

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Utilización de fibras Metálicas para la construcción de concreto reforzado en la ciudad de Pucallpa

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
AUTOR

Bach. Wendy Jaqueline, Lao Odicio
LIMA – PERÚ 2007

| | |
|--|-----------|
| .. | 1 |
| CAPITULO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS . . | 3 |
| 1.1 Introducción . | 3 |
| CAPITULO 2. ENSAYO DE LOS MATERIALES . | 5 |
| Agregado . | 5 |
| 2.1.1 Análisis granulométrico . . | 5 |
| CAPITULO 3. PROPIEDADES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA . | 7 |
| CAPITULO 4. DISEÑO DE MEZCLA . | 9 |
| CAPITULO 5. ENSAYOS DE CONCRETO . . | 11 |
| 5.1 Ensayos de concreto fresco . | 11 |
| 5.1.1 Control de calidad del concreto Fresco . . | 11 |
| CAPITULO 6. RESULTADOS ECONÓMICOS . | 13 |
| CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . | 15 |
| 7.1 CONCLUSIONES . . | 15 |
| CAPITULO 8. Anexo . . | 17 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS . | 19 |

CAPITULO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

1.1 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las primeras sugerencias en el sentido de que las propiedades del concreto podrían mejorarse con la adición de fibras de acero fueron hechas por Porter (1910) y Ficklen (1914) en el Reino Unido, pero no es sino hasta 1963 en que pone en evidencia la función en el concreto de las fibras metálicas como elementos inhibidores del agrietamiento. En el Perú su uso es cada vez más frecuente cabe resaltar su aplicación en la pavimentación de la Av. Venezuela con un antigüedad de 50 años que actualmente se conserva en buen estado a excepción de algunas fallas tipo escalonamiento en las juntas de dilatación y en el ensanche por rotura de los bordes en las juntas de contracción, así mismo, se aplicó el uso fibras en la construcción de losas cuya dimensión de los paños fueron 4 m x 4 m y un espesor de 0,25 (8000 m² para el centro comercial Mega Plaza del cono Norte (SODIMAC, 2005). La aplicación de dicho material (fibra de acero) más reciente, se aplicaron en la zona de investigación del presente experimento que fue la ciudad de Pucallpa (Pasaje. Cleto Martínez, La Torre, Bustamante, Montero) cuyos resultados se muestran en la presente Tesis.

Las construcciones de losas apoyadas sobre el suelo que representa una de las principales aplicaciones del concreto reforzado con fibras metálicas, las mismas que se pueden adoptar en conjunto con el concreto, ya que de esta manera se forma este nuevo material con características metálicas adicionales. Esta nueva responsabilidad estructural que no es considerada en el diseño convencional de este tipo de elementos. En estas estructuras, las fibras pueden sustituir el refuerzo convencional sea por retracción como por capacidad a flexión (barras y/o malla electro soldadas) con significativas ventajas en términos de tenacidad y esfuerzo bajo cargas estáticas y dinámicas.

Además, las fibras pueden reducir la fisuración debido a los efectos de retracción o temperatura. El uso de las mismas como refuerzo, es económicamente conveniente con respecto al refuerzo convencional, por disminuir las labores de colocación y tiempo de verificación de la correcta disposición del refuerzo, así como, rendimiento en avances de obra.

En la presente tesis se hacen referencias de los materiales empleados, sus características y otros, cabe indicar, a su vez, los resultados de los ensayos para determinar el diseño de mezcla, así como, la de las variables evaluadas como $f'c$ en un periodo de 7, 14, 21 y 28 días y el módulo de rotura en las vigas ensayadas.

Se hace un enfoque especial al comportamiento del concreto reforzado con fibra viendo como influye su presencia en el concreto, aumentando o mejorando su capacidad para controlar las fisuras y otras variables que se pudieran presentar ante factores extremos.

Finalmente realizamos ensayos de concreto con fibra en diferentes periodos de tiempo comparado con concreto normal, obteniendo así las conclusiones y recomendaciones que se detallan al final de la tesis en mención, mediante los resultados de las variables evaluadas y un análisis económico.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

- Determinar las ventajas del uso de fibras metálicas en pavimentos de concreto en la Ciudad de Pucallpa.

1.2.2. Objetivo Específico

- Encontrar la relación de $f'c$ en diferentes periodos de tiempo con y sin fibra.
- Determinar las distancias entre juntas de contracción en pavimentos de concreto con hormigón de río, reforzados con fibras metálicas.
- Obtener un diseño de mezcla con hormigón de río para concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ reforzados con fibras metálicas.

- Hallar el módulo de rotura (M_r), en las vigas ensayadas a 28 días con concretos con hormigón de río, reforzados con fibras metálicas.
- Comparar resultados obtenidos en concreto con y sin fibras metálicas.

1.3 COMPONENTES DE LA MEZCLA

1.3.1. CEMENTO

En la actualidad se fabrican en el Perú el cemento Tipo I.

1.3.1.1. Cemento (Andino Tipo I)

Los principales cementantes hidráulicos son las cales y los cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. Si nos referimos específicamente al concreto convencional, tal como se emplea en la construcción, resultan excluidas las cales hidráulicas, con lo cual solo se procede a considerar los cementos, las escorias, los materiales puzolánicos y sus respectivas combinaciones.

Se da el nombre de Pórtland a un cemento obtenido por la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales asociados con sílice, aluminio y óxido de hierro, que son calentados a grandes temperaturas provocando que se formen escorias, para posteriormente moler el producto resultante; formándose así un aglomerante hidrófilo. En este trabajo se dará énfasis al cemento Pórtland ya que fue el utilizado.

1.3.1.2. Química básica del cemento

Las materias primas empleadas para la elaboración de cemento Pórtland son principalmente cal, sílice, aluminio y óxido de hierro. Esos componentes actúan entre sí en el horno para formar una serie de productos más complejos y aparte de un pequeño residuo de cal no combinado, que no tuvo suficiente tiempo para reaccionar, se logra un estado de equilibrio químico. Sin embargo, el equilibrio no se mantiene durante el enfriamiento y el índice de enfriamiento afectará el grado de cristalización y la cantidad de material amorfo presente en las escorias frías.

Las propiedades de este material amorfo, conocido como cristales, difieren considerablemente de otros componentes cristalinos de una composición química nominalmente similar. Otra complicación surge de la interacción de la parte líquida con los componentes cristalinos ya presentes.

A continuación se presentan los cuatro componentes principales del cemento:

Cuadro N° 01: Componentes del cemento

| Nombre del componente | Composición oxida | Nomenclatura |
|-----------------------|---|-----------------------|
| Silicato tricálcico | $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | C_3S |
| Silicato bicálcico | $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | C_2S |
| Aluminato tricálcico | $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ | C_3A |
| Alumino ferrato | $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ | C_4AF |

1.3.1.3 Hidratación del cemento

El proceso de hidratación del cemento es un conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento. En presencia de agua los silicatos y aluminatos del cemento Pórtland forman productos de hidratación o hidratos, que pasan del estado plástico al endurecido, con las propiedades inherentes en los nuevos productos formados.

Dependiendo de la temperatura, el tiempo y la relación entre la cantidad de agua y cemento que reaccionan, se pueden distinguir las siguientes etapas del proceso de hidratación:

A Plástico

Unión del agua y el polvo del cemento formando una pasta moldeable. Cuanto menor es la relación agua/cemento, mayor es la concentración de partículas de cemento en la pasta compactada y por ende, la estructura de los productos de hidratación es mucho más resistente.

B. Fraguado inicial

Condición de la pasta de cemento en que se aceleran las reacciones químicas, se inicia con el endurecimiento y la pérdida de la plasticidad, midiéndose en términos de la resistencia a deformarse, es la etapa en la que se evidencia el proceso exotérmico donde se genera el calor de hidratación, demandando un tiempo de tres horas aproximadamente. En esta etapa la pasta puede remezclarse sin producirse deformaciones permanentes ni alteraciones en la estructura que aún está en formación.

C. Fraguado final

Se obtiene al término de la etapa de fraguado inicial, caracterizándose por el endurecimiento significativo y las deformaciones permanentes. La estructura del gel está constituida por el ensamble definitivo de sus partículas endurecidas.

D. Endurecimiento

Se produce a partir del fraguado final y es el estado en que se mantienen e incrementan con el tiempo las características resistentes. La reacción predominante es la hidratación permanente de los silicatos de calcio y en teoría continua de manera indefinida. Los sólidos de hidratación manifiestan una muy baja solubilidad por lo que el endurecimiento es factible aun bajo el agua.

1.3.1.4. Estructura del cemento hidratado

Durante el proceso de hidratación, el volumen externo de la pasta se mantiene constante, sin embargo, internamente el volumen de los sólidos se incrementan constantemente con el tiempo, causando la reducción permanente de la porosidad, que está en relación inversa con la pasta endurecida y en forma directa con la permeabilidad. Para que se produzca la hidratación completa es necesario una cantidad suficiente de agua capaz de generar la reacción química, también se necesita proveer la estructura de vacíos o espacios para los productos de hidratación, la temperatura adecuada y el tiempo necesario, desprendiéndose de

aquí el concepto fundamental de curado, que consiste esencialmente en procurar unir estos cuatro elementos para que el proceso se complete.

Un concepto básico que nos permitirá entender el comportamiento del concreto. Reside en que el volumen de los productos de hidratación siempre es menor que la suma de los volúmenes de agua y cemento que los originan, debido a que por combinación química el volumen de agua disminuye aproximadamente un 25 % lo que trae por consecuencia la contracción de la pasta endurecida. Los productos de hidratación necesitan un espacio mayor al doble del volumen de sólidos de cemento para que se produzca la hidratación completa.

1.3.1.5. Finura del cemento

El grado de finura del cemento tiene efectos ambivalentes en el concreto. Al aumentar la finura, el cemento se hidrata y adquiere resistencia con más rapidez y también se manifiesta mayor disposición de sus partículas para mantenerse en suspensión en la pasta mezclada, lo cual es ventajoso para la cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua en las mezclas de concreto. Como contrapartida, una más alta finura representa mayor velocidad en la generación del calor y mayor demanda de agua para mezclar el concreto, las consecuencias son indeseables porque se traducen en mayores cambios volumétricos de los concretos y posibles agrietamientos en las estructuras.

Por lo tanto diremos que la finura del cemento es una propiedad inherente. Las normas ASTM requieren la diferencia de la superficie específica en m^2/k . se pueden lograr una aproximación directa al medir la distribución del tamaño de las partículas por sedimentación o levigación.

1.3.2 CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua es importante, ya que las impurezas que tuviera pueden interferir en el endurecimiento del cemento, afectando negativamente la resistencia del concreto u ocasionar el manchado de su superficie, así como ocasionar la corrosión del refuerzo. Por estas razones, se deben evaluar su conveniencia para fines de mezclado y curado. Debe hacerse una distinción clara entre los efectos del agua para la mezcla y el ataque de aguas

agresivas al concreto endurecido, ya que algunas de estas últimas son inofensivas e incluso benéficas si se usan en el mezclado.

1.3.2.1. Agua para la mezcla

El agua apta para beber es la de mejor calidad. Este tipo de agua, rara vez contendrá sólidos disueltos por sobre 2 000 ppm. y por lo general menos de 1 000 ppm. Si el contenido de sedimento es mayor de 2 000ppm, puede reducirse permitiendo que el agua permanezca en un depósito, para que se asiente, antes de ser usado. Sin embargo, el agua que resulta de lavar las mezcladoras es satisfactoria para la mezcla, debido a que los sólidos que contiene son ingredientes adecuados para el concreto, a condición de que haya sido adecuada desde el principio.

El criterio de potabilidad del agua no es absoluto: el agua para beber puede no ser adecuada para la mezcla cuando tenga una concentración alta de sodio o potasio, por el peligro de una reacción álcali- agregado. El agua potable es por lo general segura, pero también la no potable suele ser adecuada para elaborar concreto. Como regla, cualquier agua con un PH (grado de acidez) de 6,0 a 8,0 que no resulte salada o salubre es útil; el color oscuro o un cierto olor no indican necesariamente la presencia de sustancias deletéreas.

Podemos hacer dos comentarios al respecto: la presencia de algas en el agua para la mezcla provoca penetración de aire y la consiguiente pérdida de resistencia. La dureza del agua no afecta la eficiencia de la penetración de aire de los aditivos para la mezcla.

1.3.2.2. Agua para curado

En general, el agua que es adecuada para la mezcla también lo será para el curado. Sin embargo, el hierro y la materia orgánica pueden ocasionar manchas, especialmente si el agua fluye lentamente sobre el concreto y se evapora con rapidez. En algunos casos la decoloración es insignificante y cualquier agua adecuada para la mezcla, incluso de calidad ligeramente menor, es adecuada para el curado. Sin embargo, es esencial que este libre de sustancias que ataquen al concreto endurecido.

1.3.2.3. Pruebas al agua

Una forma simple de determinar la conveniencia de emplear cierto tipo de agua para la mezcla, consiste en comparar tanto el tipo de fraguado del cemento como la resistencia de cubos de mortero, con los resultados de laboratorios donde se emplea agua cocida, “adecuada” o destilada.

No hay diferencia significativa entre el comportamiento del agua destilada y el agua potable común. Mediante análisis químicos no se puede determinar si se producirá manchado debido a impurezas del agua para curado (esto debe confirmarse con una prueba de funcionamiento que incluya mojado simulado y evaporación).

1.3.2.4. Efectos sobre el concreto

Los efectos indeseables que el agua de mezclado de calidad inadecuada puede producir en el concreto, son a corto, mediano y largo plazo. Los efectos a corto plazo normalmente se relacionan con el tiempo del fraguado y la resistencia inicial, los de mediano plazo con las resistencias posteriores (a 28 días o más) y los de largo plazo pueden consistir en el ataque de sulfatos y la corrosión del acero de refuerzo. La prevención de los efectos se consigue por medio de análisis químico del agua antes de emplearse, verificando que no contenga cantidades excedidas de sulfatos, álcalis, cloruros y dióxido de carbono disuelto, principalmente. Para prevenir efectos a corto y mediano plazo, se acostumbra precalificar el agua mediante pruebas comparativas de tiempo fraguado y de resistencia a compresión a 7 y 28 días.

1.3.2.5. Relación agua cemento.

Es importante que la relación agua/cemento seleccionada con base en la resistencia, satisfaga también los requerimientos de durabilidad de las estructuras de concreto, en circunstancias de exposición y agresividad extrema al medio ambiente, debiendo asumir una relación a/c muy baja de tal manera que optimice la impermeabilidad, la resistencia a la abrasión, al desgaste y la resistencia a la agresividad química. Más aún, esa relación a/c se debe establecer antes de iniciar el diseño estructural porque, si es más baja que lo requerido por las consideraciones estructurales, se pueden

obtener benéficos en los cálculos de diseño, al usar un concreto de mayor resistencia.

1.3.3. AGREGADOS.

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 65 % a 80% del volumen del concreto (70 % a 85 % en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido y en las proporciones de la mezcla.

En relación con su origen y su procedimiento de preparación el agregado puede ser natural o artificial. Las arenas y gravas son productos del intemperismo y la acción del viento y el agua. Los agregados pueden ser obtenidos a partir de rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas.

1.3.3.1. Propiedades mecánicas del agregado.

A. Porosidad

Es una de las propiedades físicas más importantes del agregado, ya que tiene influencia sobre la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades mecánicas, absorción y permeabilidad de las partículas.

Los agregados que tiene alto porcentaje de poros, tiene una mayor superficie específica susceptible de ataques químicos. El tamaño y continuidad de los poros controla la velocidad y magnitud de absorción, así como la velocidad con la cual el agua puede escapar de las partículas del agregado. Así también la distribución de poros por tamaños y la permeabilidad son las propiedades más importantes del agregado que controlan la durabilidad en congelación y deshielo.

B. Resistencia

La textura, estructura y composición de las partículas de agregados influyen sobre la resistencia de éste. La resistencia a la compresión del agregado suele ser más alta que la del concreto preparado con éste, estando comprendido entre valores de 700 a 3 500 Kg. /cm² para determinar la resistencia del agregado se debe a partir de la resistencia a la trituración de las muestras preparadas de la roca originaria.

C. Adherencia

Tanto la forma de la partícula como la textura de la superficie del agregado influyen considerablemente en la resistencia del concreto. Una textura más áspera dará por resultado una mayor adhesión entre partículas y la matriz de cemento, igualmente, el área mayor de superficie de un agregado más angular propiciará una mejor adherencia.

D. Dureza

La dureza de un agregado está definida por su resistencia a la abrasión, erosión y desgaste. La determinación de la dureza de un agregado se hace sometándolo a un proceso de desgaste por abrasión. El ensayo más empleado es el conocido como **Método de los Ángeles**, que combina procesos de desgastes por abrasión y frotamiento.

E. Módulo de elasticidad

Está definido como una medida de la resistencia del material a las deformaciones.

Es lógico pensar que la deformación que experimenta el concreto es, parcialmente, una deformación del agregado, por lo tanto conforme el módulo de elasticidad de los agregados aumente mayor será el del concreto.

F. Densidad

La densidad de los agregados depende mucho de la porosidad del material mismo. Las bajas densidades generalmente indican material poroso, poco resistente y de alta absorción.

1.3.3.2. Propiedades térmicas del agregado.

A. Coeficiente de Expansión Térmica.

El empleo de agregados de bajo coeficiente de expansión puede llevar a la destrucción del concreto ya que conforme la temperatura de éste se reduce la pasta tiende a contraer más que el agregado desarrollándose esfuerzos de tensión en la pasta, lo que puede conducir a agrietamientos.

B. Conductividad térmica

La conductividad térmica es una propiedad de los agregados que dicen cuán fácil es la conducción de calor a través de ellos, está influenciada por la porosidad.

C. Calor específico

Es la cantidad de calor necesaria para incrementar en 1 °C la temperatura. El calor específico y la conductividad térmica son importantes en construcciones masivas en las que hay que tener un control de elevación de la temperatura.

1.3.4. HORMIGÓN.

Hormigón de río, se ubican en la orilla o ribera que forman playas con grava y arena más o menos proporcionada con predominio de agregado fino, el material se clasifica como Tipo A-1-a.

Uno de los elementos más utilizados en las obras civiles, es el hormigón. Este se presenta en una gran variedad, dependiendo de los requerimientos de la estructura en proyección. Dentro de esta variedad se encuentra el hormigón sumergido, el cual se caracteriza por ser utilizado para estructuras que deben estar en continuo contacto con el agua.

Las canteras son explotables cuando el río se encuentra estiaje, generalmente entre los meses de Mayo a Septiembre.

1.3.4.1. Clasificación del hormigón

El hormigón se clasificará con base en su resistencia nominal a la compresión, en Kg./cm², a los 28 días. Por resistencia nominal a la compresión se entiende la resistencia mínima a la compresión de por lo menos 95% de las muestras sometidas a pruebas. Las pruebas se ejecutarán sobre cilindros de ensayos de 15 cm. de diámetro por 30 cm. de alto. Todo concreto deberá tener una resistencia a los 28 días no menor a las indicadas en los planos o a lo especificado detalladamente para cada una de las estructuras. La resistencia mínima a la compresión a los 7 días no deberá ser menor de 70% del valor especificado para los 28 días. La tolerancia máxima de la resistencia en cilindros aislados no será menor de 10%.

1.3.4.2. Características físicas

Se indican valores aproximados.

- Resistencia a la compresión: de 150 a 500 Kg. /cm² (15 a 50 MPa) para el hormigón ordinario. Actualmente existen hormigones especiales de hasta 2 000 Kg. /cm² (200 MPa).
- Densidad: en torno a 2 350 Kg./m³
- Resistencia a la tracción: en general despreciable, del orden de un décimo de la resistencia a la compresión.
- Tiempo de fraguado: aproximadamente dos horas.
- Tiempo de endurecimiento: progresivo, en función de muchos parámetros. En 24 o 48 h la mitad de la resistencia a largo plazo, en una semana 3/4 partes y en 4 semanas prácticamente la resistencia total.
- Como dato curioso, hay que resaltar que el hormigón se dilata y se contrae a la misma velocidad que el acero, por lo que resulta muy útil su uso simultáneo en la construcción.

1.3.4.3. Porosidad

Una mezcla de agregados bien proporcionada, que sigue una curva granulométrica continua, producirá un hormigón de buena trabajabilidad, elevada cohesión y una reducida tendencia a la segregación. Al mismo tiempo ésta será poco porosa y por lo tanto dispondrá de una durabilidad prolongada.

Las mezclas a granulometría discontinua deberían ser utilizadas solamente en casos especiales donde se apunta a ventajas específicas, como por ejemplo un mejor comportamiento al bombeo. Para este tipo de composición es absolutamente necesario que las fracciones granulométricas hayan sido clasificadas con cuidado.

1.3.4.4. Cálculo volumétrico

El cálculo de la composición ponderado de un hormigón se basa

sobre el volumen absoluto que cada componente ocupa en 1m^3 de hormigón puesto en uso. Este volumen se obtiene dividiendo el peso de cada componente por el peso específico:

$$\text{Volumen (l)} = \frac{\text{peso (Kg.)}}{\text{Peso específico (Kg. /l)}}$$

Dejando de lado los agregados, el peso de los restantes componentes es conocido por condiciones de resistencia, durabilidad y trabajabilidad:

- El cemento.
- El agua total.
- Los aditivos.

Es necesario además tener en cuenta el volumen ocupado por el aire ocluido (en general 1,0–1,5%) o por el aire incorporado artificialmente en el interior del hormigón.

El ejemplo siguiente propone un esquema de cálculo para el cómputo del peso de los agregados (8) y la masa volumétrica del hormigón fresco (10) al momento de la preparación de la dosificación.

Ejemplo

Requisitos:

Dosificación del cemento: 325 Kg. /m^3

Relación A/C: 0,48

Fluidificante: 1,0% del peso del cemento (aprox. 3Kg).

Premisa:

Porosidad normal, aire ocluido 1,5 % del volumen del hormigón

(= 15 l).

Para obtener la dosificación efectiva a aplicar, se deberá obviamente aumentar cada fracción granular con el peso de la humedad contenida (generalmente 4-6% para la arena y 1-3% para la piedra). Se deberá además reducir proporcionalmente el agua total con el objetivo de obtener la cantidad de agua de la mezcla

1.3.4.5. Usos corrientes

Es un material con buenas características de resistencia ante esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al corte son relativamente bajas, por lo cual se lo puede utilizar como tal sólo en situaciones donde los riesgos de fallo por tracción o corte sean prácticamente nulos.

Para superar este inconveniente se introducen en el hormigón barras de acero, siendo entonces este material quien lleva los esfuerzos de tracción. Es usual, además, disponer de unas barras de acero en zonas o elementos netamente comprimidos, como es el caso de los pilares, porque, en definitiva, los intentos de compensar las deficiencias del hormigón a tracción y corte resultaron en el desarrollo de una nueva técnica, la del hormigón armado.

Posteriormente se investigó la conveniencia de introducir tensiones en el acero de manera deliberada y previa a la puesta en servicio de la estructura, desarrollándose las técnicas del hormigón pretensado y el hormigón postensado. En ellas el hormigón resulta comprimido de antemano con lo cual las tracciones que surgirían para resistir las acciones externas se convierten en descompresiones de las partes previamente comprimidas, siendo esto ventajoso en muchos casos. Para el pretensado se utilizan aceros de muy alto límite elástico, dado que el fenómeno denominado fluencia lenta anularía la ventaja si así no se hiciera.

1.3.5. AGREGADOS METÁLICOS

1.3.5.1. Fibra Metálica

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 concreto simple, como son: su resistencia a los impactos y a la abrasión, su resistencia a la flexión, sus resistencia al corte y su factor de durabilidad.

La experiencia nacional con el uso de fibras ha estado restringida tradicionalmente al uso de fibras naturales para mejorar las propiedades del adobe y más recientemente el uso de fibras de madera mineralizada o de asbestos cementados para la fabricación de paneles y coberturas, más no así en la construcción de pavimentos.

A nivel mundial, las primeras sugerencias en el sentido de que las propiedades del concreto podrían mejorarse con la adición de fibras de acero fueron hechas por Porter (1910) y Ficklen (1914) en el Reino Unido, pero no es sino hasta 1963 en que pone en evidencia la función en el concreto de las fibras metálicas como elementos inhibidores del agrietamiento.

1.3.5.2. Características mecánicas

A. Flexión

Como ya se mencionó existen varios factores que influyen en el comportamiento y la resistencia del concreto reforzado con fibras de flexión. Estos son: tipo de fibra, longitud (L), relación de aspecto L/d_f (donde d_f es el diámetro de la fibra), la fracción del volumen de la fibra (V_f), orientación y forma, característica de adherencia (deformación de fibras).

Asimismo, los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto reforzado con fibras tales como la relación a/c, densidad, contenido del 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 las

características de adherencia de las fibras, además de la resistencia final. La resistencia final del concreto reforzado con fibras podría ser tanto mayor o menor que su primera resistencia a la fisuración, dependiendo del aporte de estos factores influyentes.

Existen por lo general, tres etapas en la respuesta a la carga-deflexión de las muestras de concreto reforzadas con fibras probadas en flexión y éstas son:

1. Una respuesta más o menos lineal hasta 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 de carga en el punto B (Suponiendo que la carga 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 flexión en el *punto B*. Este punto es conocido como máxima resistencia.
3. Una post etapa descendiente del punto máximo después de la resistencia máxima hasta la rotura completa del compuesto. Las respuestas a la carga-deflexión en 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 del compuesto con fibras para absorber grandes cantidades de energía ante la rotura y es una característica que diferencia al concreto reforzado con fibras del concreto simple. Dicha característica es llamada “*tenacidad*”.

La etapa no lineal entre A y B se da sólo si hay una suficiente fracción de volumen de fibras. En el caso de bajas fracciones de volumen de fibras ($V_f < 0.5\%$), la resistencia final a la flexión coincide con la primera resistencia a la fisura

y la curva de carga-deflexión desciende inmediatamente después de la carga fisuración.

La literatura propone dos conceptos para explicar los factores que afectan la magnitud de la “resistencia inicial a la fisura o el límite a la elasticidad”. Un concepto relaciona “la resistencia inicial a la fisura” con la separación de las fibras en el compuesto (Romualdi y Bastón, 1963; Romualdi y Mandel 1964). El concepto se basa en la mecánica de los materiales mixtos y relaciona “el límite de elasticidad” con la fracción de volumen de la fibra, la relación de aspecto y la orientación de las fibras.

En el concepto de la separación de las fibras, se estipula que la fracción del volumen y la relación de aspecto de las fibras, debe ser tal que exista un traslape de fibras; sin embargo, a excepción de esto, la relación de aspecto de la fibra (L/d_f), la cual tiene un importante efecto sobre la resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras. Los resultado experimentales dados por algunos investigadores (Edington y otros, 1974; Swamy y Mangat, 1974) tienden a mostrar que el concepto de separación de las fibras no predice con exactitud la resistencia inicial a la fisura del concreto reforzado con fibras. Se puede encontrar un debate adicional sobre el concepto de separación (Hannant, 1978).

Se cree que la ley de los materiales mixtos, es simple y pruebas experimentales (Sha y Rangan, 1971), son más exactas para la predicción de la resistencia inicial a la fisura en comparación con el concepto de separación de las fibras. El enfoque de los materiales mixtos se basa en suposiciones que afirman que las fibras se encuentran alineadas en dirección de la carga, las fibras son adheridas a la matriz y la relación de Poisson de la matriz es cero. En la ley sobre los materiales, el efecto de las fibras sobre el comportamiento a la fisura de los compuestos del concreto reforzado con fibras es similar al del acero convencional reforzado en los compuestos del concreto. Sin embargo, debido a que las fibras son distribuidas al azar, un factor de rendimiento es comúnmente multiplicado por la fracción de volumen de las fibras. El factor de rendimiento fue estudiado en la literatura y se

observó una variación entre 40 y 80 % (Romualdi y Mandel 1964; Nielsen y Chen, 1968).

Por la dependencia lineal de la resistencia final a la flexión del concreto reforzado con fibras sobre la fracción de volumen de las fibras y su relación de aspecto, se puede afirmar que la resistencia final a la flexión generalmente aumenta con el índice de refuerzo con fibras, definido como el producto de la fracción del volumen de fibras y la relación de aspecto ($V_f \times L/d_f$). Basándose en esa observación, Shah y Rangan (1971) propusieron la siguiente ecuación general para predecir la resistencia final a la flexión del compuesto con fibras:

$$f_{cc} = A \times f_m \times (1 - V_f) + B \times V_f \times \left(\frac{L}{d_f} \right)$$

Ecuación 1

Donde f_{cc} es la resistencia final del compuesto con fibras, f_m es la resistencia máxima de la matriz simple (mortero o concreto), A y B son constantes las cuales pueden determinarse de forma experimental, en el caso del concreto simple, $A = 1$ y $B = 0$. La constante B representa la resistencia a la adherencia de las fibras y la distribución no al azar de éstas. Swamy y otros (1974), establecieron valores para las constantes A y B como 0,97 y 4,94 para la resistencia final a la flexión del concreto reforzado con fibras de acero y 0,843 y 4,25 para su resistencia inicial a la fisura.

La fibra puede ser un esfuerzo máximo σ_f , que depende de la relación de aspecto (L/d_f), estando dada por la siguiente ecuación:

$$\sigma_f = \tau \times \left(\frac{L}{d_f} \right)$$

$$d_f$$

Ecuación 2

Donde:

τ = Resistencia de adherencia entre superficies de contacto.

d_f = Diámetro medio de la fibra.

L = Longitud de la fibra ($L < L_c$)

Se puede definir L_c como la longitud crítica de la fibra tal que, si $L < L_c$, la fibra se saldrá de la matriz debido a la falla de la adherencia, pero si $L > L_c$, entonces la fibra misma fallará en tensión. La longitud de la fibra debe ser mayor que el tamaño máximo de las partículas de agregado.

De acuerdo con la ecuación anteriormente mencionada, podemos concluir que cuanto más alta sea la resistencia de adherencia interfacial, más alta será la resistencia de las fibras. La resistencia de adherencia interfacial se mejora con las fibras que tienen una adherencia corrugada o rugosa, extremos agrandados o ganchudos y ondulados. La orientación de las fibras respecto al plano de una grieta en el concreto influye en la capacidad de refuerzo de la fibra. El beneficio máximo ocurre cuando la fibra es unidireccional y paralela al esfuerzo de tracción aplicado y las fibras son de menor beneficio cuando se orientan al azar en tres dimensiones. También se afirma que los contenidos de fibra más altos conducen a una mayor resistencia.

B. Tensión y Tensión de Rotura.

La falla de tensión de las matrices con base de cemento es bastante frágil y las deformaciones asociadas son relativamente pequeñas en magnitud. La adición de las fibras a estas matrices, tanto en forma continua como discontinua, lleva a una considerable mejora en las propiedades en tensión del concreto reforzado con fibras

en comparación con las propiedades de la matriz no reforzada. La mejora de las propiedades es particularmente evidente.

La mayoría de las investigaciones en el campo del concreto reforzado con fibras obtienen las propiedades del compuesto indirectamente en base a observaciones de los ensayos de roturas cilíndricas y ensayos en flexión. Esto se hace debido a que existen dificultades en relación a la interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos de la tensión directa. Las dificultades de deben a las diferencias en tamaño y formas de las muestras, instrumentos y métodos de medición. Ninguna probeta normal está aun disponible para pruebas de tensión directa. Por ello, se espera que la curva de deformación o de esfuerzo-alargamiento en tensión directa observada varíe, dependiendo del tamaño de la muestra, rigidez de la máquina de prueba, longitud calibrada utilizada para calcular deformaciones, además de la cantidad de fisuras desarrolladas dentro de la longitud calibrada. La principal dificultad es caracterizar la respuesta a la tensión de los compuestos del concreto reforzado con fibras es que el comportamiento de post fisuración es denominado generalmente por el ensanchamiento de una fisura principal, como se observaron en varios estudios experimentales (Visalvanich y Naaman, 1983; Gopallaratnam y Shah, 1987). La concentración de la deformación en la zona de la fisura lleva una definición no uniforme de las deformaciones que se dan en esta zona, la cual depende de la longitud calibrada prescrita.

Antes de la fisuración, el compuesto (tanto SIFCON como concreto reforzado de fibras) puede describirse como un material elástico con una respuesta a la deformación muy similar a aquella de una matriz no reforzada. Se pueden utilizar varios enfoques en la etapa inicial lineal antes de la fisuración, para conocer previamente las principales características de la curva de deformaciones en tensión de los compuestos con fibras. Dichos enfoques incluyen, la mecánica de los materiales mixtos, mecánica de fisuras la mecánica de daños y los enfoques empíricos. Utilizando la mecánica de los compuestos mixtos, puede saberse de antemano el esfuerzo de tensión del compuesto en fisuración gracias a las siguientes ecuaciones (Naaman, 1987):

$$\sigma_{cc} = \sigma_{mu} \times (1 - V_f) + \alpha_1 \alpha_2 \tau_u \times V_f \times \frac{L}{d_f}$$

Ecuación 3

Donde:

σ_{cc} = Resistencia a tensión de la matriz reforzada.

σ_{mu} = Resistencia a tensión matriz no reforzada.

V_f = Fracción de volumen de fibras en la matriz.

τ_u = Resistencia de adherencia entre superficies de contacto.

d_f = Diámetro medio de la fibra.

L = longitud de la fibra.

Además α_1 es un coeficiente de adherencia que representa la fracción de adherencia movilizada en la deformación por fisuración en la matriz y α_2 es el factor deficiencia de la orientación de las fisuras en el estado no figurado del compuesto. La ecuación muestra que se espera una ligera mejora en la resistencia inicial a la fisuración en baja fracción de volumen de las fibras.

La segunda parte de la ecuación anterior podría expresarse de otra manera (Gasparini y otros, 1989; Lim y otros, 1987; Naaman y otros, 1974; Naaman, 1987). Casi todas las ecuaciones expresaron la resistencia final a la tensión de σ_{pc} en función lineal del índice de refuerzo con fibras de $(V_f \times L/d_f)$ y la resistencia a la adherencia de fibras τ_u como sigue:

$$\sigma_{pc} = K \times \tau_u \times \left(V_f \times \frac{L}{d_f} \right)$$

d_f

Ecuación 4

Donde K es una constante ($K < 1$) que toma en cuenta las características de orientación, adherencia y distribución de fibras.

Muchas de las aplicaciones actuales del concreto reforzado con fibras involucran el uso de fibras que llegan alrededor del 1 % por volumen de concreto. Recientemente, ha sido posible incorporar volúmenes relativamente altos (que llegan hasta el 15 %) de fibras de acero, de vidrio y sintéticas en el concreto. De acuerdo Shah (1991), el análisis de los resultados de los ensayos en tensión hechos con concretos con fibras de vidrio, polipropileno y de acero, indicaron que con este volumen de fibras alineadas en el concreto, existió una considerable mejora de la capacidad de conducción de la carga por tensión de la matriz. Esto se puede atribuir al hecho que las fibras reprimen la localización de microfisuras dentro de la macrofisuras y en consecuencia la aparente resistencia a la flexión de la matriz se incrementa.

C. 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 acero. Durante más de 30 años, el concreto reforzado con fibras ha sido el objeto de estudio dirigidos a las diversas condiciones de carga incluyendo cargas compresivas, flexionales y tensionales.

Asimismo, el uso de las fibras para mejorar el comportamiento al corte del concreto es prometedor; sin embargo, los esfuerzos de investigación registrados sobre el comportamiento al corte de concreto reforzado con fibras son limitadas (Valle, 1991). Las pruebas realizadas para analizar el comportamiento al corte del concreto reforzado con fibras pueden categorizarse en dos grupos generales: ensayo al corte directo y pruebas sobre vigas y ménsulas. Se requiere de los ensayos al corte directo para entender el comportamiento de transferencia básica del concreto, mientras que

las pruebas sobre vigas y ménsulas sean necesarias para entender el comportamiento de los miembros estructurales reforzados con fibras.

D. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad en un material, sea en tensión, compresión, o deformación, es una propiedad fundamental que se requiere para modelar el comportamiento mecánico en diversas aplicaciones estructurales. Se han creado ensayos para medir los módulos de elasticidad de una material dado. En el caso de los materiales puros, tales como el acero o el vidrio, los valores experimentales observados son tabulados todos a la vez y luego puestos en práctica. Sin embargo, para el caso de los compuestos del concreto reforzado con fibras hechos por lo menos de dos materiales diferentes, el módulo de elasticidad depende de diversos parámetros.

Varios estudios han tratado el módulo de elasticidad de los materiales mixtos, dichos estudios nos llevan a varios modelos que van desde los más sencillos hasta los más sofisticados. Dentro de los modelos más simples para los compuestos hechos de dos materiales diferentes, las soluciones de límite superior e inferior a una combinación de las dos (descritas posteriormente) dependen sólo de la fracción de volumen y del módulo de cada material. Modelos más avanzados desarrollados para los compuestos reforzados con fibras incluyen además las propiedades interfaciales entre los dos materiales, sean éstas discontinuas o no, la distribución y orientación de las fibras, el aspecto de proporción (relación altura-diámetro) de la fibra y similares.

Los modelos más comunes y simples, para predecir el módulo de elasticidad del concreto reforzado con fibras como compuesto hecho de dos materiales, son las soluciones de límite superior e inferior o una combinación aritmética de ambas. Esta es descrita en detalle en muchos libros sobre materiales mixtos.

La solución de límite superior asume que las fibras son continuas y orientadas en dirección a la carga, a lo largo de la cual se necesita el módulo de elasticidad. Esto lleva a la siguiente ecuación:

$$E_{cL} = E_f \times V_f + E_m \times (1 - V_f)$$

Ecuación 5

Donde los subíndices c , L , f y m son: compuesto, longitudinal, fibra y matriz respectivamente.

La solución de límite inferior asume que las fibras están con sus ejes normales a la dirección de la carga, a lo largo de la cual se mide el módulo. Esto lleva a la siguiente ecuación:

$$E_{cT} = \frac{E_f \times E_m}{\left[(1 - V_f) \times E_f + V_f \times E_m \right]}$$

Ecuación 6

Donde el subíndice T es transverso.

En el caso de compuestos con fibras orientadas al azar, Hapin y Tsai (1969) sugirieron una ecuación basada en una combinación de las ecuaciones 5 y 6. A pesar de sus predicciones sobre los módulos transversales y longitudinales eran diferentes a las soluciones de límite superior e inferior, su ecuación puede utilizarse como una primera aproximación con las ecuaciones antes descritas. Esto se da por:

$$E_c = \frac{3}{8} \times E_{cL} + \frac{5}{8} \times E_{cT}$$

Ecuación 7

El análisis de las ecuaciones 5, 6 y 7 muestra que para la misma fracción de volumen de fibras, las fibras de acero deben mejorar el módulo de elasticidad del compuesto más que las fibras de vidrio ($E_{acero} = 3 \times E_{vidrio}$). Asimismo, las fibras de polipropileno que tienen un módulo de elasticidad del compuesto. Sin embargo, se espera que el aumento o la disminución en E_c , para el rango del volumen de fibra V_f utilizado normalmente en la práctica, sea del mismo orden que la variabilidad en los datos experimentales. Esto también se aplica al rango de rigidez a la flexión de los compuestos del concreto reforzado con fibras.

Otra investigación sobre el módulo de elasticidad de los compuestos con base de cemento reforzados con fibras fue realizada en la Universidad de Michigan (Najm y Naaman, 1992). Los resultados indican que, a pesar de que los factores sugeridos previamente en las ecuaciones anteriores influyeron en el módulo de elasticidad del compuesto, otros factores tales como la longitud o la relación de aspecto de fibras, su orientación y la adherencia en la interfase de la matriz con fibras también tienen una influencia evidente. Sin embargo, cabe resaltar que a menos que el contenido de la fibra sea muy grande (más del 3 % por volumen), la ecuación aproximada deberá dar resultados en todos los casos. No se puede garantizar una precisión adicional comparada con la variabilidad frecuentemente en los resultados del ensayo.

Para el rango del volumen de la fibra normalmente utilizada en la práctica el módulo dinámico del concreto reforzado con fibras es poco diferente al módulo de concreto simple. Los ensayos realizados por Swamy y Mangat (1974) han mostrado que el módulo dinámico del concreto reforzado con fibras de acero es más del 2 % aproximadamente por volumen varío dentro del 5 % de la matriz de control no reforzada. Por lo tanto, las soluciones convencionales para el módulo dinámico del concreto reforzado.

E Flujo y Contracción

El informe 544 del comité ACI (1982) indica, en base a los datos experimentales, que el refuerzo con fibras de alambre no tiene efecto importante sobre el comportamiento de flujo del mortero de cemento Portland. Sin embargo, los últimos resultados sobre las características de flujo del concreto reforzado con fibras parecen contradecir lo antes mencionado.

Los mismos factores que influyen en la deformación por contracción en el concreto simple influyen también en la deformación por contracción del concreto reforzado con fibras; concretamente, en la temperatura y humedad relativa, propiedades de los materiales, la duración de curación y el tamaño de la estructura. La adición de fibras (particularmente las de acero), el concreto ha demostrado tener efectos beneficiosos para equilibrar los movimientos que surgen a raíz de los cambios de volumen que se

dan en el concreto, además tiende a estabilizar los movimientos tempranos al ser comparados con el concreto simple.

La principal ventaja de las fibras en relación a la contracción es su efecto para reducir el espesor adverso de las grietas de contracción (Swamy, 1985; Lim y otros, 1987; Shah y Grzybowski, 1989). Las grietas de contracción surgen cuando se restringe el concreto con movimientos por contracción. La presencia de fibras de acero demora la formación de la primera fisura, permite que el concreto ajuste más de una fisura y reduce considerablemente el ancho de la ésta (Swamy, 1985).

Las pruebas realizadas sobre el comportamiento a la contracción del concreto reforzado con fibras han demostrado que la adición de pequeñas cantidades de fibras de acero (0,25 % por volumen) reducen el espesor promedio de fisuras en aproximadamente 20 (Shah y Grzybowski, 1989) y el ancho máximo de fisuras en aproximadamente 50 % (Lim y otros, 1987) en comparación con el concreto simple. Comparando el efecto de los diferentes tipos de fibra sobre las características de contracción restringida, se encontró que las fibras de polipropileno son menos efectivas para reducir los anchos de fisuración que las fibras de acero (Shah y Grzybowski, 1989). Las fibras distribuidas al azar podrían mejorar las propiedades mecánicas del concreto con contracción compensadora restringiendo el compuesto de forma uniforme en todas las direcciones, sin afectar de forma negativa las propiedades mecánicas de tales compuestos.

Los concretos de alta resistencia con ceniza de sílice experimentan fisuraciones tempranas cuando la deformación se restringe. Este fenómeno, que se da inclusive cuando el concreto está protegido contra evaporación, es atribuido a la contracción autógena, debido a la baja relación de agua/cemento (0.26 aproximadamente). Este fenómeno puede ser corregido con el uso de fibras.

F. Coeficiente de la expansión térmica

No existen investigaciones que se traten la expansión térmica del concreto reforzado. Debido a que el coeficiente de la expansión térmica del acero es del mismo orden que el concreto, se espera que el coeficiente de la expansión térmica del concreto

reforzado con fibras de acero sea similar al coeficiente de expansión térmica de la matriz del concreto simple. Si se utilizan otras fibras tales como las fibras de polipropileno o de vidrio en pequeñas fracciones de volumen, se pueden extraer las mismas conclusiones. Sin embargo, en el caso de las grandes fracciones de volumen de fibras, sería razonable utilizar la simple regla de mezclas, como una primera aproximación, a fin de determinar el coeficiente de la expansión térmica, siempre y cuando la temperatura a la cual está sometida el compuesto no afecte de manera considerable las propiedades de las fibras y la adherencia interfacial de éstas con la matriz.

G. Relación de *Poisson*

Existe poca información acerca de la relación de Poisson del concreto reforzado con fibras. En la mayoría de los estudios analíticos, se asume generalmente que la relación de Poisson sea la misma que la del concreto. Esto puede ser una suposición lógica siempre y cuando sea la misma que la del concreto. Esto puede ser una suposición lógica siempre y cuando el compuesto permanezca en el rango elástico del comportamiento. Tan pronto como la fisuración se desarrolla, los efectos de restricción de las fibras que arriostan las fisuras tendrán resultados considerables sobre la deformación lateral y por consiguiente en el valor de la relación Poisson medido.

H. Tenacidad a la fractura.

Las matrices cementantes tales como el mortero y el concreto tienen bajo esfuerzo a la tensión en relación a su resistencia a la compresión y fallan de forma frágil. Una manera de mejorar sus propiedades en fractura es reforzarlas con fibras distribuidas aleatoriamente. Recientemente ha habido intentos crecientes por caracterizar los compuestos cementosos (ejemplo concreto y concreto reforzado con fibras) a través de sus propiedades en fractura. Se aplicaron tanto las técnicas mecánicas de la fractura *elástica-lineal* como *elástica-plástica*.

El mecanismo de crecimiento de fisura en estos materiales se describe en términos de tres diferentes zonas: una zona de esfuerzo libre, una zona pseudo plástica y una zona

de proceso (Vilsavanich y Naaman, 1983). *La zona de esfuerzo libre* es la zona donde las fibras han fallado o se han separado completamente, la *zona pseudo plástica* es la zona donde la matriz se ha fisurado pero las fibras que arriostran la fisura brindan alguna resistencia a la extracción: la *zona de proceso* es la región distribuida frente a una fisura en avance por el campo de concentración de esfuerzo. La *zona pseudo plástica* brinda el principal aporte a la energía de fractura de los compuestos de cemento reforzado con fibras. Las energías de fracturas críticas aparente observadas en estabilización de propagación de fisuras (Vilsavanich y Naaman, 1983) fueron del orden de $8\ 750\ \text{J/m}^2$ para el mortero reforzado con fibras de 1% de fibras por volumen, en comparación con $88\ \text{J/m}^2$ para el mortero simple. Sin embargo, la tenacidad a la fractura o la energía de fracturas crítica no puede solamente caracterizar la fractura del concreto reforzada con fibras. Se considera que la energía total en resistencia del crecimiento de la fisura es esencial ya que ésta describe el inicio de la grieta, el proceso estable de crecimiento y extensión de la fisura previa a la rápida propagación y fractura.

Se buscó mejorar en la tenacidad a través del pre-tratamiento de las fibras a fin de realizar pliegues locales, irregularidades o inducir daños controlados a la fibra durante el proceso de separación. El éxito en la tenacidad del concreto de alta resistencia depende principalmente de la reducción de los resultados de la trabajabilidad con fracciones más altas de volumen de fibras, considerando la reducción de la resistencia a la compresión y también de las fibras de alto rendimiento (las cuales tiene alto módulo), resistencia de alta tensión y una alta resistencia a la adherencia con la matriz.

I. 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 la muestra de concreto de soportar golpes reiterados y de absorber energía; dependiendo ésta de las condiciones de almacenamiento y del tipo de agregado grueso, ya que este último mejora significativamente la resistencia al impacto para un *tamaño máximo* menor, angulosidad mayor y superficie rugosa. Para proporcionar una satisfactoria resistencia al impacto se recomienda un contenido de cemento menor de 400 Kg. /m³.

Se sabe con certeza que la adición de fibras a los concretos aumenta la resistencia al impacto. Se han realizado numerosos estudios para desarrollar información sobre el comportamiento al impacto de los concretos reforzados con fibras.

J. 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 concreto reforzado con fibras de acero en flexión (bastón y otros, 1972 y Zoilo, 1972) utilizando un procedimiento de ensayo, tamaño de muestras y condiciones de carga similares a aquellas empleadas para los ensayos de flexión estática de los concretos reforzados con fibras o ensayos para el concreto convencional con carga inversa y no inversa con fatiga.

La resistencia a la fatiga puede ser descrita como el "*máximo esfuerzo*" a la fatiga por flexión donde los compuestos de concretos reforzados con fibras pueden aguantar una cantidad prescrita de ciclos de fatiga antes de la falla. Por otro lado, ésta también puede ser definida como la cantidad máxima de ciclos de fatiga requerida para ceder una viga bajo un nivel de máximo esfuerzo a la flexión dada.

Sin embargo, la resistencia a la fatiga es frecuentemente evaluada sobre las bases del límite de aguante. El límite de aguante del concreto reforzado con fibras de flexión se

define como el máximo esfuerzo en el cual la viga podría soportar una cantidad prescrita de ciclos de carga (frecuentemente ciclos de 2 millones), expresada como un porcentaje tanto:

1. de su resistencia estática virgen a la flexión (resistencia inicial a la fisura o módulo de ruptura)
2. la resistencia máxima estática a la flexión de las matrices simples similares no reforzadas (control).

Los resultados informaron que la resistencia flexional a la fatiga del concreto reforzado con fibras era de aproximadamente 80 % y 90 % de su resistencia estática a la flexión en ciclos de 2 millones cuando se aplica la carga no inversa y aproximadamente 70 % de sus resistencia estática a la flexión en ciclo de 2 millones cuando se utiliza la carga inversa completa (comité 544 ACI 1990).

K. Resistencia a la Abrasión

Una revisión a los estudios sobre la abrasión de las estructuras hidráulicas realizados por el comité ACI 544 (1982, 1988, 1990) mostraron que la erosión de la superficie de concreto se debe a un desgaste gradual, como resultado de las pequeñas partículas de restos que ruedan sobre la superficie a bajas velocidades, la calidad 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 concretos con fibras de acero suministraron una resistencia considerable a la erosión.

Las pruebas de abrasión (Nanni, 1989) de acuerdo al ASTM C 799, *procedimiento C*, sobre las muestras de corte de campo y de laboratorio no mostraron alguna diferencia considerable entre la resistencia a la abrasión del concreto simple y el concreto reforzado con fibras sintéticas o de acero. Sin embargo, los resultados indicaron que las fibras de acero tienen efectos beneficiosos en la prevención de descascarados de los pavimentos existentes (Nanni y Johari, 1989). Tal como lo señaló el comité 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 a la abrasión del concreto.

1.3.6. FIBRAS WIRAND FF1

Las fibras de acero Wirand FF1 para refuerzo de hormigón, son producidas a partir de alambres de acero de bajo contenido de carbono. Actúan como una armadura tridimensional reduciendo las tensiones aplicadas al elemento estructural aumentando así su resistencia. El uso de las fibras de acero Wirand FF1 en el hormigón proporciona un mejor comportamiento de la estructura, ya que reducen la formación de fisuras, proporcionando una mejor calidad y durabilidad a la obra. Otras ventajas del sistema son la eliminación, en algunas aplicaciones, de la armadura convencional, con la consecuente reducción de tiempos y costos de mano de obra. También evita el desperdicio de materiales siendo el transporte acopio, manipuleo y la aplicación de fibras, tareas bastantes simples.

También se los puede definir como filamentos de alambre de acero trefilado, cortados y doblados en determinadas longitudes dependiendo el uso al que será sometido, para el refuerzo de concreto.

1.3.6.1. Características Principales

Las fibras metálicas ofrecen muchos beneficios al concreto. Reforzar el concreto 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 concreto, como si se tratara de un agregado o aditivo más.

Algunos beneficios que obtenemos con la adición de fibras de concreto al concreto son:

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

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

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

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

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

Las características mecánicas del alambre Wirand FF1 son las siguientes:

R_m (Tensión de ruptura por tracción del alambre): > 1100 MPa

DI (Elongación a la ruptura) < 4 %

E (Módulo de elasticidad) 210 000 MPa.

1.3.6.2. Ventajas

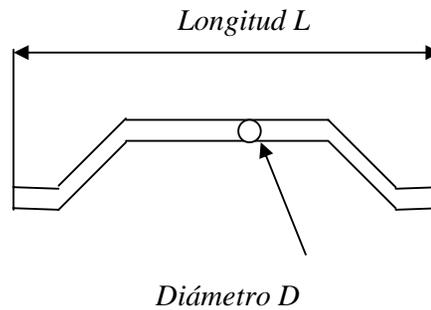
- La fibra tiene dobleces en los extremos que permite mejorar adherencia de la fibra dentro de la matriz del concreto.
- Alta resistencia a tracción.
- Alta absorción de energía por medio del alambre trefilado de bajo contenido de carbono.
- Elimina el habilitado y colocación de malla y varillas convencionales por la sustitución de estos materiales con fibras de acero.

- 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.
- Reemplaza la armadura tradicional en aplicaciones como: pisos industriales, pavimentos viales, portuarios y aeroportuarios, plateas, construcción de túneles, industrias 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 electrosoldada, 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.

1.3.6.3. Características geométricas de las Fibras de Acero

- **Longitud (L)**: es la distancia entre las dos extremidades.
- **Diámetro o diámetro equivalente (De)**: es el diámetro del hilo, para las fibras de sección transversal circular, o es el diámetro del círculo de área igual a la de la sección transversal de la fibra ($0,15 \leq De \leq 1,20$).
- **Relación de aspecto $\lambda = L/De$** : es la relación entre la longitud L y el diámetro De (0 diámetro equivalente).
- **Resistencia a tracción**: se refiere al hilo semielaborado o el de la fibra.
- **Forma**: fibras rectilíneas o fibras amoldadas (longitudinalmente o transversalmente).

- **Composición química:** Acero de bajo o elevado contenido de carbono o inoxidable
 $C \leq 0,04$, $Mn 0,25-0,40$, si $P \leq 0,10$, $P \leq 0,03$



| 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 | |

| S. Transversal | Figura | De |
|----------------|--------|------------------------------|
| Circular | | D |
| Rectangular | | $[4*B*H/\pi]^{1/2}$ |
| Irregular | | $[(4m^2)/(\pi L\rho)]^{1/2}$ |

B = Base M = masa (Kg.) H = Altura $\rho = 7\ 850\ Kg./m^3$

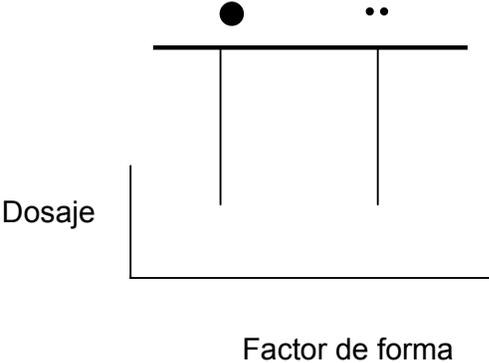
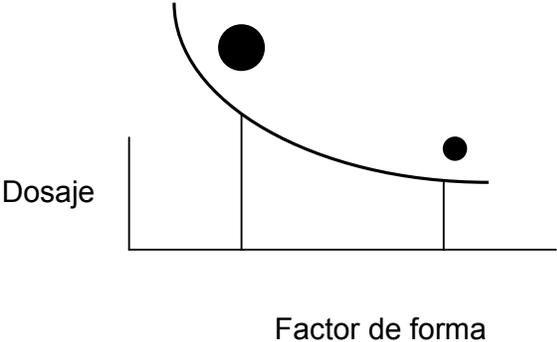
1.3.6.4. Factor Forma

Si L/D_e aumenta la dosificación teórica disminuye, a su vez la trabajabilidad también disminuye, pero la tensión requerida aumenta.

La norma **UNI 11039** recomienda un dopaje mínimo de 25 Kg. de fibra por m^3 de concreto.

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.



1.3.6.5. Usos y modo de empleo

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

Wirand-FF1 viene listo para ser usado. Se aplica al concreto 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 concreto.

Las fibras pueden introducirse junto con los agregados y de preferencia en el concreto 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 a/c

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.

1.3.6.6. Proceso de mezclado



Las fibras en obra para la mezcla.



Introduciendo la fibra en la mezcla.



La mezcla lista para el vacear en los paños.



La mezcla vacuada en los paños.



El paño de la losa terminado.

CAPITULO 2. ENSAYO DE LOS MATERIALES

2.1. AGREGADO

2.1.1. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se refiere a la distribución por tamaños de las partículas de agregados. Para el conocimiento de la composición granulométrica del agregado existen diferentes procedimientos. Para clasificar por tamaños las partículas el procedimiento más expedito es el del tamizado, para lo cual el agregado estará graduado dentro de los límites indicados en la norma NTP 400.037, como agregado global.

Cuadro N° 02: Límites de granulometría agregado global, utilizando el Tamaño Máximo Nominal

| Abertura en Pulgadas | TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 1 ½" | TAMAÑO MAXIMO NOMINAL ¾" |
|----------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 2" | 100 | |
| 1 ½" | 95 a 100 | 100 |
| ¾" | 45 a 80 | 95 a 100 |
| N° 4 | 25 a 50 | 35 a 55 |
| N° 30 | 8 a 30 | 10 a 35 |
| N° 100 | 0 a 8 | 0 a 8 |



FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO

Muestra: N° 01

NTP: 400 037

Tipo de Agregado: Global

Procedencia: San Juan-Ucayali

Peso de la muestra: 5 000 g.

Fecha: 31/10/06

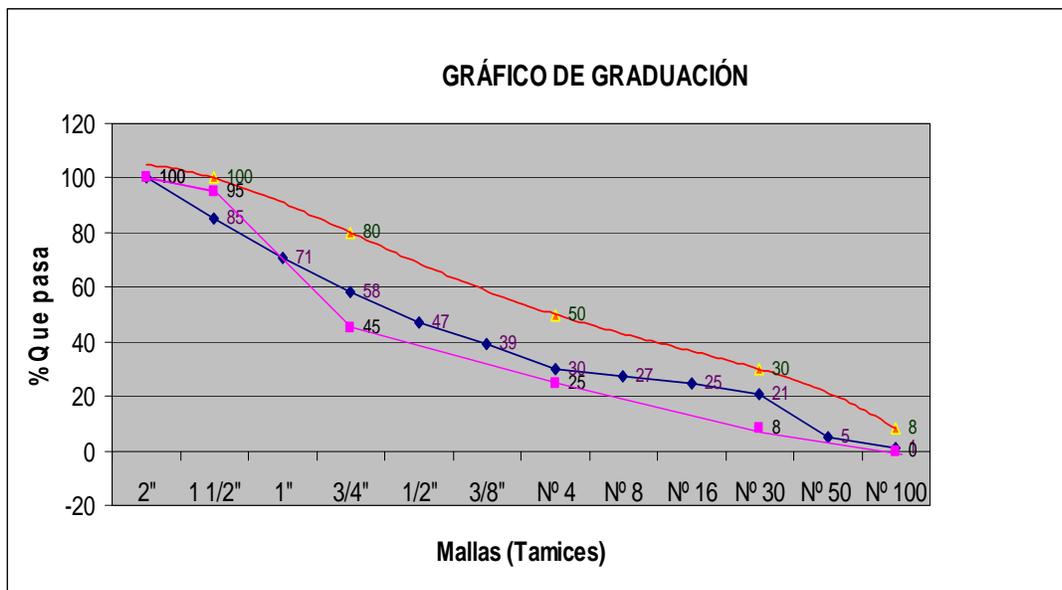
| Malla | Peso Retenido (g) | % Retenido | % Retenido | | Especificaciones | |
|--------------|-------------------|------------|------------|------------|------------------|--|
| | | | Acumulado | % que pasa | | |
| 2" | 0 | 0 | 0 | 100 | | |
| 1 1/2" | 725 | 15 | 15 | 85 | | |
| 1" | 710 | 14 | 29 | 71 | | |
| 3/4" | 664 | 13 | 42 | 58 | | |
| 1/2" | 569 | 11 | 53 | 47 | | |
| 3/8" | 417 | 8 | 61 | 39 | | |
| N° 4 | 479 | 9 | 70 | 30 | | |
| N° 8 | 143 | 3 | 73 | 27 | | |
| N° 16 | 75 | 2 | 75 | 25 | | |
| N° 30 | 180 | 4 | 79 | 21 | | |
| N° 50 | 783 | 16 | 95 | 5 | | |
| N° 100 | 192 | 4 | 99 | 1 | | |
| Fondo | 63 | 1 | 100 | 0 | | |

$$\text{Módulo de finura} = \frac{15+42+61+70+73+75+79+95+99}{100} = 6,09$$

100



Laboratorio de Ensayo de Materiales





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO

Muestra: N° 02

NTP: 400 037

Tipo de Agregado: Global

Procedencia: San Juan-Ucayali

Peso de la muestra: 5 000 g.

Fecha: 31/10/06

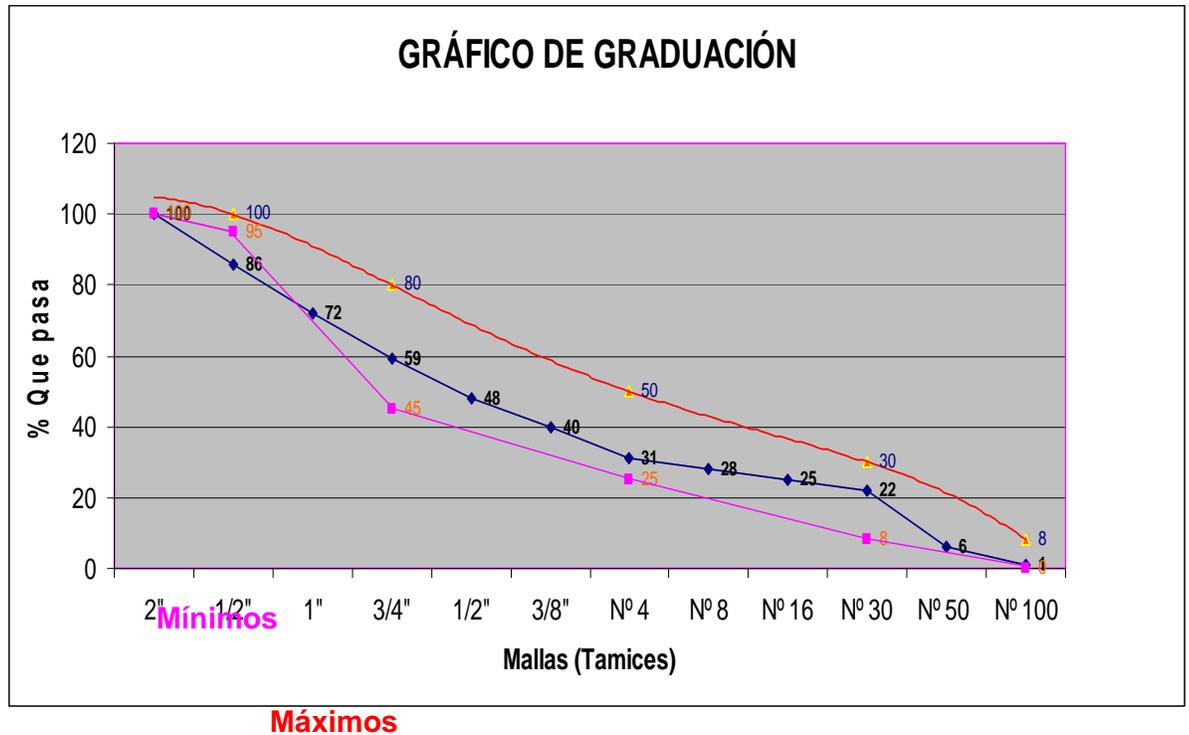
| Malla | Peso Retenido(gr) | % Retenido | % Retenido Acumulado | % que pasa | Especificaciones |
|--------|-------------------|------------|----------------------|------------|------------------|
| 2" | 0 | 0 | 0 | 100 | |
| 1 1/2" | 700 | 14 | 14 | 86 | |
| 1" | 700 | 14 | 28 | 72 | |
| 3/4" | 650 | 13 | 41 | 59 | |
| 1/2" | 550 | 11 | 52 | 48 | |
| 3/8" | 400 | 8 | 60 | 40 | |
| N° 4 | 450 | 9 | 69 | 31 | |
| N° 8 | 150 | 3 | 72 | 28 | |
| N° 16 | 150 | 3 | 75 | 25 | |
| N° 30 | 150 | 3 | 78 | 22 | |
| N° 50 | 800 | 16 | 94 | 6 | |
| N° 100 | 250 | 5 | 99 | 1 | |
| Fondo | 50 | 1 | 100 | 0 | |

$$\text{Módulo de finura} = \underline{14+41+60+69+72+75+78+94+99} = 6,02$$

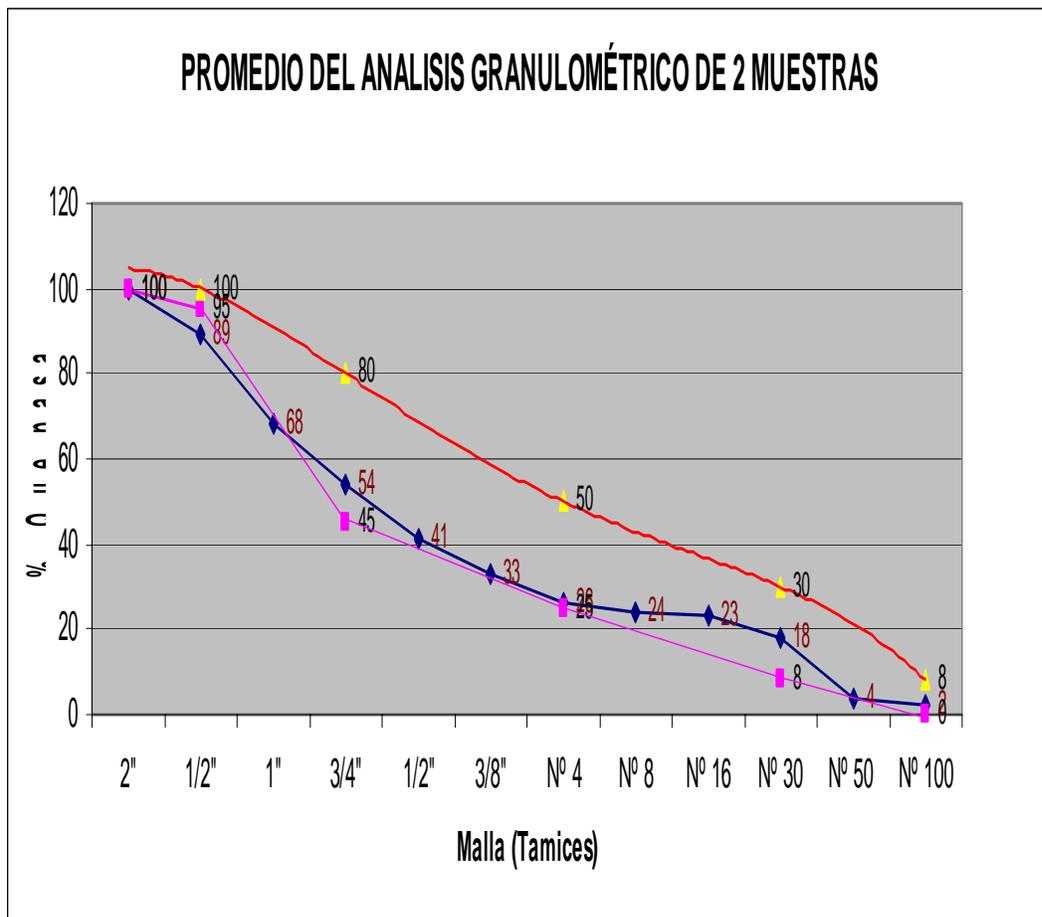
100



Laboratorio de Ensayo de Materiales



Laboratorio de Ensayo de Materiales



2.1.2. Módulo de fineza

El módulo de fineza es un índice del mayor o menor grosor del conjunto de partículas de un agregado. Se define según la norma NTP 400.011, como la suma de porcentajes acumulados retenidos en las mallas de 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16 N° 30, N° 50 y N° 100, divididas entre 100.

Promedio: $\frac{6,09 + 6,02}{2} = 6,06$

2.1.3. Peso específico

La densidad es una propiedad física de los agregados y está definida por la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, lo que significa que depende directamente de las características del grano del agregado.

Como generalmente las partículas de agregado tienen poros tanto saturables como no saturables, dependiendo de su permeabilidad interna pueden estar vacíos, parcialmente saturados o totalmente llenos de agua, se genera una serie de estados humedad a los que corresponde idéntico número de tipos de densidad; la que más interesa en el diseño de mezclas es la densidad aparente que se define como la relación que existe entre el peso del material y

el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros (saturables y no saturables).

Ese factor es importante para el diseño de mezclas porque con él se determina la cantidad de agregado requerido para un volumen unitario de concreto, debido a que los poros interiores de las partículas de agregado van a ocupar un volumen dentro de la masa de concreto y además porque el agua se aloja dentro de los poros saturables. El procedimiento para determinarla se encuentra en la norma ASTM C 128-84.

2.1.4. Porcentaje de absorción

La absorción en los agregados, es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca. El agregado se considera como “seco” cuando se ha mantenido a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por aproximadamente 24 horas. Básicamente consiste en sumergir la muestra durante 24 horas luego de lo cual se saca y se lleva a la condición de densidad aparente (SSS); obtenida esta condición, se pesa e inmediatamente se seca en un horno y la diferencia de peso, expresado como un porcentaje de peso de la muestra seca, es la capacidad de absorción.

**Laboratorio de Ensayo de Materiales****PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN**

Muestra: N° 01

NTP: 400.022

Tipo de Agregado: Grueso**Procedencia:** San Juan-Ucayali

Peso de la muestra: 5 000 g.

Fecha: 3/11/06

| Descripción | Símbolo | Cantidad | Unidad |
|--|---------|----------|--------|
| Peso de la muestra saturada superficialmente seca | B | 5 000 | g |
| Peso de la muestra saturada superficialmente seca dentro del agua + canastilla | | 3 655,20 | g |
| Peso de la canastilla dentro del agua | | 620,05 | g |
| Peso de la muestra saturada dentro del agua | C | 3 035,15 | g |
| Peso de la muestra seca | A | 4 925 | g |

1. Peso específico de masa

$$A / (B - C)$$

$$\frac{4\,925}{(5\,000 - 3\,035,15)} = 2,51$$

2. Peso específico de masa saturado superficialmente seco

$$B / (B - C)$$

$$\frac{5\,000}{(5\,000 - 3\,035,15)} = 2,54$$

3. Peso específico aparente

$$A / (A - C)$$

$$\frac{4\,925}{(4\,925 - 3\,035,15)} = 2,60$$

4. Porcentaje de absorción

$$100 \times (B - A) / A$$

$$100 \times \frac{(5\,000 - 4\,925)}{4\,925} = 1,52 \%$$

**Laboratorio de Ensayo de Materiales****PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN**

Muestra: N° 02

NTP: 400.022

Tipo de Agregado: Grueso**Procedencia:** San Juan-Ucayali

Peso de la muestra: 5 000 g.

Fecha: 3/11/06

| Descripción | Símbolo | Cantidad | Unidad |
|--|---------|----------|--------|
| Peso de la muestra saturada superficialmente seca | B | 5 000 | g |
| Peso de la muestra saturada superficialmente seca dentro del agua + canastilla | | 3 655,20 | g |
| Peso de la canastilla dentro del agua | | 612,00 | g |
| Peso de la muestra saturada dentro del agua | C | 3 043,20 | g |
| Peso de la muestra seca | A | 4 925 | g |

1. Peso específico de masa

$$A / (B - C)$$

$$\frac{4\,925}{(5\,000 - 3\,043,20)} = 2,51$$

2. Peso específico de masa saturado superficialmente seco

$$B / (B - C)$$

$$\frac{5\,000}{(5\,000 - 3\,043,20)} = 2,55$$

3. Peso específico aparente

$$A / (A - C)$$

$$\frac{4\,925}{(4\,925 - 3\,043,20)} = 2,62$$

4. Porcentaje de absorción

$$100 \times (B - A) / A$$

$$100 \times \frac{(5\,000 - 4\,925)}{4\,925} = 1,52 \%$$

**Laboratorio de Ensayo de Materiales****PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN**

Muestra: N° 03

NTP: 400.022

Tipo de Agregado: Fino**Procedencia:** San Juan-Ucayali

Peso de la muestra: 5 000 g.

Fecha: 3/11/06

| Descripción | Símbolo | Cantidad | Unidad |
|--|---------|----------|--------|
| Peso de la Fiola | | 161,30 | g |
| Peso de la arena superficialmente seca + peso de la fiola | | 661,30 | g |
| Peso de la arena superficialmente seca + peso de la fiola + peso del agua | | 963,30 | |
| Peso del agua | W | 302,00 | g |
| Peso de la arena seca | A | 490,40 | g |
| Volumen de la fiola | V | 500 | ml |

1. Peso específico de masa

$$A/(V - W)$$

$$\frac{490,4}{(500 - 302)} = 2,48$$

2. Peso específico de masa saturado superficialmente seco

$$500/(V - W)$$

$$\frac{500}{(500 - 302)} = 2,53$$

3. Peso específico aparente

$$A/(V - W) - (500 - A)$$

$$\frac{490,40}{(500 - 302)} - (500 - 490,40) = 2,60$$

4. Porcentaje de absorción

$$100 \times (500 - A)/A$$

$$100 \times \frac{(500 - 490,40)}{490,4} = 1,96 \%$$

$$\text{Promedio Peso Especifico} = \frac{2,51 + 2,48}{2} = 2,49 \text{ g.}$$

2

$$\text{Promedio Porcentaje de Absorción} = \frac{1,52 + 2,96}{2} = 1,74 \%$$

2.1.5. Peso unitario

El propósito de este método de ensayo es determinar la masa por unidad de volumen de una muestra de agregado, para agregados que no excedan 100 mm. de Tamaño Máximo Nominal. El peso unitario de un agregado debe ser siempre relacionado con el volumen específico. El peso unitario de un agregado debe ser conocido para seleccionar las proporciones adecuadas en el diseño de mezclas de concreto.

Esté método permite la determinación del peso unitario de un agregado en la condición de compactada (por apisonado externo) o en la condición suelta (como viene de una pala o cucharón) después que el agregado ha sido secado hasta masa constante. El método involucra la determinación de una muestra de agregado en recipiente (medida) de volumen conocido, y entonces se resta el peso del recipiente.

A. Método del apisonado

Para el método de apisonado con varilla, se pesa el recipiente y se coloca el agregado en tres capas de igual volumen, hasta llenarlo. Se empareja cada capa con la mano y se apisona con 25 golpes con una varilla 5/8" distribuidos uniformemente a cada capa. Al apisonar la primera capa debe evitarse que la varilla golpee el fondo del recipiente y al apisonar las superiores aplicar la fuerza necesaria, para que la varilla solamente atraviese la respectiva capa. Finalmente se nivela la superficie con la varilla y se determina el peso del recipiente lleno.



Laboratorio de Ensayo de Materiales

PESO UNITARIO SUELTO

Muestra: N° 01

NTP: 400.017

Tipo de Agregado: Hormigón

Procedencia: San Juan-Ucayali

Fecha: 31/10/06

| Descripción | Símbolo | Cantidad | Unidad |
|--------------------------------------|---------|----------|--------------------|
| W muestra suelta + recipiente | | 32 500 | Kg. |
| W recip. | | 5964 | Kg. |
| W muestra suelta | W_s | 26 536 | Kg. |
| W agua + recipiente | | 19 968 | Kg. |
| W agua | W_a | 14 004 | Kg. |
| Factor de calibración del recipiente | f | 0,07 | m ⁻³ |
| Peso unitario suelto | PUS | 1858 | Kg./m ³ |

$$f = 1000/W_a$$

$$f = 1000/14004 = 0,07$$

$$PUS = f \times W_s$$

$$PUS = 0,07 \times 26\,536 = 1\,858 \text{ Kg./m}^3$$

PESO UNITARIO COMPACTADO

| Descripción | Símbolo | Cantidad | Unidad |
|--------------------------------------|---------|----------|--------------------|
| W muestra compactada + recipiente | | 33 600 | Kg. |
| W recip. | | 5 964 | Kg. |
| W muestra compactada | W_c | 27 636 | Kg. |
| W agua + recipiente | | 19 968 | Kg. |
| W agua | W_a | 14 004 | Kg. |
| Factor de calibración del recipiente | f | 0,07 | m ⁻³ |
| Peso unitario compactado | PUC | 1 935 | Kg./m ³ |

$$f = 1000/W_a$$

$$f = 1000/14\,004 = 0,07$$

$$PUC = f \times W_c = 0,07 \times 27\,636 = 1\,935 \text{ Kg/m}^3$$

**Laboratorio de Ensayo de Materiales****PESO UNITARIO SUELTO**

Muestra: N° 02

NTP: 400.017

Tipo de Agregado: Hormigón**Procedencia:** San Juan-Ucayali

Fecha: 31/10/06

| Descripción | Símbolo | Cantidad | Unidad |
|--------------------------------------|---------|----------|-----------|
| W muestra suelta + recipiente | | 32 500 | Kg. |
| W recip. | | 5964 | Kg. |
| W muestra suelta | W_s | 26 136 | Kg. |
| W agua + recipiente | | 19 968 | Kg. |
| W agua | W_a | 14 004 | Kg. |
| Factor de calibración del recipiente | f | 0,07 | m^{-3} |
| Peso unitario suelto | PUS | 1 830 | $Kg./m^3$ |

$$f = 1000/W_a$$

$$f = 1000/14004 = 0,07$$

$$PUS = f \times W_s$$

$$PUS = 0,07 \times 26 136 = 1 830$$

PESO UNITARIO COMPACTADO

| Descripción | Símbolo | Cantidad | Unidad |
|--------------------------------------|---------|----------|-----------|
| W muestra compactada + recipiente | | 34 000 | Kg. |
| W recip. | | 5 964 | Kg. |
| W muestra compactada | W_c | 28 036 | Kg. |
| W agua + recipiente | | 19 968 | Kg. |
| W agua | W_a | 14 004 | Kg. |
| Factor de calibración del recipiente | f | 0,07 | m^{-3} |
| Peso unitario compactado | PUC | 1 963 | $Kg./m^3$ |

$$f = 1000/W_a$$

$$f = 1000/14 004 = 0,07$$

$$PUC = f \times W_c = 0,07 \times 28 036 = 1 963 \text{ Kg./m}^3$$

2.1.6. Contenido de humedad.

En los agregados existen poros, los cuales se encuentran en la intemperie y puede estar llenos con agua, estos poseen un grado de humedad, el cual es de gran importancia ya que con el podíamos saber si nos aporta agua en la mezcla.

También existe la Humedad Libre que se refiere a la película superficial de agua que rodea el agregado; la humedad libre es igual a la diferencia entre la humedad total y la absorción del agregado, donde la humedad total es aquella que se define como la cantidad total que posee un agregado. Cuando la humedad libre es positiva se dice que el agregado está aportando agua a la mezcla, para el diseño de mezclas es importante saber esta propiedad; y cuando la humedad es negativa se dice que el agregado está quitando agua a la mezcla. Si el agregado fino tiene una humedad inferior a la absorción, se debe agregar más agua al concreto para compensar lo que absorben los agregados. Por el contrario, si la humedad está por encima de la absorción, el agua a agregar al hormigón será menor, ya que los agregados aportarán agua.



FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

CONTENIDO DE HUMEDAD

Muestra: N° 01

NTP: ASTM C 566-78

Tipo de Agregado: Fino

Procedencia: San Juan-Ucayali

Fecha: 02/11/06

| Descripción | Símbolo | Cantidad | Unidad |
|----------------------------|---------|----------|--------|
| Peso de la muestra humedad | A | 2 500 | g |
| Peso de la muestra seca | B | 2 450 | g |
| Contenido de agua | A - B | 50 | g |
| Contenido de humedad | H | 2,04 | % |

Contenido de humedad (h) = $((A - B) / B) \times 100$

$$C(h) = \left(\frac{2\,500 - 2\,450}{2\,450} \right) \times 100 = 2,04 \%$$

Muestra: N° 02

NTP: ASTM C 566-78

Tipo de Agregado: Fino

Procedencia: San Juan-Ucayali

Fecha: 02/11/06

| Descripción | Símbolo | Cantidad | Unidad |
|----------------------------|---------|----------|--------|
| Peso de la muestra humedad | A | 2 500 | g |
| Peso de la muestra seca | B | 2 447 | g |
| Contenido de agua | A - B | 53 | g |
| Contenido de humedad | H | 2,17 | % |

Contenido de humedad (h) = $((A - B) / B) \times 100$

$$C(h) = \left(\frac{2\,500 - 2\,447}{2\,450} \right) \times 100 = 2,17 \%$$

Promedio Contenido de Humedad = $\frac{2,04 + 2,17}{2} = 2,11 \%$

2

2.1.7 Material que Pasa Malla N° 200 (NTP 400.018).

A. Preparación de la muestra.

La muestra representativa debe tener suficiente humedad como para evitar la segregación de los materiales según sus distintos tamaños y se obtiene de la siguiente manera:

1. Se seca la muestra de ensayo a la temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que dos pesadas sucesivas separadas por una hora de secado en la estufa, no difieran en más de 0,1 %.
2. Se pesa con aproximación al 0,1 % una cantidad cercana a la indicada, de acuerdo al tamaño máximo del agregado.

Cuadro N° 03: Medidas de los materiales que pasa el tamiz N° 200

| Tamaño máximo del agregado | Peso mínimo de la muestras de ensayos en gramos |
|-----------------------------------|--|
| 2,36 mm. (N° 8) | 100 |
| 4,76 mm. (N° 4) | 500 |
| 9,5 mm. (N° 3/8") | 2 000 |
| 19,0 mm. (N° 3/4") | 2 500 |
| 38,1 mm. (N° 1 1/2") | 5 000 |



Laboratorio de Ensayo de Materiales

Material que Pasa Malla N° 200

Muestra: N° 01 NTP: 400.018

Tipo de Agregado: Global Procedencia: San Juan-Ucayali

Peso de la muestra: 500 g. Fecha: 03/11/06

Hecho: Wendy Lao

| Descripción | Símbolo | Cantidad | Unidad |
|------------------------------------|-----------|----------|--------|
| Peso de muestra | P1 | 500,00 | g. |
| Peso de la muestra Lavada y secada | P2 | 476,99 | g. |
| Material que Pasa la Malla N° 200 | (P1 - P2) | 23,01 | g. |
| % Que Pasa la Malla N° 200 | A | 4,6 | % |

Muestra: N° 02 NTP: 400 018

Tipo de Agregado: Global Procedencia: San Juan-Ucayali

Peso de la muestra: 500 g. Fecha: 03/11/06

Hecho: Wendy Lao

| Descripción | Símbolo | Cantidad | Unidad |
|------------------------------------|-----------|----------|--------|
| Peso de muestra | P1 | 500,00 | g. |
| Peso de la muestra Lavada y secada | P2 | 483,70 | g. |
| Material que Pasa la Malla N° 200 | (P1 - P2) | 16,3 | g. |
| % Que Pasa la Malla N° 200 | A | 3,26 | % |

2.1.8. Resistencia al desgaste en agregados gruesos (Máquina los Ángeles) NTP 400.019.

A. Preparación de la muestra.

La muestra de ensayo consiste de agregado limpio representativo del material a ensayar y que se seca en un horno a temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta una peso aproximadamente constante y que cumple con unas de las gradaciones indicada:

| Tamaño de tamices | | Peso de tamaños indicados | | | |
|-------------------|-----------------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Pasa | Retenidos | A | B | C | D |
| 38,1 mm | 25,4 mm. (1") | 1 250+25 | --- | --- | --- |
| 25,4 mm. (1") | 19,0 mm. (3/4") | 1 250+25 | --- | --- | --- |
| 19,0 mm. (3/4") | 12,7 mm. (1/2") | 1 250+10 | 2 500+10 | --- | --- |
| 12,7 mm. (1/2") | 9,5 mm. (3/8") | 1 250+10 | 2 500+10 | --- | --- |
| 9,5 mm. (3/8") | 6,3 mm. (1/4") | --- | --- | 2 500+10 | --- |
| 6,3 mm. (1/4") | 4,75 mm. (Nº 4) | --- | --- | 2 500+10 | --- |
| 4,75 mm. (Nº 4) | 2,36 mm. (Nº 8) | --- | --- | --- | 5 000+10 |



Laboratorio de Ensayo de Materiales

RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADOS

Muestra: N° 01

NTP: 400.019

Tipo de Agregado: Global

Procedencia: San Juan-Ucayali

Peso de la muestra: 5 000 g.

Fecha: 02/11/06

Hecho: Wendy Lao

| Descripción | Símbolo | Cantidad | Unidad |
|---------------------------------------|-----------|----------|--------|
| Peso original de la muestra | P1 | 5 000 | g. |
| Peso de la muestra (100 revoluciones) | | | g. |
| Peso de la muestra (500 revoluciones) | P2 | 4 374 | g. |
| Material que pasa el Tamiz N° 12 | (P1 - P2) | 626 | g. |
| Desgaste | De | 12,52 | % |

$$De = 100 (P1 - P2) / P1$$

$$De = 100 \frac{626}{5\,000} = 12,52$$

CAPITULO 3. PROPIEDADES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA

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

Las propiedades mecánicas del concreto 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 concreto, 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 concreto 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.

3.1. Comportamiento dúctil

Debido a la energía absorbida por las FIBRAS que se adhieren al concreto 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. El siguiente gráfico “Concreto Reforzado”, muestra el efecto del acero en compresión en la ductilidad de la viga.

3.2. Resistencia a la compresión

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

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

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

3.3. Resistencia a la Tracción.

El ensayo de Tracción se utiliza par evaluar varias propiedades mecánicas de los materiales que son importantes en el diseño, dentro de las cuales se destaca la resistencia, en particular, de metales y aleaciones.

En este ensayo la muestra se deforma usualmente hasta la fractura incrementando gradualmente una tensión que se aplica uniaxialmente a lo largo del eje longitudinal de la muestra. Las muestras normalmente tienen sección transversal circular, aunque también se usan especímenes rectangulares.

Durante la tensión, la deformación se concentra en la región central más estrecha la cual tiene una sección transversal uniforme a lo largo de su longitud. La muestra se sostiene por sus extremos en la máquina por medio de soporte o mordazas que a su vez someten la muestra a tensión a una velocidad constante. La máquina al mismo tiempo mide la carga aplicada instantáneamente y la elongación resultante (usando un extensiómetro).

Un ensayo de tensión normalmente dura pocos minutos y es un ensayo destructivo, ya que la muestra es deformada permanentemente y usualmente fracturada.

Sobre un papel de registro, se consignan los datos de la fuerza (carga) aplicada a la muestra que está siendo ensayada. Así como la deformación que se puede obtener a partir de la señal de un extensiómetro. Los datos de la fuerza pueden convertirse en datos de tensión y así construirse una gráfica tensión – deformación.

El esfuerzo de Tensión del concreto reforzado con fibras es aproximadamente del mismo orden que el del concreto simple (20 a 40 Kg. /cm²), sin embargo la tenacidad del primero es mucho mayor debido a la fracción desarrollada por la fibra y la energía de deformación durante la extracción de ésta.

El esfuerzo último a la tracción se alcanza cuando un sistema interno de fisuras crece hasta una situación inestable en la cual puede propagarse catastróficamente.

Las fibras restringen las fisuras internas a zonas localizadas, evitando su propagación a las adyacentes. Esto siempre que estén uniformemente distribuidas y lo suficientemente juntas para interactuar con las fisuras y evitar su propagación.

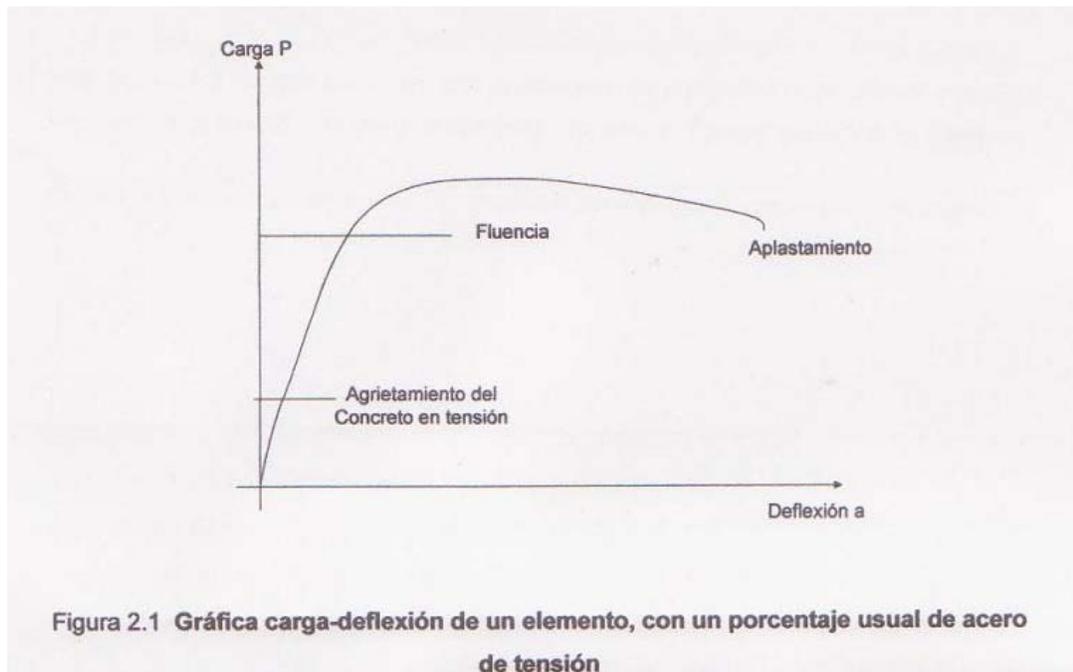
Existe alguna correlación entre la resistencia a la tracción y el espaciamiento de las fibras en el concreto. Se concluye finalmente que la resistencia a la tracción del concreto reforzado con fibras de acero se incrementa con la disminución de la separación de fibras.

Un concepto importante es el espaciamiento, las fibras mejoran su participación en el concreto si están más cerca unas a otras, incrementando a la tracción y controlando mejor las fisuras.

3.4. Resistencia a la flexión

“Cuando 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 concreto 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

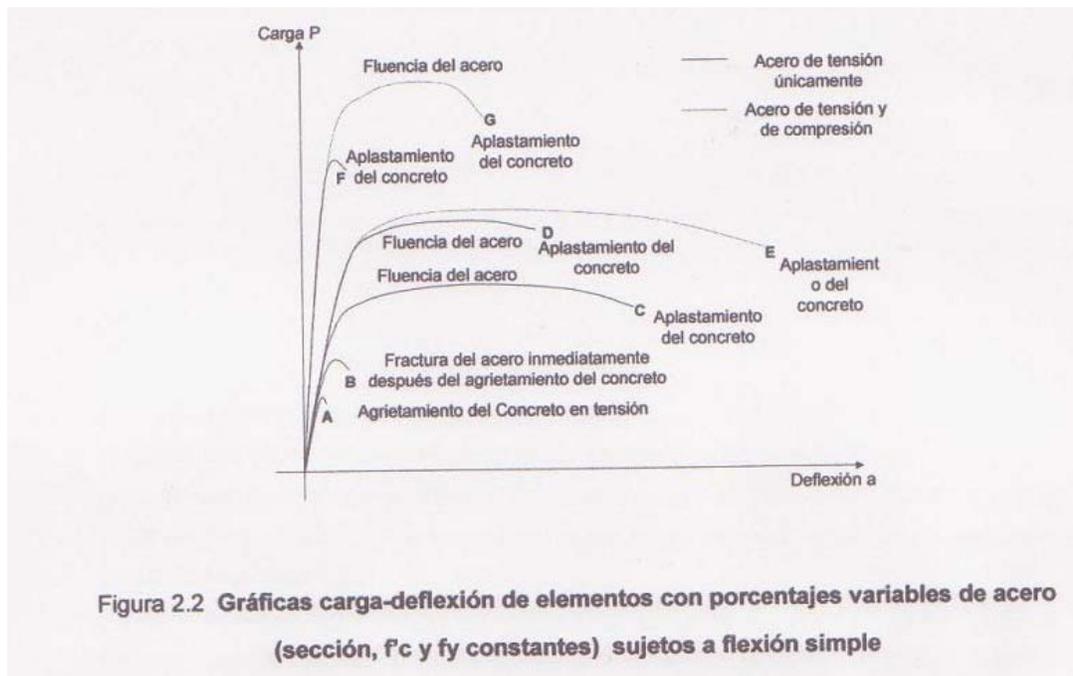
a las cargas. En las regiones agrietadas, el acero toma prácticamente toda la tensión. En esta etapa, el esfuerzo en el acero aumenta hasta que alcanza su valor de fluencia. Desde que el acero empieza a fluir, la deflexión crece en forma considerable, sin que apenas aumente la carga. Esto es, la resistencia 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 concreto 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.



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 subreforzado. 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 sobrerreforzado. Puede

sucedir que el elemento alcance su resistencia precisamente cuando el acero empieza a fluir. En este caso, se dice que el elemento es balanceado (Figura 2.1).

La Figura 2.2 muestra la variación en el comportamiento de elementos que tienen distintos porcentajes de acero. Cada curva de trazo lleno representa la gráfica carga de flexión de un elemento reforzado con una cantidad diferente de acero de tensión, desde una viga de concreto 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.



La Tabla 2.1 es un resumen que complementa lo expuesto en la Figura 2.2. En ella se muestran los casos propuestos en la Figura 2.2 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. En la siguiente Figura (2.3) se muestra la deducción de una fórmula para la obtención del momento nominal M_n , según el reglamento ACI 318-83. Esta deducción es aplicable únicamente a secciones rectangulares subreforzadas, con refuerzo de tensión únicamente (aplicable a los especímenes de esta investigación).

Tabla 2.1 Características de elementos con distintos índices de refuerzo

| Curva correspondiente a la Figura 2.2 | Porcentaje de acero | | Índice de refuerzo ω | Tipo de elemento | Modo de falla | Grado de ductilidad |
|---------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------------------|---------------------|
| | Tensión ρ | Compresión ρ' | | | | |
| A | Nulo | Nulo | Nulo | Concreto simple | Concreto en tensión | Frágil |
| B | Muy pequeño | Nulo | Muy pequeño | Muy Subreforzado | Fractura del acero, frágil | Poco dúctil |
| C | Normal bajo | Nulo | Normal bajo | Subreforzado | Aplastamiento después de la fluencia | Muy dúctil |
| D | Normal alto | Nulo | Normal alto | Subreforzado | Aplastamiento después de la fluencia | Dúctil |
| E | Normal alto | Del orden de tensión | Normal bajo | Subreforzado | Aplastamiento después de la fluencia | Muy dúctil |
| F | Muy alto | Nulo | Muy alto | Sobrerreforzado | Aplastamiento sin fluencia del acero | Frágil |
| G | Muy alto | Del orden de tensión | Normal bajo | Subreforzado | Aplastamiento después de la fluencia | Dúctil |

3.5. Contracción de fragua

Los mismos factores que influyen en la deformación por contracción en el concreto simple influyen también en la deformación por contracción del concreto reforzado con fibras; concretamente, en la temperatura y humedad relativa, propiedades de los materiales, la duración de curación y el tamaño de la estructura. La adición de fibras (particularmente aceros), al concreto tiene efectos beneficiosos para equilibrar los movimientos que surgen a raíz de los cambios de volumen que se dan en el concreto, además tiende a estabilizar los movimientos tempranos al ser comparados con el concreto simple.

La principal ventaja de las fibras en relación a la contracción es su efecto para reducir el espesor adverso de las grietas de contracción. Las grietas de contracción surgen cuando se restringe el concreto con movimientos por contracción. La presencia de fibras de acero demora la formación de la primera fisura, permite que el concreto ajuste más de una fisura y reduce considerablemente el ancho de ésta.

3.6. Resistencia a la fatiga

En muchas aplicaciones, particularmente en pavimentos, 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 fatiga. Ningún ensayo normal (tamaño de la muestra, tipo carga, porcentaje de carga, criterio de falla a la fatiga) se

encuentran actualmente disponible para evaluar el rendimiento de la fatiga por flexión del concreto reforzado con fibras.

La resistencia a la fatiga puede ser descrita como el “máximo esfuerzo” a la fatiga por flexión donde los compuestos de concreto reforzado con fibras pueden aguantar una cantidad prescrita de ciclos de fatiga antes de la falla. También puede ser definida como la cantidad máxima de ciclos de fatiga requerida para ceder una viga bajo un nivel de máximo esfuerzo a la flexión dada.

3.7. Resistencia a la Abrasión y Erosión

Según Nani en 1989, quien realizara 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 concreto simple y el concreto reforzado con fibras de acero. Sin embargo, los resultados indicaron que las fibras de acero 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 concreto.

3.8. Consistencia y Trabajabilidad.

La inclusión de las fibras en el concreto 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.

3.9. Resistencia al Fisuramiento

La resistencia la fisuramiento incide directamente en la durabilidad del concreto reforzado con fibras de acero. Las fibras por lo general no cambian la permeabilidad que es debida a la porosidad del concreto, 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 concreto poroso del ataque agresivo del medio. Las fibras de acero se oxidan solamente en la superficie del concreto. La superficie oxidada es mínima.

3.10. Resistencia al corte.

El uso de las fibras para mejorar el comportamiento al corte del concreto es prometedor, sin embargo, los esfuerzos de investigación registrados sobre el comportamiento al corte de concreto reforzado con fibras son limitados.

La adición de fibras mejora generalmente la ductibilidad y resistencia al corte del concreto. Se ha registrado que los estribos como refuerzo al corte en los miembros del concreto pueden ser parcial totalmente reemplazados por el uso de las fibras de acero.

CAPITULO 4: DISEÑO DE MEZCLA

La selección de proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto, conocida como diseño de mezcla de los materiales, puede ser definida como el proceso de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación más conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado no endurecido. Tenga trabajabilidad y consistencia adecuada; y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador o indicados en los planos y/o las especificaciones de obra.

Para la selección de las propiedades de la mezcla de concreto, se debe recordar que la composición de la misma está determinada por:

- Las propiedades que debe tener el concreto endurecido, las cuales son determinadas por el ingeniero estructural y se encuentran indicadas en los planos y/o las especificaciones.
- Las propiedades del concreto al estado no endurecido, las cuales generalmente son establecidas por el ingeniero constructor en función del tipo y característica de la obra y de las técnicas a ser empleadas en la colocación del concreto.
- El costo de la unidad cúbica de concreto.

En la selección de las proporciones de la mezcla de concreto es necesario conocer además de las propiedades que se requieren y del empleo que se va a dar al concreto, así como las características geográficas y ambientales de la zona en la cual el va a ser utilizado, información básica sobre las propiedades del concreto; así como la consideración de que el concreto debe ser económico no solo en su primer costo sino también en sus futuros servicios.

4.1. Propiedades de la mezcla

Las propiedades o característica que se requiere que tenga la mezcla en función de la utilidad que prestará la obra. Así se requiere utilizarlo en una estructura, tendrá una resistencia acorde a las solicitaciones y además resistente al intemperismo, es decir que sea estable.

En pavimentos con losas de concreto, además de su resistencia al intemperismo, deberá comportarse adecuadamente frente a la abrasión producida por el tráfico.

4.1.1. Propiedades del Concreto Fresco.

Consistencia o Fluidéz:

La consistencia del concreto es una propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma; entendiéndose con ello que cuanto más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante la colocación.

El método de determinación empleado es el ensayo del “Cono de Abrams” (ASTM C – 143) que define la consistencia de la mezcla por el asentamiento, medido en pulgadas o centímetros, de una masa de concreto que previamente ha sido colocada y compactada en un molde metálico de dimensiones definida y tronco cónico. Es una prueba sencilla que se usa tanto en el campo como en el laboratorio.

Se puede clasificar al concreto de acuerdo a su consistencia en tres grupos:

- Concretos consistentes o secos, con asentamiento de 0” a 2”.-
- Concreto plástico, con asentamiento de 3 a 4” (7,5 cm. a 10 cm.).
- Concretos fluidos, con asentamiento con más de 5” (12,5 cm.).

Trabajabilidad.

Es aquella propiedad del concreto que determina su capacidad para ser manipulado, transportando, colocado y consolidando adecuadamente, con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad; así como para ser acabado sin que se presente segregación.

Para facilidad de trabajo y de selección de las proporciones de la mezcla, se reconoce que la trabajabilidad tiene relación con el contenido de cemento en la mezcla; con las características, granulometría, relación de los agregados fino – grueso, y proporción del agregado en la mezcla; con la cantidad de agua y aire en la mezcla y con las condiciones ambientales.

4.1.2. Propiedades del concreto endurecido

Resistencia

La resistencia es considerada como una de las propiedades más importante del concreto endurecido, siendo la que generalmente se emplea para la aceptación o rechazo del mismo.

Está definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de calidad.-

Durabilidad

El concreto debe ser capaz endurecer y mantener sus propiedades en el tiempo, por lo tanto un concreto durable es aquel que puede resistir, en grado satisfactorio, los efectos de las condiciones de servicio a las cuales él está sometido.

Entre los agentes externos e internos capaces de atentar contra la durabilidad del concreto se encuentran los procesos de congelación y

deshielo; los de humedecimiento y secado; los de calentamiento y enfriamiento; y la de aditivos descongelantes.

Elasticidad

El concreto no es inmaterial completamente elástico y la relación esfuerzo – deformación para una carga en constante incremento adopta generalmente la forma de una curva. Generalmente se conoce como módulo de elasticidad a la relación del esfuerzo a la deformación medida en el punto donde la línea se aparte de la recta y comienza ser curva.

En el diseño de mezcla debe tenerse en cuenta que el modulo de elasticidad depende de los siguientes factores:

- La resistencia a la compresión del concreto.
- De la tensión de trabajo.
- De la forma y tiempo de curado del concreto.
- Del grado de humedad.

El módulo de elasticidad del concreto aumenta al incrementarse la resistencia en compresión y, para un mismo concreto, disminuye al aumentar la tensión de trabajo.

4.2. Información necesaria para el diseño de mezcla.

La selección de las proporciones de la mezcla deberá basarse en la información obtenida de los resultados de los ensayos de laboratorio de los materiales a ser ensayados.

4.2.1. Cemento.

Es importante conocer:

- Peso específico del cemento.

- Las proporciones de la mezcla deberán ser seleccionadas para alcanzar el valor de la resistencia de diseño, pero el contenido de cemento no deberá ser menor que el indicado en la tabla IV.1:

Contenido Mínimo de Cemento

| Tamaño Máximo Nominal del Agregado | Contenido Mínimo de Cemento en Kg./cm³ |
|---|--|
| 3/8 | 360 |
| 1/2" | 350 |
| 3/4 | 320 |
| 1" | 300 |
| 1 1/2" | 280 |

4.2.2. Agregados

La aceptación de un agregado para ser empleado en la preparación del concreto deberá basarse en la información obtenida a partir de los ensayos de laboratorio.

Las cantidades de agregados grueso y fino que se emplean por tanda deben permitir la humedad de los mismos. Generalmente, los agregados estarán húmedos y sus masas estimadas aumentarán de manera combinada. Si las masas se determinan sobre una masa seca, entonces el contenido total de humedad se agrega; si las mismas se precisan sobre la base saturada y de superficie seca, también el contenido de humedad se sumará. El contenido que se debe añadir a la mezcla es igual al agua libre menos el contenido de humedad de los agregados.

4.2.3. Otros

Para cada mezcla propuesta deberán prepararse y curarse mínimo dos probetas para ensayos de compresión para cada edad, siguiendo lo indicado en la Norma

ASTM C 192. Las probetas deberán ser enrayadas posresistencia de acuerdo a la Norma ASTM C 39, a los 28 días, o a la edad específica para el ensayo.

En base a los resultados de los ensayos en compresión de las probetas, deberá crearse una curva la cual mostrará la interrelación entre la resistencia en compresión y la relación agua - cemento.

Los pavimentos de concreto se clasifican de acuerdo a la o indicado a la tabla IV.2, dependiendo de las condiciones de su uso. El asentamiento y la resistencia a los 28 días deberán cumplir con los límites mencionados en dicha tabla.

Clasificación de losas de concreto.

| Clase | Tráfico usual | Usos típicos | F'c | Asentamiento (cm.) |
|-------|----------------------------------|---|---------------------|--------------------|
| 1 | Liviano | Residencias | 210 | 10 |
| 2 | Personas | Oficinas, Iglesias Escuelas, Hospitales | 245 | 10 |
| 3 | Rodamiento Neumático | Calzadas, Garajes, Pisos y aceras de residencias | 245 | 10 |
| 4 | Rodamiento Neumático | Industrias livianas y comercio. | 280 | 7,6 |
| 5 | Rodamiento Abrasivo | Pisos industriales con cobertura integrada | 315 | 7,6 |
| 6 | Rodamiento Abrasivo severo | Pisos industriales armados en dos sentidos base, cobertura | 245 350 a 560 | 10 2,5 |

Tabla IV.2

Para todas las clases de pavimentos, la resistencia a la compresión a los tres días deberá ser mayor de 125 Kg./cm².

4.3. Diseño de mezcla para concreto simple y concreto reforzado con fibra de acero

4.3.1. Secuencia en el diseño de la mezcla.

Una vez concluidos con los ensayos para determinar todas las características físicas de los materiales, dígase peso específico, peso unitario, granulometría, contenido de humedad y porcentaje de absorción se procede a lo siguiente.

1. Seleccionar la resistencia promedio (f_{cr}) 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 concreto, que depende del tamaño máximo y del asentamiento de la mezcla.
5. Determinar el porcentaje de aire atrapado.
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 concreto en función de la relación agua – cemento seleccionada y del volumen unitario del agua.
8. Determinar las proporciones relativas del agregado global.
9. Determinar, empleándose el método de diseño seleccionado, las proporciones de la mezcla, considerando que el agregado esta 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.

4.3.2. Cálculo para la dosificación de los materiales

4.3.2.1. Cálculo de la resistencia promedio.

La resistencia a la compresión promedio requerida (f_{cr}) deberá ser determinada empleando los valores de la tabla IV. 3 para una resistencia de diseño $f_c = 210 \text{ Kg./cm}^2$.

| $F'c$ | $f'cr$ |
|--------------|------------|
| Menos de 210 | $f'c + 70$ |
| 210 a 350 | $f'c + 84$ |
| Sobre 350 | $f'c + 98$ |

Tabla IV. 3

Para nuestro caso se obtiene $f'cr = 280 \text{ Kg./cm}^2$, ya que para nuestra resistencia de diseño ($f'c = 210$) le corresponde la segunda opción $f'c + 70$.

4.3.2.2. Selección del Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso

En la medida que el porcentaje de vacíos tienda a disminuir conforme aumente el tamaño máximo nominal de un agregado bien graduado, los requisitos de mortero de la unidad de volumen del concreto serán menores al incrementarse aquel. En la tabla IV. 4 se muestra los porcentajes que pasa por las diferentes mallas.

| Tamaño Máximo Nominal | Porcentaje que pasa por las siguientes mallas | | | | | | | |
|-----------------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------|
| | 2" | 1 ½" | 1" | ¾" | ½" | ¾" | Nº 4 | Nº 8 |
| 2" | 95-100 | ... | 35-70 | ... | 10-30 | ... | 0,5 | ... |
| 1 ½" | 100 | 95-100 | ... | 35-70 | ... | 10-30 | 0,5 | ... |
| 1" | ... | 100 | 95-100 | ... | 25-60 | ... | 0,10 | 0,5 |
| ¾" | ... | ... | 100 | 90-100 | ... | 20-55 | 0,10 | 0,5 |
| ½" | ... | ... | ... | 100 | 90-100 | 40-70 | 0,15 | 0,5 |
| ¾" | ... | ... | ... | ... | 100 | 85-100 | 10,30 | 0,10 |

Tabla IV. 4

Después de haber realizado la granulometría, el tamaño máximo nominal que nos corresponde es el de 1 ½".

4.3.2.3. Selección del asentamiento.

La consistencia es aquella propiedad del concreto no endurecido que define el grado de la humedad de la mezcla de concreto se clasifican en:

- Mezclas secas; aquellas cuyo asentamiento está entre 0" y 2" (0 a 50 mm.).

- Mezclas plásticas; aquellas cuyo asentamiento está entre 3” y 4” pulgadas (75 a 100 mm.).
- Mezclas fluidas, aquella cuyo asentamiento está entre 5” o más pulgadas (mayor 125 mm.).

Existen diferentes métodos de laboratorio para determinar la consistencia de la mezcla de concreto. De todos aquellos se considera que el ensayo medido con el cono Abrams, es aquel que da una mejor idea de las características de la mezcla de concreto. Para la tesis emplearé una consistencia plástica (3” a 4”).

4.3.2.4. Selección del agua de mezclado.

Es la cantidad de agua que se debe incorporar por unidad cúbica de concreto para obtener una consistencia determinada cuando el agregado esta en estado seco.

Después de haber elegido el tamaño máximo nominal del agregado grueso (1 1/2”) de nuestra granulometría, y el asentamiento deseado entre 3” y 4” procedemos a seleccionar el volumen unitario de agua de la tabla IV.5.

| Asentamiento | Agua, en l/m ³ , para los tamaños máximo nominales de agregado de agregado grueso y consistencia indicados. | | | | | | | |
|-------------------------------|--|------|------|-----|--------|-----|-----|-----|
| | 3/8” | 1/2” | 3/4” | 1” | 1 1/2” | 2” | 3” | 6” |
| Concreto sin aire incorporado | | | | | | | | |
| 1” a 2” | 205 | 200 | 190 | 179 | 166 | 154 | 130 | 113 |
| 3” a 4” | 225 | 215 | 205 | 193 | 181 | 169 | 145 | 124 |
| 6” a 7” | 240 | 228 | 216 | 202 | 190 | 178 | 160 | ... |
| Concreto con aire incorporado | | | | | | | | |
| 1” a 2” | 181 | 175 | 168 | 160 | 150 | 142 | 122 | 107 |
| 3” a 4” | 202 | 193 | 184 | 175 | 165 | 157 | 133 | 119 |
| 6” a 7” | 216 | 205 | 197 | 184 | 174 | 166 | 154 | ... |

Tabla IV. 5

De la tabla obtenemos el volumen unitario: 215 l/m³

4.3.2.5. Selección del contenido de aire.

En los concretos siempre hay un pequeño porcentaje de aire atrapado, el cual depende del aporte de los materiales, granulometría y tamaño máximo del agregado. De la tabla IV. 6 da el porcentaje aproximado de aire atrapado, en mezclas sin aire incorporado, para diferentes tamaños máximos nominales de agregados grueso adecuadamente graduado dentro de los requisitos de la norma ASTM C 33. Para nuestro caso entramos en la tabla con tamaño máximo nominal de 1 ½” y obtenemos 1,0 % de aire atrapado.

| Tamaño Máximo Nominal | Aire atrapado |
|-----------------------|---------------|
| 3/8” | 3,0 % |
| 1/2” | 2,5 % |
| 3/4” | 2,0 % |
| 1” | 1,5 % |
| 1 1/2” | 1,0 % |
| 2” | 0,5 % |
| 3” | 0,3 % |

Tabla IV. 6

4.3.2.6. Selección de la relación agua – cemento por resistencia

La relación agua – cemento de diseño, que es el valor a ser seleccionado de las tablas, se refiere a la cantidad de agua que interviene en la mezcla cuando el agregado está en condiciones de saturado superficialmente seco, es decir que no toma ni aporta agua.

La relación agua- cemento efectiva se refiere a la cantidad de agua de la mezcla cuando se tiene en consideración la condición real de humedad del agregado.

| Resistencia a la compresión requerida (fcr) | Relación agua - cemento | |
|---|----------------------------------|----------------------------------|
| | Concreto sin aire incorporado | Concreto con aire incorporado |
| 450 | 0,38 | - |
| 400 | 0,43 | - |
| 350 | 0,48 | 0,40 |
| 300 | 0,55 | 0,46 |
| 250 | 0,62 | 0,53 |
| 200 | 0,70 | 0,61 |
| 150 | 0,80 | 0,71 |

Tabla IV. 7

4.3.2.7. Cálculo del contenido de cemento.

Conocidos el volumen unitario de agua por unidad de volumen de concreto y la relación agua – concreto seleccionada, se puede determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto mediante el simple expediente de dividir volumen unitario de agua, expresado en litros por metro cúbico, entre la relación agua – cemento, obteniéndose el número de kilos de cemento por unidad cúbica de concreto.

$$\text{Factor cemento (FC)} = 181/0,58 = 312,07 \text{ Kg./cm}^3$$

$$\text{FC} = 280 \text{ Kg./cm}^3 \text{ contenido mínimo de cemento para } f'c = 210 \text{ Kg./cm}^2.$$

De ambos valores escogemos el mayor, entonces $\text{FC} = 312,07 \text{ Kg./cm}^3$.

4.3.2.8. Contenido de Agregado Global:

El volumen absoluto de agregado global será igual a la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos. El peso del agregado global será igual a su volumen multiplicado por su peso sólido.

$$\text{Volumen Absoluto Global} = 1 - \left(\frac{312,07}{3120} + \frac{181}{1000} + \frac{1}{100} \right) = 0,709 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso Absoluto Global (s)} = 0,709 \times 2490 = 1765,41 \text{ Kg.}$$

Aire atrapado = 1 %

$$FC = \frac{181}{0,58} = 312,07/42,5 = 7,34 \text{ bolsas}$$

$$\text{Volumen Absoluto Global} = 1 - \left(\frac{312,07}{3120} + \frac{181}{1000} + \frac{1}{100} \right) = 0,709 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso Absoluto Global (s)} = 0,709 \times 2490 = 1765,41 \text{ Kg.}$$

$$\text{Peso Absoluto (h)} = 1765,41 \left(1 + \frac{2,11}{100} \right) = 1802,66 \text{ Kg.}$$

$$\text{Agua Efectiva} = 181 - \left(\frac{2,11 - 1,74}{100} \right) \times 1765,41 = 174,47 \text{ Kg.}$$

CANTIDAD DE MATERIAL / M³ (OBRA)

Cemento= 312,07 Kg. 7,34 bolsas

Agregado Global= 1765,41 Kg. 35,31 Kg.

Agua efectiva = 174,47 Kg. 3,49 l

CAPITULO 5: ENSAYOS DE CONCRETO

5.1. Ensayos de concreto fresco

5.1.1. Control de calidad del concreto Fresco

El control de calidad del concreto fresco depende en primera instancia de los procedimientos de muestreo que permitan contar con porciones representativas, y luego, el conocimiento de las propiedades en este y las pruebas que las evalúan.

La norma ASTM C-172, da las pautas a seguirse en el muestreo, y que consisten básicamente en:

- A. El tiempo transcurrido entre la obtención de dos porciones para formar una muestra debe ser como máximo 15 minutos.
- B. Las muestras deben transportarse al sitio donde se realizarán los ensayos ó donde se moldearán probetas, teniendo que efectuarse un re-mezclado con lampa para uniformizar la mezcla luego del transporte.
- C. Las pruebas de control de concreto fresco deben efectuarse a mas tardar 5 minutos después de obtenida la muestra.
- D. El moldeo de probetas para ensayo de compresión debe iniciarse dentro de los 15 minutos del muestreo.
- E. El tiempo entre la obtención y el uso de la muestra debe ser menor posible, cuidando en todo momento de protegerla del sol, el viento y otras fuentes de evaporación.
- F. El tamaño mínimo de muestras para ensayos de compresión debe ser 1 pie³.
- G. El muestreo de mezcladoras estacionarias o camiones mezcladores debe realizarse del tercio central de la carga, en por lo menos dos porciones que se integrarán en una sola muestra.
- H. El muestreo de concreto ya descargado se debe efectuar con por los menos 5 porciones que se integraran en 1 muestra.

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

5.1.2. Control de la Trabajabilidad y su Trascendencia.

La trabajabilidad constituye el parámetro más manejado por los que diseñan, producen y colocan, sin embargo es el más difícil que definir, evaluar y cuantificar en términos absolutos.

Se define como el mayor o menor trabajo que hay que aportar al concreto en estado fresco en los procesos de fabricación, transporte, colocación, compactación y acabado.

Está influenciado principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa.

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el “slump” o consistencia, medido con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debe tenerse clara la idea que es una manera sumamente limitada de evaluarla, siendo mas una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, pues es fácilmente demostrable que se pueden obtener concretos con igual slump, pero trabajabilidades notablemente diferentes para las mismas condiciones de trabajo.

Es frecuente en las obras darle importancia primordial a este parámetro como condicionante de aprobación o desaprobación del concreto fresco por no tenerse claro el concepto de lo que realmente mide. En términos prácticos si la dosificación del concreto se controla como es lo usual, y en consecuencia se mantiene constante, sólo nos indica cambios en el módulo de fineza total de los agregados al “secarse” o “soltarse” el concreto, pero sin mayor trascendencia en las propiedades resistentes.

Para lograr una mayor aproximación a este parámetro, reología, que es la ciencia que estudia el flujo o desplazamiento de los materiales, ha establecido los siguientes

conceptos que definen el comportamiento reológico del concreto en estado fresco y por consiguiente su trabajabilidad.

5.1.3. Control de Temperatura

Este es un parámetro muy importante de controlar pues condiciona la velocidad con que se desarrolla el proceso de endurecimiento inicial del concreto. El valor de la temperatura del concreto resulta el equilibrio termodinámico entre las temperaturas de los componentes.

La norma ASTM C-1064 indica la manera de medir la temperatura del concreto, para lo cual se debe contar con un termómetro de 0.5 °C de precisión en la lectura, no siendo necesario usar una muestra compuesta, siendo suficiente humedecer previamente el recipiente contenedor antes de colocar el concreto e introducir el termómetro por un tiempo mínimo de 2 minutos hasta que se estabilice la lectura y un máximo de 5 minutos desde la obtención de la muestra, el termómetro debe introducirse de manera que esté cubierto con por lo menos 3" de concreto en todas las direcciones a su alrededor.

5.2. Características del concreto fresco

5.2.1. Estabilidad

Es el desplazamiento o flujo que se produce en el concreto sin medir la aplicación de fuerzas externas.

Se cuantifica por medio de la exudación y la segregación, evaluadas con métodos Estándar que permiten comparar dichas características entre varios diseños, siendo obvio que se debe buscar obtener valores mínimos.

Es interesante notar que ambos fenómenos no dependen expresamente del exceso de agua en la mezcla sino del contenido de **finos y de las propiedades adherentes de las pasta.**

5.2.2. Segregación

En diferentes densidades entre los componentes del concreto provoca una tendencia natural a que las partículas mas pesadas descendan, pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es sólo un 20 % menos que la de los gruesos (para

agregados normales) lo cual sumados a su viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz.

Cuando la viscosidad del mortero se reduce por insuficiente concentración de la pasta, mala distribución de las partículas o granulometría deficiente, las partículas gruesas se separan del mortero y se produce lo que se conoce como segregación.

En los concretos con contenidos de piedras > del 55 % en peso con respecto al peso total de agregados, es frecuente confundir la segregación con la apariencia normal de estos concretos, lo cual es muy simple de verificar obteniéndose dos muestras de concreto fresco de sitios diferentes y comparar el contenido de gruesos por lavado, que no deben diferir en más del 6 % (ASTM C-94).

5.2.3. Compactibilidad.

Es la medida de la facilidad con que puede compactarse el concreto fresco. Existen varios métodos que establecen el denominado “Factor de compactación”, que evalúa la cantidad de trabajo que se necesita para la compactación total, y que consiste en el cociente entre la densidad suelta del concreto en la prueba, dividido entre la densidad del concreto compactado.

Considerando que en nuestro medio no es usual disponer del equipo para la prueba Standard, se puede hacer un ensayo simplificado llenando un molde para peso unitario de por lo menos 1 pie³ dejando caer el material desde una altura máxima de 0,60 m referida al fondo del recipiente hasta colmarlo, alisándolo finalmente sin compactar. El peso unitario en estas condiciones se divide entre el peso unitario compactado Standard (3 capas con 25 golpes, ó 2 capas con vibrador) para obtener el factor de compactación.

Esta operación debe hacerla una sola persona manteniendo constante el equipo para el manipuleo y el procedimiento, ya que los resultados están influenciados significativamente por estos aspectos. Hay que tener claro que los valores obtenidos nos sirven para controlar la trabajabilidad en el campo y comparar diseños con materiales diferentes.

En la medida que reduzcamos al mínimo el factor de compactación, nos acercaremos al diseño más eficiente en este aspecto.

5.2.4. Movilidad

Es la facilidad del concreto a ser desplazado mediante la aplicación de trabajo externo. Se evalúa en función de la viscosidad, cohesión y resistencia interna al corte.

La viscosidad viene dada por la fricción entre las capas de la pasta de cemento, la cohesión es la fuerza de la adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, y la resistencia interna al corte la provee la habilidad de las partículas de agregados a rotar y desplazarse dentro de la pasta.

Finalmente en relación a los criterios generales hay que tener siempre presente que los diseños de mezcla los hacemos inicialmente asumiendo que las condiciones de temperatura y humedad Standard (20 °C, 70 % de humedad relativa), lo cual difiere por lo general de las condiciones reales, por lo que no deben perderse de vista nunca estos factores al diseñar y evaluar un diseño de mezcla, ya que puede trastornar nuestras premisas y resultados.

5.3. Ensayo del Cono de Abrams – Asentamiento (NTP 339.035)

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

Asentamiento de concreto simple

Norma: NTP 339.035

Hecho por : Bach. Wendy Lao Odicio

| Descripción | Símbolo | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 2 |
|--------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Asentamiento | As | 4” | 4 “ | 4” |

As = 4 “

Asentamiento de concreto reforzado con fibra Wirand (25 Kg./m³)

Norma: NTP 339.035

Hecho por: Bach. Wendy Lao Odicio

| Descripción | Símbolo | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 2 |
|--------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Asentamiento | As | 4" | 3 1/2" | 3" |

$$As = 3 \frac{1}{2} "$$

5.4. Ensayos de concreto endurecido

5.4.1. Resistencia al a compresión

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto a carga axial. Generalmente se expresa en Kg./cm² a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo f^c para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas especimenes de concreto; en los Estado Unidos, a menos de que se especifique de otra manera, los ensayos a compresión de mortero se realizan sobre cubos de 5 cm en tanto que los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. El concreto de uso generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 Kg./cm². Un concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de cuando menos 420 Kg./cm². la resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno.



Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON FIBRA

Resultados de 15 muestras de la resistencia a la compresión a los 7 días

| Fecha Mezcla | Fecha Ensayo | Resist. a la Comp. Kg./cm² | % |
|---------------------|---------------------|--|-----------|
| 07/11/2006 | 14/11/2006 | 176 | 84 |
| 07/11/2006 | 14/11/2006 | 169 | 80 |
| 07/11/2006 | 14/11/2006 | 171 | 81 |
| 07/11/2006 | 14/11/2006 | 178 | 85 |
| 07/11/2006 | 14/11/2006 | 172 | 82 |
| 15/11/2006 | 22/11/2006 | 175 | 83 |
| 15/11/2006 | 22/11/2006 | 174 | 83 |
| 15/11/2006 | 22/11/2006 | 180 | 86 |
| 15/11/2006 | 22/11/2006 | 177 | 84 |
| 15/11/2006 | 22/11/2006 | 176 | 84 |
| 27/11/2006 | 04/12/2006 | 181 | 86 |
| 27/11/2006 | 04/12/2006 | 173 | 82 |
| 27/11/2006 | 04/12/2006 | 181 | 86 |
| 27/11/2006 | 04/12/2006 | 174 | 83 |
| 27/11/2006 | 04/12/2006 | 179 | 85 |
| Promedio | | 176 | 84 |

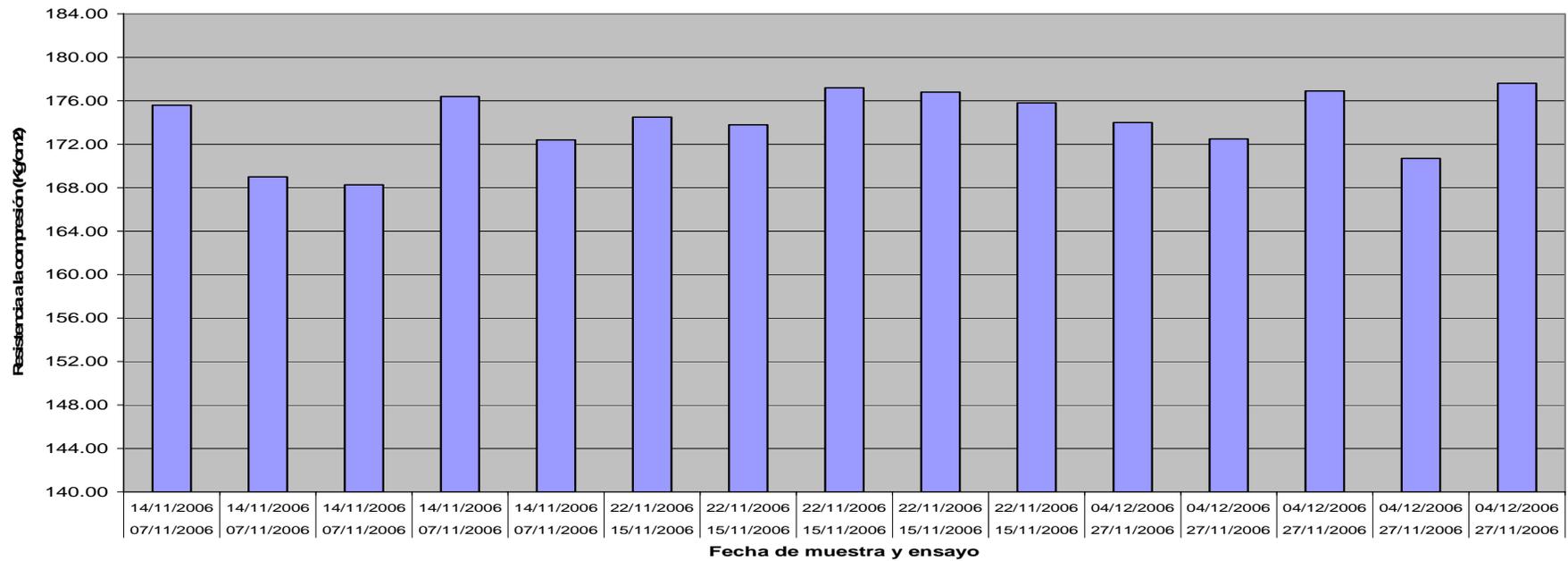


FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

Resultado de la resistencia a la compresión de 15 muestras a los 7 días de realizado la mezcla





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON FIBRA

Resultados de 15 muestras de la resistencia a la compresión a los 14 días

| Fecha Mezcla | Fecha Ensayo | Resist. a la Comp. Kg./cm² | % |
|---------------------|---------------------|--|------------|
| 07/11/2006 | 21/11/2006 | 218 | 104 |
| 07/11/2006 | 21/11/2006 | 219 | 104 |
| 07/11/2006 | 21/11/2006 | 228 | 108 |
| 07/11/2006 | 21/11/2006 | 226 | 108 |
| 07/11/2006 | 21/11/2006 | 229 | 109 |
| 22/11/2006 | 06/12/2006 | 229 | 109 |
| 22/11/2006 | 06/12/2006 | 228 | 109 |
| 22/11/2006 | 06/12/2006 | 229 | 109 |
| 22/11/2006 | 06/12/2006 | 226 | 107 |
| 22/11/2006 | 06/12/2006 | 226 | 108 |
| 07/12/2006 | 21/012/06 | 229 | 109 |
| 07/12/2006 | 21/012/06 | 223 | 106 |
| 07/12/2006 | 21/012/06 | 216 | 103 |
| 07/12/2006 | 21/012/06 | 228 | 108 |
| 07/12/2006 | 21/012/06 | 226 | 108 |
| Promedio | | 225 | 107 |

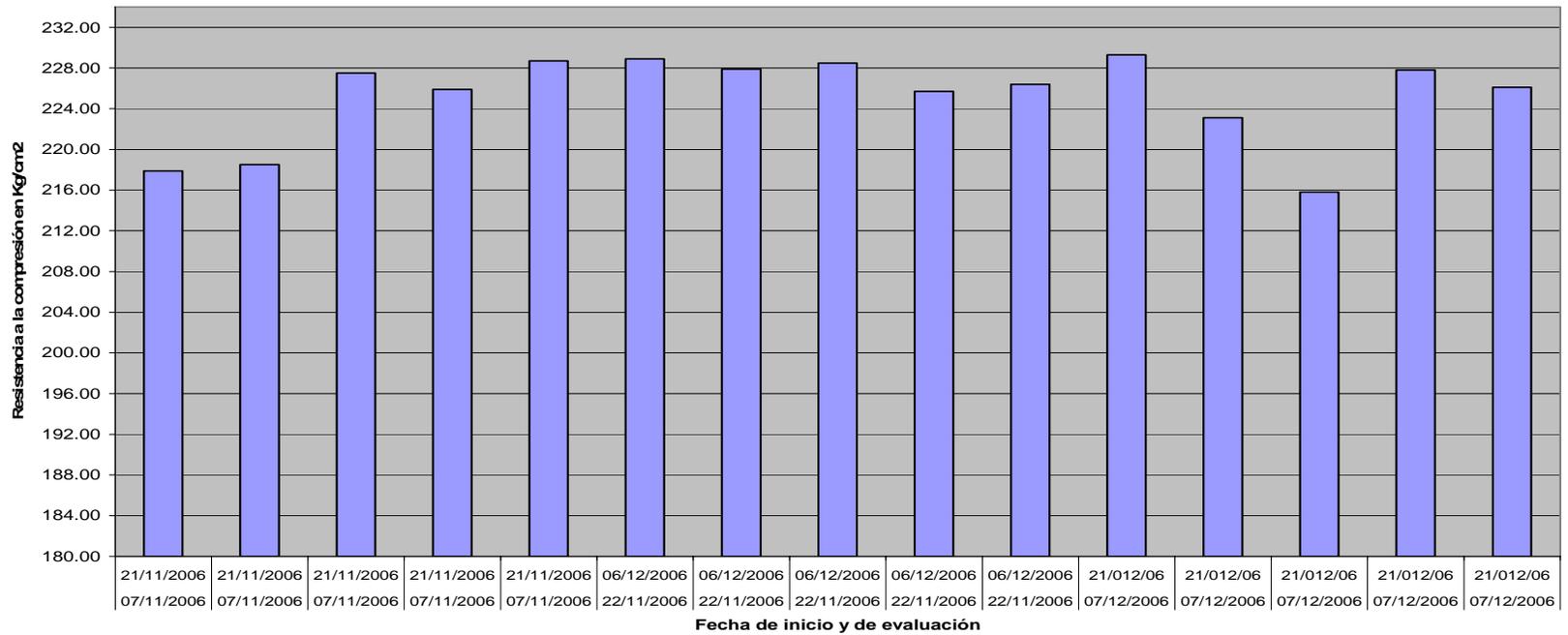


FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

Resultado de la resistencia a la compresión de 15 muestras a los 14 días de realizado la mezcla





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON FIBRA

Resultados de 15 muestras de la resistencia a la compresión a los 21 días

| Fecha Mezcla | Fecha Ensayo | Resist. a la Comp. Kg./cm ² | % |
|-----------------|--------------|---|------------|
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 234 | 111 |
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 237 | 113 |
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 234 | 111 |
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 235 | 112 |
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 235 | 114 |
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 238 | 113 |
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 234 | 111 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 236 | 112 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 235 | 112 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 236 | 112 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 237 | 113 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 235 | 112 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 234 | 111 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 238 | 113 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 237 | 113 |
| Promedio | | 236 | 112 |

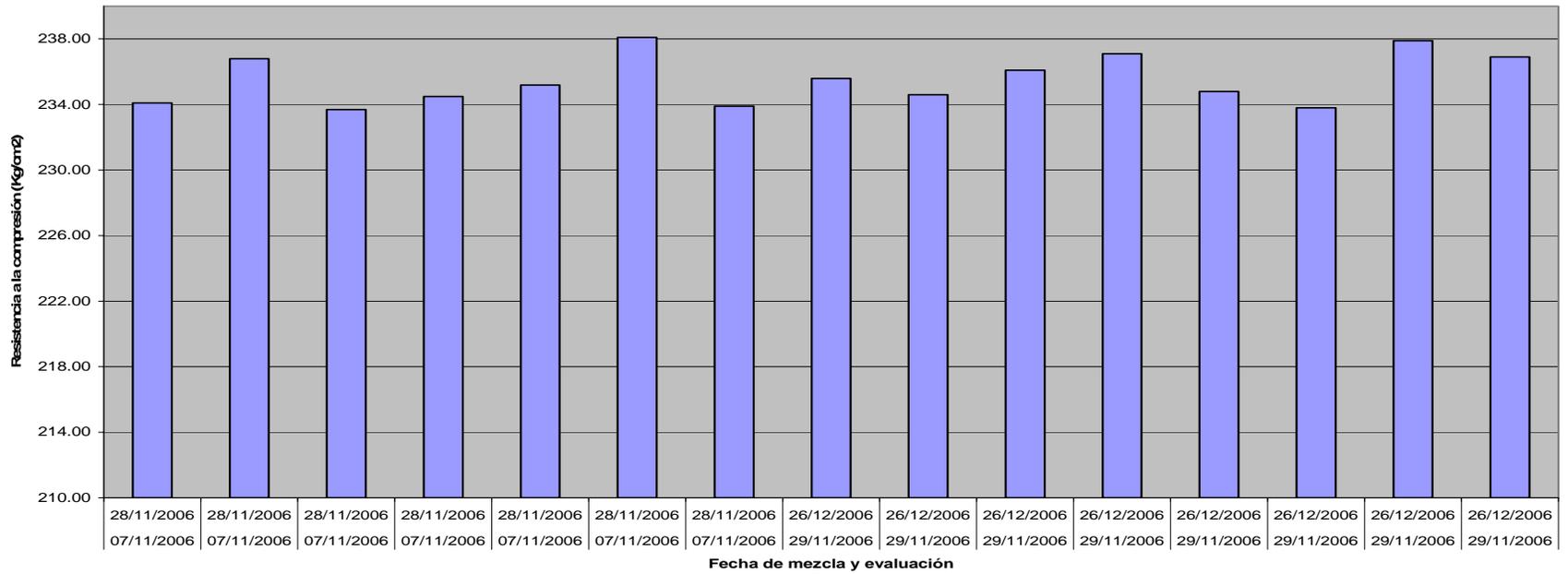


FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

Resultado de la resistencia a la compresión de 15 muestras a los 21 días de realizado la mezcla





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON FIBRA

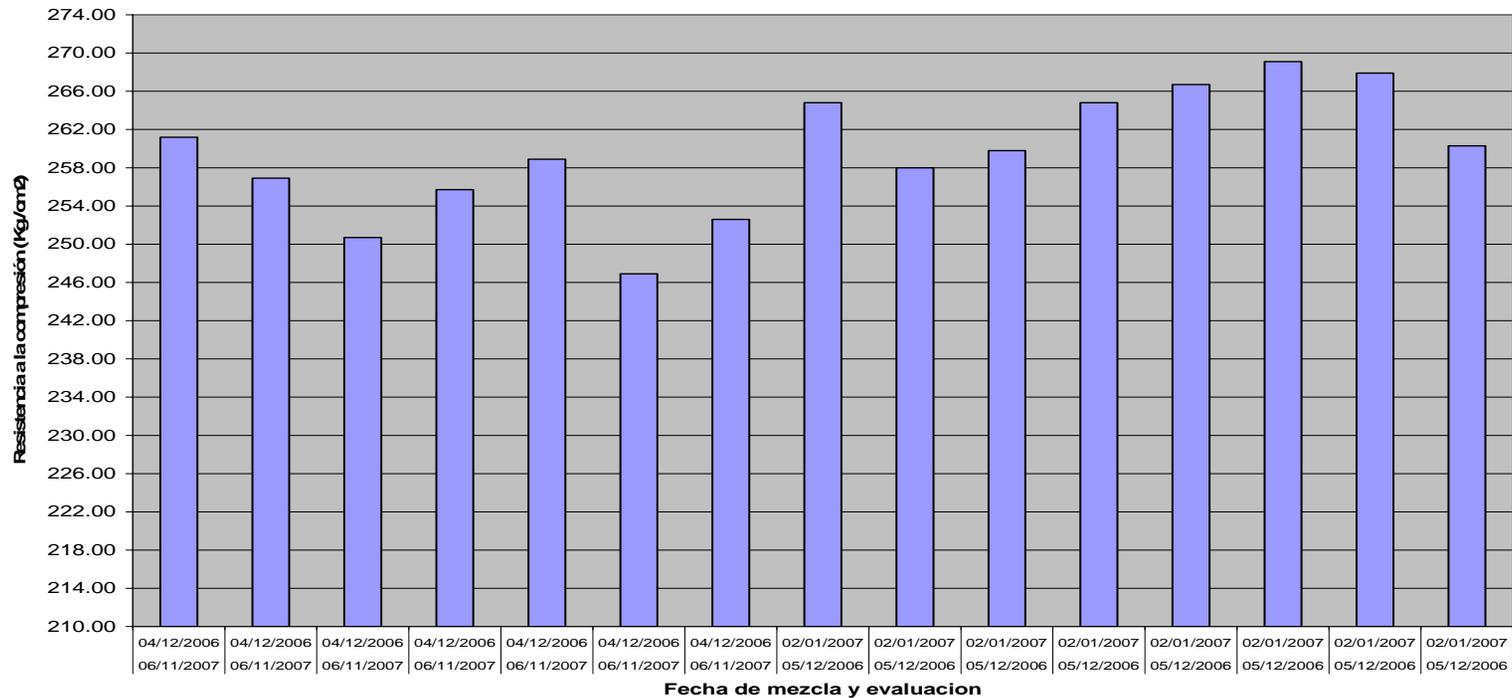
Resultados de 15 muestras de la resistencia a la compresión a los 28 días

| Fecha Mezcla | Fecha Ensayo | Resist. a la Comp. Kg/cm² | % |
|---------------------|---------------------|---|------------|
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 261. | 124 |
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 257 | 122 |
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 251 | 119 |
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 256 | 122 |
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 259 | 123 |
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 247 | 118 |
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 253 | 120 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 265 | 126 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 258 | 123 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 260 | 124 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 265 | 126 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 267 | 127 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 269 | 128 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 268 | 128 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 260 | 124 |
| Promedio | | 260 | 124 |



Laboratorio de Ensayo de Materiales

Resultado de la resistencia a la compresión de 15 muestras a los 28 días de realizado la mezcla





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON FIBRA

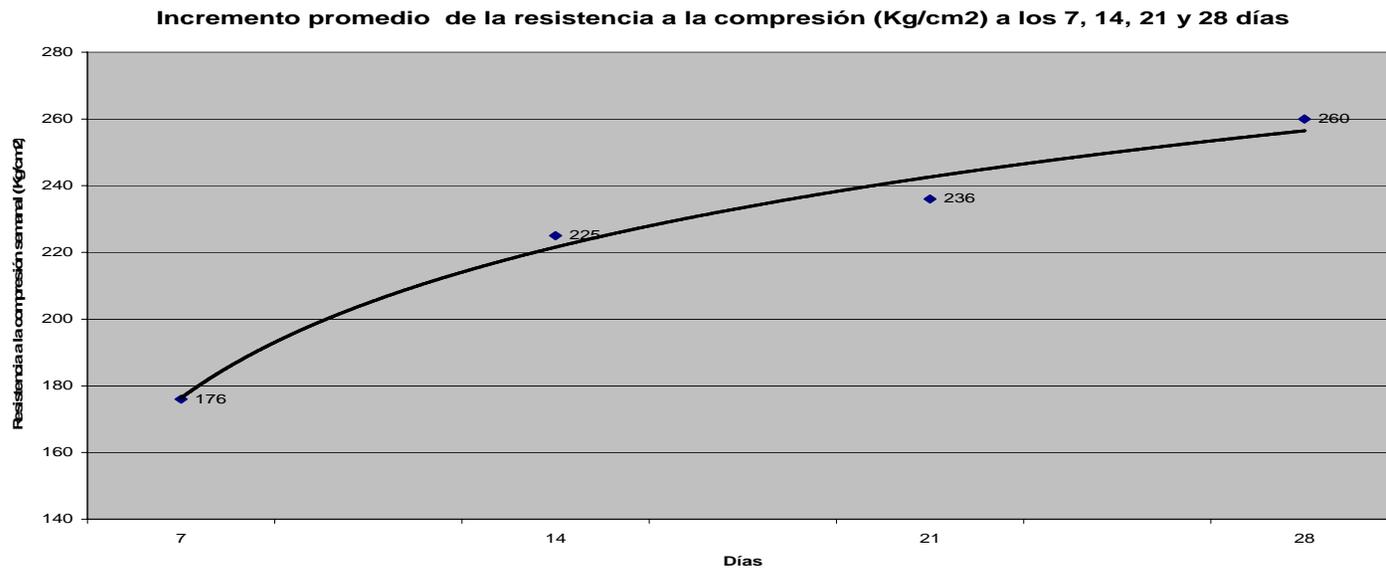
Resultados Promedio de la resistencia a la compresión a los de 7, 14, 21, 28 días

| Intervalo en Días | Prom. Resistencia a la Compresión | Promedio % |
|------------------------------|--|-----------------------|
| 7 | 176 | 84 |
| 14 | 225 | 107 |
| 21 | 236 | 112 |
| 28 | 260 | 124 |



Laboratorio de Ensayo de Materiales

Resultados Promedio de la resistencia a la compresión a los de 7, 14, 21, 28 días





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIN FIBRA

Resultados de 15 muestras de la resistencia a la compresión a los **7 días**

| Fecha Mezcla | Fecha Ensayo | Resist .a la Comp. Kg./cm2 | % |
|---------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------|
| 07/11/2006 | 14/11/2006 | 159 | 76 |
| 07/11/2006 | 14/11/2006 | 157 | 75 |
| 07/11/2006 | 14/11/2006 | 154 | 74 |
| 07/11/2006 | 14/11/2006 | 160 | 76 |
| 07/11/2006 | 14/11/2006 | 154 | 73 |
| 15/11/2006 | 22/11/2006 | 155 | 74 |
| 15/11/2006 | 22/11/2006 | 153 | 73 |
| 15/11/2006 | 22/11/2006 | 155 | 74 |
| 15/11/2006 | 22/11/2006 | 160 | 76 |
| 15/11/2006 | 22/11/2006 | 160 | 76 |
| 27/11/2006 | 04/12/2006 | 159 | 76 |
| 27/11/2006 | 04/12/2006 | 158 | 75 |
| 27/11/2006 | 04/12/2006 | 156 | 74 |
| 27/11/2006 | 04/12/2006 | 160 | 76 |
| 27/11/2006 | 04/12/2006 | 160 | 76 |
| Promedio | | 157 | 75 |

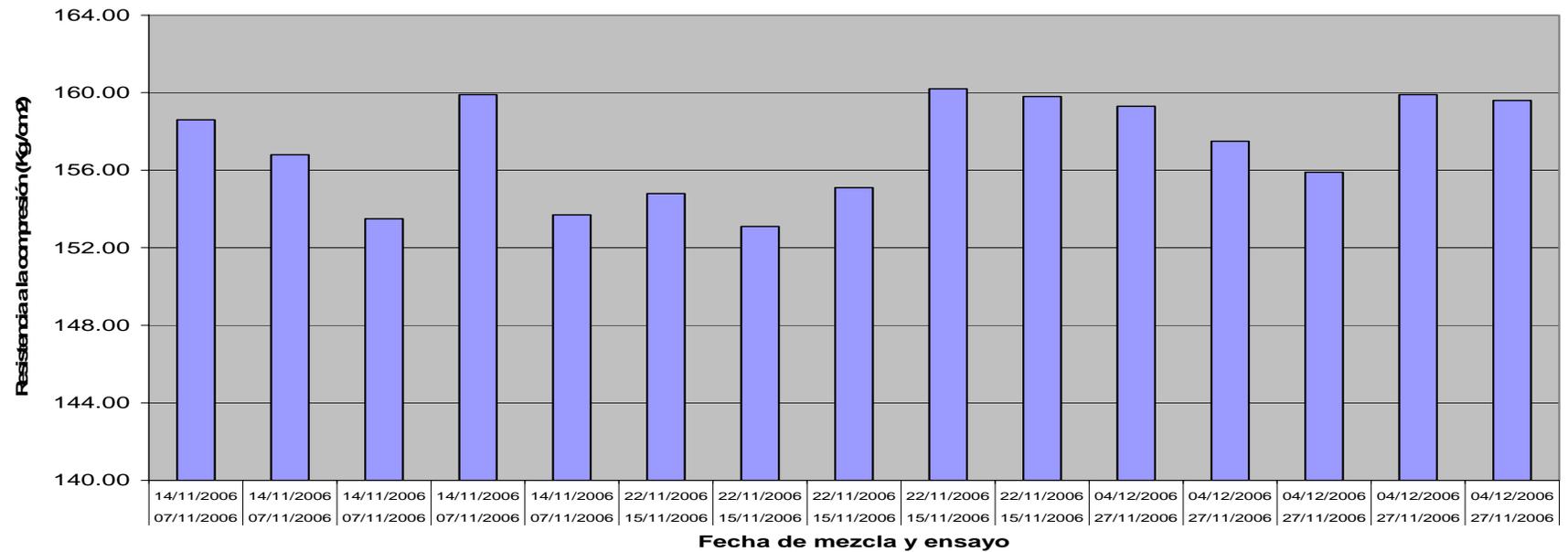


FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

Resultados de 15 muestras de la resistencia a la compresión a los 7 días





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIN FIBRA

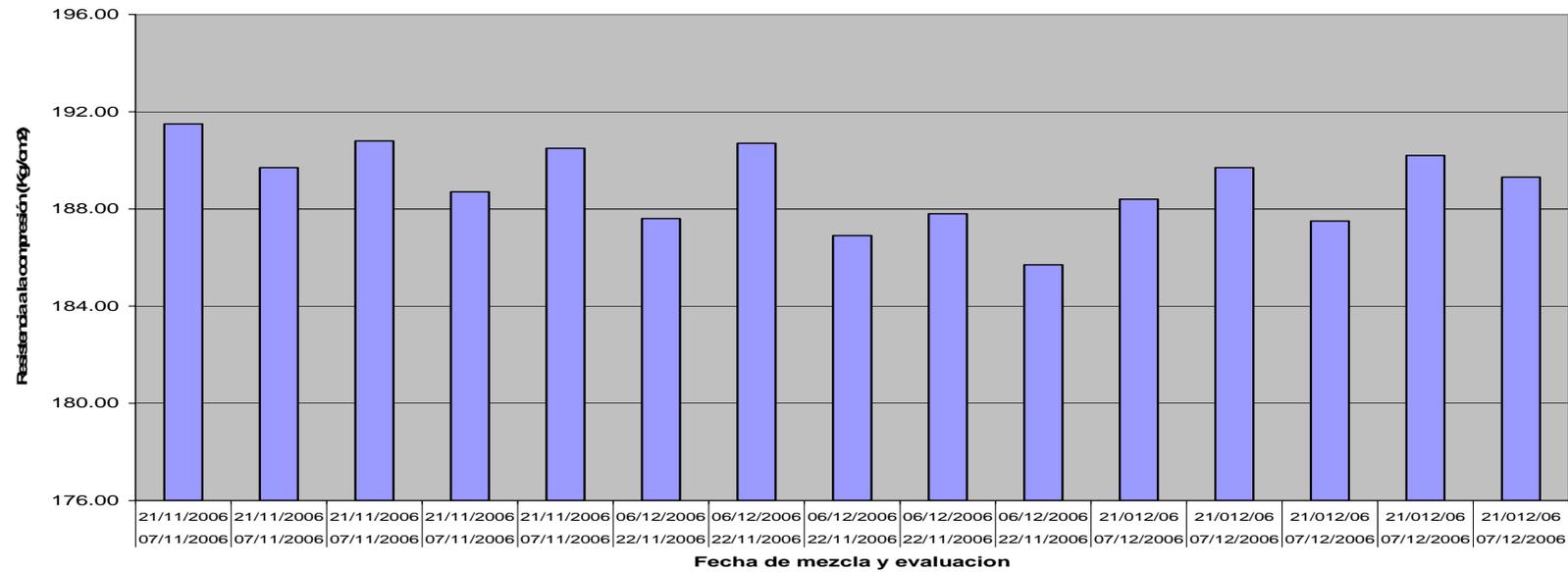
Resultados de 15 muestras de la resistencia a la compresión a los 14 días

| Fecha Mezcla | Fecha Ensayo | Resist. a la Comp. Kg./cm² | % |
|---------------------|---------------------|--|-----------|
| 07/11/2006 | 21/11/2006 | 191 | 91 |
| 07/11/2006 | 21/11/2006 | 190 | 90 |
| 07/11/2006 | 21/11/2006 | 191 | 91 |
| 07/11/2006 | 21/11/2006 | 189 | 90 |
| 07/11/2006 | 21/11/2006 | 191 | 91 |
| 22/11/2006 | 06/12/2006 | 188 | 89 |
| 22/11/2006 | 06/12/2006 | 191 | 81 |
| 22/11/2006 | 06/12/2006 | 187 | 89 |
| 22/11/2006 | 06/12/2006 | 188 | 89 |
| 22/11/2006 | 06/12/2006 | 186 | 88 |
| 07/12/2006 | 21/012/06 | 188 | 90 |
| 07/12/2006 | 21/012/06 | 190 | 90 |
| 07/12/2006 | 21/012/06 | 188 | 89 |
| 07/12/2006 | 21/012/06 | 190 | 91 |
| 07/12/2006 | 21/012/06 | 189 | 90 |
| Promedio | | 189 | 89 |



Laboratorio de Ensayo de Materiales

Resultados de 15 muestras de la resistencia a la compresión a los 14 días





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIN FIBRA

Resultados de 15 muestras de la resistencia a la compresión a los 21 días

| Fecha Mezcla | Fecha Ensayo | Resist. a la Comp. Kg./cm² | % |
|---------------------|---------------------|--|-----------|
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 203 | 97 |
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 205 | 97 |
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 202 | 96 |
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 205 | 97 |
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 207 | 98 |
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 202 | 96 |
| 07/11/2006 | 28/11/2006 | 203 | 97 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 200 | 95 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 207 | 98 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 205 | 98 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 210 | 95 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 203 | 97 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 206 | 98 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 207 | 98 |
| 29/11/2006 | 26/12/2006 | 201 | 96 |
| Promedio | | 204 | 97 |

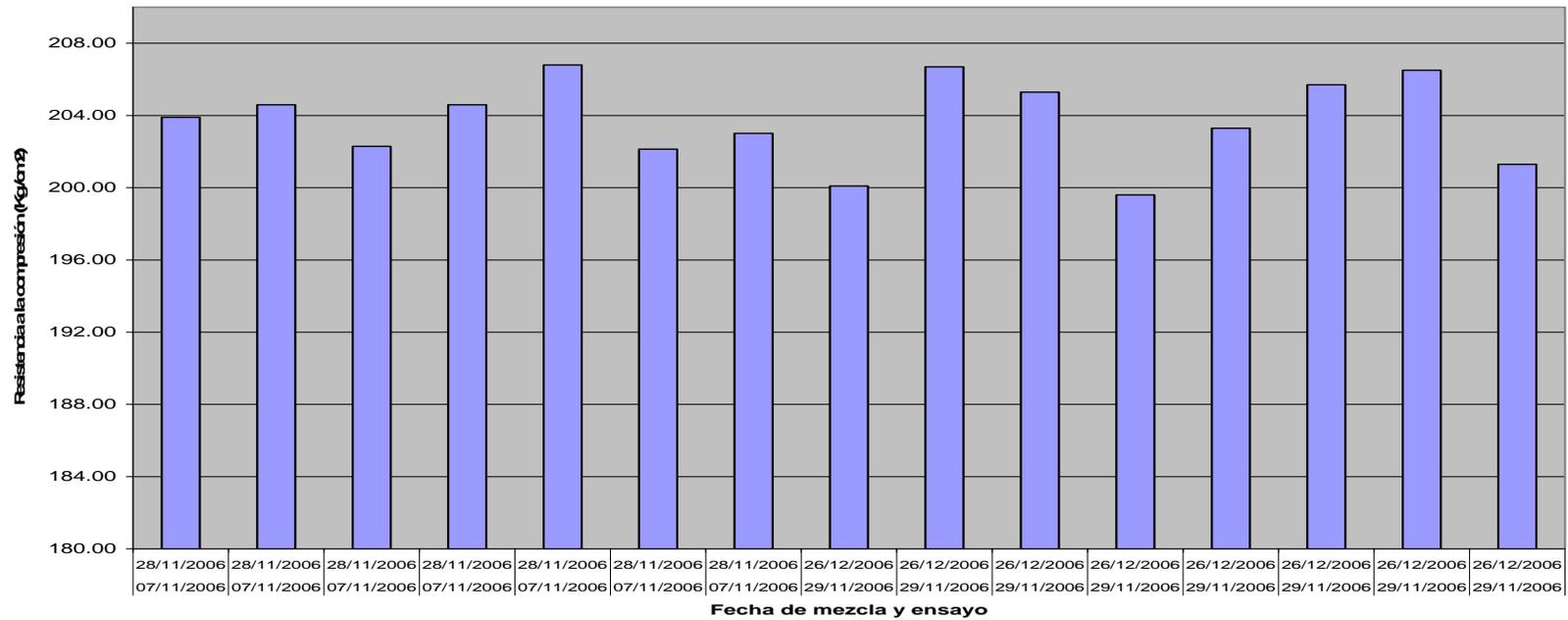


FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

Resultados de 15 muestras de la resistencia a la compresión a los 21 días





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIN FIBRA

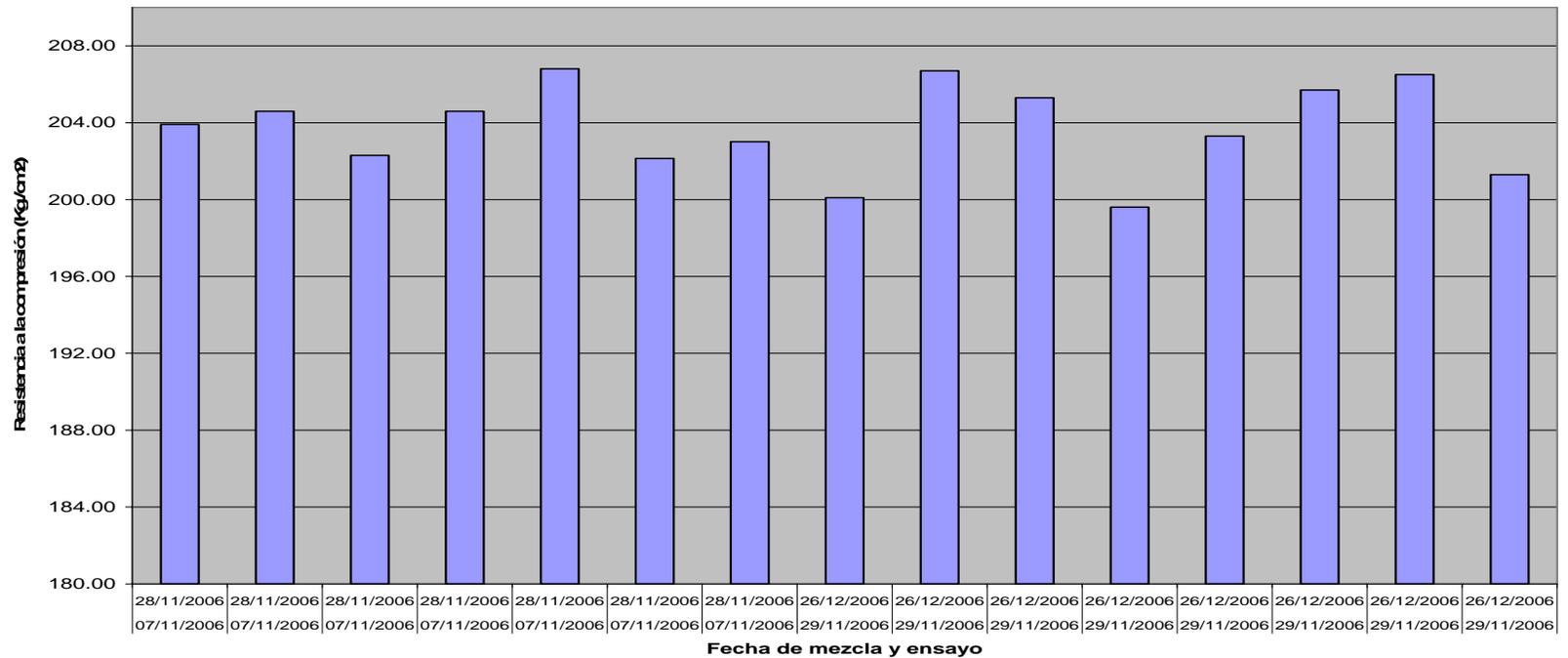
Resultados de 15 muestras de la resistencia a la compresión a los 28 días

| Fecha Mezcla | Fecha Ensayo | Resis. a la Comp. Kg./cm ² | % |
|-----------------|--------------|--|------------|
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 220 | 105 |
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 221 | 105 |
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 219 | 104 |
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 225 | 107 |
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 223 | 106 |
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 220 | 105 |
| 06/11/2007 | 04/12/2006 | 226 | 107 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 220 | 105 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 222 | 105 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 220 | 105 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 227 | 108 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 224 | 106 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 227 | 108 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 224 | 107 |
| 05/12/2006 | 02/01/2007 | 222 | 106 |
| Promedio | | 223 | 106 |



Laboratorio de Ensayo de Materiales

Resultados de 15 muestras de la resistencia a la compresión a los 28 días





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIN FIBRA

Resultados Promedio de la resistencia a la compresión a los de 7, 14, 21, 28 días

| Intervalo en Días | Prom. Resistencia a la Compresión Sin fibra |
|------------------------------|--|
| 7 | 157 |
| 14 | 189 |
| 21 | 204 |
| 28 | 223 |

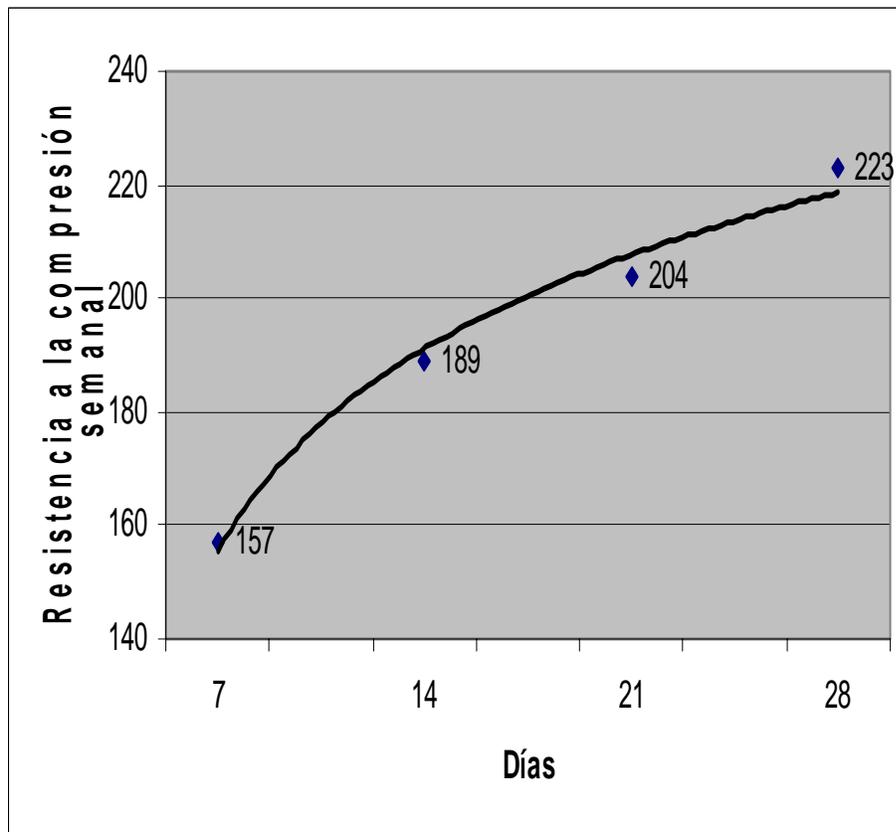


FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

Resultados Promedio de la resistencia a la compresión a los de 7, 14, 21, 28 días





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON Y SIN FIBRA

Resultados Promedio de la resistencia a la compresión a los de 7, 14, 21, 28 días

| Intervalo en Días | Prom. Resistencia a la Compresión Sin fibra | Prom. Resistencia a la Compresión Con fibra |
|------------------------------|--|--|
| 7 | 157,00 | 176,00 |
| 14 | 189,00 | 225,00 |
| 21 | 204,00 | 236,00 |
| 28 | 223,00 | 260,00 |

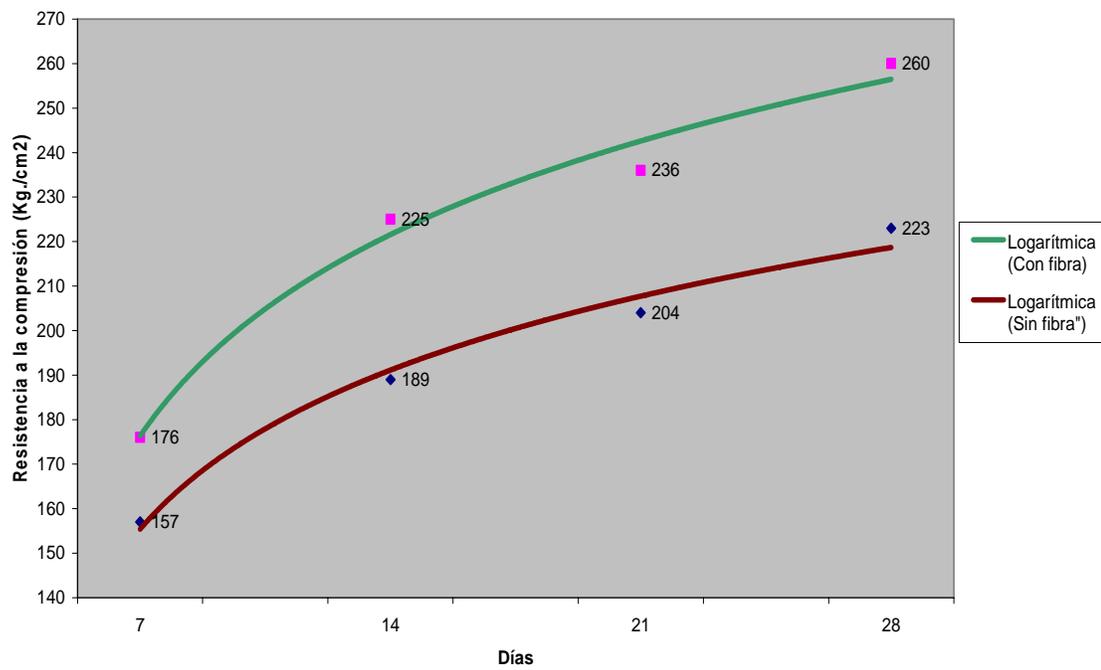


FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

Resultados Promedio de la resistencia a la compresión a los de 7, 14, 21, 28 días





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

INSTRUCCIÓN DE TRABAJO: ASTM C-1018.07 y ASTM C-78.02 MÉTODO ESTÁNDAR DE ENSAYO PARA HALLAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO (USANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA A LOS TERCIOS DE LUZ)

| f c | Vigas " Moldeadas" (150 x 150 x 500 mm) | | Vigas "Cortadas" (100 x 100 x 350 mm) | |
|------------------------------|---|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| | P máx esperado | {3% y 6 %} P máx. esperado | P. máx | {3% y 6%} P. máx. esperado |
| | | | esperado | |
| Mpa / (Kg./cm ²) | KN / (Kg.) | KN / (Kg.) | KN / (Kg.) | KN / (Kg.) |
| 17,2 / (175) | 20 / (2000) | {0,60 y 1,2} / {60 y 120} | 9 / (880) | {0,25 y 0,50} / {25 y 50} |
| 20,6 / (210) | 22 / (2200) | {0,65 y 1,3} / {65 y 130} | 10 / (975) | {0,30 y 0,60} / {30 y 60} |
| 27,5 / (280) | 25 / (2500) | {0,75 y 1,5} / {75 y 150} | 11 / (1115) | {0,35 y 0,70} / {35 y 70} |
| 34,3 / (350) | 28 / (2800) | {0,85 y 1,7} / {85 y 170} | 13 / (1250) | {0,40 y 0,75} / {40 y 75} |
| 41,2 / (420) | 31 / (3100) | {0,90 y 1,8} / {90 y 185} | 14 / (1375) | {0,45 y 0,85} / {45 y 85} |





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYOS DE FLEXIÓN EN MUESTRAS DE CONCRETO ENDURECIDO,
REFORZADOS CON FIBRAS, DETERMINACIÓN DE LA TENACIDAD POR
FLEXIÓN DEL CONCRETO CON FIBRAS USANDO VIGAS PRISMÁTICAS
ESTÁNDAR -MOLDEADAS-CARGADAS EN EL TERCIO CENTRAL

| Viga N° | b (mm) | h (mm) | Lo (mm) | Pf (N) | Def* (mm) | Def. (mm) | R (Mpa) | Tenac* (N-m) | Tenac (N-m) | 15 | 110 | R-5.10 | 120 | R-10.20 |
|-------------------|-----------|-----------|------------|--------|--------------|--------------|------------|-----------------|----------------|-------|-------|--------|--------|---------|
| V 1 | 152 | 150,3 | 453 | 23445 | 0,444 | 0,477 | 3,43 | 3,52 | 4,338 | 3,579 | 5,703 | 42,486 | 8,750 | 30,465 |
| V 2 | 153 | 151,7 | 453 | 19692 | 0,300 | 0,337 | 2,82 | 2,811 | 3,554 | 2,897 | 4,62 | 34,470 | 10,093 | 54,726 |
| Promedio: | | | | 21569 | 0,372 | 0,407 | 3,122 | 3,165 | 3,946 | 3,238 | 5,162 | 38,478 | 9,421 | 42,595 |
| Desv. Est. | | | | 2653,8 | 0,1017 | 0,0992 | 0,4323 | 0,502 | 0,555 | 0,482 | 0,766 | 5,668 | 0,950 | 17,155 |

Donde:

b,h: ancho y alto de la sección transversal del espécimen (viga prismática), tal como se realizó el ensayo.

Lo: Longitud libre entre apoyos

Pf : Carga de fisuración del espécimen (First-crack load)

Def.: Deflexión corregida - medida en $Lo/2$ - correspondiente a la carga de fisuración.

Def.*: Deflexión corregida - medida en $Lo/2$ - correspondiente al 90 % de la carga de fisuración

R: Módulo de rotura (evaluando con P máximo), calculado según ASTM C - 78, como lo indica ASTM C -1018

Tenac.: Tenacidad, evaluada -en forma automatizada- como el área bajo la curva P -vs- Def. Correspondiente a una deflexión especificada.

Tenac.*: Tenacidad, evaluada -en forma automatizada- como el área bajo la curva P -vs- Def. : Correspondiente a una deflexión especificada. (Fisuración)

l i : Índices de tenacidad (i puede adoptar valores de 5, 10 ó 20)

R, j, k: Factores de resistencia residual (j, k adoptan valores de 5, 10 ó 20)

Notas: Este ensayo se realizó en la PUCP por no contar con el equipo necesario.

El ensayo de flexión se realizó controlando la deflexión (en el centro de la luz entre apoyos) a razón de 0,5 mm/min., hasta la primera fisuración; y de 1 mm./min., hasta el final del ensayo.

Se registro gráficamente y en forma continua la variación de la carga vs las deflexión. Se uso un transductor de desplazamientos lineales (LVDT) de 10 mm. y 0,001 mm. de precisión. Se incluye el registro gráfico P(kN) –vs- D(mm).

La viga falló en el tercio central

El ensayo de flexión fue realizado con una máquina universal de ensayos, calibrada contra una celda de carga patrón, debidamente calibrada y trazable internacionalmente.

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



FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

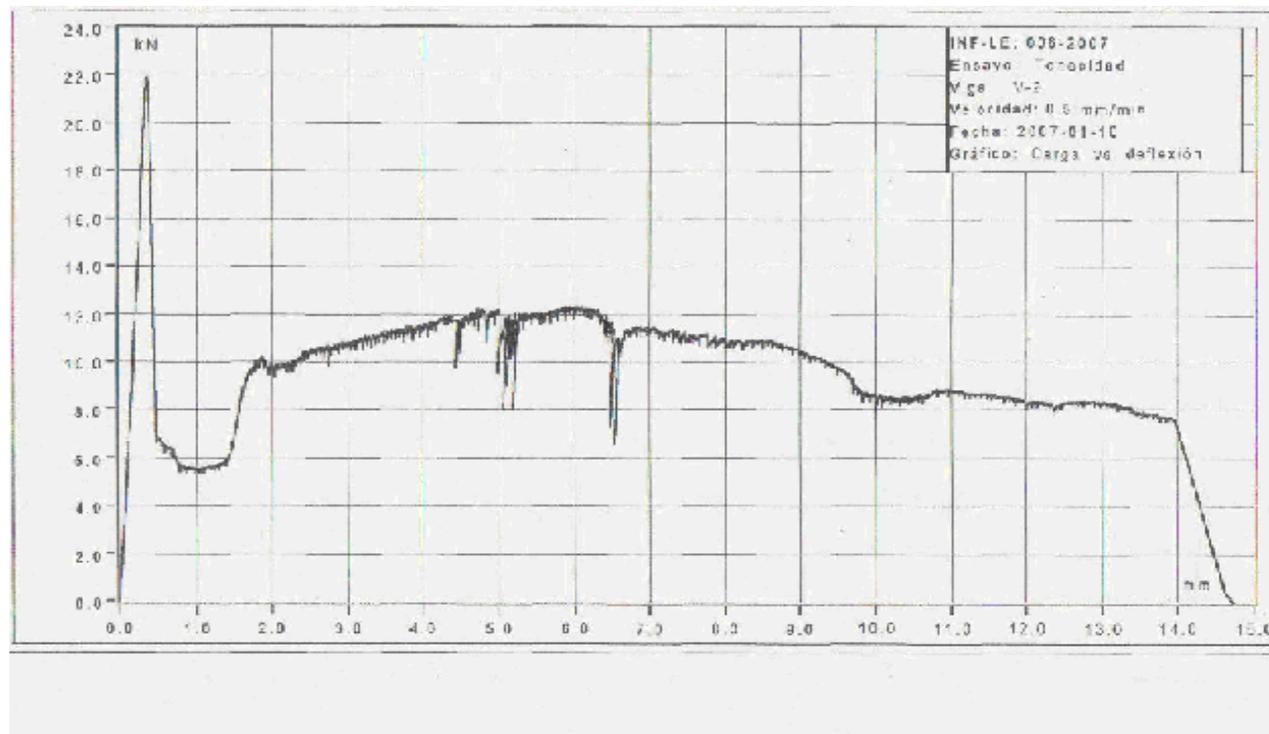
Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE FLEXION – TENACIDAD



Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE FLEXION – TENACIDAD





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYOS DE FLEXIÓN EN MUESTRAS DE CONCRETO ENDURECIDO, REFORZADOS CON FIBRAS, DETERMINACIÓN DE LA TENACIDAD POR FLEXIÓN DEL CONCRETO CON FIBRAS USANDO VIGAS PRISMÁTICAS ESTÁNDAR -MOLDEADAS-CARGADAS EN EL TERCIO CENTRAL

| Viga Nº | b (mm) | h (mm) | Lo (mm) | Pf (N) | Def* (mm) | Def. (mm) | R (Mpa) | Tenac* (N-m) | Tenac (N-m) | I 5 | I 10 | R-5.10 | I 20 | R-10.20 |
|----------|--------|--------|---------|--------|-----------|-----------|---------|--------------|-------------|-------|-------|--------|---------|---------|
| V 3 | 155 | 148 | 444 | 25857 | 0,309 | 0,342 | 3,75 | 3,633 | 4,460 | 3,527 | 6,375 | 59,956 | 137,111 | 73,363 |
| Promedio | | | | | | | | | | | | | | |

Donde:

b,h: ancho y alto de la sección transversal del espécimen (viga prismática), tal como se realiza el ensayo.

Lo: Longitud libre entre apoyos

Pf: Carga de fisuración del espécimen (First-crack load)

Def.: Deflexión corregida - medida en $Lo/2$ - correspondiente a la carga de fisuración.

Def.*: Deflexión corregida - medida en $Lo/2$ - correspondiente al 90 % de la carga de fisuración

R: Módulo de rotura (evaluando con P máximo), calculado según ASTM C - 78, como lo indica ASTM C -1018

Tenac.: Tenacidad, evaluada -en forma automatizada- como el área bajo la curva P -vs- Def. Correspondiente a una deflexión especificada.

Tenac.*: Tenacidad, evaluada -en forma automatizada- como el área bajo la curva P -vs- Def. : Correspondiente a una deflexión especificada. (Fisuración)

l i : Índices de tenacidad (i puede adoptar valores de 5, 10 ó 20)

R, j, k: Factores de resistencia residual (j, k adoptan valores de 5, 10 ó 20)

Notas: Este ensayo se realizó en la PUCP por no contar con el equipo necesario

El ensayo de flexión se realizó controlando la deflexión (en el centro de la luz entre apoyos) a razón de 0.5 mm/min., hasta la primera fisuración; y de 1 mm./min., hasta el final del ensayo.

Se registro gráficamente y en forma continua la variación de la carga vs las deflexión. Se uso un transductor de desplazamientos lineales (LVDT) de 10 mm. y 0.001 mm. de precisión. Se incluye el registro gráfico P(kN) –vs- D(mm).

La viga fallo en el tercio central

El ensayo de flexión fue realizado con una maquina universal de ensayos, calibrada contra una celda de carga patrón, debidamente calibrada y trazable internacionalmente.

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

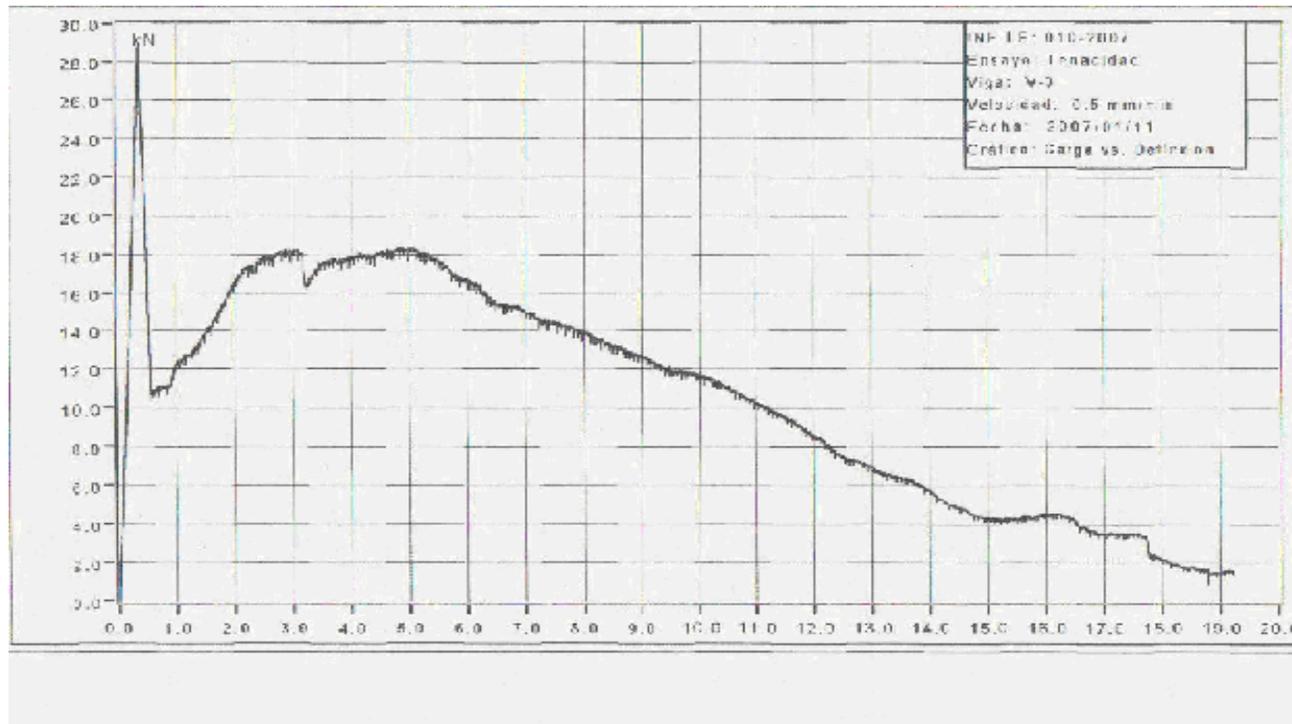


FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE FLEXION – TENACIDAD





FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Ingeniería civil

Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYOS DE FLEXIÓN EN MUESTRAS DE CONCRETO

ENDURECIDO, REFORZADOS CON FIBRAS.

| N° | Descripción | Fecha de Vaciado | Fecha de Rotura | Fuerza KN | Kg. |
|----|----------------------|------------------|-----------------|-----------|-------|
| 1 | Viga 1 – 15,2 x 15,3 | 06/11/2006 | 05/12/2006 | 27 | 2 704 |
| 2 | Viga 2 – 15,1 x 15,2 | 06/11/2006 | 05/12/2006 | 19 | 1 888 |
| 3 | Viga 3 – 15,3 x 15,1 | 06/11/2006 | 05/12/2006 | 29 | 2 908 |

$$M_R = \frac{PL}{bh^2}$$

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

$$M_{R1} = \frac{2\,704 \times 40 \text{ cm.}}{15,2 \times (15,3)^2} = 30,98 \text{ Kg./cm}^2$$

$$M_{R2} = \frac{1\,888 \times 40 \text{ cm.}}{15,1 \times (15,2)^2} = 21,65 \text{ Kg./cm}^2$$

$$M_{R3} = \frac{2\,908 \times 40 \text{ cm.}}{15,3 \times (15,1)^2} = 33,34 \text{ Kg./cm}^2$$

Se puede apreciar que el módulo de rotura para las vigas ensayadas, la viga 1 ensayada tiene un módulo de rotura de 30,98 Kg./cm² a 28 días, por lo que es mayor a la décima parte de $f_c = 210 \text{ Kg./cm}^2$, quiere decir que el concreto actuó bien.

Se puede apreciar que el módulo de rotura para las vigas ensayadas, la viga 2 ensayada tiene un módulo de rotura de 21,65 Kg./cm² a 28 días, por lo que es menor a la décima parte de $f_c = 210 \text{ Kg./cm}^2$.

Se puede apreciar que el módulo de rotura para las vigas ensayadas, la viga 3 ensayada tiene un módulo de rotura de 33,34 Kg./cm² a 28 días, por lo que es mayor a la décima parte de $f_c = 210 \text{ Kg./cm}^2$, quiere decir que el concreto actuó bien.

Como resultado final se concluye que la viga N° 2 salió un valor menor a la décima parte de $f_c = 210 \text{ Kg./cm}^2$ debido que al parecer no se preparó en forma adecuada el molde

CAPITULO 6: RESULTADOS ECONÓMICOS

A) PAÑOS TRADICIONAL CON ACERO

Paños de 4,00 m x 3,60 m

$$1) As = \frac{196,25 \times 4 (3,6 \times 15)^{1/2}}{3,023}$$

3,023

$$As = 1,91 \text{ cm}^2$$

$$\Phi 3/8'' = 0,71 \text{ cm}$$

$$S (\text{cm}) = \frac{0,71 \times 100}{1,91} = 37,17 \text{ cm}$$

1,91

$$2) As = \frac{196,25 \times 3,6 (4 \times 15)^{1/2}}{3,023}$$

3,023

$$As = 1,81 \text{ cm}^2$$

$$\Phi 3/8'' = 0,71 \text{ cm}$$

$$S (\text{cm}) = \frac{0,71 \times 100}{1,81} = 39,23 \text{ cm}$$

1,81

Siendo entonces $S (\text{cm}) = 37 \text{ cm}$

Para encontrar el N° de varillas

$$\frac{4,00 \text{ m}}{0,37 \text{ m}} = 10,80 \text{ Varillas}$$

$$0,37 \text{ m}$$

$$\frac{3,60 \text{ m}}{0,37 \text{ m}} = 9,70 \text{ Varillas}$$

$$0,37 \text{ m}$$

TOTAL 20,5 VARILLAS

ENTONCES SERÍA 21 VARILLAS DE $\Phi 3/8''$

Total de paños en toda la obra = 118 Paños

- 21 Varillas x 118 Paños = 2 478 Varillas de Φ 3/8" en toda la obra

COSTO DE FIERRO:

2 478 Varillas X S/. 15.00 = **S/. 37 170,00** x Todo la obra

MANO DE OBRA:

| | | |
|------------------------|------------|-----------------|
| 1 Fierro | S/. 25,00 | |
| 2 Ayudantes del Fierro | S/. 30,00 | (c/u S/ 15,00) |
| 2 Albañiles | S/. 80,00 | (c/u S/ 40,00) |
| 11 Peones | S/. 275,00 | (c/u S/ 25,00) |

- Peones: 4 Paleros. 4 Bugís, 1 cemento, 1 máquina, 1 jalador

TOTAL S/. 410,00

Para 118 Paños x S/. 410,00 = S/. 48 380,00 Nuevos Soles

(Fibra + Mano de obra) = 37 170,00 + 48 380,00 = **S/. 85 550,00 Nuevos Soles.**

El Monto total de la Obra fue de S/ 1 211 160,00 Nuevos Soles

En Pavimento S/. 254 394,87 Nuevos Soles (Incluye Fierro, Mano de Obra, concreto y otros)

S/. 85 550,00 + S/. 168 844,87 = **S/. 254 394,87**

1 211 160,00 ----- 100 %

254 394,87 ----- X

X = 21,00 %

Equivale el 21,00 % del monto de la obra

B) PAÑOS CON FIBRA METÁLICA

Paños de 4,00 m x 3,60 m

- 3,60 m X 4,00 m x 0,15 = 2,16 m³
- 1 m³ ----- 25 kg. De Fibra
- 2,16 m³ ----- X

X = 54,00 Kg de Fibra

El kg de Fibra cuesta \$ 1,55 + IGV = \$ 1,84

Kg de Fibra + Transporte = \$ 1,90 (Transporte \$ 0,06)

Equivale = 5,89 Nuevos Soles

Entonces el Transporte de la fibra por kilo S/. 0,188

Entonces 54 kilos de fibra x 118 Paños = 6 372 Kg. De Fibra

6 372 Kg. De Fibra x 5,89 = S/. 37 531,00 Nuevos Soles

MANO DE OBRA:

2 Albañiles S/. 80,00 (c/u S/ 40,00)

12 Peones S/. 300,00 (c/u S/ 25,00)

- Peones: 4 Paleros, 4 Bugís, 1 Cemento, 1 Máquina, 1 Jalador, 1 Fibra

TOTAL S/. 380,00

Para 118 Paños x S/. 380,00 = S/.44 840,00 Nuevos Soles

(Fibra + Mano de Obra) = 37 531,00 + 44 840,00 = s/. **82 371,00 Nuevos Soles.**

El Monto total de la Obra fué de S/ 1 211 160,00 Nuevos Soles

En Pavimento S/. 206 375,00 Nuevos Soles (Incluye concreto y otros)

1 211 160,00 ----- 100 %

206 375,00 ----- X

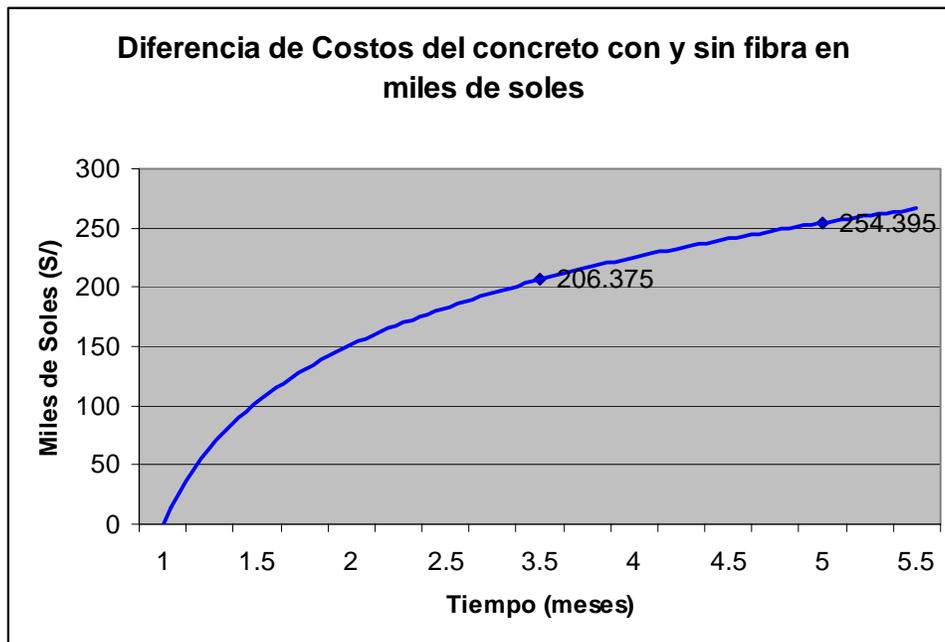
X = 17,00 %

Equivale el 17,00 % del monto de la obra

Por lo tanto:

Se puede observar que la diferencia en porcentaje de **21,00 %** y **17,00 %** es de **4,0 %** de toda la obra que equivale a **S/. 48 446,40 Nuevos Soles** sin contar las utilidades de 15 % y Gastos Generales de 11,26 % del Costo Directo.

También se observa que la fibra cuesta un poco más como material comparado con el tradicional, pero la mano de obra es más barato, esto quiere decir que los costos disminuyen para realizar pavimentos de gran dimensión.



El Tiempo de Ejecución de obra:

La obra que se ejecutó fue en 150 días calendarios, utilizando las fibras Wirand FF1 se realizó a 105 días calendario. Esto quiere decir que minimiza el tiempo de ejecución, ya que las fibras son prácticas y fáciles de usarlas, eso hace que ya no se estaría habilitando el acero, solo se echa directamente a la mezcla. Para el contratista disminuye el tiempo de ejecución de obra y eso hace que aumente sus ganancias (Gastos generales + Utilidades), también para el Estado realizar obras con estas fibras en menor tiempo posible y de esta manera ejecutar mayor cantidad de obras.

Es recomendable para Proyectos de gran dimensión como para obras de más

S/. 1 000 000.

C. RESULTADO DE PAÑOS SIN JUNTAS DE DILATACIÓN (PAÑOS SEGUIDOS)



Se puede apreciar en esta imagen el vaciado de uno de las losas de pavimento del tercer pasaje La Torre- Pucallpa, es aquí en esta losa se vacio un paños de 14,2 metros de largo con 3,6 m de ancho, se coloco la junta de contracción (tipo 2) a los 8 metros, y a los 14,0m se coloco junta de expansión contra otras estructuras

(Tipo 4). Cabe mencionar que si hizo este experimento en obra para ver como es su reacción y para probar si verdaderamente se puede usar para losas de gran magnitud, por lo que se comprobó que si es factible usar esta Fibra WIRAND FF1, para losas de gran dimensión.

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

Según la tabla elaborada por el ACI los coeficientes a la resistencia a la compresión a 210 kg/cm² a los:

| Intervalo en Días | Prom. Resistencia a la Compresión | Promedio % |
|------------------------------|--|-----------------------|
| 7 | 143 | 68 |
| 14 | 180 | 86 |
| 21 | 195 | 93 |
| 28 | 210 | 100 |

De los ensayos realizados a compresión en promedio sin fibra a los:

| Intervalo en Días | Prom. Resistencia a la Compresión | Promedio % |
|------------------------------|--|-----------------------|
| 7 | 157 | 75 |
| 14 | 189 | 90 |
| 21 | 204 | 97 |
| 28 | 223 | 106 |

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 5% a 6% según las etapas.

De los ensayos realizados a compresión en promedio con fibra a los:

| Intervalo en Días | Prom. Resistencia a la Compresión | Promedio % |
|------------------------------|--|-----------------------|
| 7 | 176 | 84 |
| 14 | 225 | 107 |
| 21 | 236 | 112 |
| 28 | 260 | 123 |

Por lo tanto se puede apreciar que los resultados obtenidos con fibra con respecto a lo normal, son mayores a la tabla elaborada por el ACI, varia su resistencia para 7 días en un 15% y para los 14, 21, y 28 días su resistencia es mayor en un 20% según las etapas. Esto quiere decir que las fibras aumentan su resistencia según los porcentajes mencionados.

- La inclusión de las fibras en el concreto hace que este disminuya su trabajabilidad y aumente su consistencia, lo cual significa que el slump disminuye. En general la trabajabilidad de la mezcla disminuye con el incremento del factor de forma de fibra empleada.
- La dosificación de las fibras metálicas son fácil y rápidas de usar, además garantiza una distribución perfecta y homogénea en el concreto, es una ventaja importante para los sistemas modernos de producción de concreto.
- Los extremos de las fibras de acero llevan una deformación que proporciona un anclaje óptimo de las fibras en el concreto, transformando la naturaleza del concreto simple, de quebradizo a tenaz, haciendo posible tomar en cuenta una resistencia adicional.
- De los ensayos realizados para determinar la tenacidad por flexión del concreto reforzado con fibras metálicas usando vigas prismáticas estándar, moldeadas, cargadas en el tercio central, se puede apreciar de las 03 vigas ensayadas de 15cm x 15cm x 45cm, lo siguiente:
 - - Para la viga V-01 obtuvo una deflexión corregida a los L/2 correspondiente a la carga de fisuración de 0,477 mm y una deflexión corregida a los L/2 al 90% de la

carga de fisuración de 0,444 mm, una tenacidad evaluada en forma automatizada, correspondiente a una deflexión especificada de 4,338 N-m y una tenacidad evaluada en forma automatizada, correspondiente a una deflexión especificada (de fisuración) de 3,520 N-m, teniendo como módulo de rotura 3,43 MPa, en este ensayo se notó la homogeneidad de las fibras en toda la viga.

- - Para la V- 02 se obtuvo una deflexión corregida a los $L/2$ correspondiente a la carga de fisuración de 0,337 mm y una deflexión corregida a los $L/2$ al 90% de la carga de fisuración de 0,300 mm, una tenacidad evaluada en forma automatizada, correspondiente a una deflexión especificada de 3,554 N-m y una tenacidad evaluada en forma automatizada, correspondiente a una deflexión especificada (de fisuración) de 2,811 N-m, teniendo como módulo de rotura 2,82 MPa.
- Se pudo observar cuando se realizó el ensayo que en la viga se notó que no había una homogeneidad de fibras, quiere decir que al momento de poner los materiales en el trompo, la fibra no se bateó bien, eso hay que tener mucho cuidado en obra, ya que eso puede evitar fisuración en los paños, debido a que solo las fibras se acumulan por solo un lado, más no por todo el paño.
- - Para la V- 03 se obtuvo una deflexión corregida a los $L/2$ correspondiente a la carga de fisuración de 0,342 mm y una deflexión corregida a los $L/2$ al 90% de la carga de fisuración de 0,309 mm, una tenacidad evaluada en forma automatizada, correspondiente a una deflexión especificada de 4.460 N-m y una tenacidad evaluada en forma automatizada, correspondiente a una deflexión especificada (de fisuración) de 3,633 N-m, teniendo como módulo de rotura 3,75 MPa, en este ensayo se notó la presencia de homogeneidad de las fibras en toda la viga.
- Se puede concluir que de las 03 vigas ensayadas las V-01 y V-03 se notó presencia de las fibras por obtener resultados mayores comparados con la V- 02.
- Las fibras metálicas actúan como inhibidoras del agrietamiento inicial por contracción de fragua, también proveen además un incremento en la tenacidad del conjunto y mejoran la resistencia a la flexión, con lo que es posible reducir los espesores de pavimentos.
- El aporte de las fibras a la resistencia a la compresión del concreto es que evita que tenga una falla frágil y explosiva, dándole ductibilidad al compuesto.

- Dejar que una viga se seque dará resultados de resistencia más bajas, las vigas deben ser curadas en forma normativa y ensayadas mientras se encuentren húmedas. El cumplimiento de estos requerimientos en el lugar de trabajo es extremadamente difícil lo que da frecuentemente como resultado, valores de módulo de roturas no confiables y generalmente bajas. Un periodo corto de secado puede producir una caída brusca de la resistencia a la flexión.
- Con respecto a sus características geométricas, a menor diámetro con la misma longitud obtengo mayor número de fibras, asimismo, a mayor diámetro desarrolla mejor tenacidad y ductibilidad.
- Usando las fibras metálicas no se invierte tiempo de colocación de malla electrosoldadas, reduce el tiempo en ejecución de obra y elimina el problema de su ubicación adecuada generando ahorro en mano de obra y tiempo de instalación, además de facilidad de transporte y maniobra (en sacos de 20 kilos).
- Las fibras de acero le brindan un refuerzo a la losa de concreto en todas las direcciones, lo que garantiza un control eficaz de la fisuración.

7.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para el proceso de mezclado, se debe añadir las fibras junto con los agregados, ya sea todo en conjunto o al final de todo los materiales, más no al inicio de la mezcla, ya que esto ocasiona que las fibras no se distribuyan bien en el mezclado.
- Según la norma UNI 11039 recomienda una dosificación por lo menos de 25kg de fibra por m³ de concreto, por lo que se uso para este diseño esa recomendación.
- Se recomienda agregar aditivos plastificantes para mejorar su trabajabilidad del concreto.
- Se recomienda proteger las fibras contra la lluvia y el medio ambiente, ya que puede causar oxidación en las fibras e influir en sus propiedades.
- Se recomienda utilizar las fibras para pavimentos de gran longitud, trabajan bien.
- Se recomienda tener cuidado en la compactación de la base ya que en esta zona hay presencia de arcilla, quiere decir no hay una buena compactación y aún más trabajando con estas fibras el pavimento puede fisurarse.

- Se recomienda tener mucho cuidado en el proceso de mezclado, con los materiales de esta zona como es el hormigón de río, que en algunos casos el material es muy fino y es por eso que no hay presencia de piedra y las fibras quedan al aire, es por eso que en obra hay que tener cuidado. Por lo que si no se tiene cuidado puede producir fisuración en los paños.
- La utilización apropiada del concreto reforzado con las fibras de acero dependen en gran parte de la habilidad del ingeniero para aprovechar las características mejoradas del concreto bajo carga dada para una aplicación determinada y eficiencia del menor costo de la adición de fibras.

CAPITULO 8: Anexo

FOTOS EN OBRA – PUCALLPA



Se puede apreciar en que la base ya está compactada, listo para encofrar y realizar el vaceado, es muy importante una buena compactación.



Se puede apreciar que la base ya está compactada, se esta encofrando para luego realizar el vaciado.



Se puede observar las fibras ya en obra lista para la mezcla



Se aprecia la introducción de las fibras en la mezcladora, ya cuando se agregó los otros agregados.



Se puede observar la homogeneidad de la fibra e el mezclado.



Se aprecia llevando la mezcla para ser vaciado en los paños.



Se aprecia la mezcla vaciada en los paños, hay una homogenidad en la mezcla.



Se observa el vaceado terminado del paño.



Se aprecia el vaceado del paño de 14 m seguido sin dejar junta de dilatación.



En esta imagen se observa el paño ya vaceado de 14m seguido sin dejar junta de dilatación.



Se observa hasta ahora el paño de 14 m sin poner junta de dilatación, sin ningún problema, como se puede apreciar.



Se puede apreciar de otra vista el paño en buenas condiciones.

FOTOS REALIZANDO EN EL ENSAYO DE TENACIDAD



Se puede observar las vigas ya preparadas para ser ensayadas.



Se puede observar la Viga V- 01 colocada en el máquina para ser ensayada.



Se observa en la máquina la Viga V- 02 para ser ensayada



Se observa la Viga V-02 realizando el ensayo



Se aprecia la viga V- 02 ya ensayada



Se observa la Viga V- 02 ensayada, ya con fisuración



Se observa que en la Viga V -02 no hubo homogeneidad en la mezcla, ya que como se puede apreciar no hay presencia de fibra Wirand FF1



Se observa la Viga V -02 fisurada, se rompió, ya que no había presencia de fibras, para que se queda tensionada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) **RIVVA López, Enrique**, "Naturaleza y Materiales del Concreto" Capítulo Peruano del American Concrete Institute (ACI).
- (2) **RIVVA, Enrique; HARMAN, Juan; PASQUEL, Enrique; BADOINO, Dante, ROMERO, Alfredo**, "Tecnología del Concreto" Capítulo Peruano ACI.
- (3) **RIVVA López, Enrique**: "Diseño de Mezcla", Tecnología de Concreto Perú 1999
- (4) NORMAS TÉCNICAS PERUANAS.
- (5) MACCAFERRI PERU S.A.
- (6) TECNOLOGÍA DEL CONCRETO, EDIT, LIMUSA S.A, Edición 1989, Neville A.
- (7) REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIÓN.
- (8) TECNOLOGÍA DEL CONCRETO P.K METHA.