejorar.

La utilización de un hormigón especial producto de la incorporación de nuevos componentes a uno ya existente como el hormigón mejorado con fibras metálicas dentro del mercado local de la construcción llevan a realizar diversos análisis previos con el objetivo de conocer a cabalidad cuales son las nuevas propiedades del material, y consideraciones que se tomarían al momento de planificar y ejecutar una obra civil.

La problemática a investigar en el presente proyecto está dentro del campo de la ingeniería civil y requiere estudios de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales pétreos.

Existen algunas limitaciones en nuestro medio con respecto a la provisión de las fibras metálicas al tratarse de un material poco conocido y de la no existencia de empresas que lo comercialicen en nuestro medio y por esta razón es dependiente de las importadoras nacionales, factor que incide directamente en la utilización de estos materiales y en los costos finales de los hormigones.

Una vez manifestado los beneficios que traería en el desarrollo de la construcción el empleo de un hormigón especial, es de interés personal y de muchos ingenieros civiles tener conocimiento sobre el comportamiento de nuevos materiales que revolucionarían el campo de la construcción local. Al existir suficientes fuentes de consulta sobre la influencia de estos hormigones, se considera importante proceder a realizar este proyecto de investigación incentivo para futuras pruebas y análisis que ayuden a profundizar en el estudio de las fibras como refuerzo en el hormigón y de esta forma fijar conceptos capaces de justificar su utilización en nuestra ciudad y provincias.

Obras civiles con fibras metálicas en nuestro medio.

Túnel Falda la Queñua. - El Proyecto se basa en un túnel del tipo tubo y de sección circular compuesta y fortificada con una plataforma de 10 m con dos pistas de 3.5 m y respectivas bermas de 1.5 m y un eje de separación de 1.0 m de ancho aceras de 1.5 m haciendo un total de radio interior de 7.0 m condiciones que se hacen necesarias para la utilización de hormigones especiales, en este caso particular hormigón lanzado con fibras metálicas o de acero, en dicha obra se utilizó este tipo de hormigón para el revestido de las paredes internas del túnel por sus características de resistencia y gran adherencia al ser lanzado con lo cual se garantiza una estabilidad a lo largo y el perímetro de las paredes.

Túnel Falso de Alarache Bermejo. - Esta obra consiste en una estructura de hormigón armado ubicada en la ruta Tarija Bermejo tiene una longitud aproximada de 200 m, mencionar que en dicha obra se utilizaron hormigones con fibras de acero tanto en la entrada del túnel como así también en la salida del mismo para evitar desprendimientos y derrumbes que pudieran causar accidentes fatales, sobre todo en época de lluvias que son los puntos más problemáticos del año en casi todas las obras civiles.

Obras construidas en Tarija en las que hubiera sido factible utilizar hormigones con fibras metálicas.

En nuestra ciudad se construyeron varias obras civiles en las cuales se podrían haber utilizado este tipo de hormigones especiales. A continuación, mencionaremos algunas de ellas.

Avenida Integración. - El sistema vial de la avenida integración de ciudad de Tarija presenta algunos problemas constantes en época de lluvias, especialmente en sus conexiones porque al encontrarse en pendiente y evacuar sus aguas directamente a la avenida mencionada ocasionan que en esta vía se formen grandes y pequeños charcos de agua los cuales en un futuro provocarían el deterioro de la vía de pavimento rígido al ser permeable, traduciéndose en un acortamiento de la vida útil de la obra. Una solución alternativa para este problema podría haber sido que su construcción se hubiera realizado con pavimento rígido reforzado, con fibras metálicas, ya que este tipo de hormigones son especiales además de aportar con una resistencia superior en compresión y flexión al pavimento rígido convencional, también brinda una gran impermeabilidad, factor importante para la durabilidad de la obra además de permitir una reducción en los espesores de la carpeta importante para reducción de costos.

Parque Industrial de la Cascada. – Los parques industriales son de gran importancia, ya que en ellos se desarrollan concentraciones intensas de tráfico de producción. Los problemas más comunes son debido a las cargas en la losa, vibraciones, derrame de sustancias químicas, etc. Provocando desgaste y daño en la estructura del piso industrial.

Puntualmente en nuestro medio el piso industrial de la fábrica de la Cascada presenta deterioro en algunos sectores como ser el desgaste, debido al gran tráfico de cargas y químicos que fueron, deteriorando el piso. La solución para este problema es el hormigón con fibras metálicas al poseer las características y cualidades como la resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, y ataques químicos entre otros, además de su mayor resistencia a la compresión y flexión.

Construcción del nuevo Puente sobre el río Guadalquivir. - En nuestra ciudad desde hace unos años el crecimiento automotor se ha constituido en un problema dado el elevado número de vehículos lo que dio lugar al diseño y construcción de un nuevo puente sobre el río Guadalquivir con el objeto de descongestionar el tráfico, es así que esta obra de gran

magnitud podría haberse contemplado en su diseño la utilización de hormigón con fibras metálicas para ciertos elementos estructurales que conforman dicha estructura tales como el tablero al soportar grandes cargas móviles y tráfico continuo, el barandado de seguridad ya que este tipo de hormigones poseen una gran resistencia al impacto al absorber las fuerzas del choque así también como a elementos como el bordillo que son elementos vulnerables en dicha estructura de esta manera podría garantizarse más seguridad y durabilidad para esta obra.

Estabilización de las paredes del talud subida al barrio Luis de fuentes de Tarija.

De igual manera que las anteriores obras mencionadas, la estabilización para evitar los desprendimientos de materiales sueltos o por efectos de deslizamientos causados por las lluvias, una buena alternativa de solución sería el hormigón con fibras metálicas al tener las bondades de poder ser proyectado o lanzado y brindando resultados satisfactorios, ampliamente utilizado en revestimientos de túneles por tener grandes resistencias y capacidad de adherencia, de ahí que se convierte en una gran alternativa de solución.

1.1 HIPÓTESIS.

Como hipótesis para este trabajo de investigación se plantea:

Con la adición de fibras metálicas de acero trefilado con bajo contenido de carbono al hormigón simple en dosificaciones de (25kg/m³, 40kg/m³ y 70 kg/m³), se mejorará su resistencia a la compresión en un porcentaje de (10% a 20%), y a flexión simple respectivamente en un porcentaje del (20%).

La contrastación de la Hipótesis se realizará mediante ensayos de laboratorio con probetas y vigas estandarizadas.

1.2 OBJETIVOS.

El trabajo de investigación se planteó con los siguientes objetivos:

1.2.1 General.

Incrementar la resistencia a compresión y flexión simple mediante la adición de distintas dosificaciones de fibras metálicas a un hormigón patrón de $f^c=210\text{kg/cm}^2$

1.2.2. Específicos.

- Determinar las características físicas de los agregados utilizando la norma (ASTM).
- Realizar una comparativa entre el hormigón con fibra y el hormigón convencional.
- Contribuir al conocimiento de las aplicaciones del Hormigón mejorado con fibras metálicas en el campo estructural y ayudar a extender su uso.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

Las razones por las cuales se elabora el trabajo de investigación son las siguientes:

1.3.1 Académica.

El trabajo de investigación propone en función a teorías existentes, aportar con innovaciones tecnológicas, para enriquecer conocimientos en los procesos de diseño con mezclas y su desarrollo mismo.

1.3.2 Metodológica.

A través de la selección de un hormigón patrón, metodológicamente a partir de dicha dosificación única, se pretende incrementar la resistencia a la compresión y flexión mediante la adición de fibras metálicas, representadas en pesos de (25 kg/m³, 40 kg/m³, y 70 kg/m³) las fibras se colocarán como un agregado más en la mezcla del hormigón en la hormigonera junto a los demás elementos.

1.3.3 Técnica.

Al adicionar las fibras metálicas al hormigón y este incremente las características mecánicas de un hormigón normal, esto permitirá utilizar un material alternativo y abaratar los costos como así también el tiempo de construcción de estos hormigones.

1.3.4 Social.

Al incrementar la resistencia del hormigón en compresión y flexión se obtendrá un material nuevo en nuestro medio que vendrá a solucionar ciertas deficiencias que causan deterioro en las obras civiles.

1.4 ALCANCE DEL ESTUDIO.

1.4.1 Tipo de estudio.

Las prácticas actuales en la industria de la construcción apuntan hacia dos direcciones: por un lado la minimización de tiempos de ejecución en obra, por otro la reducción de costos de construcción de cada actividad, nos llevan a realizar este tipo de estudios encaminados a obtener resultados óptimos.

En este trabajo se propone el uso de fibras metálicas para la elaboración de hormigones simples con el objetivo de incrementar la resistencia a la compresión y flexión simple y aportar con nuevas técnicas para su utilización futura en obras civiles. El estudio se regirá en el diseño de un hormigón convencional para uso estructural, basado en los ensayos A.S.T.M. para una mezcla de hormigón con resistencia de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

El alcance de esta investigación es determinar para:

- Árido; Los ensayos que se realizarán para el árido serán: granulometría, contenido de humedad, densidad relativa, peso específico, absorción de agua.
- Hormigón fresco; Los ensayos para el hormigón fresco serán: fresco, asentamiento mediante cono de Abrams.
- Hormigón endurecido; Los ensayos de hormigón endurecido serán: Ensayo de resistencia a la compresión en probetas, y flexión simple en vigas estandarizadas.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2 MARCO TEORICO

2.1 El Hormigón.

En su concepción más amplia, el hormigón puede definirse como un conglomerado fabricado artificialmente, compuesto de partículas inertes que van unidas por una matriz de material cementante o aglutinante en otras palabras, el hormigón está compuesto de agua, cemento y agregados (fino y grueso), a los que generalmente se los añade algún aditivo con el objeto de darles ciertas propiedades que el hormigón por sí mismo no las posee.

Las relaciones básicas entre los componentes han sido previamente establecidas, pero no son sino una guía para acercarse a una dosificación óptima, la misma que se obtendrá según las condiciones de los materiales en la obra y los correctivos que sean necesarios.

Cuando se habla de hormigón en este documento se refiere al fabricado con cemento portland, aunque existen otro tipo de cementos y hormigones.

Para este propósito el cemento se aplica a un mineral usualmente en forma de polvo muy fino, que al mezclarse con el agua forma una masa plástica llamada PASTA, la misma que se endurece por reacciones químicas (fraguado), mediante geles y cristales formando así una roca artificial llamada hormigón.

El cemento se obtiene a partir de la cocción de 1350 grados de piedras calcáreas que contengan más de un 22% de arcilla, obteniéndose el Clinker, el cual luego es finalmente pulverizado para que adquiera un poder aglomerante, constituido por aluminatos y silicatos.

El hormigón en su primera fase de elaboración se denomina hormigón fresco pues se encuentra en estado líquido, aunque en el mismo instante en que el cemento toma contacto con el agua se inicia el proceso químico de hidratación del cemento el que en su primera fase se caracteriza por el cambio paulatino a estado sólido.

2.1.1 Agregado Grueso.

El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio para certificar su calidad. El tamaño mínimo será de 4,5 mm, el agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como lo es por lavado.

La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada deberá ser generalmente cúbicas estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños.

Tendrá una resistencia que esté relacionada directamente con su dureza, densidad y módulo de elasticidad.

Forman aquellas partículas comprendidas entre los 4.5mm y los 15 mm de diámetro; es aquel material que se retiene en el tamiz # 4 de la A.S.T.M. (abertura = 4.75 mm).

El material que consta de grava, grava triturada, piedra triturada o una mezcla de éstas, siempre y cuando cumplan con los requisitos establecidos en la Norma ASTM C-33.

Los agregados ocupan del 70 al 80% del volumen del hormigón, por lo tanto muchas de las características del hormigón dependen de las propiedades de los agregados.

Teniendo en cuenta que el hormigón es una piedra artificial, el agregado grueso es la materia prima para fabricar el hormigón. En consecuencia, se debe usar la mayor cantidad posible y del tamaño mayor, teniendo en cuenta los requisitos de colocación y resistencia. Hasta para la resistencia de 250 kg/cm² se debe usar el mayor tamaño posible del agregado grueso; para resistencias mayores investigaciones recientes han demostrado que el menor consumo de hormigón para mayor resistencia (eficiencia), se obtiene con agregados de menor tamaño. Se llama eficiencia del hormigón a la relación entre la resistencia del hormigón y el contenido de cemento. En hormigón de alta resistencia, mientras más alta sea esta, menor deberá ser el tamaño máximo para que la eficiencia sea máxima. Para cada resistencia existe un margen estrecho del valor del tamaño máximo por debajo del cual es necesario aumentar el contenido

del cemento. En hormigones de mediana y baja resistencia mientras mayor sea el tamaño mayor es la eficiencia.

Características de un buen Agregado Grueso para el Hormigón:

- Una buena gradación con tamaños intermedios, la falta de dos o más tamaños sucesivos puede producir problemas de segregación.
- Un tamaño máximo adecuado a las condiciones de la estructura.
- Debe evitarse el uso de agregados planos o alargados, porque además de producir bajas masas unitarias y baja resistencia mecánica, tienen tendencia a colocarse horizontalmente formándose bajo su superficie bolsas de agua cuando esta sube a la superficie, debido a la sedimentación de las partículas sólidas; esta agua almacenada bajo las partículas deja un espacio vacío cuando después del fraguado el agua evapora, por lo cual trae como consecuencia una notable reducción de la resistencia del hormigón .
- Una adecuada densidad aparente entre 2.3 y 2.9 gr/cm³. Cuanto mayor es su densidad mejor es su calidad y mejor su absorción, que oscila entre 1 y 5 %.
- Las partículas con formas angulosas producen mezclas ásperas y difíciles de manejar.
- Una superficie rugosa, limpia y sin capa de arcilla.
- No debe contener terrones de arcilla, ni partículas deleznable; generalmente se limita al contenido de finos entre el 1 y 3 %, para que permita una adecuada adherencia de las partículas y el cemento en las mezclas.
- Agregados con partículas esféricas y cúbicas son las más convenientes para el hormigón, porque tienen mayor resistencia y es menor el consumo de cemento debido al mayor acomodo de las partículas, o sea mayor cantidad de material por unidad de volumen.

2.1.2 Agregado Fino.

Comúnmente conocido como arena, es el de mayor responsabilidad dentro del hormigón, a tal punto que pueda decirse que no es posible hacer un buen hormigón. La forma de aquellas partículas comprendidas entre los 4.7 mm. y los 0.075 mm. de diámetro; es aquel material

que pasa del tamiz # 4 (abertura 4.75 mm.) y se retiene en el tamiz # 200 (abertura = 0.075mm).

El agregado fino o arena se usa como llenante, además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al hormigón. Una falta de arena se refleja en la aspereza de la mezcla y un exceso de arena demanda mayor cantidad de agua para producir un asentamiento determinado, ya que entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y al requerir mayor cantidad de agua se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación agua cemento

Características de un buen Agregado Fino. - Un buen agregado fino al igual que el agregado grueso debe ser bien gradado para que puedan llenar todos los espacios y producir mezclas más compactas. La cantidad de agregado fino que pasa los tamices 50 y 100 afecta la manejabilidad, la facilidad para lograr buenos acabados, la textura superficial del hormigón.

Las especificaciones permiten que el porcentaje que pasa por el tamiz No 50 este entre 10% y 30%; se recomienda el límite inferior cuando la colocación es fácil o cuando los acabados se hacen mecánicamente, como en los pavimentos, sin embargo, en los pisos de hormigón acabado a mano, o cuando se desea una textura superficial tersa, deberá usarse un agregado fino que pase cuando menos el 15% el tamiz 50 y 3% el tamiz 100.

El módulo de finura del agregado fino utilizado en la elaboración de mezclas de hormigón, deberá estar entre 2,3 y 3,1 para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina; cuando la arena es muy gruesa se obtienen mezclas ásperas.

Un agregado fino con partículas de forma redondeada y textura suave ha demostrado que requiere menos agua de mezclado. Se acepta habitualmente que el agregado fino cause un efecto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso. Los primeros tienen una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados, el requerimiento de pasta en la mezcla se verá afectado por la proporción en que se incluyan éstos.

La experiencia indica que las arenas con un módulo de finura (MF) inferior a 2.5 dan hormigones con consistencia pegajosa, haciéndolo difícil de compactar. Arenas con un módulo de finura de 3.0 han dado los mejores resultados en cuanto a trabajabilidad y resistencia a la compresión.

DENOMINACIÓN	TAMAÑO DEL GRANO (Diámetro en mm)	# TAMIZ (A.S.T.M.)
ARENA GRUESA	4.75 – 2.00	Pasa # 4 y Retiene # 10
ARENA MEDIA	2.00 – 1.00	Pasa #10 y Retiene # 18
ARENA FINA	Menor que 1.00	Pasa # 18

Tabla N°1.- Clasificación según el tamaño de partículas de arena (fuente norma ASTM Abanto castillo)

2.1.3 Los Materiales Cementantes.

Son materiales que sirven para unir fragmentos minerales que contengan adherencia y cohesión requeridas, formando un solo material sólido que contenga resistencia y durabilidad adecuadas.

Para la fabricación del hormigón estructural se utilizan únicamente los cementos hidráulicos (utilizan agua para reaccionar químicamente y adquirir sus propiedades cementantes durante el proceso de fraguado).

Los cementos son conglomerantes hidráulicos son productos que mezclados con el agua forman pastas que fraguan y endurecen, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto en el aire como bajo agua.

La clasificación de un cemento puede realizarse en función de:

- La naturaleza de sus componentes
- Su categoría resistente
- En su caso por sus características especiales

2.1.3.1 Cementos Portland.

Los cementos Portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos, estos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. En el

curso de esta reacción, denominada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una pasta, y cuando son agregados como la arena y grava triturada, se forma lo que se conoce como el material más versátil utilizado para la construcción del Hormigón.

El Clinker, la materia prima para producir el cemento, se alimenta a los molinos de cemento junto con mineral de yeso, el cual actúa como regulador del fraguado. La molienda conjunta de éstos materiales produce el cemento. Las variables a controlar y los porcentajes y tipos de materiales añadidos, dependerán del tipo de cemento que se requiera producir. El tipo de materias primas y sus proporciones se diseñan en base al tipo de cemento deseado.

La norma ASTM C 150 establece diferentes tipos de cemento, de acuerdo a los usos y necesidades del mercado de la construcción, se especifican algunos:

Clasificación. Tipo, Nombre y Aplicación:

Tipo I.- Este tipo de cemento es de uso general, y se emplea cuando no se requiere de propiedades y características especiales que lo protejan del ataque de factores agresivos como sulfatos, cloruros y temperaturas originadas por calor de hidratación.

Entre los usos donde se emplea este tipo de cemento están: pisos, pavimentos, edificios, estructuras, elementos prefabricados.

Tipo II.- El cemento Portland tipo II se utiliza cuando es necesario la protección contra el ataque moderado de sulfatos, como por ejemplo en las tuberías de drenaje, siempre y cuando las concentraciones de sulfatos sean ligeramente superiores a lo normal, pero sin llegar a ser severas (En caso de presentarse concentraciones mayores se recomienda el uso de cemento Tipo V, el cual es altamente resistente al ataque de los sulfatos).

Genera normalmente menos calor que el cemento tipo I, y este requisito de moderado calor de hidratación puede especificarse a opción del comprador. En casos donde se especifican límites máximos para el calor de hidratación, puede emplearse en obras de gran volumen y particularmente en climas cálidos, en aplicaciones como muros de contención, pilas, presas, etc. La Norma ASTM C 150 establece como requisito opcional un máximo de 70 cal/g a siete días para este tipo de cemento.

Tipo III.- Este tipo de cemento desarrolla altas resistencias a edades tempranas, a 3 y 7 días. Esta propiedad se obtiene al molerse el cemento más finamente durante el proceso de molienda. Su utilización se debe a necesidades específicas de la construcción, cuando es necesario retirar cimbras lo más pronto posible o cuando por requerimientos particulares, una obra tiene que ponerse en servicio muy rápidamente, como en el caso de carreteras y autopistas.

Tipo IV.- El cemento Portland tipo IV se utiliza cuando por necesidades de la obra, se requiere que el calor generado por la hidratación sea mantenido a un mínimo. El desarrollo de resistencias de este tipo de cemento es muy lento en comparación con los otros tipos de cemento. Los usos y aplicaciones del cemento tipo IV están dirigidos a obras con estructuras de tipo masivo, como por ejemplo grandes presas.

La hidratación inicia en el momento en que el cemento entra en contacto con el agua; el endurecimiento de la mezcla da principio generalmente a las tres horas, y el desarrollo de la resistencia se logra a lo largo de los primeros 30 días, aunque éste continúa aumentando muy lentamente por un período mayor de tiempo. En la fabricación del cemento se utilizan normalmente calizas de diferentes tipos, arcillas, aditivos como el mineral de fierro cuando es necesario y en ocasiones materiales silicosos y aluminosos. Estos materiales son triturados y molidos finamente, para luego ser alimentados a un horno rotatorio a una temperatura de 1.400 grados centígrados y producir un material nodular de color verde oscuro denominado Clinker.

2.1.3.2 Cementos Hidráulicos Mezclados. - Estos cementos han sido desarrollados debido al interés de la industria por la conservación de la energía y la economía en su producción.

La norma ASTM C 595 reconoce la existencia de cinco tipos de cementos mezclados:

- Cemento Portland de escoria de alto horno - Tipo IS.
- Cemento Portland puzolana - Tipo IP y Tipo P.
- Cemento de Escoria - Tipo S.
- Cemento Portland modificado con puzolana - Tipo I (PM).
- Cemento Portland modificado con escoria - Tipo I (SM).

2.1.3.3 Cementos Especiales:

- Cementos para Pozos Petroleros
- Cementos Plásticos
- Cementos Pórtland Impermeabilizados

2.1.3.4 Otros Tipos de Cemento:

- Cementos de Albañilería
- Cementos Expansivos
- Cemento Portland Blanco

2.1.4 Agua.

El agua, considerada como materia prima para la confección y el curado del hormigón debe cumplir con determinadas normas de calidad. Las mismas pueden tener alguna variación según el tipo de cemento que se quiera mezclar.

E agua deberá ser limpia y fresca hasta donde sea posible y no podrá contener residuos de aceites, ácidos, sulfatos de magnesio, sodio y calcio (llamados álcalis blandos) sales, limo, materias orgánicas u otras sustancias dañinas y estará exenta de arcilla, lodo y algas.

2.1.4.1 agua de mezclado.

El agua de mezclado, estará compuesta por el agua agregada al elaborar un pastón, más la proveniente de la humedad superficial de los agregados, siendo sus principales funciones:

- Reaccionar con el cemento, produciendo su hidratación.
- Actuar como un lubricante, contribuyendo a la trabajabilidad de la mezcla fresca.
- Asegurar el espacio necesario en la pasta, para el desarrollo de los productos de hidratación.

calidad del agua.

En el curado el agua deberá ser de buena calidad, ya que necesita más agua y en este proceso es cuando se producen las reacciones.

- Deberá ser potable
- Aptas para su uso
- Aguas de montañas (son agresivas).

La no potable podrá ser utilizada en el amasado. Las sustancias nocivas son de especial cuidado.

Problemas:

- Alteraciones en la velocidad de fraguado.
- Pérdidas de resistencia.
- Defectos estéticos.

2.2 Diseño de Mezclas.

Diseñar una mezcla de hormigón consiste en determinar la cantidad de materiales (cemento, agua, agregados y aditivos) que deben emplearse para constituir un volumen unitario de hormigón fresco cuya finalidad sea tal, que cumpla con los requisitos especificados para la estructura que se pretende fabricar. Los siguientes pasos se consideran fundamentales en el proceso de selección de las proporciones de la mezcla, para alcanzar las propiedades deseadas en el hormigón. Ellos deben efectuarse independientemente del procedimiento de diseño seleccionado.

- Estudiar cuidadosamente los requisitos indicados.
- Seleccionar la resistencia promedio requerida para obtener en obra la resistencia de diseño especificada por el proyectista.
- Seleccionar, en función de las características del elemento estructural y del sistema de colocación del hormigón, el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Determinar el volumen de agua de mezclado por unidad de volumen de hormigón,
- considerando el tamaño máximo nominal del agregado grueso, la consistencia deseada y la presencia de aire, incorporado o atrapado en la mezcla.
- Seleccionar la relación agua-cemento requerida para obtener la resistencia deseada en el elemento estructural.

- Seleccionar, la relación agua-cemento requerida por condición de durabilidad. Se tendrá en consideración los diferentes agentes externos e internos que podrían atentar contra la vida de la estructura.

2.2.1 Relación Agua / Cemento.

La relación agua/cemento constituye un parámetro importante de la composición del hormigón. Tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad y la retracción del hormigón.

La relación agua/cemento (a/c) es el valor característico más importante de la tecnología del hormigón. De ella dependen la resistencia y la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida.

La relación agua cemento es el coeficiente entre las cantidades de agua y de cemento existentes en el hormigón fresco. O sea que se calcula dividiendo la masa del agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de hormigón.

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

R = Relación agua / cemento

a = Masa del agua del hormigón fresco

c = Masa del cemento del hormigón

La relación agua / cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua / cemento tanto más favorable son las propiedades de la pasta de cemento endurecida.

Una buena relación agua- cemento es lo que nos va a dar una buena calidad del hormigón. Habrá que tener un control de dosificación: Agua / cemento.

- Menos agua de amasado, más compacidad, fluidificante
- Mayor dificultad de puesta en obra.
- Más agua de amasado, mayor trabajabilidad.

- Menor tiempo de colocación.

2.3 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO.

El hormigón fresco se lo obtiene mezclando los agregados, agua, y cemento para darle distintas formas en sus respectivas molduras, el tiempo del hormigón en estado fresco es muy corto, por lo que se debe analizar sus propiedades y darle forma antes de que el hormigón inicie la reacción de fraguado rápido.

El hormigón fresco debe cumplir una serie de propiedades, las cuales se las deben controlar con ensayos establecidos por normas nacionales e internacionales, para obtener el hormigón deseado en obra. Las propiedades son las siguientes:

2.3.1 Consistencia. - Se relaciona con el estado de fluidez de la mezcla y abarca un rango, desde las más secas hasta las más fluidas; la consistencia es una propiedad del hormigón fresco que determina la manejabilidad (capacidad de deformarse), permitiendo que sea colocado y compactado adecuadamente. Los principales factores que afectan la consistencia son:

- El contenido de agua en la mezcla mientras más agua contenga, tiende a ser más fluida, pero no debe agregarse agua en exceso para hacer más trabajable la mezcla, llevándola a asentamientos en el Cono de Abrams superiores a 15 cm. Esto no solo facilita la segregación de la mezcla, sino que, una vez colocado el hormigón, el agua en exceso busca escapar formando una gran cantidad de canales capilares que dejan las estructuras débiles, porosas y poco durables.
- La granulometría del agregado, cuanto más fina sea la graduación más rígida será la mezcla, y el área superficial de los agregados aumentará requiriendo mayor pasta para revestirlas, y en consecuencia mayor cantidad de agua para una misma trabajabilidad.
- La forma y características superficiales de los agregados, las partículas angulares y las superficies ásperas requieren una mayor cantidad de pasta que la necesaria para partículas lisas y bien redondeadas y también requieren mayor cantidad de agua para la misma trabajabilidad que las lisas y bien redondeadas.
- La fluidez, que aumenta con la finura y el tipo de cemento.
- El empleo de plastificantes, aumenta la fluidez del hormigón.

- Insuficiente cantidad de cemento, lo que quita plasticidad a la mezcla.
- Un exceso de tiempo en el transporte o un mezclado prolongado, aún con el tambor mezclador girando, pueden influir negativamente en la trabajabilidad, el hormigón pierde fluidez por el aumento de la proporción de finos en la mezcla y de la superficie específica, demandando entonces una mayor cantidad de agua que la dosificada.

La consistencia se fija antes de la puesta en obra, analizando cual es la más adecuada para la colocación, según los medios que se dispone de compactación, se trata de un parámetro fundamental en el hormigón fresco.

El método más empleado para determinar la consistencia será:

El cono de Abrams es un molde troncocónico hueco de 30 cm de altura, se coloca sobre una superficie plana y rígida que sirve de fondo. Se introduce el hormigón en tres capas iguales, en cada capa se compacta 25 veces con una barra metálica con punta redondeada, de forma aleatoria y en toda superficie. Culminada las tres capas se enrasa el molde, luego se levanta el cono verticalmente de forma uniforme, con cuidado y sin sacudidas.

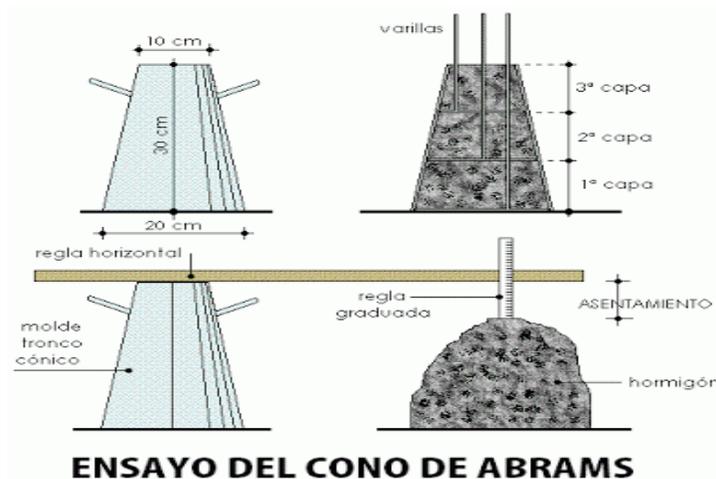


Imagen N°1: Esquema para Medir el Asentamiento con el Cono de Abrams.

La pérdida de altura que experimenta la masa fresca del hormigón una vez desmoldada del cono truncado, expresada en centímetros, da la medida de su consistencia. En nuestro estudio utilizaremos el Cono de Abrams con las siguientes especificaciones: ver Tabla N° 9.

2.3.2 Trabajabilidad. - Una mezcla es trabajable cuando en estado fresco, el hormigón puede ser transportado sin que se separen los componentes, y una vez colocado llega a envolver completamente las armaduras, llenando todos los huecos, sin dejar oquedades, debe tener una adecuada trabazón, y facilidad para eliminar los agujeros o poros de su masa.

La trabajabilidad depende de:

- La cantidad de agua de amasado.
- La granulometría de los agregados.
- La forma de los agregados, ya que la docilidad es mayor para áridos redondeados que para los procedentes de machaqueo.
- La cantidad de cemento, en vista que la docilidad aumenta con la cantidad de cemento.
- La docilidad puede aumentarse mediante el empleo de plastificantes.

2.3.3 Homogeneidad. - Es la propiedad por la cual, los diferentes componentes del hormigón se presentan regularmente distribuidos en toda la masa, de manera tal que, dos muestras tomadas de distintos lugares del mismo volumen resulten iguales.

La masa de hormigón debe ser homogénea, para lo cual, la mezcla debe efectuarse lo mejor posible, y se cuidará que durante el transporte, no se produzcan segregaciones de los agregados gruesos. La homogeneidad puede permitirse por:

- La segregación que no es más, que la separación de los agregados gruesos y finos.
- La decantación, sudado o exudación, es una forma de segregación que es cuando los agregados gruesos caen al fondo y el mortero queda en la superficie del hormigón recién colocado, se lo conoce también como ganancia de agua y resulta de la incapacidad de los materiales constitutivos para almacenar toda el agua del mezclado.

Ambos fenómenos aumentan con la cantidad de agua; con el tamaño máximo del agregado, con las vibraciones o sacudidas durante el transporte y con la puesta en obra en caída libre. Para conseguir la homogeneidad es necesario un buen amasado haciendo una mezcla trabajable con una mínima cantidad de agua, un mayor contenido de cemento y arenas

naturales que tengan un adecuado porcentaje de finos, para mantenerse, se requiere de un transporte cuidadoso y una colocación adecuada.

2.3.4 La Compacidad. - Se podría definir como la cantidad de material sólido contenido en el conjunto de volumen de hormigón.

Dónde:

$$C = \frac{V_r}{V_a}$$

V_r : Volumen real de los componentes del hormigón

V_a : Volumen aparente del hormigón.

No se toma en cuenta el aire atrapado. En general, al ser un pseudosólido es prácticamente imposible obtener un hormigón completamente compacto. Con dosificaciones adecuadas y una compactación idónea, debiera llegarse a compacidades del 97-98%.

La compacidad está muy ligada al peso específico.

Además, incide directamente en:

- La resistencia.
- La durabilidad.
- La impermeabilidad.

2.4 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO.

Las propiedades del hormigón endurecido dependen de la dosificación inicial de los componentes básicos y complementarios, del proceso de mezclado, y del proceso de curado.

El hormigón endurece gracias a la reacción química que se produce entre el agua y el cemento, generalmente las características mecánicas del hormigón quedan especificadas a partir de su comportamiento en las siguientes propiedades.

2.4.1 Ductilidad. - Se define como ductilidad de un material a la capacidad que tiene para continuar deformándose no linealmente, a pesar de que los incrementos de carga sean mínimos, nulos e inclusive, si existe una disminución de la carga; una medida cuantitativa de

esa ductilidad, sería el cociente entre la deformación de rotura y la deformación máxima con comportamiento lineal elástico.

El índice de ductilidad por energía de deformación, se emplea como referente de la capacidad del hormigón para disipar energía, cuando incursiona dentro del rango de comportamiento inelástico, particularmente bajo sollicitaciones estructurales por encima del rango normal y eventual de trabajo, como en el caso de sismos de baja probabilidad de ocurrencia, que superan ampliamente al sismo de diseño.

2.4.2 Resistencia a la Compresión. - La resistencia a la compresión, se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de hormigón o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²) o en (MPa) a una edad de 28 días y se le designe con el símbolo f'_c .

La resistencia a la compresión del hormigón se determina en muestras cilíndricas estandarizadas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, llevadas hasta la rotura mediante cargas incrementales relativamente rápidas, que duran unos pocos minutos.

Esta resistencia se la mide luego de 28 días de fraguado bajo condiciones controladas de humedad.



Imagen N°2: Esquema para Ensayar Cilindros de Hormigón a Compresión.

2.5 ELABORACIÓN DE PROBETAS.

Las probetas consisten en cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto. La elaboración se lleva a cabo llenando un molde metálico en 3 capas de igual altura con la muestra en estado fresco. Cada capa se apisona con 25 golpes aplicados en diferentes sitios de la superficie del hormigón proporcionados con una varilla de 16 mm de diámetro y aproximadamente de 60 cm de longitud. La varilla debe penetrar ligeramente la capa adyacente. Una vez terminada la compactación, se completa el molde con más mezcla y se alisa la superficie con un palustre o cualquier otra herramienta de acabado.

Elaborados los especímenes, se golpea las paredes con un martillo de caucho con el fin de eliminar la mayor cantidad de burbujas de aire que puede haber quedado atrapado dentro de la mezcla de hormigón. Después de 24 horas de fraguado en un lugar cubierto pasa al curado.

2.5.1 Curado del Hormigón.

Luego del proceso de fraguado del hormigón es necesario mantener el hormigón tan saturado de agua como sea posible con el fin de terminar de hidratar al cemento y conseguir así su máxima eficiencia.

Por esta razón la resistencia del hormigón depende en gran medida de la atención que se le preste a este factor.

Otro factor importante es su temperatura, debido a que un aumento durante este proceso acelera las reacciones químicas de la hidratación lo cual afecta en forma benéfica la resistencia a edades tempranas del hormigón, pero con consecuencias adversas en la resistencia posterior.

2.5.2 Resistencia.

Esta es la propiedad más importante del cemento endurecido en cuanto a requisitos estructurales y por eso está indicada en todas las especificaciones.

Aunque las resistencias deberían ser medidas en pruebas sobre la pasta de cemento puro, no se hace por la dificultad que tiene a ser moldeada dando origen a una gran variación en los

resultados. De acuerdo con lo anterior en la mayoría de los países del mundo se mide la resistencia por medio de morteros hechos con materiales específicos y en condiciones muy controladas. Las pruebas de resistencia que resisten son a compresión, tensión y flexión, siendo la primera más importante puesto a que las restantes tienen un valor muy pequeño relativo al de compresión.

2.5.2.1 Resistencia mecánica.

La resistencia del hormigón a compresión, es una de las propiedades más importantes, para fines netamente estructurales, es así que en base a la resistencia a compresión del hormigón, se pueden realizar cálculos para diferentes obras de ingeniería civil, tales como: diseño de puentes, edificios y otras estructuras, así, estos cálculos o diseños, están basados en que el metálicas absorbe los esfuerzos de tracción, mientras que el hormigón se encarga de los esfuerzos de compresión. La resistencia mecánica es un requisito fundamental en todos los hormigones de aplicación estructural.

La resistencia del hormigón a compresión, se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial en probetas de hormigón de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, curados en condiciones estándar de laboratorio. Esta resistencia se expresa en Newton / m² ó Mega Pascal (MPa) a una edad de 28 días; se puede usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. A los 7 días tenemos la resistencia estimada como un 60% de la resistencia a los 28 días.

Para obtener un hormigón con resistencia mecánica a la compresión prefijada y que satisfaga la resistencia requerida, los materiales componentes indispensables se escogen por relación cuantitativa: cementos de diferente sitio, agregados gruesos y finos, distintas adiciones que aseguren la trabajabilidad de la mezcla o la resistencia a la temperatura.

Sobre la resistencia mecánica a la compresión del hormigón ejercen influencia muchos factores: la granulometría, que se dosifica de tal modo, que el volumen de vacíos en la mezcla de los agregados sea menor, las características de su superficie, la marca del cemento y su cantidad, la proporción de agua, etc. La superficie rugosa y angulosa de los agregados eleva

su adherencia al mortero de cemento, por eso, los hormigones preparados con piedra triturada, poseen mayor resistencia mecánica a la compresión que los preparados con grava.

2.6 AGREGADOS METÁLICOS (ADITIVO AL HORMIGÓN).

Las fibras son elementos alargados naturales o artificiales que se introducen en la mezcla para evitar agrietamientos que tienden a producirse por contracción de fragua y cambios de temperatura y para mejorar algunas propiedades del hormigón simple como ser la resistencia al impactos y a la abrasión su resistencia a la flexión su resistencia al corte y su factor de durabilidad la experiencia nacional con el uso de las fibras a estado restringida al uso de fibras naturales para mejorar las propiedades del adobe en la construcción local.

Tipos de Fibras.

Fibras Metálicas con Extremos Conformados.

Características Generales. - Fibras de acero con extremos conformados para el refuerzo eficaz del hormigón obtenidas a través de alambre trefilado con extremos en forma de gancho para mejorar de manera notable la adherencia.

Modo de Empleo

Dosificación y Presentación: La dosificación recomendada es de (20 a 40) kg/m³ de hormigón. Bolsas de 10 kg. Palets de 1.000 kg.

En Planta Mezcladora: - Añadir en fresco o premezclándolas con la arena y los áridos. Nunca añadir en el mezclado como primer componente. Para una buena dispersión añadir a una mezcla fluida, Evitar hacer correcciones una vez puesta en obra.

En el Camión de Hormigonado: Antes de verter la cuba ha de trabajar a velocidad máxima (12-18 rpm) Añadir a una mezcla ya fluida y de forma paulatina a velocidad máxima de 50 Kg/min Para evitar erizos y lograr buena dispersión es recomendable una malla de 100 mm de luz. El tiempo de mezclado para la integración es de aproximadamente de (4-5) min. a máxima velocidad.

Tabla de propiedades

Peso Especifico	Resistencia a la tracción	Longitud	Fibras por (kg)	Esbeltez	Espesor
7.80 gr/cc	Min. 1.150	35mm	1.800 uds.	50	1mm±0,1mm

Dosificación y Presentación: La dosificación recomendada es de 20 a 40 kg/m³ de hormigón. Su presentación es en bolsas de papel de (10 kg). Y en Palets de 1.000 kg

Fibras con Extremos Achatados. - Las fibras FE (Flat End) son fibras rectas con extremos aplanados y ensanchados para mejorar el grado de anclaje. La resistencia a tracción típica del alambre es de 1.200 MPa.

Fibras Onduladas. - La fibra TABIX es una fibra ondulada (1.100 MPa) utilizada para la estabilización de taludes y paredes.

2.6.1 Características Principales.

Las fibras metálicas ofrecen muchos beneficios al hormigón. Reforzar el hormigón con fibras metálicas ofrece a los constructores la posibilidad de eliminar el habilitado y la colocación de mallas o varillas; las fibras metálicas se incorporan directamente al hormigón, como si se tratara de un agregado o aditivo más. Algunos beneficios que obtenemos con la adición de fibras metálicas al hormigón son los siguientes:

- Ductilidad
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al corte
- Resistencia al impacto.

Las fibras metálicas mejoran considerablemente el comportamiento dúctil del hormigón, es decir; la capacidad de redistribuir esfuerzo en la masa. Esta absorción de energía prácticamente ofrece una mayor capacidad de carga al hormigón, por lo que en muchos casos el incorporar fibras metálicas permitiría disminuir el espesor de los pisos de hormigón.

Gracias a la redistribución de esfuerzos en la masa de hormigón que se logra con la incorporación de fibras metálicas, se observa un incremento significativo en la resistencia a la fatiga.

El hormigón mejorado con fibras metálicas asegura resistencia a un mayor número de repeticiones de carga, de 1,2 a 2 veces más de las que el hormigón simple soporta.

Las fibras metálicas brindan resistencia al corte, que es primordial en la construcción de pisos, tanto de uso industrial como comercial.

2.6.2 Características Mecánicas.

a) Flexión. Como ya se mencionó existen varios factores que influyen en el comportamiento y la resistencia del hormigón mejorado con fibras. Estos son tipos de fibras longitudinal, así mismo los factores que influyen en la trabajabilidad del hormigón mejorado con fibras tales como la relación a/c, densidad, contenido de aire, entre otros podrían influir, también en su resistencia la resistencia final, en flexión podría variar considerablemente dependiendo de la fracción del volumen, del largo y de las características de adherencia de las fibras, además de la resistencia final del hormigón mejorado con fibras podría ser tanto menor o mayor que su primera resistencia a la fisuración dependiendo del aporte que estos factores influyentes, existen tres etapas en la respuesta a la carga-flexión. Una respuesta más o menos lineal hasta en el punto (A) el mecanismo de resistencia en esta etapa del comportamiento involucra una transferencia de tensión desde la matriz hasta las fibras por corte interfacial la tensión impuesta es compartida entre la matriz y las fibras hasta que la matriz se raje o lo que se conoce como resistencia inicial a la fisura o límite de elasticidad (2). Una etapa de transición no lineal entre el punto (A) y la máxima capacidad en el punto (B) es mayor que la carga (A) en esta etapa y después de la fisura, La tensión en la matriz es transferida de forma progresiva a las fibras. Con el aumento de la carga, las fibras tienden a separarse gradualmente desde la matriz llevándola a una respuesta no lineal a la carga –deflexión hasta que se alcance la última capacidad de carga a flexión en el punto (B) este punto es conocido como máxima resistencia (3) Una post etapa descendiente del punto máximo hasta la rotura completa del compuesto. Las respuestas a la carga –deflexión de esta etapa de la conducta y el grado donde se da la pérdida en resistencia con una deformación creciente, son una indicación importante de la

capacidad el compuesto con fibras para absorber grandes cantidades de energía ante la rotura y es una característica que diferencia el hormigón mejorado con fibras del hormigón simple dicha característica es llamada tenacidad la etapa no lineal entre (AyB) se da si hay una suficiente fracción de volumen de fibras en el caso de volumen bajo de fibras coincide con la primera resistencia a la fisura.

b) Esfuerzo Cortante.

La falla por corte puede ser repentina y catastrófica esto se aplica para las secciones críticas donde, debido a las restricciones en la construcción se puede aplicar poco o ningún refuerzo de fibras metálicas. Durante más de 30 años, el hormigón mejorado con fibras ha sido el objeto de estudio dirigido a diversas condiciones de carga incluyendo cargas compresivas, flexionales y tensionales, así mismo el uso de las fibras para mejorar el comportamiento al corte del hormigón es prometedor sin embargo los esfuerzos de investigación registrados sobre el comportamiento al corte del hormigón mejorado con fibras son limitadas. Las pruebas realizadas para analizar el comportamiento al corte del hormigón mejorado con fibra pueden categorizarse con dos grupos generales, ensayo de corte directo y prueba sobre vigas y ménsulas se requiere de ensayos de corte directo para entender el comportamiento de transferencia básica del hormigón mientras que las pruebas sobre vigas y ménsulas sean necesarias para entender el comportamiento de los miembros estructurales mejorados con fibras.

c) Módulo de Elasticidad. -

El módulo de elasticidad en un material, sea en compresión, tensión, o deformación es una propiedad fundamental que se requiere para modelar el comportamiento mecánico en diversas aplicaciones estructurales se han creado ensayos para medir el módulo de elasticidad de un material dado en el caso de los materiales puros tales como el metal y el vidrio los valores experimentales observados son tabulados a la vez y luego puestos en práctica sin embargo para el caso compuestos de hormigón mejorados con fibra hechos por lo menos de dos materiales diferentes, el módulo de elasticidad depende de diversos parámetros. Modelos avanzados desarrollados para los compuestos mejorados con fibras además de propiedades

interraciales entre los dos materiales, el aspecto de proporción (relación, altura, diámetro) de la fibra y similares condiciones.

d) Resistencia al Impacto. - La resistencia al impacto es esencial para las aplicaciones tal es el caso de los pilares de puentes, en cimientos para maquinas que ejercen cargas impulsivas y también cuando es posible el impacto accidental. No existe una relación única entre la resistencia al impacto y la resistencia compresiva estática por esta razón la resistencia al impacto tiene que ser evaluada por la capacidad de muestra del hormigón de soportar golpes reiterados y absorber energía. Dependiendo esta de las condiciones de almacenamiento y del tipo de agregado grueso, ya que en esta última mejora significativamente la resistencia al impacto para un tamaño máximo menor, angulosidad mayor y superficie rugosa proporciona una resistencia satisfactoria al impacto, se sabe con certeza que la adición de fibras al hormigón aumenta la resistencia al impacto se han realizado numerosos estudios para desarrollar información sobre el comportamiento del hormigón mejorado con fibras.

e) Resistencia a la Fatiga.

En muchas aplicaciones particularmente en pavimentos , las plataformas superpuestas en los puentes y estructuras marinas, la resistencia flexional a la fatiga y el límite de aguante son parámetros importantes de diseño ya que estas estructuras deben ser diseñadas para ciclos de carga de fatiga ningún ensayo normal (tamaño de la muestra , tipo de carga, porcentaje de carga, criterio de falla a la fatiga) sin embargo se han realizado varios estudios experimentales tempranos de fatiga sobre el mortero y hormigón mejorado con fibras de metálicas en flexión. La resistencia a la fatiga puede ser descrita como el máximo esfuerzo a la fatiga por sección donde los compuestos de hormigones mejorados con fibras pueden aguantar una cantidad prescrita de ciclos de fatiga antes de la falla, por otro lado, está también puede ser definida como la cantidad máxima de ciclos de fatiga para ceder una viga bajo un nivel máximo de esfuerzo a la flexión dada.

f) Resistencia a la Abrasión.

Una revisión a los estudios sobre la abrasión de las estructuras hidráulicas realizadas por el comité ACI 544 (1982,1988,1990)mostraron que la erosión de la superficie del hormigón se debe a un desgaste gradual , como resultado de las pequeñas partículas de restos que quedan

sobre la superficie a bajas velocidades, la cantidad de agregado y la dureza de la superficie determinan el porcentaje de erosión por lo tanto las fibras no tienen algún efecto en este aspecto. Por otro lado cuando la erosión se debe a la abrasión como resultado de un flujo de alta velocidad y el impacto de grandes cantidades de restos. Los hormigones con fibras metálicas suministraron una resistencia considerable a la erosión, las pruebas de abrasión (Nanni,1989) de acuerdo a ASTM C-799 sobre las muestras de corte de campo y de laboratorio no mostraron alguna diferencia considerable entre la resistencia a la abrasión del hormigón simple y el hormigón mejorado con fibras metálicas, sin embargo los resultados indicaron que las fibras metálicas tienen efectos beneficiosos en la prevención de descascarados en los pavimentos existentes tal como lo señalo ACI 544(1982,1988,1990) la abrasión mientras se relacione con el desgaste de pavimentos y losas de tráfico sobre ruedas es similar a la erosión de baja velocidad en las estructuras hidráulicas donde no se espera que la presencia de fibras incremente la resistencia del hormigón a la abrasión

2.7 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LAS FIBRAS METÁLICAS.

- **Longitud (L).** - Es la distancia entre las dos extremidades.
- **Diámetro o diámetro equivalente.** - Es el diámetro del hilo, para las fibras de sección transversal circular, o es diámetro del círculo de área igual a la de la sección transversal de la fibra ($0,15 \leq 1,20$).
- **Forma.** - Fibras rectilíneas o fibras amoldadas (longitudinal o transversalmente)

Tipos de fibras según su forma	Esquema
Recta de sección circular	
Recta de sección rectangular	
Ondulada	
Recta con extremos en forma de cono	
Recta con extremos en forma de gancho	
Rectas con extremos chatos	

Tabla N°2.- Clasificación según forma de las fibras metálicas (fuente manual macaferri)

- **Composición química.** - Debajo o elevado contenido de carbono o inoxidable.

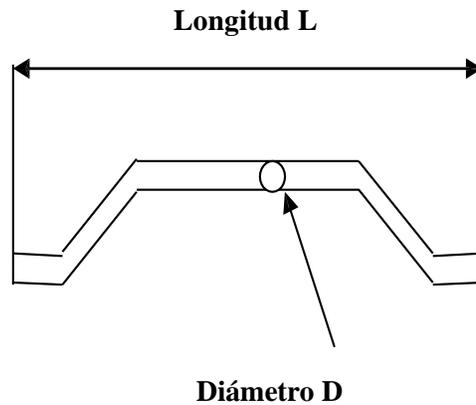


Figura N°1.- Forma de la Fibra

2.7.1 Factor Forma.

Si la longitud respecto al diámetro L/D_e aumenta la dosificación teórica disminuye, a su vez la trabajabilidad también disminuye, pero la tensión requerida aumenta. La **UNI 11039** recomienda un dopaje mínimo de 25 Kg. de fibra por m³ hormigón. Con el mismo número de fibra la dosificación teórica se reduce mientras que la tensión requerida aumenta. Mientras que para una misma dosificación el número de fibras aumenta y la trabajabilidad disminuye.

2.8 USOS Y MODO DE EMPLEO.

Para refuerzo de hormigón principalmente en pisos y pavimentos, obteniendo un elevado número de fibras por Kg. distribuyéndose uniformemente y logrando un comportamiento mecánico homogéneo.

Las fibras HIC vienen listas para ser usadas. Se aplica al hormigón durante su mezclado. Se deberá hacer un mezclado de 1 a 1,5 minutos para su completa incorporación verificando que las fibras se encuentren separadas y distribuidas en la masa de hormigón.

Las fibras pueden introducirse junto con los agregados y de preferencia en el hormigón mezclado en estado fresco.

Es recomendable la utilización de plastificantes, fluidificantes o bien estos mismos productos superplastificantes y/o superfluidificantes para control de revestimiento sin modificar relación agua cemento.

La dosificación se determinará de acuerdo a necesidades específicas de cada proyecto, realizando un cálculo por cargas y usos a los que será sometida la estructura.

Principales Aplicaciones.

A nivel mundial los hormigones reforzados con fibras Metálicas han alcanzado ya su mayoría de edad, colocándose actualmente en obra en el mundo muchos miles de metros cúbicos al año. Estos hormigones se están utilizando ampliamente en prefabricación y construcción industrializada, en pavimentos y soleras de fábricas y almacenes (por los que han de circular carretillas pesadas), en pavimentos de carreteras y aeropuertos, especialmente en su recrecido cuando están deteriorados, formando «overlays» unidos o no al pavimento existente, en recipientes para reactores nucleares, en depósitos para líquidos, en estructuras de seguridad, cajas fuertes, etc. En el gunitado de túneles, canales y taludes, en revestimientos refractarios para hornos metalúrgicos y en determinadas partes de la industria del cemento mediante el empleo de fibras de acero inoxidable. Debido a su gran resistencia al impacto y fatiga su empleo en el campo militar es cada vez mayor, utilizándose en pavimentos para carros de combate; aeropuertos y helipuertos; zonas de lanzamiento de cohetes y misiles; factorías de pólvora y explosivos; refugios y puestos de mando fortificados; etc.

Las aplicaciones anteriores son consecuencia de la capacidad que tienen los hormigones reforzados de fibras metálicas para resistir eficazmente determinadas acciones, especialmente las que se producen en las aplicaciones antes reseñadas.

En elementos prefabricados se están empleando en la fabricación de tuberías debido a que, con las fibras, se pueden reducir espesores a la vez que se mejora la impermeabilidad esta aplicación está fundada, por otra parte, en la exigencia de los reglamentos de diferentes países en los cuales los tubos a partir de determinados diámetros tengan que llevar una armadura de seguridad. En construcción industrializada permiten reducir espesor de paredes evitando la colocación de cualquier tipo de armaduras y haciendo innecesaria la presencia de armaduras tradicionales incluso en las zonas de dinteles de puertas y ventanas.

Son muchos los pavimentos industriales en los que se han utilizado sin necesidad en gran número de casos de realizar juntas. En España se han hecho miles de metros cuadrados de pavimentos en naves industriales; naves de mantenimiento de helicópteros.

Pavimentos para parques de contenedores, suelos de talleres en fábricas de automóviles, etc. A parte de la ventaja de separar más e incluso eliminar las juntas se tiene la de un espesor más reducido y una vida útil que puede ser de cinco a ocho veces la de un pavimento tradicional. Con el empleo de estos hormigones no se presentan problemas de fisuración en pavimentos, donde la resistencia a flexo tracción y a veces a impacto es fundamental se emplean las fibras cada vez más.

2.9 EL HORMIGÓN MEJORADO CON FIBRAS METÁLICAS.

La inclusión de las fibras metálicas induce algunas exigencias adicionales al hormigón, las cuales tendrán que ser tenidas en cuenta en el momento de la dosificación, y también modifica sus propiedades mecánicas. En los siguientes apartados se abordan estos aspectos.

2.9.1 Componentes del Hormigón Mejorado con Fibras Metálicas.

Los SFRC (hormigones mejorados con fibras metálicas) están constituidos esencialmente por los mismos componentes que un hormigón tradicional y adicionalmente fibras metálicas. La inclusión de las fibras, además de alterar el comportamiento del hormigón en estado endurecido, también lo hace en estado fresco, por lo que a algunos de los componentes se les exigen condiciones que en los hormigones tradicionales no son necesarias. En función de la cantidad de fibras que se van a adicionar al hormigón y de la geometría de éstas, el material compuesto tendrá que sufrir ciertas modificaciones respecto de un hormigón tradicional. Estas modificaciones pasan principalmente por una limitación en el tamaño máximo del árido, menores valores de relación grava-arena, mayores cantidades de aditivos reductores de agua, y mayor demanda de finos, entre otros.

a) Cemento.

El cemento es un componente decisivo en la docilidad del material en estado fresco y, posteriormente, en las características mecánicas del hormigón endurecido. Se puede emplear cualquier cemento que cumpla con los requisitos establecidos para un hormigón tradicional, siempre que sea capaz de proporcionar al hormigón las características que exige el proyecto.

Cuanto mayor sea el contenido de fibras y menor el tamaño máximo del árido, serán necesarios emplear una mayor cantidad de cemento con la finalidad de proporcionar más pasta.

b) Agua.

Se puede emplear el agua que cumpla los mismos requisitos exigidos en los hormigones tradicionales armados, poniendo especial atención a los agentes que puedan afectar las fibras. La Instrucción EHE 2008 establece, en el Anejo 14, que el aumento de la consistencia debido al uso de las fibras debe ser compensado siempre con la adición de aditivos reductores de agua, sin modificar la dosificación prevista de agua.

c) Áridos.

Además de cumplir los requerimientos de composición, resistencia, durabilidad, estabilidad y limpieza establecidos para el empleo en hormigones tradicionales, los áridos deben tener unos tamaños de partícula, granulometría formas adecuadas para la elaboración de un hormigón mejorado con fibras metálicas.

Se pueden emplear áridos rodados o machacados, siendo más adecuado el empleo de los primeros (especialmente en la arena) ya que para valores idénticos de relación agua/cemento se obtiene mejor docilidad que con los áridos machacados. Respecto del contenido de finos, cuando se adicionan fibras metálicas es aconsejable incorporar mayor cantidad de finos para reducir el riesgo de segregación, aumentar la cohesión y favorecer la movilidad de las fibras.

La movilidad potencial de las fibras depende de la proporción de árido grueso y del tamaño máximo de árido. Cuanto mayor sean estos dos parámetros menores será la movilidad potencial de las fibras (Hannant, 1978). La JSCE (Japan Society of Civil Engineers) plantea que valor óptimo de tamaño máximo de árido es aproximadamente igual a la mitad de la longitud de la fibra. Tamaños máximos de árido mayores que 20 mm no son recomendados, aunque en algunos estudios se han empleado áridos de hasta 38 mm con Las fibras pueden introducirse junto con los agregados y de preferencia el hormigón mezclado en estado fresco, también es recomendable el uso de plastificantes fluidificantes para el control de revenimiento sin modificar la relación agua cemento, la dosificación se realizara de acuerdo

a necesidades específicas de cada proyecto en nuestro caso al hormigón simple mejorado con fibras. resultados satisfactorios (ACI 544.3R-08, 2008). Se recomienda también que el tamaño máximo de árido no supere:

- $2/3$ de la longitud máxima de la fibra.
- $1/5$ del lado menor del elemento.
- $3/4$ de la distancia libre entre las barras de armado.

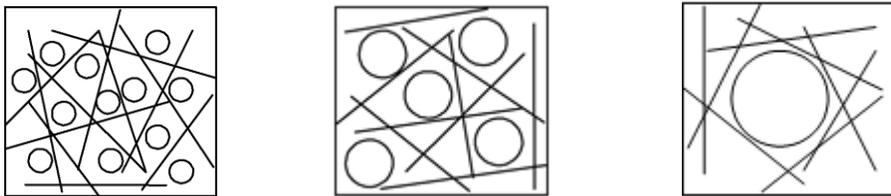


Figura 2: Efecto del tamaño del árido en la distribución de las Fibras Metálicas.

2.10 CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN MEJORADO CON FIBRAS METÁLICAS

2.10.1 Resistencias a la Abrasión y Erosión.

Según Nani en 1989, quien realizará algunas pruebas de abrasión sobre muestras de corte de campo y laboratorio, afirmó que no se mostró alguna diferencia considerable entre la resistencia a la abrasión del hormigón simple y el hormigón mejorado con fibras metálicas. Sin embargo, los resultados indicaron que las fibras metálicas tienen efectos beneficiosos en la prevención de descascarado de los pavimentos existentes. Mientras la abrasión se relacione con el desgaste de pavimentos y losas de tráfico sobre ruedas es similar a la erosión de baja velocidad en la estructura hidráulicas donde no se espera que la presencia de fibras incremente la resistencia a la abrasión del hormigón.

2.10.2 Resistencia al Fisuramiento.

La resistencia al fisuramiento incide directamente en la durabilidad del hormigón mejorado con fibras metálicas. Las fibras por lo general no cambian la permeabilidad que es debida a la porosidad del hormigón, pero disminuye la permeabilidad debida a las rajaduras.

Las fibras de acero previenen que las micro fisuras se conviertan en fisuras mayores y de esta manera protege al hormigón poroso del ataque agresivo del medio. Las fibras metálicas se oxidan solamente en la superficie del hormigón. La superficie oxidada es mínima.

2.10.3 Resistencia a Flexión.

Cuándo se carga una viga, el comportamiento de ésta es esencialmente elástico y toda la sección contribuye a resistir el momento exterior. Cuando la tensión en la fibra más esforzada de alguna sección excede la resistencia del hormigón a la tensión, empiezan a aparecer grietas. A medida que se incrementa la carga, estas grietas aumentan en número, en longitud y en abertura. A partir de la aparición de las primeras grietas el comportamiento del espécimen ya no es elástico y las deflexiones no son proporcionales a las cargas. En las regiones agrietadas, el acero toma prácticamente toda la tensión. En esta etapa, el esfuerzo en el acero aumenta hasta que alcanza su valor de fluencia. Desde que el acero empieza a fluir, la deflexión crece en forma considerable, sin que apenas aumente la carga esto es, la resistencia del elemento es sólo ligeramente mayor que la carga que produce la fluencia del acero. Los primeros síntomas de la fluencia del acero son un incremento notable en la abertura y longitud de las grietas y un quiebre marcado en la curva carga-deflexión a medida que aumenta la longitud de las grietas, la zona de compresión se va reduciendo, hasta que el hormigón en esta zona es incapaz de tomar la compresión y se aplasta. El primer indicio de aplastamiento es el desprendimiento de escamas en la zona de compresión. Cuando esto ocurre, la carga disminuye con mayor o menor rapidez, dependiendo de la rigidez del sistema de aplicación de la carga, hasta que se produce el colgado final.

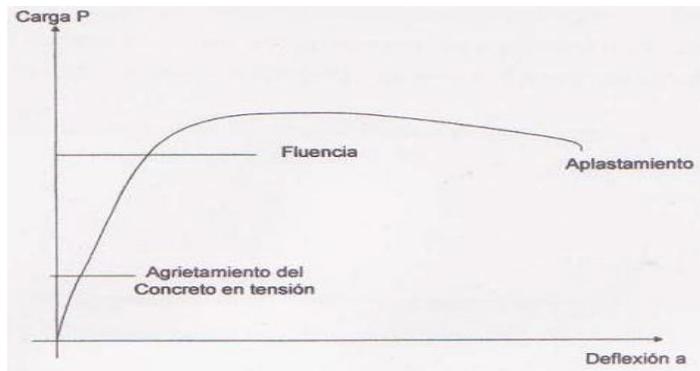


Figura 3: gráfica carga de flexión de un elemento con un porcentaje usual de acero de tensión.

Según la cantidad de acero longitudinal con que está reforzada la pieza, éste puede fluir o no antes de que se alcance la carga máxima. Cuando el acero fluye, el comportamiento del miembro es dúctil; es decir, se producen deflexiones considerables antes del colapso final. En este caso se considera que el elemento es sub mejorado. Por otra parte, si la cantidad de acero longitudinal a tensión es grande, éste no fluye antes del aplastamiento y se dice entonces que el elemento es sobre mejorado. Puede suceder que el elemento alcance su resistencia precisamente cuando el acero empieza a fluir. En este caso, se dice que el elemento es balanceado (Figura 3). La (Figura 4) muestra la variación en el comportamiento de elementos que tienen distintos porcentajes de acero. Cada curva de trazo lleno representa la gráfica carga deflexión de un elemento mejorado con una cantidad diferente de acero de tensión, desde una viga de hormigón simple hasta otra con porcentaje muy alto de acero, del orden de siete por ciento. Se puede observar de inmediato el efecto de la cantidad y distribución del acero longitudinal.

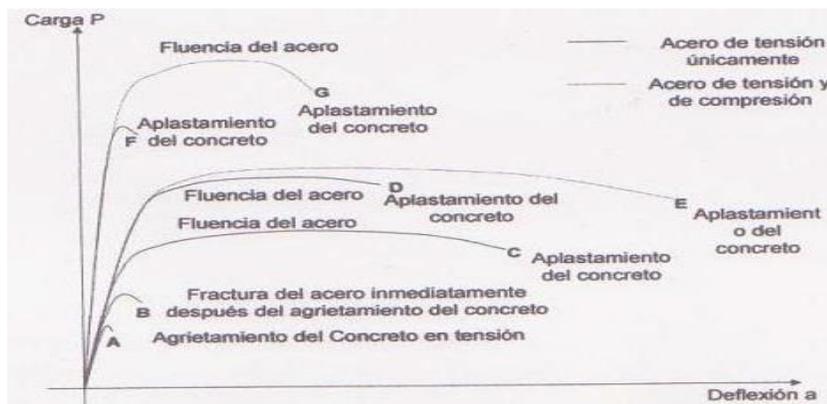


Figura 4: gráficas carga – deflexión con elementos con porcentajes variables de acero (f_c y f_y constantes) sujetos a flexión simple.

La Figura (3) es un resumen que complementa lo expuesto en la Figura (4). En ella se muestran los casos propuestos en la Figura (4) y los respectivos porcentajes de acero en tensión y en compresión, índice de refuerzo, tipo de elemento, modo de falla y grado de ductilidad para cada curva.

2.11 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA.

Se puede decir que un buen hormigón con fibras aquel que logra aumentar, respecto al hormigón simple, la resistencia a la tracción, al impacto, absorción de energía, capacidad de deformación.

Las propiedades mecánicas del hormigón reforzado con fibras de acero están influenciadas por el tipo de fibra de forma (l/d), cuantía de fibra, método de preparación del espécimen y tamaño del agregado.

Las fibras determinan las propiedades mecánicas del hormigón, especialmente frente a sollicitaciones que producen fatiga, esfuerzo de tracción, tensión directa, flexión, impacto y corte. Las variables más importantes que controlan las propiedades del hormigón con fibra son la eficiencia de la fibra y su contenido. La eficiencia es controlada por la resistencia de las fibras a ser extraídas, lo cual depende de la fricción fibra – matriz y de la longitud de ésta. Si la fibra tiene menos diámetro, el área de contacto para la misma cuantía será mayor y, por lo tanto, la fuerza de anclaje aumentará.

Sin embargo, se ha encontrado que fibras con factores de forma mayores a 100 ocasionan una inadecuada trabajabilidad de la mezcla, mala distribución de la fibra si se usan técnicas convencionales de mezclado. Es por eso que se busca mejorar el anclaje de la fibra a la matriz, no aumentando demasiado el factor de forma, sino por medio de superficies irregulares o extremos doblados.

El Hormigón Mejorado con Fibras Metálicas.- La inclusión de las fibras metálicas induce algunas exigencias adicionales al hormigón, las cuales tendrán que ser tenidas en cuenta en el momento de la dosificación, y también modifica sus propiedades mecánicas. Las fibras más empleadas son las de acero, tanto para morteros como para hormigones por su eficacia y economía. Bien conocidas las propiedades del acero, como el módulo de deformación

(hasta 7 veces mayor que el del hormigón), la buena adherencia a la pasta de cemento su gran capacidad de deformación y la relativa facilidad con que son introducidas en la matriz hacen de este tipo de fibras una opción muy atractiva tanto en el caso de hormigones tradicionales como en el caso de hormigones autocompactantes

La Tabla muestra el rango de proporciones para un SFRC según:

ACI Committee 544 1R-96 (2009).

Componentes de la mezcla	Tamaño máximo de árido (mm)		
	10	20	40
Cemento (kg/m^3)	350-600	300-530	280-415
Agua/cemento	0.35-0.45	0.35-0.50	0.35-0.55
% árido fino-grueso	45-60	45-55	40-55
% aire ocluido	4-8	4-6	4-5
Fibras conformadas (V_f %)	0.4-1.0	0.3-0.8	0.2-0.7
Fibras planas (V_f %)	0.8-2.0	0.6-1.6	0.4-1.4

Rossi (2000) plantea que el efecto de las fibras en las diferentes etapas del proceso de fisuración del hormigón se refleja a dos escalas. Material y estructural así, en la fase de fisuración aleatoria, las fibras cosen las fisuras activas y retardan el desarrollo, incrementando la resistencia y la ductilidad a escala del material, mientras que en la etapa en que las macrofisuras se propagan las fibras también cosen las fisuras y así aportan mayor capacidad resistente y ductilidad a escala estructural.

Conduce a preferir fibras cortas por otro lado para controlar las macrofisuras, las fibras deben ser lo suficientemente largas para estar adecuadamente ancladas en la matriz, si bien por requerimientos de trabajabilidad las fibras largas deben ser usadas en menores proporciones que las cortas.

Comportamiento Dúctil.

Debido a la energía absorbida por las FIBRAS que se adhieren al hormigón la ruptura, las fibras se oponen al desarrollo de la fisura.

Las vigas que poseen acero en compresión y en tensión, ofrecen una mayor ductilidad que aquellas reforzadas en tensión únicamente.

Resistencia a la Compresión.

El aporte a la resistencia a la compresión es poco variable. La literatura da valores entre 0 % y 15 % para hormigón de resistencia normal.

El mejor aporte de las fibras al hormigón sometido a compresión es que evita que éste tenga una falla frágil y explosiva, dándole ductilidad al compuesto.

Bajo esfuerzos uniaxiales, el hormigón reforzado con fibras de acero muestra ligero aumento, disminución o mantiene la resistencia comparada con el hormigón simple, dependiendo del tipo de fibra, factor de forma y concentración de fibra.

Consistencia y Trabajabilidad

La inclusión de fibras en el hormigón hace que éste disminuya su trabajabilidad y aumente su consistencia, lo cual significa que el slump disminuye. La gran área superficial de las fibras tiene a restringir la movilidad de la mezcla.

La interacción de las fibras puede llevar a la formación de bolones que van en desmedro del material endurecido. En general, la trabajabilidad de la mezcla disminuye con el incremento del factor de forma de la fibra usada.

2.11.1 Ventajas del Hormigón Mejorado con Fibras Metálicas.

2.11.1.1 Análisis Estructural. - La incorporación de fibras modifica el comportamiento no lineal del hormigón estructural especialmente en tracción impidiendo la abertura y propagación de fisuras. Por ello la aplicación del análisis no lineal puede ser especialmente recomendable en los casos en que las fibras constituyan una parte importante del refuerzo del hormigón.

Asimismo dada la ductilidad que introduce la presencia de fibras se consideran válidos los principios para la aplicación del método de análisis lineal con redistribución limitada y de los métodos de cálculo plástico cuando se comprueben los requisitos para la aplicación. Para

placas macizas se considerará que las líneas de rotura tienen suficiente capacidad de rotación si la profundidad de la fibra neutra en ELU de flexión simple es menor que 0,3 d. Las evaluaciones estructurales a estos efectos deben hacerse por medio de ensayos que representen las condiciones reales. El empleo de fibras estructurales puede aumentar la anchura de las bielas de compresión, lo cual puede ser tenido en cuenta en los modelos de bielas y tirantes. Por consiguiente, la combinación de armadura convencional y fibras puede suponer una alternativa para reducir la cuantía de armadura convencional en regiones D donde se presente una alta densidad de armadura que dificulte el correcto hormigonado del elemento.

a) Fibras Metálicas. - Estas fibras deberán ser conformes con UNE 83500-1 y según el proceso de fabricación se clasifican en: trefiladas (Tipo I), cortadas en láminas (Tipo II), extraídas por rascado en caliente (virutas de acero) (Tipo III) u otras (por ejemplo, fibras de acero fundidas) (Tipo IV). La forma de la fibra tiene una incidencia importante en las características adherentes de la fibra con el hormigón y puede ser muy variada: rectas, onduladas, corrugadas, conformadas en extremos de distintas formas, etc. La longitud de la fibra (l_f) se recomienda sea como mínimo 2 veces el tamaño del árido mayor. Es usual el empleo de longitudes de 2,5 a 3 veces el tamaño máximo de árido. Además, el diámetro de la tubería de bombeo exige que la longitud de la fibra sea inferior a $2/3$ del diámetro del tubo. Sin embargo, la longitud de la fibra debe ser suficiente para dar una adherencia necesaria a la matriz y evitar arrancamientos con demasiada facilidad.

- La fibra tiene dobleces en los extremos que permite mejorar adherencia de la fibra dentro de la matriz del hormigón.
- Alta resistencia a tracción.
- Alta absorción de energía por medio del alambre trefilado de bajo contenido de carbono.
- Elimina el habilitado y colocación de malla y varillas convencionales por la sustitución de estos materiales con fibras metálicas.
- Mejoran la resistencia del hormigón a la fisuración por contracción, a los golpes punzonamiento (corte), cargas cíclicas (fatiga), variaciones térmicas, ciclos hielo/deshielo. Vuelven el hormigón más dúctil, menos frágil, menos permeable.

- Podría Reemplazar la armadura tradicional en aplicaciones como: pisos industriales, pavimentos viales, portuarios y aeroportuarios, plateas, construcción de túneles industriales mineras, revestimiento de túneles, estabilización de excavación para fundaciones, trabajos de saneamiento y recuperación de estructuras.
- Más eficientes, económicos y rápido, comparado con las soluciones tradicionales.
- De fácil aplicación.
- Distribución homogénea dentro del hormigón.
- Aumento de la capacidad de carga.
- Reduce la formación de fisuras.
- Mejor comportamiento a las variaciones de temperatura.
- Comparadas a las mallas electro soldada, permiten: mayor distancia entre las juntas contribución de todo espesor de la sección, menor costo y tiempo de instalación, reducción de espesor de losa no requiriéndose recubrimiento ni traslapes.

Para refuerzo de hormigón principalmente en pisos y pavimentos obteniendo un elevado número de fibras por kilogramo distribuyéndose uniformemente y logrando un comportamiento mecánico homogéneo.

Se debe verificar que las fibras se encuentren separadas y distribuidas en la masa del hormigón. Pequeño diámetro aumenta el número de ellas por unidad de peso y hacen más denso el entramado ó red de fibras. El espaciamiento entre fibras se reduce cuando la fibra es más fina, siendo más eficiente y permitiendo una mejor redistribución de la carga o de los esfuerzos.

b) Docilidad del hormigón. - El empleo de fibras en hormigón puede provocar una pérdida de docilidad, cuya magnitud será función del tipo y longitud de la fibra empleada, así como de la cuantía de fibras dispuesta. Este factor debe considerarse especialmente al solicitar la consistencia del hormigón en el caso de adición de fibras en obra. En el caso de hormigones con fibras se recomienda que la consistencia del hormigón no sea inferior a 9 cm de asiento en el cono de Abrams (si bien depende del tipo de aplicación y sistema de puesta en obra). En este caso el ensayo del cono de Abrams es poco adecuado y se recomienda ensayar la consistencia de acuerdo con los ensayos propuestos en UNE EN 12350-3 o UNE 83503.

c) Durabilidad del hormigón y de las armaduras (Recubrimientos). - El empleo de hormigón reforzado con fibras con función estructural hace innecesaria la utilización de la malla de reparto, que exige la Instrucción a situar en medio de los recubrimientos superiores a 50 mm.

d) Empleo de hormigón reforzado con fibras. - De forma general se podrá emplear hormigón reforzado con fibras en todas las clases de exposición. En las clases generales de exposición, deberá justificarse el uso mediante pruebas experimentales en el caso del empleo de fibras de acero al carbono. Una alternativa viable es el empleo de aceros inoxidables galvanizados o resistentes a la corrosión. En caso de clases específicas de exposición por ataques químicos al hormigón, las fibras de acero y sintéticas podrán emplearse previo estudio justificativo de la no reactividad de los agentes químicos con dichos materiales distintos del hormigón.

e) Efectividad de la Fibras. - La efectividad de los distintos tipos de fibras puede variar mucho, por ello se recomienda designar el hormigón por propiedades y definir el tipo y dosificación de fibras en los ensayos previos. Si bien no se especifica un contenido mínimo en fibras, cuando se utilice fibras de acero con función estructural no es recomendable utilizar dosificaciones inferiores a 20 kg/m³ de hormigón. Anejo (14 -520) La selección del tipo y dosificación de las fibras dependerá de su efectividad y de su influencia en la consistencia del hormigón. La longitud máxima cumplirá las condiciones estipuladas en este Anejo. El aumento de la esbeltez de las fibras y el empleo de altas dosificaciones conlleva un aumento de su eficiencia mecánica, pero puede provocar un descenso de la consistencia y un mayor riesgo de formación de bolas de fibras que se segregan del hormigón (erizos).

El límite superior del contenido en fibras se fija en el 1,5% en volumen del hormigón. El empleo de dosificaciones muy elevadas exige modificar sensiblemente la estructura granular del hormigón. Para estos casos se recomienda la consulta de bibliografía especializada.

La dosificación de las fibras se realizará en peso empleando básculas y escalas distintas de las utilizadas para los áridos. En el caso de empleo de dosificadores automáticos los mismos deberán estar tarados con la frecuencia que determine el fabricante. La tolerancia en peso de fibras será del ± 3 por 100.

f) Equipos de amasado. - La comprobación de la homogeneidad de la mezcla producida por una amasadora fija o móvil deberá incluir la verificación de que la diferencia máxima tolerada entre los resultados de contenido en fibras obtenido según norma UNE 83512-1 1 o 83512-2 de dos muestras tomadas de la descarga del hormigón (1/4 y 3/4 de la descarga) sea inferior al 10%.

g) Amasado del hormigón. - El amasado es una fase crítica de los hormigones con fibras por el riesgo de enredado de las fibras formando erizos. Este riesgo se reduce con una buena dosificación con suficiente contenido de árido fino, pero aumenta con un transporte excesivamente largo y especialmente cuando el contenido en fibras es elevado y éstas son muy esbeltas. El orden de llenado también puede ser decisivo. Como norma general las fibras se incorporarán junto con los áridos, preferentemente, el árido grueso al inicio del amasado, desaconsejándose como primer componente de la mezcla.

En el caso de fibras de acero, cuando se prevé un transporte largo puede plantearse la adición de las fibras en obra. Para ello se debe prever un hormigón suficientemente fluido para facilitar el camino de las fibras hasta el fondo de la cuba, y disponer de un sistema de dosificación en obra que garantice la precisión indicada.

El vertido de las fibras se debe realizar lentamente (entre 20 y 60 kg por minuto) con la cuba girando a su máxima velocidad hasta garantizar la distribución homogénea de las fibras en la masa del hormigón.

h) Designación y características. - El hormigón fabricado en central podrá designarse por propiedades o por dosificación. En ambos casos, para el hormigón con fibras, deberá especificarse, como mínimo:

- Material que constituye las fibras, y su longitud máxima
- En caso de fibras con función estructural, las resistencias residuales a tracción por Anejo 14 -521 -flexión $f_{R,1,k}$ y $f_{R,3,k}$ características especificadas, en N/mm²
- En caso de fibras sin función estructural, las funciones de las fibras o las características de éstas que garantizan su efectividad para ese fin.

i) Suministro del hormigón

En la hoja de suministro deberán figurar los siguientes datos:

- Especificación del hormigón.
- Material, tipo, dimensiones (longitud, características de la sección y diámetro equivalente, esbeltez), características de las formas (conformadas en extremos, onduladas, etc.) de las fibras.
- Contenido de fibras en kilos por metro cúbico (kg/m^3) de hormigón, con una tolerancia de $\pm 3 \%$.

La relación de las características de las fibras podrá ser sustituida por una referencia a la designación comercial completa de las mismas y soportada por una ficha técnica previamente aceptada por la Dirección Facultativa y disponible en el libro de obra.

j) Vertido y colocación del hormigón. -El vertido y colocación debe realizarse de modo que no precise transporte adicional del hormigón en obra. Debe evitarse interrupciones del hormigonado ya que éstas podrían ocasionar discontinuidades en la distribución de las fibras. Cuando la colocación en obra se realiza mediante tolva, el diámetro de la boca de descarga debe ser superior a 30 cm para facilitar el vertido.

k) Compactación del hormigón.-Debido a que el uso de fibras reduce la docilidad del hormigón, se necesitará una mayor energía de compactación. Sin embargo, la respuesta a la vibración del hormigón con fibras es mejor que la de un hormigón tradicional por lo que para un mismo asiento en el cono de Abrams se requiere menor tiempo de vibrado. La compactación origina una orientación preferencial de las fibras en general están tienden a colocarse paralelas a la superficie encofrada especialmente si se aplica vibradores de superficie este efecto es solo local pero puede ser importante en elementos de poco espesor. El uso de vibradores internos puede generar zonas con exceso de pasta y pocas fibras en la zona donde se ha dispuesto el vibrador ,así como cierta orientación en el sentido tangencial al diámetro externo del vibrador Anejo (14-522)

l) Criterios de aceptación y rechazo.- El incumplimiento de alguna de las especificaciones será condición suficiente para calificar las fibras como no aptas para los hormigones.

Cualquier posible modificación de la marca, el tipo o la dosificación de las fibras que se vaya a utilizar respecto a lo aceptado en los ensayos previos al comienzo de la obra, implicara su utilización hasta que tras la realización con dichas modificaciones de los ensayos previstos en la dirección facultativa autorice su aceptación y empleo en la obra.

m) Control del hormigón.

El control de la calidad del hormigón de fibras incluirá además del control especificado en el articulado, el del tipo y contenido de fibras y en caso de fibras con función estructural, el de su resistencia residual según el método que establezca el pliego.

2.12 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.

2.12.1 Enfoque.

El enfoque a realizarse de acuerdo a la hipótesis:

- Con la adición de fibras metálicas al hormigón simple en pesos de (25 kg/m³, 40 kg/m³, y 70 kg/m³) se pretende incrementar la resistencia a la compresión y flexión en un rango de (10 a 20 %).
- En nuestra investigación con los indicadores a utilizarse podemos deducir que es una investigación cualitativa.

2.12.2 Estudio de los componentes.

Para el estudio de los materiales estos serán trasladados hacia el laboratorio con el fin de determinar sus propiedades como son: Granulometría, Contenido de Humedad, Peso Específico, Pesos Unitarios, Capacidad de Absorción de agua.

2.12.3 Ensayo de Materiales.

Con los estudios realizados a los agregados, y con las muestras obtenidas y resultados nos servirán para poder elaborar hormigones con el fin de observar la resistencia que estos llegan a obtener después de su tiempo de fraguado.

2.12.4 Método de Investigación.

En el proyecto de investigación la modalidad de investigación que se utilizaron fueron los siguientes.

2.12.4.1 Investigación Bibliográfica.

Se caracteriza por usar en forma predominante, la información obtenida de libros, revistas, periódicos y documentos en general. Para elaborar el Marco Teórico se necesitaba de manera previa la consulta de diferentes autores para observar la perspectiva que se obtiene de diferentes puntos de vista para la mejor elaboración del proyecto.

2.12.4.2 Investigación de Campo.

La investigación de Campo o Investigación Directa es la que se efectúa en el lugar y tiempo en que ocurren los fenómenos objeto de estudio. Se ha utilizado la investigación de Campo porque necesitamos la recolección de muestras desde el lugar donde se ejecutará el proyecto para la verificación correspondiente de los datos a obtenerse.

2.12.4.3 Investigación de Laboratorio.

Se ha utilizado la Investigación de Laboratorio porque se distingue entre el lugar donde se desarrolla la investigación. Si las condiciones son diferentes en la medida en que se necesite un laboratorio un centro de simulación de eventos, los datos que serán recolectados necesitan una verificación muy acertada para cualquier comprobación, entonces las muestras recolectadas serán llevadas al laboratorio para su respectivo ensayo.

2.12.5 Tratamiento de la Información.

Una vez completada la recolección de datos se procederá al trabajo de gabinete.

- Junto al gráfico o junto a cada gráfico se recomienda escribir unas pocas palabras con el análisis y la interpretación del mismo en función de los objetivos, de la hipótesis y de la propuesta que se va a incluir.
- Análisis de resultados estadísticos, lógicamente destacando tendencias o relaciones fundamentales de acuerdo a los objetivos y la hipótesis.

- Interpretación de resultados, con el apoyo del marco teórico.
- Contrastación de la hipótesis (depende de los resultados e información que se tenga).
- Planteamiento de Conclusiones.

CAPITULO III

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Selección de Agregados.

Procedentes de la zona de la Ventolera

3.1.1 Reducción de Muestras de Agregados a Tamaño de Ensayo.

Esta práctica se realizará según la norma ASTM C-702 en la cual describe tres métodos, para la reducción de muestras de agregado al tamaño apropiado para empleo en técnicas de ensayo.

El método A es usando un divisor mecánico, el método B se realiza mediante cuarteo y el método C como un depósito de pila miniatura. El método B o C se utiliza cuando el agregado tiene humedad libre en la superficie y el método A se usa cuando el agregado se encuentra más seco que la condición saturado-superficialmente-seco.

Por tener una muestra grande de agregado grueso y fino se realizó primero el método B, por cuarteo debido a que los agregados tienen humedad libre en la superficie.



Imagen N°3: Método de Cuarteo del Material de Grava
Fuente. - Elaboración Propia

Luego se procede a secar al sol la muestra tomada por cuarteo, para inmediatamente cuando el agregado se encuentra más seco que la condición saturado-superficie-seca, pasar por el divisor mecánico los agregados llegando de esta manera a reducir a una muestra no menos de 5000 gramos.

3.2 Estudio de las Propiedades de los Agregados.

Para obtener los mejores resultados de los análisis se tomaron muestras de los materiales, los mismos que se emplearan en los siguientes ensayos para demostrar si el agregado utilizado cumple con las propiedades mecánicas y si es apto para la elaboración del hormigón.

Se detallan a continuación los Tipos de Ensayos que se realizaran a los materiales, con las respectivas normas:

ENSAYOS QUE SE REALIZARON A LOS ARIDOS			
MATERIAL	GRAVA	ARENA	NORMA
ENSAYO			
Contenido de Humedad	si	si	ASTM C-566
Análisis Granulométrico	si	si	ASTM C -136
Densidad Aparente Suelto	si	si	ASTM C-29
Densidad Aparente Compactado	si	si	ASTM C-29
Densidad Real Agregado SSS	si	si	ASTM C-127 y C-128
Capacidad de Absorción	si	si	ASTM C – 70
Densidad del Cemento El Puente	si	si	ASTM C – 188

Tabla N°3: Ensayos que se Realizaron a los Materiales

Contenido de Humedad.

El contenido de humedad de un agregado, es la cantidad de agua que necesita para pasar de un estado seco al horno, a su estado de humedad natural. Generalmente se expresa en un porcentaje relacionado con la masa total de la muestra de agregados.

Los valores obtenidos son usados para corregir las mezclas de hormigón, ya sean las definitivas o las de prueba, por lo que este ensayo se lo debe realizar un día antes de realizar las probetas de hormigón.

Este ensayo se realizó de acuerdo con la norma:

Norma ASTM C-566

Equipo.

- Horno de secado
- Balanza (A = 0,1 g)
- Recipientes metálicos

Fórmulas a Utilizar.

$$P = \frac{W - D}{D} * 100$$

P= contenido de humedad total evaporable, (%)

W= masa original de la muestra, (gr)

D= masa seca de la muestra, (gr)

Análisis Granulométrico.

El Análisis Granulométrico, es un proceso de tamización, que se realiza para determinar la distribución de los tamaños de las partículas que forman parte de una muestra de agregados, usando una serie de tamices (Serie de Tyler) y se expresa como el porcentaje en peso de cada tamaño con respecto al peso total. El método de Ensayo para granulometría se describe en la Norma ASTM C-136.

El Tamaño Nominal Máximo (TNM), se escoge en base a las características de la estructura, obra o proyecto a desarrollarse, cuando estos parámetros no presentan problemas se debe tratar de utilizar el tamaño más grande del agregado, para disminuir el costo del hormigón, obtener mayor resistencia y mayor estabilidad volumétrica. Dada las condiciones físicas de las armaduras y de la graduación natural que se encuentra en gran parte de las canteras, el

tamaño nominal máximo del granulado mayormente utilizado es 1 ½ pulgadas, es decir, 3.81 cm. Las arenas suelen caracterizarse con su módulo de finura, que es el número que da una idea de la granulometría del material. A mayor módulo de finura, más gruesa es la arena.

El tener una distribución por tamaños adecuada hace que los huecos dejados por las piedras más grandes sean ocupados por las del tamaño siguiente, es decir, que la cantidad de huecos dejada por los agregados sea mínima logrando la máxima "compacidad".

Equipo.

- Balanza ($A = 0,1 \text{ g}$)
- Tamizadora mecánica
- Juego de tamices
- Máquina para cuarteo de muestras
- Recipientes metálicos.

Fórmulas a Utilizar

Módulo de finura.

Árido fino

$$MF = \frac{\sum(\text{No. 4} + \text{No. 8} + \text{No. 16} + \text{No. 30} + \text{No. 50} + \text{No. 100})}{100}$$

Árido grueso

$$MF = \frac{\% \text{ retenido en los tamices } \left(1 \frac{1}{2} + \frac{3}{4} + \frac{3}{8} + \text{No. 4} + \text{No. 8} \right) + (5 * 100)}{100}$$

Porcentaje retenido

$$\% \text{ retenido} = \frac{w_i}{w_t} * 100$$

Porcentaje que pasa

$$\% \text{ pasa} = 100\% - \% \text{ retenido}$$

No	TAMIZ	LIMITES %	
		1	2"
2	1 1/2"	95	100
3	1"	-	-
4	3/4"	35	70
5	1/2"	-	-
6	3/8"	10	30
7	No. 4	0	5
8	No. 8	-	-

Tabla N°4: Valores Límite Para la Curva Granulométrica del Árido Grueso.

No	TAMIZ	LIMITES %	
		1	3/8"
2	No. 4	95	100
3	No. 8	80	100
4	No. 16	50	85
5	No. 30	25	60
6	No. 50	10	30
7	No. 100	2	10

Tabla N°5: Valores Límite Para la Curva Granulométrica del Árido Fino.

Los valores límite de la curva granulométrica para agregados gruesos se selecciona según el TNM.

Densidad Aparente Suelta y Compactada.

La Densidad Aparente, es la relación que existe entre la masa del material sobre el volumen que ocupa, incluye los poros impermeables, pero no incluye a los capilares o poros permeables.

El procedimiento para la determinación de esta propiedad, se describe en la Norma ASTM C-29.

Fórmulas a Utilizar $\delta_{ap.suelta} = \frac{m_{ms}}{V_r}$

$$\delta_{ap.compactada} = \frac{m_{mc}}{V_r}$$

m_{ms} = masa del agregado suelto.

m_{mc} = masa del agregado compactado.

V_r = Volumen del recipiente.

Densidad Real Peso Específico, Densidad en estado saturado con superficie seca (s.s.s.) y Capacidad de Absorción.

Es la relación entre la masa y el volumen total de agregados completamente saturados y libres de humedad superficial. Este valor es necesario para determinar la cantidad de agregado grueso que puede ser acomodado en una mezcla de hormigón.

Esta es la densidad más importante para calcular la dosificación del hormigón; este valor depende de la densidad de los componentes minerales y su porosidad del agregado.

A pesar de que la densidad se usa para el cálculo de cantidades del agregado dentro del hormigón y que generalmente un valor alto de densidad, implica un agregado de alta resistencia el valor de la densidad no es necesariamente una medida de la calidad del agregado.

Cuando se calcula el peso específico de un agregado usualmente se expresa en gramos por centímetro cúbico.

Fórmulas a Utilizar

$$D_{SSS} = \frac{P_1}{P_1 - P_2}$$

P_1 = Masa del agregado en SSS.

P_2 = Masa del agregado en agua.

P_3 = Masa del agregado seco.

Capacidad de Absorción.

Es el proceso por el cual un líquido penetra y tiende a llenar los poros permeables de un cuerpo sólido poroso; también es el incremento en masa de un cuerpo sólido poroso permeable. El contenido de humedad de un agregado se basa en su masa al ser horneado hasta secar, aunque es la humedad libre o superficial excedente a la absorción causada

Densidad Real Peso Específico, Densidad en Estado Saturado con Superficie Seca (s.s.s.) y Capacidad de Absorción.

Es la relación entre la masa y el volumen total de agregados completamente saturados y libres de humedad superficial. Este valor es necesario para determinar la cantidad de agregado grueso que puede ser acomodado en una mezcla de hormigón.

Esta es la densidad más importante para calcular la dosificación del hormigón; este valor depende de la densidad de los componentes minerales y su porosidad del agregado.

A pesar de que la densidad se usa para el cálculo de cantidades del agregado dentro del hormigón y que generalmente un valor alto de densidad implica un agregado de alta resistencia el valor de la densidad no es necesariamente una medida de la calidad del agregado.

Cuando se calcula el peso específico de un agregado usualmente se expresa en gramos por centímetro cúbico.

Fórmulas a Utilizar

$$D_{SSS} = \frac{P_1}{P_1 - P_2}$$

P_1 = Masa del agregado en SSS.

P_2 = Masa del agregado en agua.

P_3 = Masa del agregado seco.

Capacidad de Absorción.

Es el proceso por el cual un líquido penetra y tiende a llenar los poros permeables de un cuerpo sólido poroso; también es el incremento en masa de un cuerpo sólido poroso permeable. El contenido de humedad de un agregado se basa en su masa al ser horneado hasta secar, aunque es la humedad libre o superficial excedente a la absorción causante de la condición de saturación con superficie seca.

La capacidad de absorción se determina encontrando el peso de un agregado bajo condición saturada (SSS) y en condición seca.

La diferencia en pesos expresada, como porcentaje del peso seco es la capacidad de absorción. Esta información se requiere para balancear las necesidades de agua en la mezcla de hormigón.

Equipo.

- Horno de secado
- Balanza (A = 0,1 g)
- Recipientes metálicos
- Espátula

Fórmulas a Utilizar

$$\%_{\text{ABSORCION}} = \frac{P_1 - P_3}{P_3} * 100$$

P_1 = masa de la muestra saturado con superficie seca (s.s.s.)

P_3 = masa de la muestra seca.

Cemento.

El cemento Portland IP que se fabrica para hormigón estructural, es una sustancia en forma de polvo fino con puzolanas, constituido en su mayoría por minerales cristalinos artificiales, de los cuales los silicatos cálcicos y de aluminio son el 90%. Estos componentes minerales reaccionan con el agua produciendo nuevos compuestos que dan características de piedra a la masa endurecida.

Para determinar la calidad del cemento que se utilizará en una obra, será necesario realizar ensayos sencillos como la densidad.

Los problemas más comunes que ocasionan variación en la calidad del cemento son: el tiempo y forma de almacenaje, y el medio ambiente de la bodega. Cuando este material se almacena durante un cierto tiempo, por ejemplo, en fundas de papel, existe la posibilidad de que sus partículas se unan formando grumos debido a la humedad ambiental; en este caso, no usar el cemento para hormigones estructurales.

Generalmente, cuando estos grumos pueden pulverizarse fácilmente, entre el pulgar y el índice, este cemento aún puede ser utilizado, teniendo en cuenta que el fraguado del mismo será un poco más lento. Cuando se encuentran masas duras (fraguadas) de cemento, este debe ser descartado para fabricar hormigones de primera calidad.

Existe un gran número de tipos de cemento hidráulico; de éstos el más utilizado en nuestro país, por razones técnicas y económicas es el cemento Portland tipo IP, con el cual se realizaron los ensayos correspondientes para determinar la calidad del material que se utilizará en las mezclas de hormigón.

Densidad del Cemento.

La densidad del cemento desempeña un papel significativo en su producción y funcionamiento. La densidad se obtuvo mediante el método del Picnómetro.

Equipo.

- Balanza electrónica ($A = 0,1 \text{ g}$)
- Picnómetro

- Pipeta
- Vaso de precipitación
- Recipiente metálico

Fórmulas a Utilizar.

P1: Masa del picnómetro vacío.

P2: Masa del picnómetro + cemento.

P3: Masa del picnómetro + cemento + gasolina.

P4: Masa del picnómetro + 250cc de gasolina.

Masa del cemento

$$P_{cemento} = P2 - P1$$

Masa de la gasolina

$$P_{gasolina} = P4 - P1$$

Determinación de la densidad del cemento.

$$P5 = (P4 - P1) - (P3 - P2)$$

$$\delta = \frac{\frac{P2 - P1}{P5}}{\frac{P4 - P1}{250}}$$

3.3 GENERALIDADES DE UN HORMIGÓN.

La dosificación de un hormigón tiene por objeto determinar las proporciones en que hay que mezclar los distintos componentes del mismo para obtener masas y hormigones que reúnan las características y propiedades exigidas en el proyecto.

Ya se comprende que el problema de la dosificación es complejo por depender de muchos factores, unos ligados a las propiedades exigidas al hormigón, otros a las características de los materiales disponibles y otros; por último a los medios de fabricación, transporte y colocación. Podría decirse que el proceso de dosificación es tanto un arte como una técnica.

Existen muchos métodos y reglas para dosificar teóricamente un hormigón, pero todos deben considerarse orientativos. Por ello, las proporciones definitivas de los componentes deben establecerse mediante ensayos de laboratorio, introduciendo después las correcciones que resulten necesarios o convenientes. Actualmente y debido al gran desarrollo que ha experimentado en todos los países la industria del hormigón preparado, la mayor parte de los hormigones utilizados en edificación se dosifican y elaboran en central bajo condiciones bien controladas, con lo que se ha dado un gran paso para disponer de hormigones con las características y propiedades necesarias.

El punto de partida para establecer la dosificación puede ser la resistencia mecánica, o la dosificación de cemento por metro cúbico de hormigón compactado, habida considerado la durabilidad de ambos casos. A continuación, se indica la marcha a seguir para la dosificación por resistencia, en función de las condiciones ambientales a las que vaya a estar sometida la obra.

Antes de comenzar las obras puede ser necesario efectuar en laboratorio, ensayos previos para establecer la dosificación que habrá de emplearse en la fabricación del hormigón, teniendo en cuenta los materiales disponibles, los aditivos que se vayan a utilizar y las condiciones de ejecución previstas.

Para realizarlos, por cada dosificación que se desee establecer, se fabricarán por lo menos tres (3) amasadas distintas, tomándose nueve (9) probetas de cada una y se operará de acuerdo con los métodos de ensayos descritos en las normas ASTM C-33.

El aporte de este trabajo consiste en la elaboración de un procedimiento para la aplicación rápida del método. Con el objetivo de adaptar el método a nuestras condiciones las tablas para la obtención de los diferentes parámetros fueron aproximadas utilizando métodos de regresión.

Los resultados que se obtengan aplicando el procedimiento deben obligatoriamente ser comprobados mediante mezclas de prueba en laboratorio para su posterior aplicación en obra.

3.4 BASES DEL MÉTODO.

3.4.1 Resistencia.

Siendo f_{ck} la resistencia característica a la compresión exigida en el proyecto, para el diseño del hormigón se debe determinar la resistencia media a compresión f_{cm} , valor superior a f_{ck} , con el objeto de garantizar la obtención de la resistencia de proyecto en obra. Dicho valor puede obtenerse aplicando la tabla N°6. Según las condiciones de ejecución o según el Código Modelo CEB-FIP-90 y ACI-316-84 para condiciones de ejecución suficientemente buenas.

<i>Condiciones previstas para la ejecución de obra</i>		<i>Valor aproximado de la resistencia media f_{cm} necesaria en laboratorio</i>
<i>Mínimas</i>	<i>en kg/cm² en MPa</i>	$f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 20$ $f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 2$
<i>Buenas</i>	<i>en kg/cm² en MPa</i>	$f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 15$ $f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 1,5$
<i>Muy buenas</i>	<i>en kg/cm² en MPa</i>	$f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 10$ $f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 1$

* Para condiciones de ejecución suficientemente buenas

Tabla N°6: Relación entre la resistencia media y la característica específica de hormigón.

3.4.2 Relación Agua/Cemento.

La resistencia del hormigón y la durabilidad está en función a muchos factores: tipo, clase cantidad de cemento, características, granulometría y tamaño máximo del árido, compactación, curado, y otros; pero fundamentalmente de la relación a/c .

Como primera aproximación se puede utilizar la siguiente relación:

$$\frac{c}{a} = k * f_{cm} + 0.5$$

$\frac{c}{a}$ = Concentración de la pasta o relación cemento/agua, en peso

k = Coeficiente cuyos valores se encuentran en la tabla N°7.

f_{cm} = Resistencia media expresada en MPa

La durabilidad del hormigón está ligado a su compacidad o impermeabilidad, por esta razón se limita la relación a/c y el contenido de cemento. La máxima relación a/c y mínimo contenido de cemento a aplicarse se puede obtener de la tabla N° 8., estos valores son recomendados por el Código Modelo CEB-FIP, la Norma europea ENV-206 y la Instrucción Española.

Cemento	Aridos rodados	Aridos chancados
Pórtland Tipo 30	0.061	0.039
Pórtland Tipo 40	0.049	0.032
Pórtland Tipo 50	0.041	0.028

Tabla N°7: Valores Orientativos de K

Condiciones ambientales de la estructura		Máxima relación agua/cemento	Contenido mínimo de cemento	
			Ho en masa	Ho armado
I -Interior de edificios - Exterior con baja humedad	I	0.65	200	250
	II Sin heladas	0.60	200	275
II - Interior de edificios con humedad alta - Exteriores normales - Elementos en contacto con aguas normales - Elementos en contacto con terrenos ordinarios	II-h Con heladas	0.55	200	300
	II-f Con heladas y fundentes*	0.5	200	300
	III Sin heladas	0.55	200	300
III - Elementos en atmósfera industrial agresiva - Elementos con atmósfera marina - Elementos en contacto con aguas salinas o ligeramente ácidas	III-h Con heladas	0.5	200	300
	III-f Con heladas y fundentes*	0.5	200	325
	IV Sin heladas	0.5	225	325
IV - Ambientes con contenido de sustancias químicas capaces de provocar alteraciones del hormigón con velocidad...	IV-a ...lenta	0.5	225	325
	IV-b ...media	0.5	250	350
	IV-c ...alta	0.45	250	350

Tabla N° 8: Máxima Relación agua/cemento y Mínimo Contenido de Cemento en kg/m³, en Función de las Condiciones Ambientales

3.4.3 Consistencia del Hormigón y Cantidades de Agua y Cemento.

En función del tipo de elemento y sus características (tamaño de la sección, distancia entre barras, etc.) y teniendo en cuenta la forma de compactación prevista, se fija la consistencia que ha de tener el hormigón. A tal efecto, pueden ser útiles las indicaciones de la tabla N°9.

Fijada la consistencia, se determina la cantidad de agua por metro cúbico de hormigón, según los valores de la tabla N° 10. Teniendo la cantidad de agua y conocida la relación agua/cemento, es fácil determinar la cantidad de cemento en kg/m³

$$\text{Cantidad de cemento } c = \frac{\text{agua}}{\left(\frac{a}{c}\right)}$$

Consistencias	Asiento en cono de Abrams (cm)	Forma de compactación
Seca	0 a 2	Vibrado energético en taller
Plástica	3 a 5	Vibrado energético en obra
Blanda	6 a 9	Vibrado o apisonado
Fluida	10 a 15	Picado con barra
Æíquida	16	(No apta para elementos resistentes)

Tabla N° 9: Consistencias y Formas de Compactación

Consistencia del hormigón	Asiento en cono de Abrams cm	Aridos rodados			Piedra partida y arena de machaqueo		
		80 mm	40 mm	20 mm	80 mm	40 mm	20 mm
Seca	a 2	135	155	175	155	175	195
Plástica	3 a 5	150	170	190	170	190	210
Blanda	6 a 9	165	185	205	185	205	225
Fluida	10 a 15	180	200	220	200	220	240

(*) Hormigones sin aditivos

Tabla N°10: Litros de Agua por Metro Cúbico

3.5 COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LOS ÁRIDOS.

Para obtener mezclas más económicas es importante tomar en cuenta que se requiere agregados con un mayor grado de compacidad que da lugar a un menor volumen de huecos y por tanto será menor la cantidad de pasta de cemento necesaria para rellenar estos huecos. La granulometría de compacidad elevada se consigue con mezclas pobres en arena y que requieren poca cantidad de agua de amasado, pero estas mezclas dan lugar a masas poco trabajables. Por el contrario, para que la masa de hormigón sea trabajable y no se disgregue durante su colocación debe tener un contenido óptimo de granos finos, con lo que disminuirá la compacidad del árido y será necesario emplear mayor cantidad de agua y cemento. En todo caso habrá que adoptar una solución que satisfaga a ambos aspectos.

El estudio de la composición granulométrica del árido total consiste en definir los porcentajes óptimos de los diferentes áridos disponibles, para conseguir el hormigón que se desea.

Con respecto a los áridos se han propuesto métodos que hacen referencia al caso de granulometría continua, en el que se encuentran representados todos los tamaños de granos; y otros al caso de granulometrías discontinuas, en el que faltan algunos elementos intermedios, por lo que la curva granulométrica presenta un escalón horizontal.

Como alternativa podemos utilizar los valores óptimos del módulo granulométrico propuesto por Abrams para hormigones ordinarios que se dan en la tabla N°11.

Contenido de cemento kg/m ³	Tamaño máximo del árido mm						
	10	15	20	25	30	40	60
275	4.05	4.45	4.85	5.25	5.6	5.8	6.00
300	4.2	4.6	5.00	5.4	5.65	5.85	6.20
350	4.3	4.7	5.1	5.5	5.73	5.88	6.30
400	4.4	4.8	5.2	5.6	5.8	5.9	6.40

Tabla N°11: Valores óptimos del módulo granulométrico Según Abrams para hormigones ordinarios

Una vez elegido el módulo granulométrico teórico con el que se trabajara, se determinan las proporciones en que deben mezclarse los áridos a partir de sus módulos granulométricos. Si m_a , m_g y m_t son los módulos granulométricos de la arena, grava y el teórico respectivamente, se deducen los porcentajes x e y , en peso, en que deben mezclarse la arena y la grava, resolviendo las ecuaciones:

$$m a x/100 + m g y/100 = m \quad (1)$$

$$x + y = 100 \quad (2)$$

3.6 PROPORCIONES DE LA MEZCLA.

Para determinar las cantidades necesarias de los distintos materiales para obtener un metro cúbico de hormigón, hay que tener en cuenta la contracción que experimenta el hormigón fresco, que puede evaluarse en un 2.5 %. Ello se debe a que el agua se evapora en parte; en otra parte es absorbida por el árido; y el resto debido a la retracción de la pasta de cemento.

Por tanto, la suma de los volúmenes de los distintos materiales debe ser 1025 litros, para obtener un metro cúbico de hormigón:

$$a + \frac{c}{p} + \frac{G1}{p1} + \frac{G2}{p2} = 1025$$

a = Litros de agua por m³ de hormigón

c = Peso del cemento en kg por m³ de hormigón

p = Peso específico real del cemento en kg/lts.

G1 y G2 = Pesos de la arena y de la grava, en kg por m³ de hormigón

p1 y p2 = Pesos específicos reales de la arena y de la grava, en kg/lts

3.7 PROCEDIMIENTO.

3.7.1 Datos Requeridos.

- Tipo de cemento
- Peso específico del cemento
- Peso específico de la grava condición seca, porcentaje de absorción y porcentaje de humedad

- Peso específico de la arena condición seca, porcentaje de absorción y porcentaje de húmeda.
- Módulos granulométricos de los agregados
- Tipo de agregado (rodados o chancados)
- f_{ck} Resistencia característica a la compresión especificada del hormigón a los 28 días expresada en Mpa
- Condiciones de ejecución

Cálculo de la Resistencia Media f_{cm} .

Se determina de la tabla N°6.

Relación agua/cemento.

El menor valor obtenido de:

$$\frac{c}{a} = k * f_{cm} + 0.5$$

$\frac{c}{a}$ = Concentración de la pasta o relación cemento/agua, en peso

k = Coeficiente cuyos valores se encuentran en la tabla N°7.

f_{cm} = Resistencia expresada en MPa de la tabla N°6.

Elección del Tamaño Máximo del Agregado.

Cuanto mayor sea el tamaño del árido, menor agua se necesitará para conseguir la consistencia deseada, ya que la superficie específica de los áridos (superficie a mojar) será más pequeña. Como consecuencia, podrá reducirse la cantidad de cemento, resultando más económico el hormigón para la misma resistencia.

Conviene, por lo tanto, emplear el mayor tamaño posible de árido, siempre que sea compatible con las exigencias de puesta en obra. Estas imponen que el tamaño del árido no exceda del menor de los dos límites siguientes:

1. La cuarta parte de la anchura, espesor o dimensión mínima de la pieza entre encofrados, o la tercera parte si se encofra por una sola cara.

2. Los cinco sextos de la distancia horizontal libre entre barras, o entre éstas y el encofrado. Por otra parte, tamaños superiores a 40 mm no siempre conducen a mejoras de resistencia, porque con áridos muy gruesos disminuye en exceso la superficie adherente y se crean discontinuidades importantes dentro de la masa, especialmente si ésta es rica en cemento.

Determinación de la consistencia (Asentamiento en el cono de Abrams).

Si dicho valor no está impuesto en las especificaciones de proyecto se puede obtener de la tabla N°9. en función del tipo de compactación a aplicar en obra.

Determinación de la dosis de agua (a).

Se determina de la tabla N°10.

Cálculo de la dosis de cemento (c).

$c = \text{Dosis de agua} / (a/c) \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Composición granulométrica del árido total.

Si se va a utilizar agregado fino de módulo granulométrico (ma) y un solo tipo de agregado grueso de módulo granulométrico (mg), el módulo granulométrico teórico (m) se obtiene de la tabla N°21. y las proporciones de áridos a utilizarse se determina de:

$$ma \ x/100 + mg \ y/100 = m \quad (1)$$

$$x + y = 100 \quad (2)$$

$x = \% \text{ de agregado fino}$

$y = \% \text{ de agregado grueso}$

Proporciones de la mezcla.

Si el hormigón va a estar compuesto por dos áridos las cantidades se obtiene de:

$$a + c/p + G1/p1 + G2/p2 = 1025 \quad (1)$$

$$G1/G2 = x/y \quad (2)$$

a = Litros de agua por m³ de hormigón

c = Peso del cemento en kg por m³ de hormigón

P = Peso específico real del cemento en kg/lts.

G1 y G2 = Pesos de la arena y de la grava, en kg por m³ de hormigón

p1 y p2 = Pesos específicos reales de la arena y de la grava, en kg por litro

Ajustes por Contenido de Humedad del Agregado.

Las cantidades que realmente se deben pesar para el hormigón deben considerar la humedad del agregado.

Los agregados están generalmente húmedos y sus pesos secos se deben incrementar con el porcentaje de agua tanto absorbida como superficial que contienen.

$$G1h = G1 (1 + \%hG1 / 100)$$

$$G2h = G2(1 + \%hG2 / 100)$$

El agua de mezclado que se añade a la mezcla se obtiene restando del agua calculada el agua libre que contienen los áridos

$$aañ = a - G1(\%hG1 - \%aG1) / 100 - G2(\%hG2 - \%aG2) / 100$$



CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO

Tipo de Agregado: Grueso

Procedencia: La Ventolera

Norma: ASTM C-566

Fecha: 2/04/18

Tabla N°12: Contenido de Humedad Agregado Grueso

ÁRIDO GRUESO	UNID	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
MASA DEL RECIPIENTE + ÁRIDO HÚMEDO	gr	584.3	605.6	584.3
MASA DEL RECIPIENTE + ÁRIDO SECO	gr	583.3	499.2	583.2
MASA DEL RECIPIENTE	gr	83.6	106.4	83.4
MASA DEL AGUA	gr	1	0.2	1.1
MASA DE ÁRIDO SECO	gr	499.7	392.8	499.8
PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	0.20	0.05	0.22
PROMEDIO	%	0,16		

Referencia. -Ver capítulo 3

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO

Tipo de Agregado: Fino

Procedencia: La Ventolera

Norma: ASTM C-566

Fecha: 2/04/18

Tabla N°13: Contenido de Humedad Agregado Fino

ÁRIDO GRUESO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
MASA DEL RECIPIENTE + ÁRIDO HÚMEDO	gr	407.2	406.3	399.6
MASA DEL RECIPIENTE + ÁRIDO SÉCO	gr	405.8	404.9	398.1
MASA DEL RECIPIENTE	gr	107.2	106.3	99.5
MASA DEL AGUA	gr	1.4	1.4	1.5
MASA DE ÁRIDO SECO	gr	298.6	298.6	298.6
PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	0.47	0.47	0.50
PROMEDIO	%	0,48		

Referencia. -Ver Capítulo 3

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



ENSAYO DE GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO

Peso de la muestra(gr): 4000

Procedencia: La Ventolera

Norma: ASTM C-36

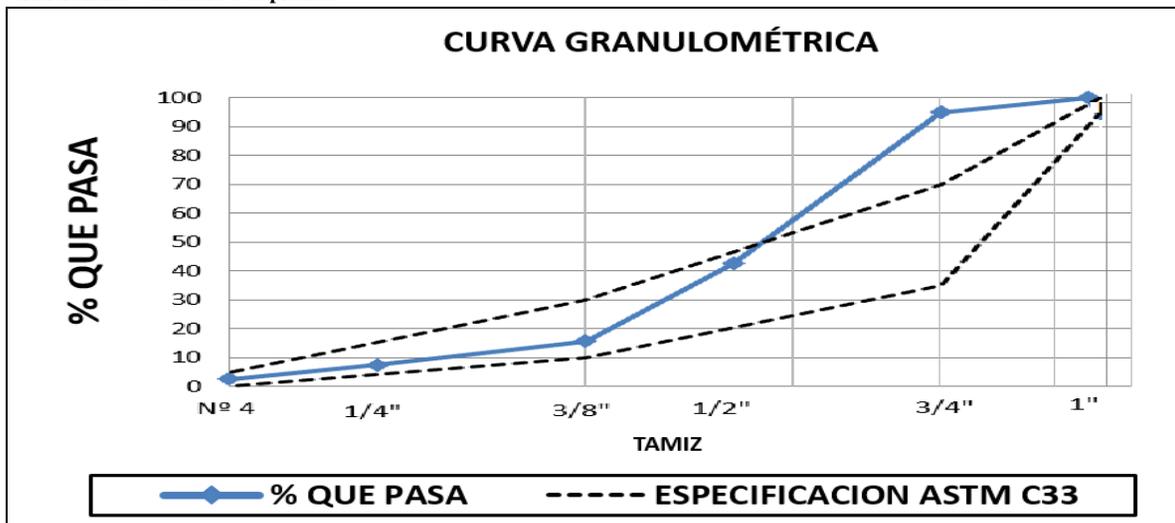
Fecha: 3/04/18

Tabla N°14: Análisis Granulométrico Agregado Grueso

TAMIZ	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM
1"				100	100
3/4"	200,20	200,20	5,01	95,00	90---100
1/2"	2100,00	2300,20	57,51	42,50	-
3/8"	1070,30	3370,50	84,26	21,74	20---55
1/4"	330,40	3700,90	92,52	7,48	
Nº 4	199,10	3900,00	97,50	2,50	0---10
BANDEJA	100,00	4000,00	100,00	0,00	
MODULO GRANULOMETRICO			6,9		

Fuente: Elaboración Propia

Referencia. -Ver tabla 4 Capitulo 3



Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



ENSAYO DE GRANULOMETRIA AGREGADO FINO

Peso de la muestra(gr): 500

Procedencia: La Ventolera

Tabla N°15: Análisis Granulométrico Agregado Fino

TAMIZ	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM
N° 4	0.00	0.00	0.00	100.00	95---100
N° 8	73.20	73.20	14.37	85.63	80---100
N° 16	44.30	117.50	23.03	76.97	50---85
N° 30	84.90	202.40	40.01	59.99	25---60
N° 50	149.30	351.70	70.17	29.83	10---30
N° 100	106.80	458.50	91.63	8.37	2---10
N° 200	30.60	489.10	97.89	2.11	-
BANDEJA	10.90	500	100.00	0.00	-
MODULO DE FINURA			2,40		

Fuente: Elaboración Propia

Referencia. -Ver tabla 5 Capitulo 3

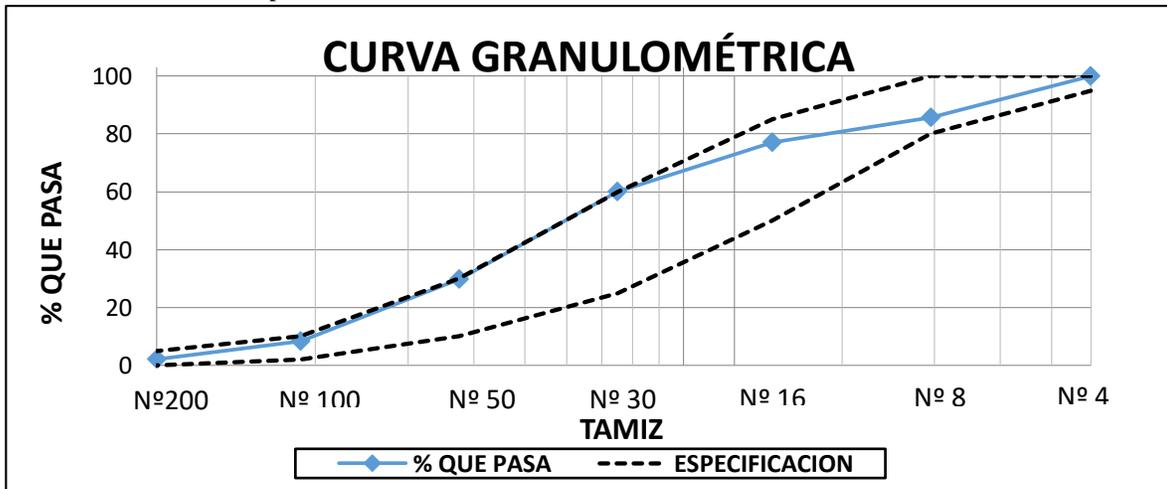


Gráfico N°2: Curva Granulométrica Agregado Fino

Fuente: Elaboración propia



DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA AGREGADO GRUESO

Tipo de Agregado: Grueso

Procedencia: La Ventolera

Norma: ASTM C-29

Fecha: 8/04/18

Tabla N°16: Densidad Aparente Suelta y Compactada Agregado Grueso

DENSIDAD APARENTE SUELTO

Masa del recipiente vacío	5801.7	gr
Volumen del recipiente vacío	9814.33	cm ³

MASA DE GRAVA SUELTO + RECIPIENTE

Primera muestra	21630	gr
Segunda muestra	21680	gr
Tercera muestra	21745	gr
Promedio	15883.30	gr
Densidad aparente suelta	1.62	gr/cm³

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA

Masa del recipiente vacío	5801.7	gr
Volumen del recipiente vacío	9814.33	cm ³

MASA DE GRAVA COMPACTADO + RECIPIENTE

Primera muestra	22625	gr
Segunda muestra	22945	gr
Tercera muestra	22320	gr
Promedio	16828.30	gr
Densidad Aparente Compactada	1.71	gr/cm³

Referencia : Ver capítulo 3 Fuente: Elaboración propia

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA AGREGADO FINO

Tipo de Agregado: Fino

Procedencia: La Ventolera

Norma: ASTM C-29

Fecha: 9/04/18

Tabla N°17: Densidad Aparente Suelta y Compactada Agregado Fino

DENSIDAD APARENTE SUELTO

Masa del recipiente vacío	2606.7	gr
Volumen del recipiente vacío	3000	cm ³

MASA DE GRAVA SUELTO + RECIPIENTE

Primera muestra	7315	gr
Segunda muestra	7760	gr
Tercera muestra	7695	gr
Promedio	4983	gr
Densidad aparente suelta Arena	1.66	gr/cm³

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA

Masa del recipiente vacío	2606.7	gr
Volumen del recipiente vacío	3000	cm ³

MASA DE GRAVA COMPACTADO + RECIPIENTE

Primera muestra	7960	gr
Segunda muestra	7950	gr
Tercera muestra	7920	gr
Promedio	5336.63	gr
Densidad Aparente Compactado Arena	1.78	gr/cm³

Referencia: Ver capítulo 3 Fuente: Elaboración propia

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCION AGREGADO GRUESO

Tipo de Agregado: Grueso

Procedencia: La Ventolera

Norma: ASTM C-127 ASTM C-128

Fecha: 9/04/18

Tabla N°18: Ensayo de Densidad Real y Capacidad de Absorción Agregado Grueso (Grava)

DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR
M1	MASA DE LA CANASTILLA EN EL AIRE	gr	5163.5
M2	MASA DE LA CANASTILLA SUMERGIDA EN AGUA	gr	163.5
M3	MASA DE LA CANASTILLA + MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE	gr	5000
M4	MASA DE LA CANASTILLA+MUESTRA S.S.S. EN EL AGUA	gr	799
M5=M3-M1	MASA DE LA MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE	gr	3096
M6=M4-M2	MASA DE LA MUESTRA S.S.S. EN EL AGUA	gr	2297
VR=M5-M6	VOLUMEN DESALOJADO	cm ³	2703
DR=M5/VR	PESO ESPECÍFICO	gr/cm ³	2.68
M7	MASA DEL RECIPIENTE	gr	3255.2
M8	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA S.S.S.	gr	3224.4
M9	MASA DE LA MUESTRA S.S.S	gr	371.8
M10	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	gr	30.8
M11	MASA DE LA MUESTRA SECA	gr	2852.6
CA	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	%	1.08
DENSIDAD REAL GRUESO		2.68	gr/cm³
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		1.08	%

Fuente: Elaboración propia

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCION AGREGADO FINO

Tipo de Agregado: Fino

Procedencia: La Ventolera

Norma: ASTM C-127 ASTM C-128

Fecha: 12/04/18

Tabla N°19: Ensayo de Densidad Real y Capacidad de Absorción Agregado Fino

DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR
M1	MASA PICNÓMETRO	gr	177.2
M2	MASA PICNÓMETRO + ARENA	gr	677.2
M3	MASA ARENA	gr	500
M4	MASA PICNÓMETRO + ARENA + AGUA	gr	987.3
M5	MASA AGUA AÑADIDA	gr	310.1
M6	MASA PICNÓMETRO + 250 cc DE AGUA	gr	677.2
M7	MASA DE 250 cc DE AGUA	gr	500
M8	MASA DE AGUA DESALOJADA	gr	189.9
d agua	DENSIDAD DEL AGUA	gr/cm ³	0.984
V agua	VOLUMEN DE AGUA	cm ³	192.99
DR	DENSIDAD DE LA ARENA	gr/cm ³	2.59
M9	MASA DE RECIPIENTE + ARENA EN SSS	gr	586.3
M10	MASA DE RECIPIENTE + ARENA SECO	gr	580
M11	MASA DE RECIPIENTE	gr	86.3
M12	MASA DE AGUA	gr	6.3
M13	MASA DE ARENA SECO	gr	493.7
CA	CAPACIDAD DE ABSORCION	%	1.28
DENSIDAD REAL ARENA		2.59	gr/cm³
CAPACIDAD DE ABSORCION		1,28	%

Fuente: Elaboración propia

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



ENSAYO DE DENSIDAD DEL CEMENTO

Procedencia: cemento El Puente

Norma: ASTM C-127

Fecha: 14/04/18

Tabla N°20: Ensayo de Densidad del Cemento.

DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR
M1	MASA PICNÓMETRO	gr	117,9
M2	MASA PICNÓMETRO + CEMENTO	gr	222,7
M3	MASACEMENTO	gr	104,8
M4	MASA PICNÓMETRO + CEMENTO + GASOLINA	gr	489,8
M5	MASA GASOLINA AÑADIDA	gr	267,1
M6	MASA PICNÓMETRO + 250 cc DE GASOLINA	gr	411
M7	MASA DE 250 cc DE GASOLINA	gr	293,1
M8	MASA DE GASOLINA DESALOJADA	gr	26
d gasolina	DENSIDAD DE GASOLINA	gr/cm ³	0,7398
V gasolina	VOLUMEN DE GASOLINA	cm ³	35,14
DR	DENSIDAD DEL CEMENTO	gr/cm ³	2,98

Fuente: Elaboración propia

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA

CAPITULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Consistencia.

Mediante ensayos experimentales se ha constatado que la consistencia del hormigón mejorado con fibras metálicas resulta restringida con la adición de fibras en función del volumen de fibras adicionado y su esbeltez es decir se vuelve menos trabajable.

La consistencia se puede evaluar con los siguientes métodos: Cono de Abrams ASTM (C143/C143M-09), Tiempo de Flujo en el Cono Invertido, Consistómetro VeBe.

Partiendo de que la presencia de las fibras restringen la fluidez de la matriz, es importante evaluar la consistencia de los hormigones mejorados con fibras con métodos dinámicos como el Cono Invertido, el Consistómetro VeBe y el Maneabilímetro.

Puede que para un mismo asiento en el Cono de Abrams el tiempo necesario de vibrado en el Cono Invertido de un hormigón con fibras sea menor que el de un hormigón tradicional.

Valores de Consistencia de la Investigación. La pérdida de trabajabilidad que la adición de fibras provoca en el hormigón condiciona el contenido máximo de fibras que se puede incorporar en la dosificación, que suele situarse para las fibras de acero, en función de la aplicación y de las fibras empleadas, alrededor de los 100 kg/m³. Por otro lado suele aplicarse un límite inferior al contenido de fibras, pues las dosificaciones con bajos contenidos de fibras han dejado experiencias negativas en la construcción (ACI 544.1R-96, 2009).

Los valores obtenidos de la consistencia para la investigación fueron los siguientes.

CONSISTENCIA DEL HORMIGON PATRON VS HORMIGON CON FIBRA			
Sin Fibra	Con 25 Kg De Fibra	Con 40 Kg De Fibra	Con 70 Kg De Fibra
6.5	5.4	4.8	4

Ver análisis de consistencia gráfico

4.2 DISEÑO DE MEZCLA PARA HORMIGÓN SIMPLE Y HORMIGÓN MEJORADO CON FIBRAS METÁLICAS

4.2.1 Secuencia en el Diseño de la Mezcla. Una vez concluidos con los ensayos para determinar todas las características físicas de los materiales, dígame peso específico, peso unitario, granulometría, contenido de humedad y porcentaje de absorción se procede a lo siguiente.

1. Seleccionar la resistencia promedio (fcr) requerida para alcanzar la resistencia mínima especificada del proyectista. (f c).
2. Seleccionar el tamaño máximo nominal del agregado global.
3. Elegir la consistencia de la mezcla y expresarlo en función del asentamiento de la misma.
4. Determinar el volumen de agua de mezclado por unidad de volumen de hormigón, que depende del tamaño máximo y del asentamiento de la mezcla.
5. Determinar el porcentaje de aire atrapado si es el caso.
6. Seleccionar la relación agua – cemento requerida para obtener la resistencia deseada. Se tendrá en consideración la resistencia promedio seleccionada, así como también algunas condiciones de durabilidad. Se elegirá la menor de éstas dos relaciones obteniéndose así la resistencia en compresión necesaria y la durabilidad requerida.
7. Determinar el factor cemento por unidad cúbica de hormigón en función de la relación

agua – cemento seleccionada y del volumen unitario del agua.

8. Determinar las proporciones relativas del agregado grueso y fino.
9. Determinar, empleándose el método de diseño seleccionado, las proporciones de la mezcla, considerando que el agregado está en estado seco y que el volumen unitario de agua no ha sido corregido por humedad del agregado.
10. Corregir dichas proporciones en función del porcentaje de absorción y el contenido de humedad de los agregados.

4.2.1 Probetas con las Dosificaciones definitivas, para Resistencia de 21 Mpa.

Dentro del estudio del Hormigón, se tiene la determinación de las propiedades del hormigón endurecido, entre las cuales, la propiedad más importante es la capacidad de absorber esfuerzos de compresión, esta capacidad se evalúa mediante ensayos de compresión sobre probetas.

Estas probetas estándar se las fabrica utilizando moldes metálicos de forma cilíndrica, en donde se verterá el hormigón fresco para obtener un testigo de la misma forma del molde, cuyas dimensiones cumplirán con la relación 2:1, entre la Altura de la probeta y el Diámetro del mismo, teniéndose dos tipos de probetas, las cuales son:

- Probeta: 75 mm de diámetro y 150 mm de altura
- Probeta: 150 mm de diámetro y 300 mm de altura

El uso de estas probetas está en función del agregado grueso que se utilizó en la fabricación del hormigón, es así que para un tamaño nominal máximo de agregado mayor o igual a $\frac{3}{4}$ de pulgada, se usara las probetas de 150 mm x 300 mm

4.2.2 Mezclas definitivas para las Resistencias Específicas.

Las mezclas definitivas servirán para elaborar una buena cantidad de hormigón, que a la vez nos sirvan para obtener una suficiente producción de probetas. En cierto número se realizaran los ensayos de compresión hasta la rotura.

Para poder realizar las mezclas definitivas, se tomó muy en cuenta las dosificaciones de prueba y los resultados de las resistencias que se obtuvieron a los 28 días en dichas mezclas.

Luego de ensayar todas y cada una de las probetas cilíndricas de hormigón, se procede a adoptar la mezcla idónea o ideal para las mezclas finales que nos garantice resistencias y economía.

4.3 Determinación del número total de Probetas.

Para determinar el número de probetas de hormigón que se ensayarán para cada una de las diferentes condiciones, se tendrá en cuenta el criterio de que el número mínimo de valores para representar confiablemente resultados aceptables 4 cilindros, además se debe tener presente el tamaño nominal máximo del agregado para seleccionar el dimensionamiento de los cilindros de prueba.

El tamaño nominal máximo del agregado de la ventolera es de 3/4” para nuestro estudio el vaciado con un agregado de 3/4” según la (society ingeniens of japan) como tamaño máximo para hormigones con fibras metálicas por otra parte realizaremos los ensayos en probetas de 150 mm de diámetro y 300mm de altura de acuerdo a la norma ASTM C-192 “Práctica para fabricar y curar probetas cilíndricas de hormigón en el Laboratorio”

Con el objetivo de aplicar un proceso satisfactorio, es necesario adoptar un número mínimo de probetas estándar de la siguiente manera:

Muestra Pequeña: 4 probetas.

Muestra Grande: mayor o igual a 30 probetas.

En el caso de esta investigación, necesitamos obtener resultados confiables, por lo que se adopta una muestra pequeña; se realizarán 12 probetas por cada resistencia expuesta en esta investigación para el análisis de las deformaciones a los 28 días.

Para el análisis de la resistencia a la compresión que se generan en las probetas a los 28 días, en función del tiempo, se realizarán 45 probetas en su totalidad las cuales serán ensayadas en el siguiente orden:

- A los 7,14, y 28 días: 4 probetas con una dosificación de 25 kg por m³
- A los 7,14, y 28 días: 4 probetas con una dosificación de 40 kg por m³
- A los 7,14, y 28 días: 4 probetas. con una dosificación de 70 kg por m³
- A los 7,14, y 28 días: 3 probetas. sin dosificación de fibra (probetas testigo)
- A los 28 días 2 vigas estandarizadas con dosificación de 25 kg por m³
- A los 28 días 2 vigas estandarizadas con dosificación de 40 kg por m³
- A los 28 días 2 vigas estandarizadas con dosificación de 70 kg por m³
- A los 28 días 2 vigas estandarizadas sin fibra (vigas testigo)

Realizado este análisis tendremos un lote de producción de 45 probetas para ensayo a compresión y 8 vigas para el ensayo a flexión simple para esta investigación.

4.4 Dosificación del Hormigón.

Procedimiento:

1. Fijar la resistencia característica del hormigón de acuerdo con las necesidades de la obra y determinar la resistencia media correspondiente.

- Resistencia característica: $f'_{ck} = H21$ (210 kg/cm²).
- Condiciones previstas para la ejecución de la obra: Buenas

Tabla N°6: $f_{cm} = 1.50 * f'_{ck} + 15$ Para condiciones Buenas

- Resistencia Media: $f_{cm} = 1.50 * 210 + 15 = 330$ kg/cm²

2. Elegir el tipo de cemento, en función de la clase de obra, la agresividad del medio y las condiciones climáticas.

- Cemento EL PUENTE Portland con Puzolana tipo IP30.
- El cemento LIDER corresponde al Tipo IP, Categoría resistente Media 30 Mpa de resistencia mínima a la compresión a 28 días según la Norma Boliviana NB-011.
- Cuenta con el Sello de Calidad de IBNORCA.

3. Determinar la relación agua/cemento que corresponde a la resistencia media del hormigón, según el tipo de cemento y áridos empleados.

- Resistencia Media: 330 kg/cm²
- Valor orientativo de k para el cemento de la tabla N° 7: k= 0.0061 (Para cemento IP-30 y áridos rodados)

$$\frac{c}{a} = k * f_{cm} + 0.5$$

$$\frac{c}{a} = 0.0061 * 330 + 0.5 = 1.538$$

$$\frac{a}{c} = 0.65$$

De la tabla N° 8:

a/c (máxima) = 0.65 (1 Interior de edificios, exterior con baja humedad)

Contenido mínimo de cemento 250 kg/m³

Elegimos $\frac{a}{c} = 0.65$

4. Determinar el tamaño máximo del árido grueso, en función de las características de los distintos elementos de la obra.

Se escogió para el estudio como valor del tamaño máximo nominal: TMN 3/ 4" (19,05mm)

5. Estudiar la consistencia más conveniente del hormigón, según la forma de compactación en obra y como consecuencia fijar la cantidad aproximada de agua y determinar la cantidad de cemento correspondiente.

Para una compactación por vibrado o apisonado en obra, condiciones de ejecución buena, consistencia blanda, tamaño máximo 19.05 mm, y áridos rodados: tabla N°9 : 205 lt. /m³.

Cantidad de cemento: $c = \frac{205}{0.65} = 315.384 \text{ kg}$ Asumir 315 kg.

6. Establecer la proporción en que han de mezclarse los áridos disponibles, para que la curva granulométrica del árido total sea la más conveniente al hormigón en estudio.

Módulo Granulométrico de la arena: $m_a = 2.40$

Módulo Granulométrico árido grueso: $m_g = 6.9$

Modulo Granulométrico óptimo del árido compuesto según Abrams, para hormigones ordinarios, contenido de cemento 315 kg y tamaño máximo del árido 19.05 mm \approx 19.05 mm:
 $m = 5.1$

Porcentajes x (proporción arena), y (proporción grava).

$$m_a * \frac{x}{100} + m_g * \frac{y}{100} = m$$

$$x + y = 100$$

Reemplazando valores y resolviendo el sistema

$$2.40 * \frac{x}{100} + 6.9 * \frac{y}{100} = 5.1$$

$$x + y = 100$$

Proporción de la arena: $x = 40\%$

Proporción de árido grueso: $y = 60\%$

7. Calcular las cantidades de agua, cemento y áridos necesarias para obtener un metro cúbico de hormigón.

Cantidad de agua: $A = 205 \text{ ltrs.}$

Cantidad de cemento: $C = 315 \text{ kg.}$

Peso específico del cemento: $\rho = 2.98 \text{ gr./cm}^3$

Peso específico de la arena: $\rho_1 = 2.59 \text{ gr./cm}^3$

Peso específico de árido grueso: $\rho_2 = 2.68 \text{ gr./cm}^3$

G1 y G2 pesos de arena y grava, en kg. por m³ de hormigón.

Proporción de la arena: $x = 40\%$

Proporción de árido grueso: $y = 60\%$

$$A + \frac{C}{\rho} + \frac{G_1}{\rho_1} + \frac{G_2}{\rho_2} = 1025$$
$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{x}{y}$$

Reemplazando valores y resolviendo el sistema.

$$205 + \frac{315}{2.98} + \frac{G_1}{2.59} + \frac{G_2}{2.68} = 1025$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{40}{60}$$

Cantidad de Arena: $G_1 = 757.45 \text{ kg.}$

Cantidad de Grava: $G_2 = 1130.53 \text{ kg.}$

Correcciones por humedad y absorción de los áridos.

Arena $G_1*(1+(w_1(\text{humedad})))$

Arena..... $757.53*(1+0.0048) = 761.16 + 3.25 = 764.41 \text{ kg.}$

Grava..... $G_2*(1+(w_2(\text{humedad})))$

Grava..... $1130.53*(1+0.001) = 1131.66 + 1.85 = 1133.51 \text{ kg.}$

Agua..... $205 - (3.25 + 1.85) = 205 - 5.1 = 200 \text{ ltrs.}$

Proporciones Finales:

Agua.....200 lts.

Cemento.....315 kg.
Arena.....764.41kg.
Grava.....1133.51 kg.

Dosificación estándar:

Agua..... 0.63
Cemento..... 1.00
Arena..... 2.4
Grava..... 3.59

8. Efectuar unas masas de prueba para comprobar si el hormigón obtenido tiene las características deseadas, y en caso contrario, realizar las correcciones necesarias.

4.5 ELABORACIÓN DE HORMIGONES Y TOMA DE MUESTRAS.

El hormigón se lo amasó en una hormigonera con capacidad de 6 probetas, de manera que se logre homogeneidad en la mezcla.

4.5.1 Amasado. El procedimiento de amasado se ha establecido fijando unos tiempos de amasado y unos criterios de aceptación del hormigón. La humedad de los áridos ha sido determinada (previamente para cada amasada) y se han realizado correcciones por humedad a las dosificaciones de cada una de las amasadas. Una vez encendido el motor de la hormigonera con las palas de la amasadora en movimiento se fabrica el hormigón del siguiente modo:

Minuto 0 Adición de grava y arena (orden de tamaño descendente) en 50% de ambos áridos
Minuto 2 Adición del cemento en un 50 %
Minuto 4 Vertido del agua (durante 1 minuto) en una cantidad del 50 %
Minuto 8 Adición de las fibras metálicas (durante ½ minuto) de forma homogénea

Minuto 12 Fin de amasado (fibras adecuadamente dispersas) control consistencia

El control de la consistencia del hormigón fresco se ha realizado mediante el método del Cono de Abrams Norma ASTM C-143. Y con este valor se determina la trabajabilidad de la mezcla.

Una vez concluidos estos pasos se procede a fabricar las probetas cilíndricas de hormigón, basándose en el procedimiento indicado en la Norma ASTM 192 “Práctica para Fabricar y Curar Probetas Cilíndricas de Hormigón en el Laboratorio”.

Transcurridas las 24 horas de fabricación de las probetas estándar, se procede a desencofrar las probetas; es decir, a retirar el molde metálico tomando la precaución de no romper o despostillar los filos de los cilindros, los moldes deberán ser limpiados correctamente y sometidos a un nuevo engrasado, para ser reutilizados.

4.5.2 Hormigonado Con los moldes (con desencofran té) y el hormigón previamente preparados se procede al hormigonado mediante vertido directo. Las probetas (prismas 150x150x600 mm) se hormigonan siguiendo las recomendaciones de la UNE-EN 14651:2007 + A1:2008:

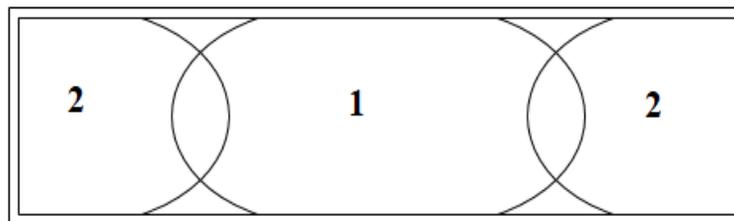


Figura 5: Secuencia de llenado del molde (UNE-EN 14651:2007 + A1:2008)

1. Se distinguen dos zonas: la zona central (1) y las zonas extremas (2).
2. La cantidad de hormigón vertido en la zona 1 debe ser aproximadamente el doble de la vertida en una zona 2.

3. Llenado de zona central del molde (zonas 1).
4. Llenado de zonas extremas del molde (zonas 2).
5. El molde se llena, antes de compactar con varilla energética, hasta el 90% de su capacidad.
6. La compactación se realiza mediante vibración externa (martillo de goma) y varilla metálica durante 20 segundos.
7. Durante la compactación se rellena la cantidad faltante de hormigón.

4.6 ALMACENAMIENTO DE PROBETAS EN LA CÁMARA DE HUMEDAD.

Una vez desencofrados los cilindros de hormigón, estos pasaron por un riguroso proceso de curado.

El desarrollo potencial de resistencias del hormigón y su durabilidad se producen gracias a la reacción química del agua con el cemento; por lo tanto será útil proteger el hormigón durante el tiempo necesario para que adquiera las resistencias requeridas en condiciones de humedad y temperatura en un proceso continuo que se denomina curado.

El curado depende de dos factores que son:

4.6.1 Humedad. - Si sabemos que la resistencia es producto de la reacción química del agua con el cemento, para que se desarrolle todo el potencial de resistencia del cemento, debemos mantener suficiente suministro de agua para que el hormigón en lo posible esté saturado 100% de humedad o cerca de ello, ya que sólo así evitaremos pérdida de humedad de la superficie del hormigón por evaporación.

4.6.2 Temperatura. - Su influencia en el desarrollo de resistencia es importante, por ello es recomendable en lo posible mantener una condición de temperatura cercana a los 20 ° C; ó tratando de evitar que sean inferiores a 10 ° C. Cuando los diferenciales de temperatura del hormigón sean muy grandes, seguro favorecerá la pérdida de humedad por evaporación.

Relacionando lo expuesto anteriormente, hay tres condiciones básicas:

- Los hormigones deben estar suficientemente húmedos para garantizar la hidratación del cemento.
- Una temperatura adecuada que le permitirá una buena hidratación del cemento.
- Oportunidad en la iniciación del curado: se recomienda iniciar lo más pronto posible; en el hormigón es factible hacerlo tan pronto éste reabsorbe el agua de exudación.

4.7 RELACIÓN ENTRE EL CURADO Y DESARROLLO DE RESISTENCIAS.

Si sabemos que la reacción química del agua con el cemento desarrolla resistencia, en los primeros 7 días de edad prácticamente desarrollará cerca del 70% de la resistencia especificada para los 28 días; es decir, esto se cumplirá si se dio un curado adecuado. Este mejoramiento crece rápidamente a edades tempranas y continúa, más lentamente, por un lapso indefinido, como muestra la figura 5.2, para la resistencia a la compresión.

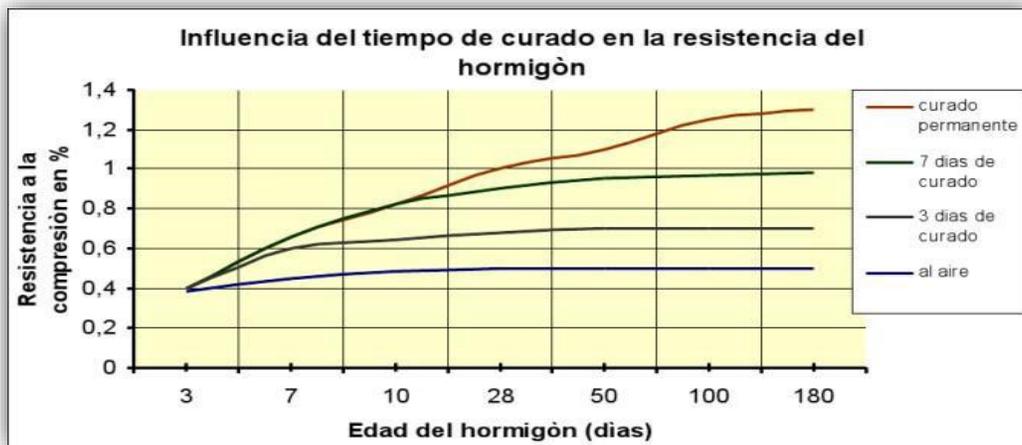


Figura N°6: Influencia del Curado en la Resistencia del Hormigón.

Como podemos apreciar, **el curado continuo** permite que el hormigón desarrolle el máximo de su resistencia potencial; es decir **no se debe permitir que el hormigón se seque en ningún momento**. Si permitimos que el hormigón se seque, se detiene por completo la reacción química del agua con el cemento y deja de ganar resistencia. Mojar el hormigón después de que se haya secado sólo permite rescatar una pequeña parte de su resistencia

potencial, de ninguna manera se va a conseguir recuperar la resistencia que podría tener la mezcla con el curado continuo.

Nuestras probetas de hormigón deben ser curadas en la cámara de humedad, a una temperatura de 20 ± 2 °C y 95 ± 5 % de humedad a las 24 hrs. del moldeo y permanecer allí hasta el momento de los ensayos, estos parámetros representan condiciones óptimas de curado.

4.8 ANÁLISIS DE COSTOS.

Contextualización.

El tema de costos para la fabricación de un hormigón es muy importante. En el intervienen principalmente el costo de los materiales para la elaboración de hormigones estos costos vienen asociados directamente. Ya que el hormigón es uno de los rubros más significantes en el costo directo de los proyectos. Una de las tecnologías alternativas para ser utilizadas en la elaboración del hormigón son las fibras metálicas que tienen como fin mejorar las características mecánicas del hormigón y reducir espesores y por tanto el costo. La investigación se basa en el costo final del hormigón por metro cúbico sin y con la fibra, para el análisis se consideran los costos de los insumos utilizados para elaboración del hormigón, tanto para el hormigón patrón como el hormigón mejorado con fibras metálicas.

Costo del hormigón con fibra.

El costo del hormigón por metro cúbico es un dato muy importante en este análisis. Ya que en un proyecto se requiere mayor resistencia del hormigón y por lo tanto será mayor el costo por metro cúbico, porque la resistencia esta comandada por la relación agua cemento, a mayor resistencia mayor cantidad de cemento, por lo tanto, si reducimos espesores de hormigón mejorado con fibras metálicas esto se traduciría en una reducción de costos, pero con una resistencia alta, ya que en un proyecto de construcción pues ofrece una serie de ventajas que lo hace muy atractivo. Las presentaciones de las fibras vienen en bolsas de 10 kg el costo por bolsa es de 170 bs.

CAPITULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Cronograma de ensayos y pruebas ejecutadas.

5.1.1 Tiempo para la elaboración de ensayos.

El tiempo para realizar los ensayos los ensayos tanto a compresión y flexión simple a diferentes edades del hormigón fueron, de 7, 14 y 28 días respectivamente; evaluándose la curva tiempo vs resistencia.

Una vez que los cilindros fueron sacados de la cámara de curado se los dejó secar por el lapso de 24 hrs antes de su rotura, se tomaron los pesos respectivos de cada cilindro para posteriormente realizar el ensayo de compresión en la prensa, este proceso nos sirve para evaluar la resistencia del hormigón ensayado a los 7, 14 y 28 días. De igual manera se procedió al ensayo de vigas prismáticas

5.2 Resistencia a la Compresión a los 7, 14, 28 días.

Las probetas estándar que fueron ensayadas aplicando la carga de compresión a la rotura, siguiendo los procedimientos de las Norma ASTM C-39.

Respecto a la máquina universal, se puede utilizar cualquier tipo de máquina de ensayo capaz de imponer una carga a la velocidad constante, de tal manera que no aparezca otra variable en nuestra investigación.

5.3 Resistencia a Flexión Simple. Ensayo de flexión fue realizado con una maquina universal de ensayos, calibrada contra una celda de carga patrón, debidamente calibrada.

Los resultados presentados en el informe, son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

5.4 Ensayo de Muestras a Compresión.



COMPRESION EN CILINDROS CON MEZCLAS DEFINITIVAS

Edad del cilindro de hormigón: 7 días

Procedencia: La Ventolera

Resistencia a la compresión requerida: 21 Mpa.

Revenimiento: 5.4cm

Norma: ASTM C-39

Fecha: 5/11/18

Tabla N°21: Ensayo de Compresión en Cilindros Para 7 días con fibra 25 kg/m³

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
		Elaborado	Ensayo				Días	Kg
1.a.(25)	15.00	28/9/2018	05/10/2018	7	36383.47	175,15	20.77	98.92
	14.80							
	15.00							
2.a.(25)	15.10	28/9/2018	05/10/2018	7	35180.2	178,29	19.73	93.96
	15.20							
	14.90							
3.a.(25)	14.80	28/9/2018	05/10/2018	7	35372.93	177,50	19.93	94.90
	15.00							
	15.30							
4.a.(25)	15.20	28/9/2018	05/10/2018	7	36834.18	179,08	20.57	97.95
	15.20							
	14.90							
PROMEDIO							20.25	96.43

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



COMPRESION EN CILINDROS CON MEZCLAS DEFINITIVAS

Edad del cilindro de hormigón: 7 días

Procedencia: La Ventolera

Resistencia a la compresión requerida: 21 Mpa.

Revenimiento: 4.9 cm

Norma: ASTM C-39

Fecha: 5/11/18

Tabla N°22: Ensayo de Compresión en Cilindros para 7 días con fibra 40 kg/m³

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
1.b.(40)	15.20	01/10/2018	08/10/2018	7	36834.18	179,08	20.32	96.74
	15.20							
	14.90							
2.b.(40)	15.30	01/10/2018	08/10/2018	7	36220.31	178,29	20.62	98.21
	14.90							
	15.00							
3.b.(40)	15.20	01/10/2018	08/10/2018	7	37423.58	181,46	20.88	99.42
	15.10							
	15.30							
4.b.(40)	15.30	01/10/2018	08/10/2018	7	37555.12	179,87	20.92	99.61
	15.10							
	15.00							
PROMEDIO							20.68	98.49

Ciro Cabezas Arroyo
 LABORATORISTA

Fernando Colque
 JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
 JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



COMPRESION EN CILINDROS CON MEZCLAS DEFINITIVAS

Edad del cilindro de hormigón: 7 días

Procedencia: La Ventolera

Resistencia a la compresión requerida: 21 Mpa.

Revenimiento: 4. cm

Norma: ASTM C-39

Fecha: 5/11/18

Tabla N°23: Ensayo de Compresión en Cilindros para 7 días con fibra 70 kg/m³

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
1.c.(70)	15.10	02/10/2018	09/10/2018	7	38888.91	179,47	21.67	103.18
	15.20							
	15.05							
2.c.(70)	15.10	02/10/2018	09/10/2018	7	39249.89	180,66	21.73	103.45
	15.20							
	15.20							
3.c.(70)	15.00	02/9/2018	09/10/2018	7	38799.17	179,87	21.57	102.72
	15.10							
	15.30							
4.c.(70)	15.20	02/10/2018	09/10/2018	7	37681.57	180,66	20.86	99.32
	15.40							
	14.90							
PROMEDIO							21.45	102.16

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



Laboratorio de Ensayo de Materiales

COMPRESION EN CILINDROS CON MEZCLAS DEFINITIVAS

Edad del cilindro de hormigón: 14 días

Procedencia: La Ventolera

Resistencia a la compresión requerida: 21 Mpa.

Revenimiento: 5.4 cm

Norma: ASTM C-39

Fecha: 6/11/18

Tabla N°24: Ensayo de Compresión en Cilindros para 14 días con fibra 25 kg/m³

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
1.d.(25)	15.30	02/9/2018	16/10/2018	14	39391.63	184,66	21.33	101.58
	15.50							
	15.20							
2.d.(25)	15.50	02/9/2018	16/10/2018	14	40513.32	185,46	21.84	104.02
	15.30							
	15.30							
3.d.(25)	15.30	02/9/2018	16/10/2018	14	39231.53	182,26	21.53	102.50
	15.40							
	15.00							
4.d.(25)	15.10	02/9/2018	16/10/2018	14	39376.33	179,87	21.89	104.25
	15.10							
	15.20							
PROMEDIO							21.64	103.08

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



COMPRESION EN CILINDROS CON MEZCLAS DEFINITIVAS

Edad del cilindro de hormigón: 14 días

Procedencia: La Ventolera

Resistencia a la compresión requerida: 21 Mpa.

Revenimiento: 4.9 cm

Norma: ASTM C-39

Fecha: 6/11/18

Tabla N°25: Ensayo de Compresión en Cilindros para 14 días con fibra 40 kg/m³

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
1.e.(40)	15.10	04/10/2018	20/10/2018	14	43439.9	183.05	23.73	113.00
	15.40							
	15.30							
2.e.(40)	14.90	04/10/2018	20/10/2018	14	42603.73	180.66	23.58	112.29
	15.20							
	15.40							
3.e.(40)	15.50	04/10/2018	20/10/2018	14	43606.12	184.66	23.61	112.45
	15.20							
	15.30							
4.e.(40)	15.30	04/10/2018	20/10/2018	14	43865.12	184.66	23.76	113.12
	15.20							
	15.50							
PROMEDIO						23.67	112.71	

Ciro Cabezas Arroyo
 LABORATORISTA

Fernando Colque
 JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
 JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES

COMPRESION EN CILINDROS CON MEZCLAS DEFINITIVAS

Edad del cilindro de hormigón: 14 días

Procedencia: La Ventolera

Resistencia a la compresión requerida: 21 Mpa.

Revenimiento: 6.4 cm

Norma: ASTM C-39

Fecha: 6/11/18

Tabla N°26: Ensayo de Compresión en Cilindros para 14 días con fibra 70 kg/m³

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
1.f.(70)	15.30	04/10/2018	20/10/2018	14	44459.62	184.66	24.08	114.65
	15.50							
	15.20							
2.f.(70)	15.20	04/10/2018	20/10/2018	14	45162.2	183.85	24.56	116.97
	15.30							
	15.40							
3.f.(70)	15.30	04/10/2018	20/10/2018	14	45643.51	184.66	24.72	117.71
	15.40							
	15.30							
4.f.(70)	15.30	04/10/2018	20/10/2018	14	44440.24	184.66	24.07	114.60
	15.30							
	15.40							
						PROMEDIO	24.35	115.9

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



COMPRESION EN CILINDROS CON MEZCLAS DEFINITIVAS

Edad del cilindro de hormigón: 28 días

Procedencia: La Ventolera

Resistencia a la compresión requerida: 21 Mpa.

Revenimiento: 5.5 cm

Norma: ASTM C-39

Fecha: 5/11/18

Tabla N°27: Ensayo de Compresión en Cilindros para 28 días con fibra 25 kg/m³

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
1.g.(25)	15.30	3/10/2018	31/10/2018	28	44705.4	184.66	24.21	115.29
	15.40							
	15.30							
2.g.(25)	15.30	3/10/2018	31/10/2018	28	43225.8	184.66	23.41	111.47
	15.40							
	15.30							
3.g.(25)	15.40	3/10/2018	31/10/2018	28	43466.4	185.46	23.44	111.61
	15.30							
	15.40							
4.g.(25)	15.30	3/10/2018	31/10/2018	28	45205	184.66	24.48	116.57
	15.40							
	15.30							
PROMEDIO						23.88	113.73	

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES

COMPRESION EN CILINDROS CON MEZCLAS DEFINITIVAS

Edad del cilindro de hormigón: 28 días

Procedencia: La Ventolera

Resistencia a la compresión requerida: 21 Mpa.

Revenimiento: 4.8 cm

Norma: ASTM C-39

Fecha: 5/11/18

Tabla N°28: Ensayo de Compresión en Cilindros para 28 días con fibra 40 kg/m³

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
1.h.(40)	15,10	05/10/2018	03/11/2018	28	45887,2	178,29	25,74	122,56
	15,10							
	15,00							
2.h.(40)	15,10	05/10/2018	03/11/2018	28	46031	179,87	25,59	121,86
	15,10							
	15,20							
3.h.(40)	15,10	05/10/2018	03/11/2018	28	46373,6	179,87	25,78	122,77
	15,20							
	15,10							
4.h.(40)	15,10	05/10/2018	03/11/2018	28	46085,1	179,87	25,62	122,01
	15,10							
	15,20							
PROMEDIO							25.68	122.3

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



COMPRESION EN CILINDROS CON MEZCLAS DEFINITIVAS

Edad del cilindro de hormigón: 28 días

Procedencia: La Ventolera

Resistencia a la compresión requerida: 21 Mpa.

Revenimiento: 3.9 cm

Norma: ASTM C-39

Fecha: 5/11/18

Tabla N°29: Ensayo de Compresión en Cilindros Para 28 días con fibra 70 kg/m³

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
1.i.(70)	15,20	05/10/2018	03/11/2018	28	46085,1	179,87	27,58	131,34
	15,10							
	15,10							
2.i.(70)	15,00	05/10/2018	03/11/2018	28	49609,2	179,87	27,88	132,76
	15,10							
	15,00							
3.i.(70)	15,20	05/10/2018	03/11/2018	28	45686,3	177,50	27,81	132,43
	15,00							
	15,30							
4.i.(70)	15,20	05/10/2018	03/11/2018	28	50241,4	180,66	27,40	130,48
	15,10							
	15,10							
PROMEDIO							27.66	131.75

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



COMPRESION EN CILINDROS CON MEZCLAS DEFINITIVAS

Edad del cilindro de hormigón: 7 días

Procedencia: La Ventolera

Resistencia a la compresión requerida: 21 Mpa.

Revenimiento: 6.5 cm

Norma: ASTM C-39

Fecha: 5/11/18

Tabla N°30: Ensayo de Compresión en Cilindros para 7 días sin fibra

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
1.j.	15.30	04/10/2018	11/10/2018	7	29051.7	184.66	15.73	74.92
	15.30							
	15.40							
2.j.	15.30	04/10/2018	11/10/2018	7	29624.8	184.66	16.04	76.40
	15.40							
	15.30							
3.j.	15.40	04/10/2018	11/10/2018	7	29458.6	185.46	15.88	75.64
	15.30							
	15.40							
PROMEDIO						15.88	75.65	

Ciro Cabezas Arroyo
 LABORATORISTA

Fernando Colque
 JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
 JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



COMPRESION EN CILINDROS CON MEZCLAS DEFINITIVAS

Edad del cilindro de hormigón: 14 días

Procedencia: La Ventolera

Resistencia a la compresión requerida: 21 Mpa.

Revenimiento: 6.4 cm

Norma: ASTM C-39

Fecha: 5/11/18

Tabla N°31: Ensayo de Compresión en Cilindros para 14 días sin fibra

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
1.k.	15.10	3/10/2018	17/10/2018	14	33285.6	180.66	18.42	87.73
	15.20							
	15.20							
2.k.	15.20	3/10/2018	17/10/2018	14	33934.1	180.66	18.78	89.44
	15.10							
	15.20							
3.k.	15.10	3/10/2018	17/10/2018	14	33735.3	180.66	18.67	88.92
	15.20							
	15.20							
PROMEDIO							18.62	88.67

Ciro Cabezas Arroyo
 LABORATORISTA

Fernando Colque
 JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
 JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES

COMPRESION EN CILINDROS CON MEZCLAS DEFINITIVAS

Edad del cilindro de hormigón: 28 días

Procedencia: La Ventolera

Resistencia a la compresión requerida: 21 Mpa.

Revenimiento: 6.6 cm

Norma: ASTM C-39

Fecha: 5/11/18

Tabla N°32.- Ensayo de Compresión en Cilindros para 28 días sin fibra.

NOMBRE	DIÁMETRO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	
	cm	Elaborado	Ensayo	Días	Kg	cm ²	Mpa	(%)
1.I.	14.90	3/10/2018	04/11/2018	28	33285.6	175.93	21.80	103.81
	15.00							
	15.00							
2.I.	15.20	3/10/2018	04/11/2018	28	39682.3	183.85	21.58	102.78
	15.30							
	15.40							
3.I.	15.40	3/10/2018	04/11/2018	28	39664.9	185.46	21.39	101.84
	15.40							
	15.30							
PROMEDIO							21.59	102.81

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA

De los ensayos realizados a compresión en promedio sin fibra del estudio son los siguientes.

<u>Intervalo en</u>	<u>Prom. Resistencia</u>	<u>Promedio</u>
<u>Días</u>	<u>a la Compresión</u>	<u>%</u>
14	190	89
28	220	103

Tabla N°33: Hormigón convencional sin fibra en estudio

Por lo tanto, se puede apreciar que los resultados obtenidos sin fibra con respecto a lo normal, Son mayores a la tabla elaborada por el ACI, varía de (4% a 5%) según las etapas

Resumen de resultados de muestras con Fibras Metálicas

<u>Intervalo en</u>	<u>Prom. Resistencia</u>	<u>Promedio</u>
<u>Días</u>	<u>a la Compresión</u>	<u>%</u>
14	221	103
28	243	114

Tabla N° 34: Para dosificación de 25 kg /m3

<u>Intervalo en</u>	<u>Prom. Resistencia</u>	<u>Promedio</u>
<u>Días</u>	<u>a la Compresión</u>	<u>%</u>
14	241	113
28	261.83	122.3

Tabla N° 35: Para dosificación de 40 kg /m3

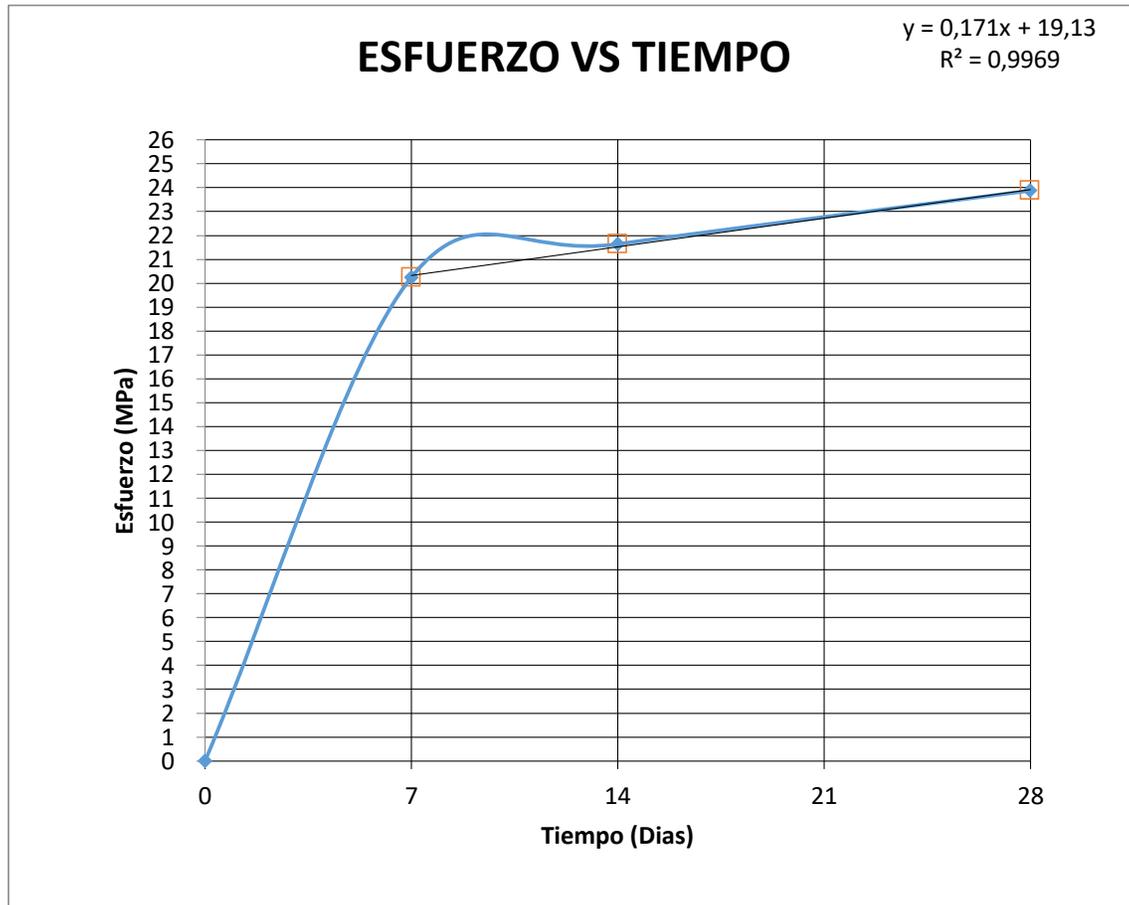
<u>Intervalo en</u>	<u>Prom. Resistencia</u>	<u>Promedio</u>
<u>Días</u>	<u>a la Compresión</u>	<u>%</u>
14	248	116
28	282.05	132

Tabla N° 36: Tabla Para dosificación de 70 kg /m3

Esfuerzo del hormigón en función del tiempo para fck= H21 (210 kg/cm²)

ESFUERZO VS TIEMPO				
Tiempo [Días]	0	7	14	28
Esfuerzo f'ck [Mpa]	0	20.25	21.64	23.88

Tabla N°37: Esfuerzo vs Tiempo



GráficoN°3: Diagrama de Esfuerzo vs Tiempo (con 25 kg de Fibra)

Esfuerzo del hormigón en función del tiempo para fck= H21 (210 kg/cm²)

ESFUERZO (%) VS TIEMPO				
Tiempo [Días]	0	7	14	28
Esfuerzo f'ck [%]	0	96.43	103.08	113.73

Tabla N°38: Esfuerzo (%) vs Tiempo

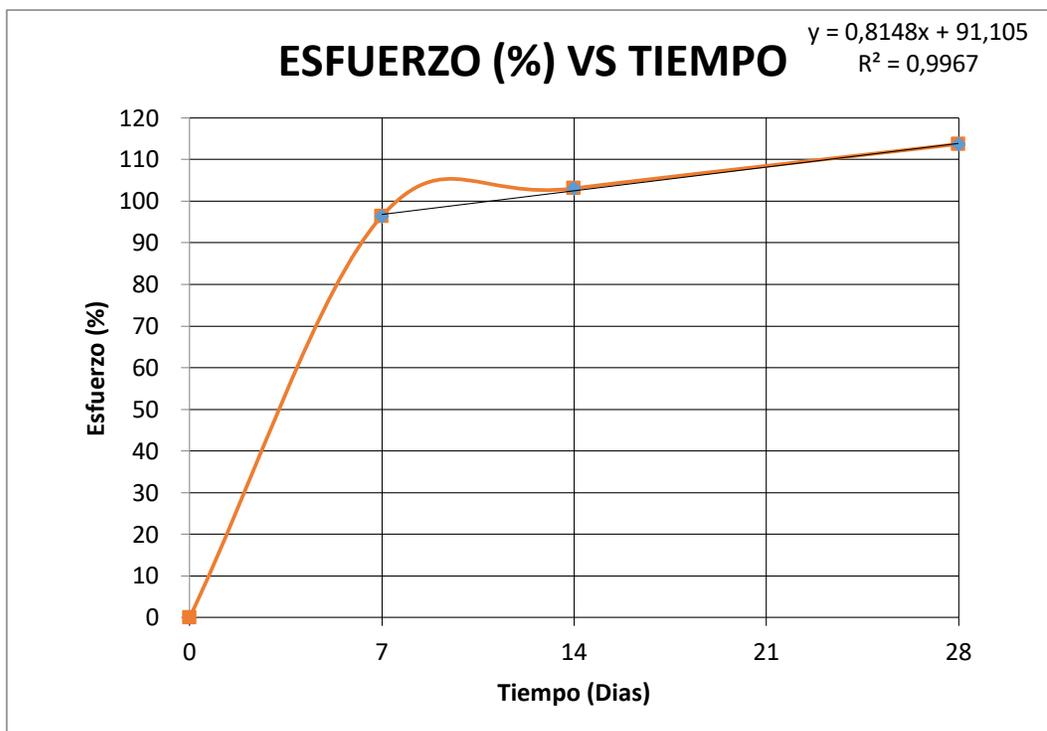


Gráfico N° 4: Diagrama de Esfuerzo vs Tiempo (con 25 kg de Fibra)

Esfuerzo del hormigón en función del tiempo para fck= H21 (210 kg/cm²)

ESFUERZO VS TIEMPO				
Tiempo [Días]	0	7	14	28
Esfuerzo f'ck [Mpa]	0	20.68	23.67	25.68

Tabla N°38: Esfuerzo vs Tiempo

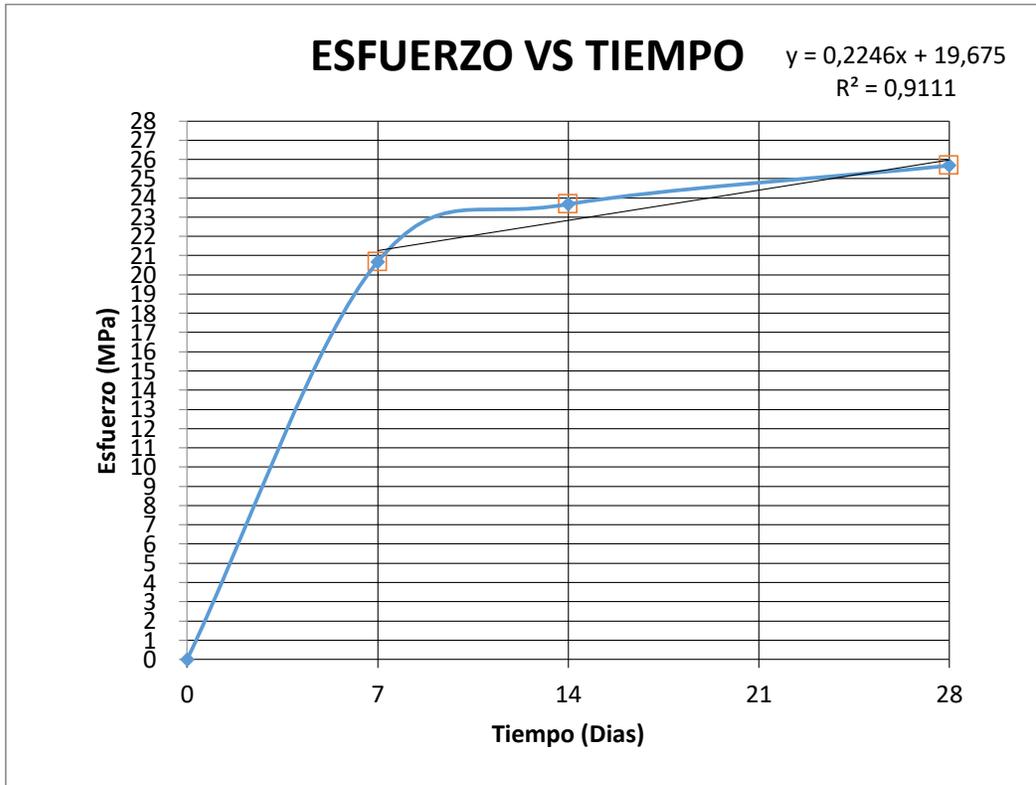
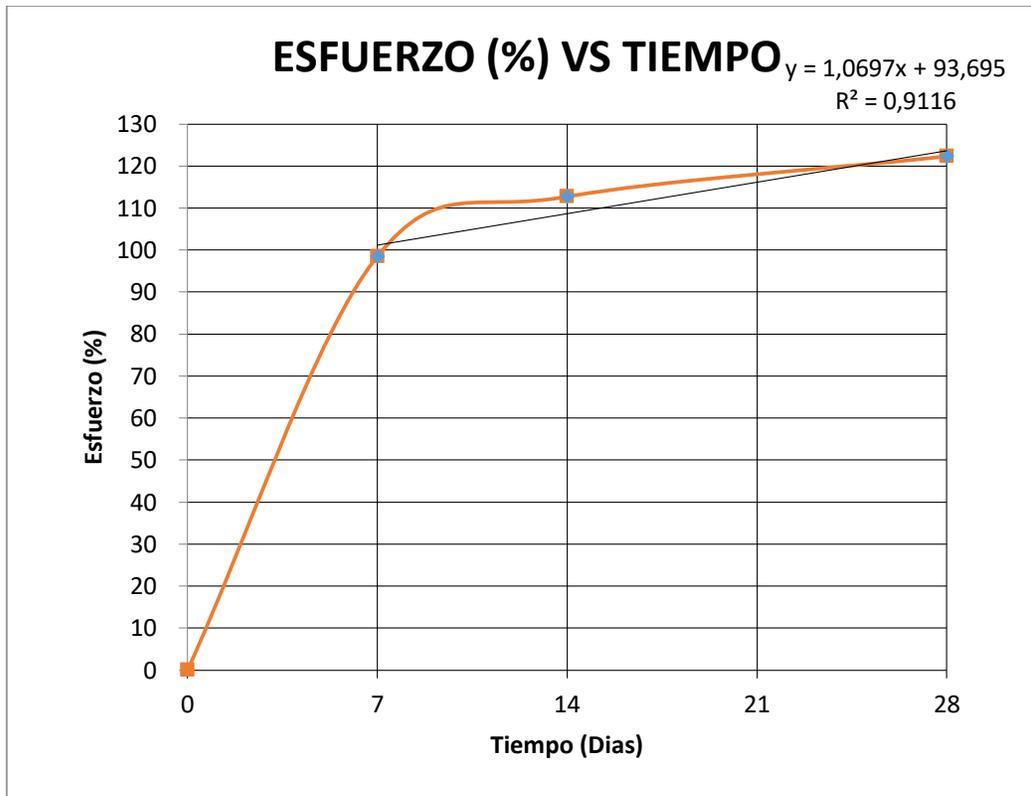


Gráfico N° 5: Diagrama de Esfuerzo vs Tiempo (con 40 kg de Fibra)

Esfuerzo del hormigón en función del tiempo para fck= H21 (210 kg/cm²)

ESFUERZO (%) VS TIEMPO				
Tiempo [Días]	0	7	14	28
Esfuerzo f'ck [%]	0	98.49	112.71	122.3

Tabla N°39: Esfuerzo (%) vs Tiempo



GráficoN°6: Diagrama de Esfuerzo vs Tiempo (con 40 kg de Fibra)

Esfuerzo del hormigón en función del tiempo para fck= H21 (210 kg/cm²)

ESFUERZO VS TIEMPO				
Tiempo [Días]	0	7	14	28
Esfuerzo f'ck [Mpa]	0	21.45	24.35	27.66

Tabla N°40: Esfuerzo vs Tiempo

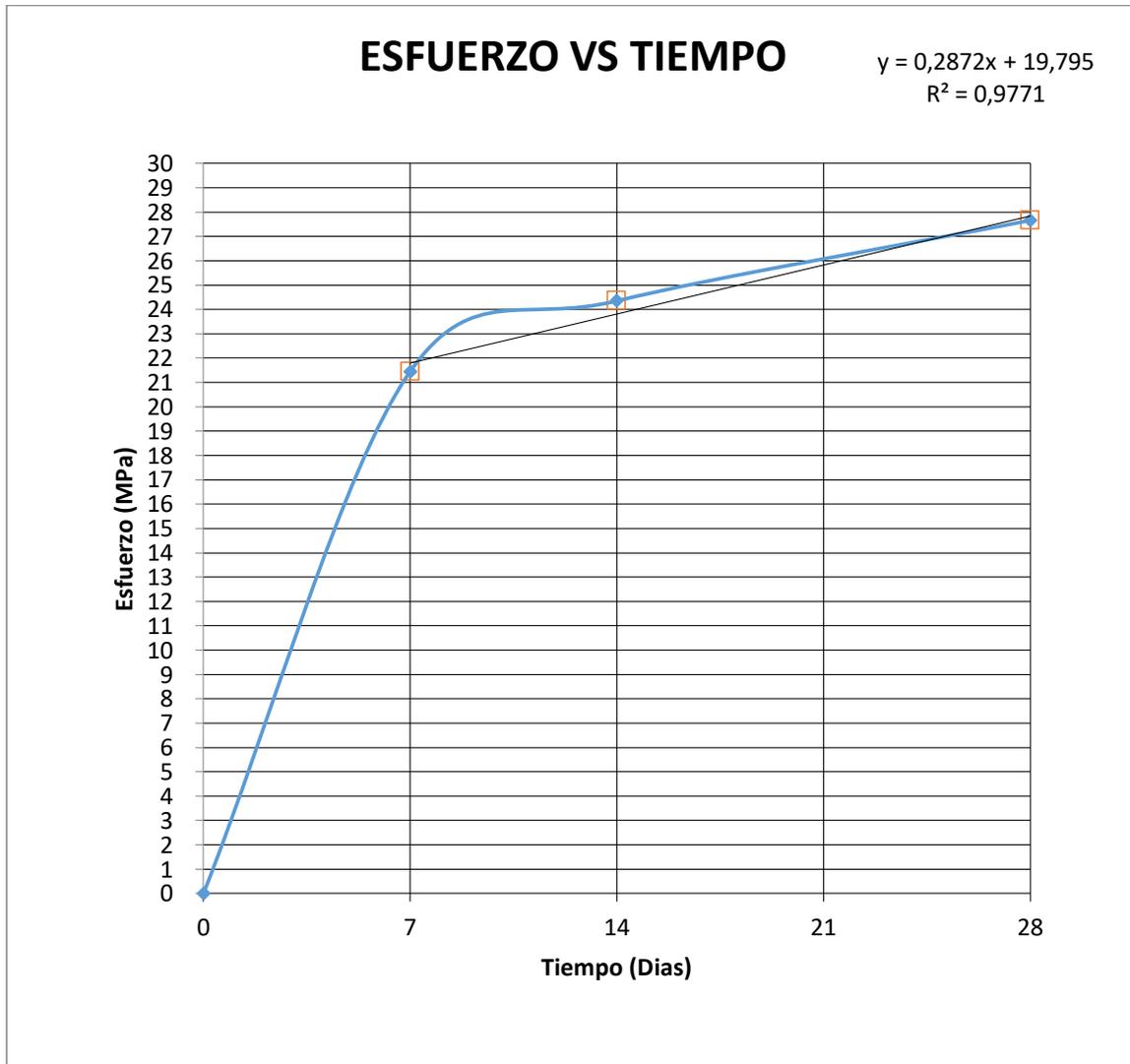


Gráfico N° 7: Diagrama de Esfuerzo vs Tiempo (con 70 kg de Fibra)

Esfuerzo del hormigón en función del tiempo para fck= H21 (210 kg/cm²)

ESFUERZO (%) VS TIEMPO				
Tiempo [Días]	0	7	14	28
Esfuerzo f'ck [%]	0	102.16	115.9	131.75

Tabla N°41: Esfuerzo (%) vs Tiempo

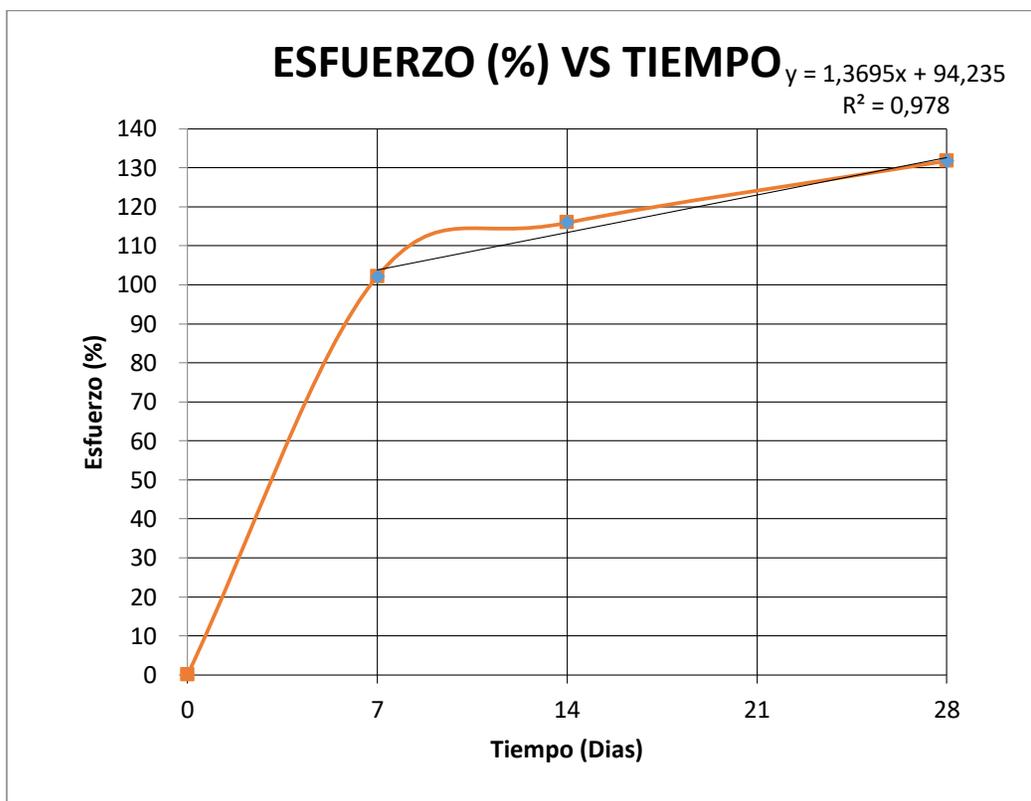


Gráfico N° 8: Diagrama de Esfuerzo vs Tiempo (con 70 kg de Fibra)

Esfuerzo del hormigón en función del tiempo para fck= H21 (210 kg/cm²)

ESFUERZO (%) VS TIEMPO				
Tiempo [Días]	0	7	14	28
Esfuerzo f'ck [%]	0	15.88	18.62	21.59

Tabla N°42: Esfuerzo (%) vs Tiempo

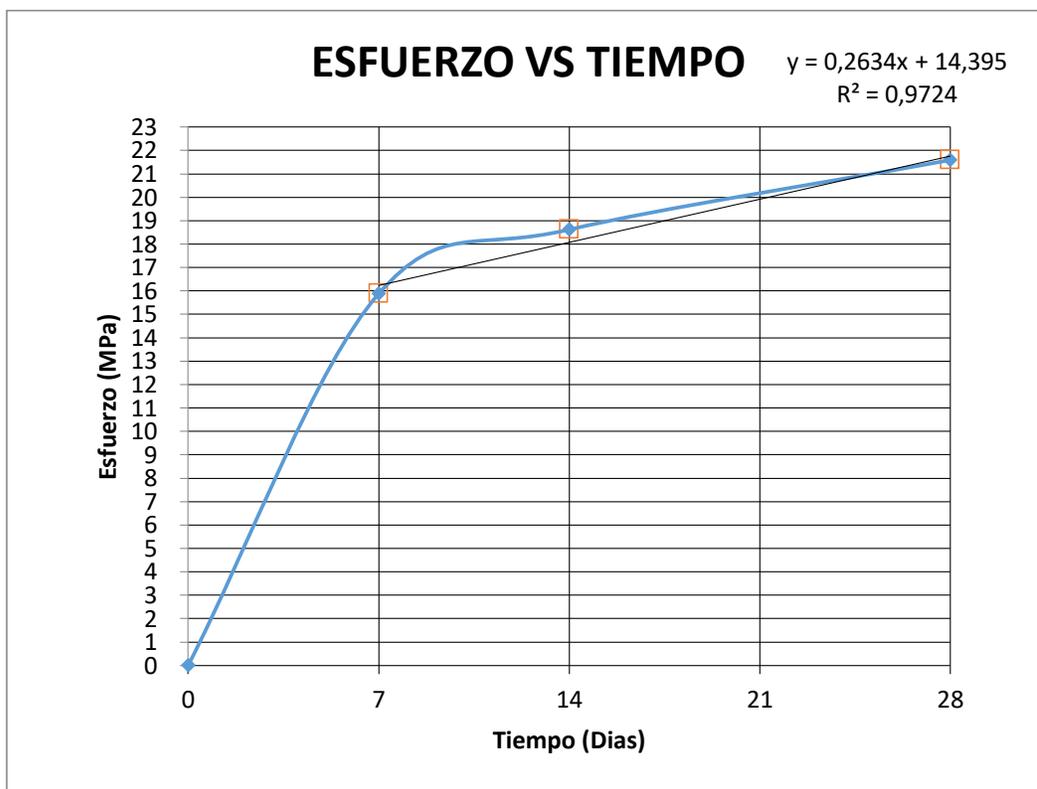


Gráfico N° 9: Diagrama de Esfuerzo vs Tiempo (sin fibra)

Esfuerzo del hormigón en función del tiempo para fck= H21 (210 kg/cm²)

ESFUERZO (%) VS TIEMPO				
Tiempo [Días]	0	7	14	28
Esfuerzo f'ck [%]	0	75.65	88.67	102.81

Tabla N°43: Esfuerzo (%) vs Tiempo

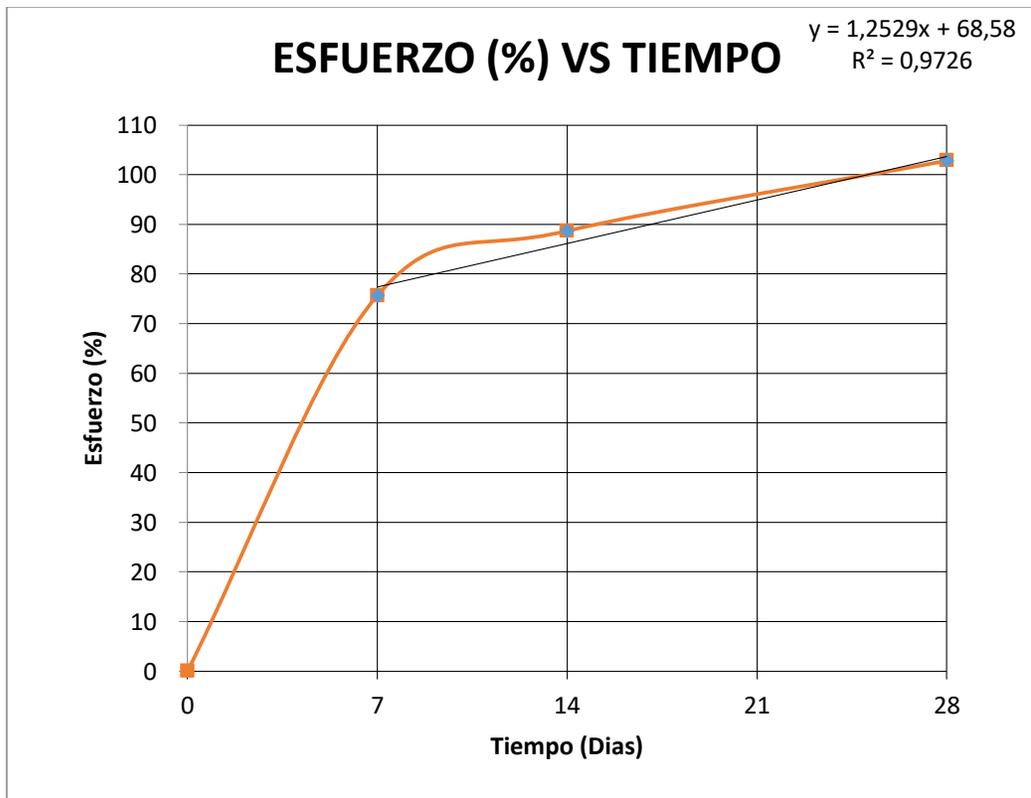


Gráfico N° 10: Diagrama de Esfuerzo vs Tiempo (sin fibra)

5.5 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN.

Para obtener un valor representativo de los ensayos realizados a las probetas, se puede determinar mediante la media aritmética f_{cm} de los n valores de rotura, representados por los 4 ensayos realizados, la cual no toma en cuenta la dispersión de los valores de resistencia obtenidos, y esto no reflejara la verdadera calidad del hormigón a ser estudiado.

Por lo tanto al adoptar la resistencia media como base de los cálculos, esto conduce a un coeficiente de seguridad variable en el cual, se tomó como base los valores de la media aritmética y se determinó el valor de la resistencia característica del hormigón, recomendado por Oscar Padilla.

5.5.1 Según Oscar Padilla

Este método consiste en determinar la resistencia característica, para ello se ordenan los valores de mayor a menor, de acuerdo a las resistencias a la compresión obtenidas al ensayar los cilindros de hormigón.

Habiendo ordenado los valores y teniendo el número total de ensayos, se procede a dividirlos en dos subgrupos, si el número de ensayos es impar, se eliminará el ensayo intermedio para poder tener de igual forma dos grupos de igual número de datos de resistencia.

Con estos dos subgrupos de datos de resistencias, se calculará el promedio de cada uno de ellos, valiéndonos del concepto de media aritmética para luego, con ayuda de la siguiente ecuación calcular el valor de la resistencia característica de los n ensayos.

La ecuación propuesta por Oscar Padilla es la siguiente:

$$f'_{ck} = 2 * f'_{cm1} - f'_{cm2}$$

Dónde:

f'_{ck} : Resistencia característica.

f'_{cm1} : Promedio de resistencia del primer subgrupo.

f'_{cm2} : Promedio de resistencia del segundo subgrupo.

Una vez definida la resistencia característica según Oscar Padilla, procedemos al cálculo, con los datos experimentales del diseño de mezclas de 21 MPa.

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA METODO DE OSCAR PADILLA (21 Mpa)

ORIGEN: La Ventolera

CILINDRO	RESISTENCIA
Nº	Mpa.
28a	24.21
28b	23.41
28c	23.44
28d	24.48

Tabla N°44: Resistencia Característica Método de Oscar Padilla

SUBGRUPO 1

CILINDRO	RESISTENCIA
Nº	Mpa
28i	24.48
28e	24.21

$$f'_{cm1} = 24.34 \text{ MPa}$$

SUBGRUPO 2

CILINDRO	RESISTENCIA
Nº	Mpa
28g	23.44
28f	23.41

$$f'_{cm2} = 23.42 \text{ MPa}$$

$$S = 0.542 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck \max} = 25.76 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck \text{ med}} = 25.22 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck \min} = 24.67 \text{ MPa}$$

CILINDRO	RESISTENCIA
Nº	Mpa.
28a	25.54
28b	25.59
28c	25.78
28d	25.62

Tabla N°45: Resistencia característica para dosificación de 40 kg /m3

SUBGRUPO 1

CILINDRO	RESISTENCIA
Nº	Mpa
28i	25.78
28e	25.74

$$f'_{cm1} = 25.76 \text{ MPa}$$

SUBGRUPO 2

CILINDRO	RESISTENCIA
Nº	Mpa
28g	25.62
28f	25.59

$$f'_{cm2} = 25.60 \text{ MPa}$$

$$S = 0.911 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck \max} = 26.83 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck \text{ med}} = 25.92 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck \min} = 25.01 \text{ MPa}$$

CILINDRO	RESISTENCIA
Nº	Mpa.
28a	27.58
28b	27.88
28c	27.81
28d	27.40

Tabla N°46: Resistencia característica para dosificación de 70 kg /m3

SUBGRUPO 1

CILINDRO	RESISTENCIA
Nº	Mpa
28i	27.88
28e	27.81

$$f'_{cm1} = 27.84 \text{ MPa}$$

SUBGRUPO 2

CILINDRO	RESISTENCIA
Nº	Mpa
28g	27.58
28f	27.40

$$f'_{cm2} = 27.49 \text{ MPa}$$

$$S = 0.219 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck \max} = 28.409 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck \text{ med}} = 28.19 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck \min} = 27.97 \text{ MPa}$$

Resumen de la Resistencia Característica Método de Oscar Padilla

Oscar padilla	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA f'_{ck} Diseño de mezcla para 21 (Mpa)
Resistencia media	23.88
Para 25 kg/m ³ de fibra	25.76
Resistencia media	25.68
Para 40 kg/m ³ de fibra	26.83
Resistencia media	27.66
Para 70 kg/m ³	28.40

Tabla N°47.- Resistencia Característica Método de Oscar Padilla

Fuente: Elaboración propia



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGONES Y RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYOS DE FLEXION EN MUESTRAS DE HORMIGON MEJORADO CON FIBRAS

Edad de la viga prismatica: 28 días

Origen: HIC CORPORATION

Norma: ASTM C-78

Fecha: 11/11/18

Tabla N°51: Muestras para ensayo a flexión

Nº	Descripción	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Fuerza KN	Kg.
1	Viga 1 (25 kg fibra) – 15,3 x 15,2	22/10/2018	19/11/2018	27.67	2821.55
2	Viga 2 (25 kg fibra) – 15,35x 15,2	22/10/2018	19/11/2018	28.59	2915.37
3	Viga 2(40 kg fibra) – 15,1 x 15,2	22/10/2018	19/11/2018	29.74	3032.64
4	Viga 2(40 kg fibra) – 15,2 x 15,2	22/10/2018	19/11/2018	30.58	3118.29
5	Viga 2(70kg fibra) – 15,3 x 15,4	23/10/2018	20/11/2018	32.79	3343.65
6	Viga 3(70 kg fibra) – 15,3 x 15,3	23/10/2018	20/11/2018	33.25	3390.56
7	Viga 3 (sin fibra) – 15,3 x 15,2	23/10/2018	20/11/2018	23.70	2416.73
8	Viga 3 (sin fibra) – 15,2 x 15,2	23/10/2018	20/11/2018	24.61	2509.52

Ciro Cabezas Arroyo
LABORATORISTA

Fernando Colque
JEFE TECNICO DE LABORATORIO

Ing. Moisés Díaz Ayarde
JEFE LAB. HORMIGONES - RESISTENCIA

5.6 Módulo de rotura a flexión

M_R = Módulo de Rotura

P = Es la carga máxima de rotura

L = Es la luz libre entre apoyo

b = Es el ancho del molde-Viga

h = Es la altura del molde-Viga

$$M_{R1} = \frac{2821.55 \times 46.5 \text{ cm.}}{15,3 \times (15,2)^2} = 37.116 \text{ Kg./cm}^2$$

$$M_{R2} = \frac{2915.37 \times 46.5 \text{ cm.}}{15,35 \times (15,2)^2} = 38.225 \text{ Kg./cm}^2$$

$$M_{R3} = \frac{3032.64 \times 46.5 \text{ cm.}}{15,1 \times (15,2)^2} = 39.68 \text{ Kg./cm}^2$$

$$M_{R4} = \frac{3118.29 \times 46.5 \text{ cm.}}{15,2 \times (15,2)^2} = 41.28 \text{ Kg./cm}^2$$

$$M_{R5} = \frac{3343.65 \times 46.5 \text{ cm.}}{15,3 \times (15,4)^2} = 43.129 \text{ Kg./cm}^2$$

$$M_{R6} = \frac{3390.56 \times 46.5 \text{ cm.}}{15,3 \times (15,3)^2} = 43.410 \text{ Kg./cm}^2$$

$$M_{R7} = \frac{2416.73 \times 46.5 \text{ cm.}}{15,3 \times (15,2)^2} = 31.790 \text{ Kg./cm}^2$$

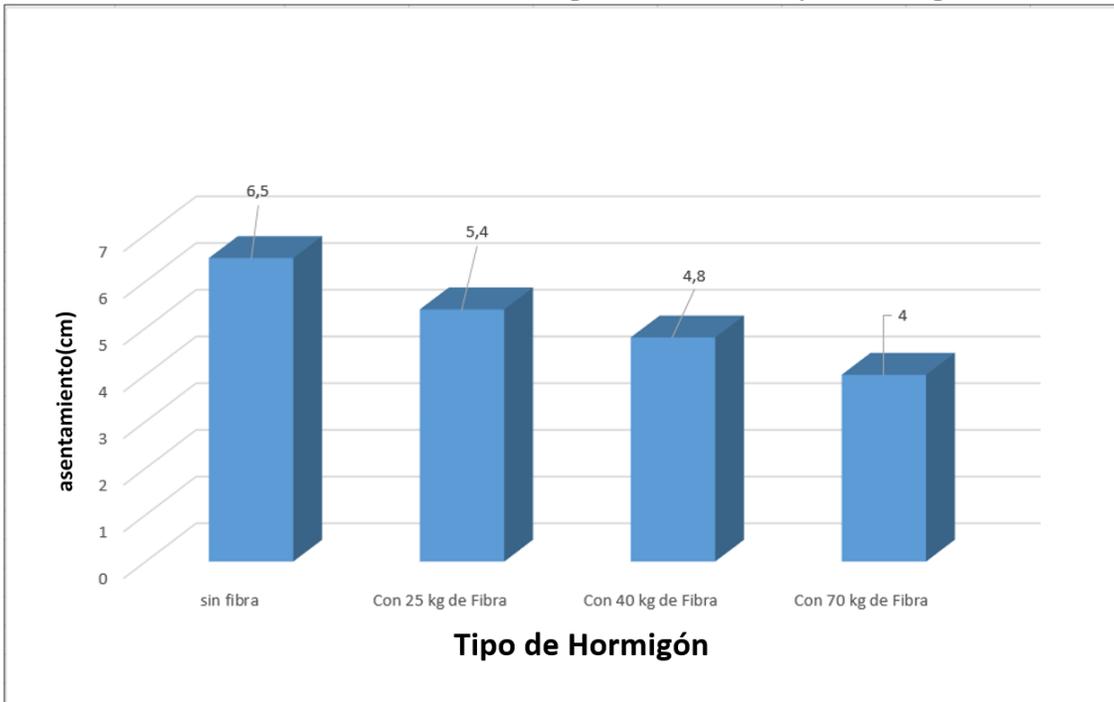
$$M_{R8} = \frac{2509.52 \times 46.5 \text{ cm.}}{15,2 \times (15,2)^2} = 33.22 \text{ Kg./cm}^2$$

5.6 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.

El estudio fue basado en la Hipótesis planteada, se comprobó realizando “Ensayos de Laboratorio y Gabinete”, que como resultado final vemos, que adicionando fibras metálicas al hormigón simple se logró incrementar su resistencia característica especificada de 21 Mpa para un hormigón tradicional en un porcentaje entre (16 % y 32 %). Por lo que podemos afirmar basándonos en dichos valores que la hipótesis planteada fue verificada obteniendo resultados satisfactorios.

ANÁLISIS FINAL DEL ESTUDIO MEDIANTE GRAFICAS

Análisis Gráfico de la Consistencia del Hormigón Convencional y el Hormigón con Fibra.



Gráfica N° 18: Resumen de gráficas a compresión

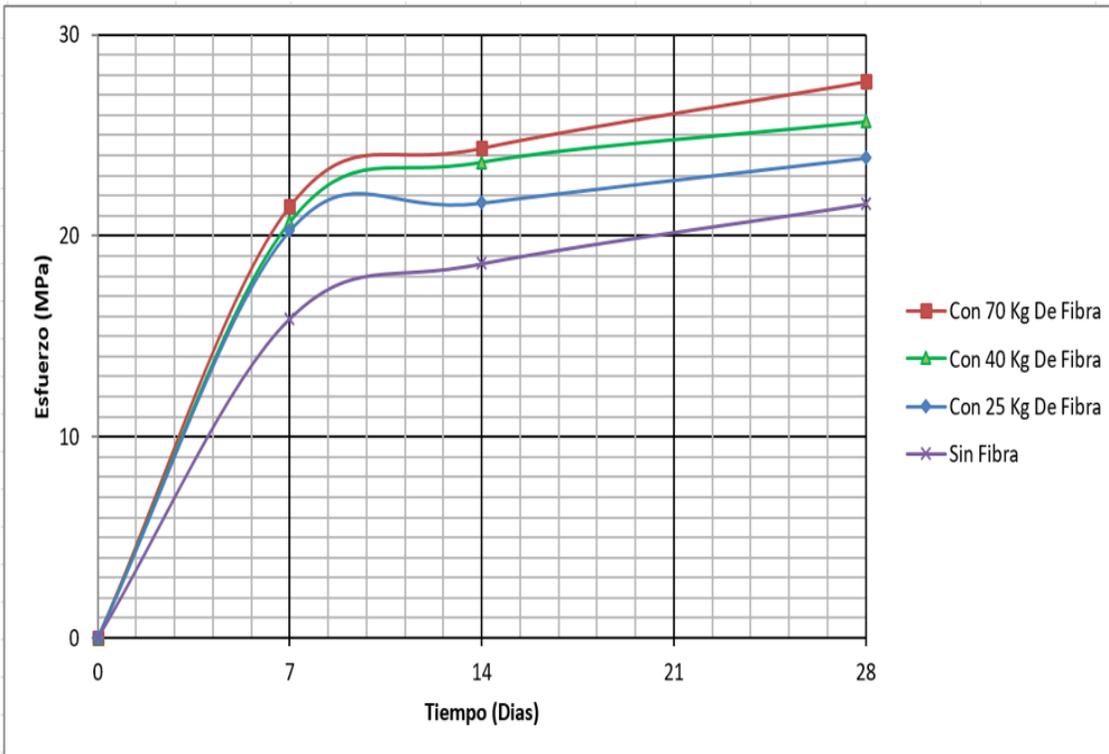
5.8 Análisis Gráfico de la Consistencia del Hormigón Convencional y el Hormigón con Fibra

Por la gráfica presente se muestran los valores medios de los asentamientos obtenidos con el ensayo del cono de Abrams mediante el cual observamos que para dosificaciones con mayor concentración de fibra estos valores del asentamiento disminuyen debido a la presencia de las fibras, lo cual significa que a mayor incremento de fibra la consistencia y la trabajabilidad del hormigón disminuyen.



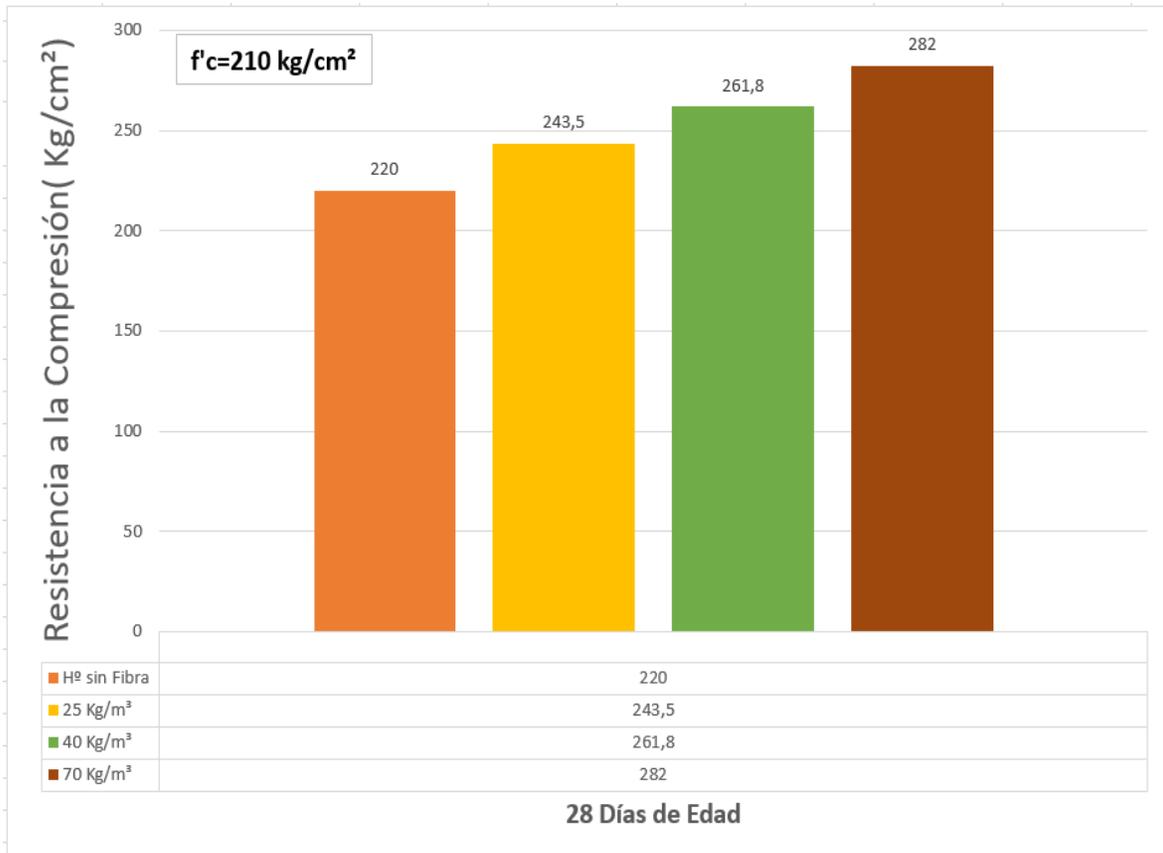
ANÁLISIS FINAL DEL ESTUDIO MEDIANTE GRÁFICAS

ESFUERZO (MPa) VS TIEMPO					DOCIFICACIÓN
tiempo el Hº (dias)	0	7	14	28	Con 70 Kg De Fibra
Resistencia f'c = Mpa	0	21,45	24,35	27,66	
tiempo el Hº (dias)	0	7	14	28	Con 40 Kg De Fibra
Resistencia f'c = Mpa	0	20,68	23,67	25,68	
tiempo el Hº (dias)	0	7	14	28	Con 25 Kg De Fibra
Resistencia f'c = Mpa	0	20,25	21,64	23,88	
tiempo el Hº (dias)	0	7	14	28	Sin Fibra
Resistencia f'c = Mpa	0	15,88	18,62	21,59	



Gráfica N° 19: Resumen de gráficas a compresión

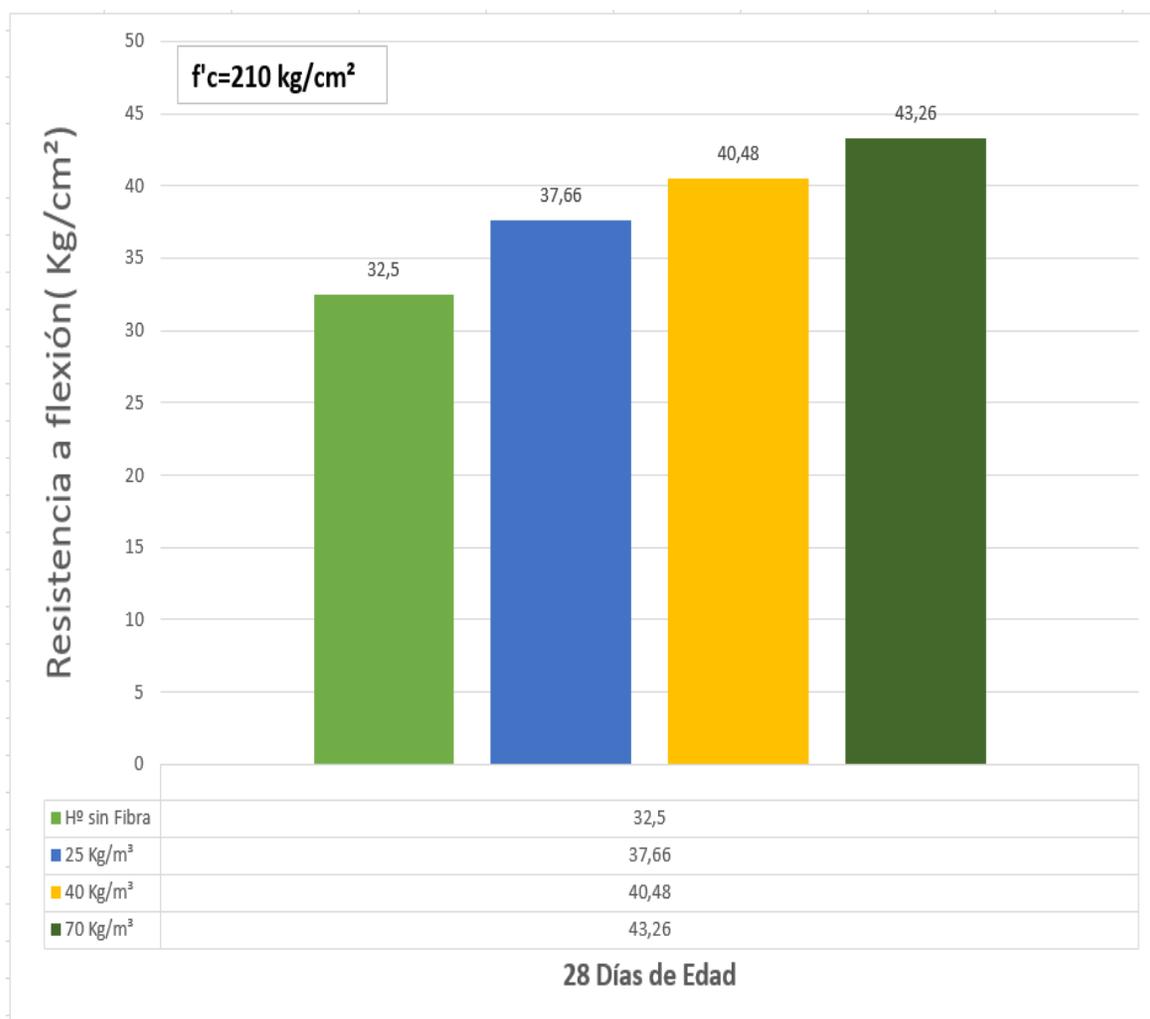
Gráfico N°20: Resistencia a la Compresión en cilindros de Hormigón Mejorado con Fibras Metálicas en dosificaciones de (25 kg/m³),(40 kg/m³) y (70kg/m³) y del Hormigón simple.



5.9 Análisis Gráfico de la resistencia a la compresión en cilindros de hormigón mejorado con fibras metálicas

Una vez concluidos con los ensayos a compresión en cilindros de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, se pudo apreciar que al hormigón mejorado con fibras metálicas en dosificaciones de (25 kg/m³),(40 kg/m³) y (70kg/m³), demuestra un notable incremento en la resistencia a la compresión, en un aproximado de un 15 % para la dosificación de (25 kg/m³) se obtuvo un 22 % para la dosificación de (40kg/m³) y finalmente para para la dosificación de (70 kg/m³) en un porcentaje 32 % realizando una comparación con hormigón simple (Sin Fibra).Se evidenció, al ensayar las probetas reforzadas con fibras estas no manifestaron una falla explosiva como así lo hizo el hormigón convencional.

Gráfico N° 21: Resistencia a la flexión en Vigas de Hormigón Mejorado con Fibras Metálicas en dosificaciones de (25 kg/m³), (40 kg/m³) y (70kg/m³) y del Hormigón simple.



5.10 Análisis Gráfico de la resistencia a la flexión en cilindros de hormigón mejorado con fibras metálicas

Luego de realizados los ensayos a Flexión en vigas de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, se visualizó que el hormigón mejorado con fibras metálicas para las tres dosificaciones mencionadas, cuyos resultados demuestran un relevante incremento en la resistencia a Flexión, alrededor de un 17% para la dosificación de (25 kg/m³), se obtuvo un 27 % para la dosificación de (40 kg/m³) y finalmente para la dosificación de (70 kg/m³) en un 39% en comparación al hormigón simple (Sin Fibra).

ANÁLISIS GRÁFICO DE COSTOS.

Comparación de Costos del Hormigón Convencional Respecto al Hormigón con Fibra

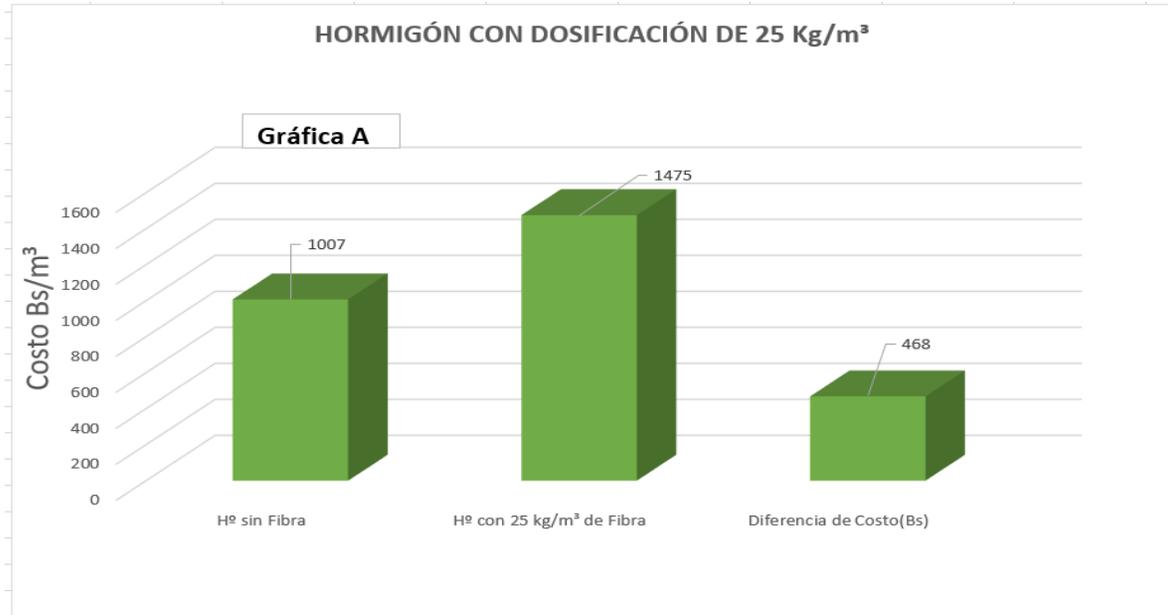


Gráfico N° 22: Costo del hormigón con dosificación de 25 kg/m³

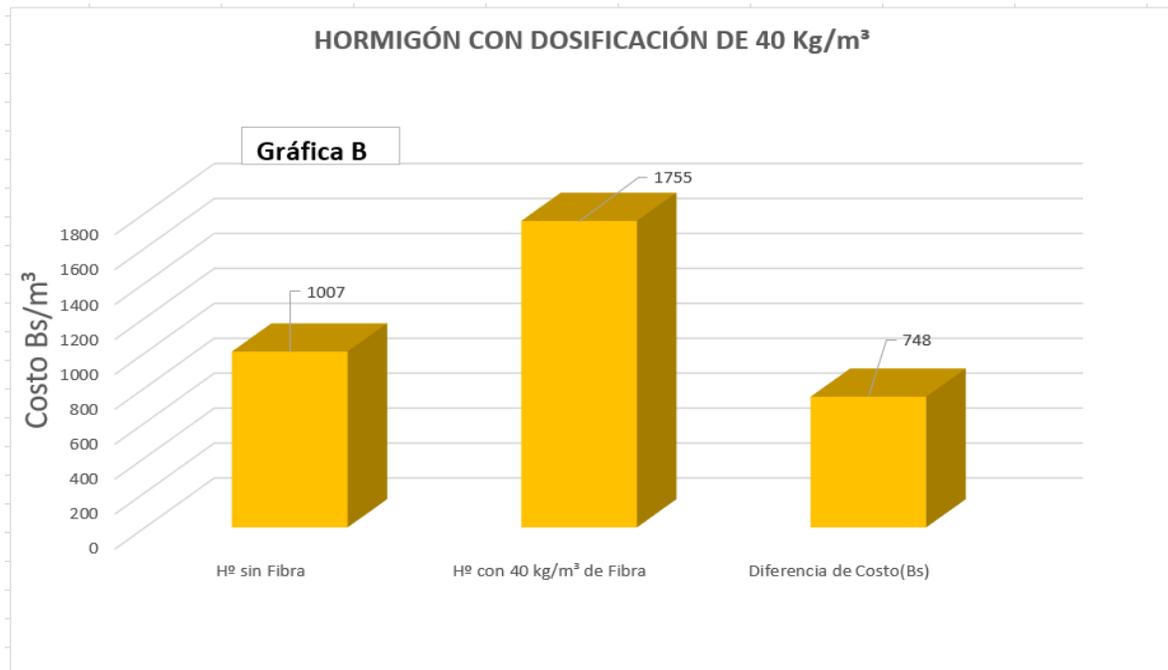


Gráfico N° 23: Costo del hormigón con dosificación de 40 kg/m³

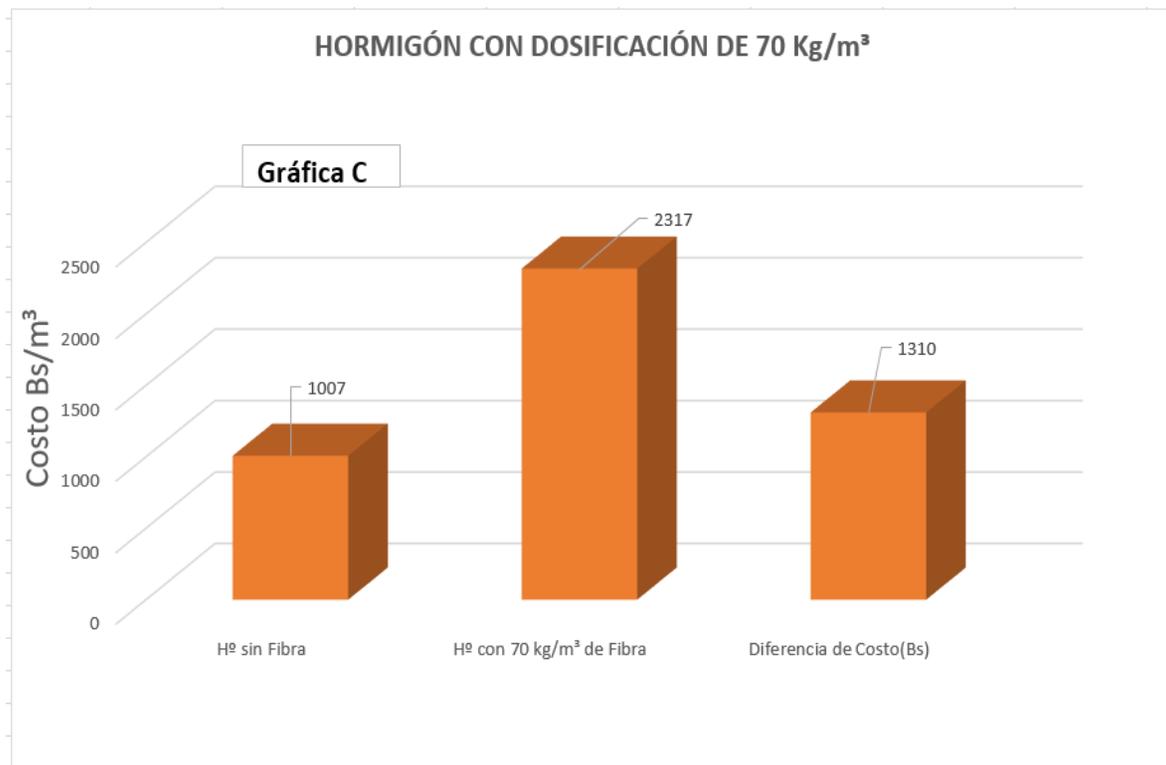


Gráfico N° 24: Costo del hormigón con dosificación de 70 kg/m³

5.11 Análisis de los gráficos para la comparación de costos del Hormigón convencional respecto al hormigón con fibra

Como se puede observar en las gráficas (A) (B) (C) el precio que tienen tanto el hormigón convencional como el hormigón con (25 kg /m³, 40 kg/m³ y de 70 kg/m³) de fibra, se aprecia que existe una diferencia en montos siendo más costoso el hormigón con fibra que es un monto significativo, pero podría haber una diferencia importante en favor del hormigón con fibra en cuanto a gastos de mano de obra o personal a utilizar, ya que este tipo de hormigones especiales facilitan la rápida fabricación y también el ahorro de tiempos en el armado de mallas electro-soldadas y o en una eliminación parcial o total de armaduras sujeto a estudio.

5.12 CONCLUSIONES

Las conclusiones para este trabajo de investigación son las siguientes.

- Luego de realizado el trabajo de investigación pudimos constatar que lo planteado en el objetivo general fue alcanzado, Por lo tanto, se puede apreciar que los resultados obtenidos con fibra con respecto al hormigón normal son mayores, incrementando su resistencia para 28 días en un (13.71%) para una dosificación de 25 kg /m³, (22,29%), para una dosificación de 40 kg /m³ y de (31,71%), para una dosificación de 70 kg/m³. Esto quiere decir que las fibras aumentan su resistencia según los porcentajes mencionados.
- Las fibras metálicas podrían brindar un refuerzo a la losa de hormigón en todas las direcciones, lo que garantizaría un control eficaz y reducción de la fisuración comparado con el hormigón tradicional.
- La inclusión de las fibras en el hormigón hace que este disminuya su trabajabilidad y aumente su consistencia, lo que significa que el revenimiento disminuye. En general la trabajabilidad de la mezcla disminuye con el incremento del factor de forma de fibra empleada.
- Realizada la comparativa entre el hormigón mejorado con fibras metálicas y el hormigón convencional observamos en el momento de la rotura de muestras que el hormigón normal tubo una falla frágil y explosiva, mientras que el hormigón con fibra percibe una falla más dúctil proporcionándole al mismo mayor de elasticidad y resistencia, esta última lo pudimos apreciar tanto en los datos obtenidos y en las gráficas de las curvas de esfuerzos vs edad del hormigón.
- Las fibras metálicas podrían brindar un refuerzo a la losa de hormigón en todas las direcciones, lo que garantizaría un control eficaz y reducción de la fisuración comparado con el hormigón tradicional.
- Una vez realizado el ensayo a flexión en vigas, se obtuvo un incremento en su resistencia. Para una dosificación de 25 kg /m³ en un porcentaje del 17%, para una dosificación de 40 kg /m³ un porcentaje del 27% y finalmente para la dosificación de 70 kg m³ un porcentaje del 39%. Se puede concluir que de las 6 vigas ensayadas se observó presencia de las fibras uniformemente distribuidas, razón por lo que se obtuvieron buenos resultados.

5.13 RECOMENDACIONES.-

- Se recomienda tener suficiente información de las propiedades de las fibras metálicas a utilizar ya que ellas influirán directamente en el hormigón.
- Es recomendable para elaborar un hormigón con fibras metálicas se mejore en método de compactación tradicional esto con el objeto de extraer la mayor cantidad de aire atrapado para evitar la porosidad.
- Con el objeto de mejorar el asentamiento del hormigón en el ensayo del cono de abrams y mejorar la consistencia, esto para hormigones con elevada cantidad de fibra se plantea aumentar pasta de cemento para darle más fluidez a la mezcla.
- Para elaborar un hormigón con fibras metálicas se sugiere utilizar plastificantes en la mezcla esto para mejorar su trabajabilidad.
- Se recomienda para la elaboración del hormigón con fibras metálicas en el hormigonado, se debe incorporar las fibras como elemento final, una vez mezclados los áridos con el agua y no al principio, esto con el objeto de evitar erizos o apelmamiento de las fibras.
- Como recomendación final, proseguir con análisis de hormigones con fibras metálicas para generar mayores conocimientos e información sobre este tipo de hormigones. Para plantear nuevos métodos que contribuyan en el desarrollo de las infraestructuras.