

**UNIVERSIDAD PERUANA DE
INTEGRACIÓN GLOBAL
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS

**"ESTUDIO COMPARATIVO DEL CONCRETO
SIMPLE CON EL CONCRETO REFORZADO
CON FIBRAS DE ACERO".**

Tesis presentado por el Bachiller:
ANGEL DAVID WILSON ORÉ

LIMA - PERÚ

2015

DEDICATORIA

A mi esposa e hijos que siempre estuvieron apoyando y comprendiendo mi ausencia en momentos especiales por lograr este objetivo.

AGRADECIMIENTO

Deseo realizar los siguientes agradecimientos:

A mi familia e hijos por el apoyo

A las autoridades de la Universidad que me permitió y brindo todo los conocimientos para lograr acabar mi carrera

A mis amigos y compañeros de trabajo.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN

- 1.01.- Generalidades
- 1.02.- Problema
- 1.03.- Hipótesis
- 1.04.- Objetivos

CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO

- 2.01.- Definición
- 2.02.- Tipos

CAPÍTULO III.- HISTORIA DE LA FIBRA DE ACERO

- 3.01.- Historia y Evolución
- 3.02.- Definición
- 3.03.- Tipos de Fibra
- 3.04.- Descripción de concretos reforzados con otras fibras
 - 3.04.01.- El Concreto Reforzado con Fibras de Vidrio
 - 3.04.02.- El Concreto Reforzado con Fibras de Polipropileno

CAPÍTULO IV.- FIBRAS DE ACERO

- 4.01.- Generalidades
- 4.02.- Características generales
- 4.03.- Comportamiento mecánico del concreto armado con fibras
- 4.04.- Fibras en el Mercado Nacional – Tipos de Fibra
- 4.05.- Comportamiento Estructural
- 4.06.- Fibras utilizadas

CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLA.

5.01.- Propiedades de la Mezcla.

5.01.01.- Propiedades del Concreto Fresco.

5.01.02.- Propiedades del Concreto Endurecido.

5.02.- Información necesaria para el Diseño de Mezcla.

5.02.01.- Cemento.

5.02.02.- Agregados.

5.02.03.- Otros.

5.03.- Diseño de Mezcla

5.03.01.- Secuencia en el Diseño de Mezcla.

5.03.02.- Cálculos para la Dosificación de los Materiales.

5.03.02.01.- Cálculo de la Resistencia Promedio

5.03.02.02.- Selección del Tamaño Máximo Nominal
del Agregado Grueso.

5.03.02.03.- Selección del Asentamiento

5.03.02.04.- Selección del Agua de Mezclado

5.03.02.05.- Selección del Contenido de Aire.

5.03.02.06.- Selección de la Relación Agua / Cemento

5.03.02.07.- Cálculo del Contenido de Cemento.

5.03.02.08.- Cálculo del Contenido de Agregado Grueso

5.03.02.09.- Cálculo del Contenido de Agregado Fino

5.03.02.10.- Valores de Diseño.

5.03.02.11.- Corrección por Humedad.

CAPÍTULO VI: ENSAYOS DE CONCRETO.

6.01.- Ensayos de Concreto Fresco.

6.01.01.- Control de Calidad del Concreto Fresco

6.01.01.01.- Control de la Trabajabilidad

6.01.01.02.- Control de la Temperatura.

- 6.01.02.- Características del Concreto Fresco
 - 6.01.02.01.- Estabilidad.
 - 6.01.02.02.- Segregación
 - 6.01.02.03.- Compactibilidad
 - 6.01.02.04.- Movilidad.
- 6.01.03.- Ensayo del Cono de Abrams-Asentamiento.
 - 6.01.03.01.- Equipos y Accesorios.
 - 6.02.03.02.- Procedimiento.
- 6.01.04.- Ensayo de Fluidez.
- 6.01.05.- Peso Unitario.
 - 6.01.05.01.- Equipos y Accesorios.
 - 6.01.05.02.- Recipiente.
 - 6.01.05.03.- Calibración del Recipiente.
 - 6.01.05.04.- Procedimiento.
 - 6.01.05.05.- Expresión de Resultados.
- 6.01.06.- Ensayo de Tiempo de Fraguado.
- 6.01.07.- Ensayo de Contenido de Aire.
- 6.01.08.- Ensayo de Exudación.
 - 6.01.08.01.- Equipos y Accesorios.
 - 6.01.08.02.- Procedimiento.
 - 6.01.08.03.- Expresión de Resultados.
- 6.02.- Ensayos de Concreto Endurecido.
 - 6.02.01.- Resistencia a la Compresión
 - 6.02.01.01.- Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Compresión
 - 6.02.02.- Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral.
 - 6.02.02.01.- Resultados de los Ensayos de Resistencia

a la Tracción por Compresión Diametral.

6.02.03.- Módulo de Elasticidad Estática.

6.02.03.01.- Resultados de los Ensayos de Módulo de Elasticidad Estática

6.02.04.- Resistencia a la Flexión.

6.02.04.01.- Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Flexión

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.01.- Conclusiones

7.02.- Recomendaciones

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.01.- Generalidades

En los últimos años el sector construcción en el país ha emprendido una vertiginosa carrera en busca de nuevas técnicas para desarrollar, fortalecer y hacer más eficiente todos sus rubros y poder cumplir con las exigencias que demanda el mercado global con soluciones innovadoras.

Es por esto que el concreto, siendo uno de los materiales de mayor uso dentro de la construcción, ha ido evolucionando, con el empleo de nuevos aditivos como las fibras de acero como refuerzo del concreto incrementando sustancialmente las propiedades mecánicas del producto final de éste.

Las fibras de acero de bajo tenor de carbono, trefilado a frío; cuando se adicionan al concreto, actúan como una armadura tridimensional que redistribuye las tensiones aplicadas sobre el elemento estructural aumentando la resistencia.

Se requiere hacer un enfoque especial al comportamiento del concreto reforzado con fibra de acero viendo cómo influye su presencia en el concreto, aumentando o mejorando su capacidad para controlar las fisuras y otras variables que se pudieran presentar ante factores externos como el medio ambiente.

También se requiere hacer un análisis exhaustivo de cada ensayo a realizar, tanto de concreto fresco como endurecido, y adjuntar cuadros comparativos que ayuden a visualizar las ventajas y diferencias

encontradas entre los comportamientos del concreto reforzado con fibra de acero frente al del concreto normal, obteniendo así las conclusiones y recomendaciones respectivas, siendo estos requerimientos las razones que se han considerado para realizar un trabajo de investigación y así evaluar la eficiencia del concreto reforzado con fibra de acero.

1.02.- Problema.-

Es sabido por todos los profesionales inmersos en la construcción que el concreto siempre se fisura, el cual es una de sus propiedades debido a la contracción, este fenómeno de manera frecuente se presenta en estructuras horizontales.

Las fisuras son muy frecuentes en estas estructuras debido a la evaporación acelerada del agua del concreto.

¿De qué manera ayuda las fibras de acero en mitigar las fisuras en el concreto?

1.03.- Hipótesis.-

El concreto reforzado con fibra de acero es poco conocido en el Perú, sin embargo en muchos otros países ya ha sido usado en diferentes campos como en: túneles, pisos industriales, pistas de aeropuertos, muelles, concreto pretensado y precolado, cimentaciones, caminos de concreto, losas de concreto esbeltas, reparaciones superficiales, depósitos y tanques.

El enfoque de esta investigación es evaluar la eficiencia del concreto reforzado con fibra de acero en su capacidad para obtener mejores características mecánicas para el concreto, realizando para esto, cuadros comparativos que ayuden a visualizar las ventajas y diferencias encontradas entre los comportamientos del concreto reforzado con fibra

de acero frente al del concreto normal, obteniendo así las conclusiones y recomendaciones respectivas.

1.04.- Objetivos

Llevar a cabo un estudio comparativo entre el concreto con diversas dosificaciones de fibra de acero para distintas relaciones agua/cemento y el concreto normal que ayuden a visualizar las ventajas y diferencias encontradas, y evaluar así la eficiencia del concreto reforzado con fibra de acero en su capacidad para obtener mejores características mecánicas para controlar las fisuras y otras variables que se pudieran presentar ante factores externos como el medio ambiente.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.01.- Definición.-

Las fibras con una adecuada resistencia mecánica a la tracción, homogéneamente distribuidas dentro de un hormigón, constituyen una micro-armadura la cual, por un lado se muestra extremadamente eficaz para contrastar el muy conocido fenómeno de la fisuración por retracción y, por otro lado, confiere al hormigón una ductilidad(1) que puede llegar a ser considerable en la medida en que sea elevada la resistencia misma de las fibras y su cantidad, confiriendo además al hormigón en tales circunstancias una gran tenacidad(2). Como es conocido, en la mayoría de los actuales códigos de diseño la resistencia a tracción del hormigón, debido a su conducta frágil, es normalmente despreciada dentro de las consideraciones de cálculo. Ahora, con la inclusión de una matriz fibroreforzada, esta propiedad de resistencia a tracción se logra estabilizar, de manera tal que la misma puede ahora ser considerada como propiedad mecánica con fines de diseño.

Debido a que, por dificultades operativas, generalmente no se realizan sobre el hormigón ensayos de tracción directa, la evaluación de tal propiedad de resistencia, así como de ductilidad y de tenacidad, se efectúa indirectamente mediante ensayos de flexión sobre vigas o placas.

2.02.- Tipos

Se han clasificado en cuatro grupos: con extremos en gancho, onduladas de sección circular, onduladas planas y otras.

Fibras de acero con extremos conformados en forma de gancho:

La muestra A (ver imagen 1) constituye en tipo de fibra de mejores prestaciones, debido a su gran esbeltez ($60 \text{ mm} / 0,75 \text{ mm} = 80$) y a su

alto porcentaje en volumen de fibras (del orden de 4.600 fibras/kg). Su resistencia a la tracción es de 1.100 N/mm² (mínimo). Además, este tipo de fibra se suministra encolada en forma de peines (cola soluble en agua), lo que facilita su mezcla en la masa del hormigón evitando la formación de erizos en su interior. ABD suministra esta fibra bajo la marca GRAPAXABD® 80/60. La muestra B es un fibra de extremos en forma de gancho, suministrada suelta (no encolada) y con una esbeltez menor que la anterior (entre 45 y 60), debido a su mayor diámetro (1 mm) que le confiere una mayor resistencia a la tracción (del orden de 1.200 N/mm²), pero que supone un menor porcentaje en volumen de fibras (del orden de 3.300 fibras/kg). ABD suministra esta fibra bajo la marca GRAPAX-ABD® 50/50. Los dos tipos anteriores constituyen los principales tipos de fibra de acero empleados en el refuerzo del hormigón. Su análisis mediante ensayos ha permitido su caracterización mecánica y su incorporación a los métodos de cálculo y diseño estructural de pavimentos. Se producen mediante un proceso de trefilado en frío (estirado mecánico) que no afecta a la estructura molecular del acero. La muestra C constituye un tipo de fibra de baja esbeltez (45), no utilizada como refuerzo estructural del hormigón pero sí para reducir su retracción.

Fibras de acero con onduladas:

Este tipo de fibras puede, a su vez, clasificarse en otros dos grupos: • Onduladas de sección circular (ver imagen 2) • Onduladas de sección sector-circular (ver imagen 3) Si bien el uso en laboratorio de estas fibras mejora la adherencia con el hormigón, en la realidad se producen dificultades en el mezclado (erizos) que las hacen poco recomendables y adecuadas en su uso estructural. Además, si bien su resistencia a tracción

es ligeramente inferior a las fibras rectas, su comportamiento bajo tensión conlleva un estiramiento previo a su capacidad de ser traccionadas, lo que

reduce su aporte mecánico al hormigón. El porcentaje en volumen ofrecido para estas fibras ronda las 3.000 unidades/kg y su resistencia a tracción es del orden de 1.000 N/mm².

Fibras de acero de geometría diversa:

En este apartado se han incluido varios tipos de fibra con geometría especial. No se dispone de valores de su aportación en tenacidad al hormigón. El tipo K procede de residuos de planchas de acero mecanizados (fresadas). Tienen forma retorcida, de sección triangular con una cara lisa y otra áspera. El tipo L presenta aplastamientos a lo largo de su longitud. Otras variantes de este tipo presentan los aplastamientos sólo en sus extremos en gancho.

Existe otro tipo de fibra, con extremos en forma cónica (en el momento de la redacción de este informe no se dispone de imagen). Presentan un aparente buen comportamiento en agarre al hormigón, pero inferior al de extremos conformados en gancho.

Existen diferentes tipos de fibras para el concreto en función de la materia prima por la cual ellas están producidas:

Metálicas: aceros de carbono y ligados, aluminio

Naturales: amianto (asbesto), celulosa, carbón

Sintéticas: nylon, polipropileno, poliacrilo nitrilo, polivinil alcohol.

CAPÍTULO III.- HISTORIA DE LA FIBRA DE ACERO

3.01.- Historia y Evolución.-

El Concreto u hormigón como es llamado también en otros países, durante el siglo XX ha experimentado una profunda evolución como material de construcción ya sea en diseño, en cálculo, en tecnología y como material en sí, con la finalidad de buscar un mejor rendimiento y por ende mejoras en sus propiedades y comportamiento.

La aparición del concreto armado fue en la segunda mitad del siglo XIX. Su descubrimiento fue atribuido a Lamblot por la presentación en la exposición Universal de París de 1855 un barco de carcasa metálica recubierto por concreto de cal hidráulica. Sin embargo fue Monet, un jardinero de Versalles, quien en 1868 patentó el sistema para la realización de macetas y macetones, depósitos y losas. Desde entonces, numerosas han sido las investigaciones y estudios llevados a cabo con el objetivo de mejorar el comportamiento del concreto.

Durante el siglo XX se han desarrollado tecnologías como la del concreto pretensado y el concreto proyectado o shotcrete, y han aparecido concretos llamados "especiales": concretos de alta resistencia, concretos ligeros, concretos pesados, concretos porosos, concretos autocompactables, concretos reciclados y, también, el concreto reforzado con fibras.

Las fibras no son un material reciente o nuevo. Remontándose hace 4000 años ya se empleaban fibras como adición a otro material para mejorar sus propiedades. Hay muchos ejemplos a lo largo de la historia del uso de las fibras: en la baja Mesopotamia los adobes de barro cocidos al sol se armaban con paja y hasta hace unos años se utilizaban los pelos de cabra o caballo para armar el yeso. Este tipo de fibras naturales se utilizaron hasta el año 1935 aproximadamente. La razón de su caída en desuso fue la invención de las fibras sintéticas.

La aparición de este nuevo tipo de fibras es debida a Chardonnet quien a finales del siglo XIX inventó la seda artificial. Sin embargo, fue a partir de 1935 con la producción de la primera fibra de nylon cuando surge una nueva etapa en el uso de fibras. Durante esos años hay un gran interés por el desarrollo de fibras sintéticas que tratan de copiar a las fibras naturales y cuya aplicación principal es la fabricación de tejidos.

Cuando se comenzó a experimentar con la adición de fibras a materiales destinados a la construcción corresponden a fibras metálicas. La primera patente de concreto reforzado con elementos metálicos se realizó en California en 1874 por A. Berard. Consistía en una piedra artificial que utilizaba acero granular procedente de desechos para el refuerzo del concreto. A partir de ese momento han aparecido numerosas patentes. Cabe destacar la patente de G. Martin en 1927, en California también, que describe la adición de alambres de acero rizados en el concreto empleado en tuberías. Las fibras sintéticas han tenido una aplicación en el sector de la construcción más tardía. No obstante, las fibras metálicas sí han tenido una mayor presencia a lo largo de los años como adición a materiales de construcción.

Al transcurrir los años, la forma de las fibras se va perfeccionando y en las patentes se emplean parámetros muy similares a los actuales para fibras de acero. Ejemplo de ello es la patente de G. Constantinesco (1954, Estados Unidos) que se refería al uso de fibras helicoidales y espirales para aumentar la resistencia a la fisuración y la absorción de energía en el concreto.

A comienzos de los años 50 se realizan numerosos trabajos de investigación sobre concretos reforzados con fibras de acero (las fibras metálicas son fundamentalmente de acero en sus variantes de bajo o medio contenido en carbono, acero inoxidable y de acero galvanizado).

Entre los estudios realizados cabe destacar los de Romualdi, Batson y Mandel en 1963.

En la década de los 70 se comenzaron a utilizar en los países europeos pero es en España donde cobra más fuerza, se utilizaban concretos reforzados con fibras en diversos ámbitos: pavimentación de tableros de puentes, pavimentos industriales, contenedores de puertos, revestimientos de túneles, prefabricados, etc.

En la actualidad, la construcción de pavimentos y revestimientos de túneles con concreto reforzado con fibras de acero han tenido gran éxito. También cabe destacar su aplicación en el ámbito militar, utilizándose en pavimentación de carros de combate, hangares y recintos protegidos frente al impacto de metralla o proyectiles.

3.02.- Definición.-

Los FRC(4) se definen como aquellos concretos que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa. El concreto reforzado con fibras, según la definición del ACI-American Concrete Institute, no es más que concreto hecho a partir de cementos hidráulicos, conteniendo agregados finos y gruesos, y fibras discretas discontinuas.

Como fines estructurales proporcionan una mayor energía de rotura pudiendo implicar la sustitución parcial o total de armadura en algunas aplicaciones; en el caso en que las fibras no tengan función estructural suponen una mejora ante determinadas propiedades como por ejemplo el control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros.

Las fibras son empleadas en aplicaciones estructurales en busca de beneficios adicionales en cuanto a reducción de mano de obra, incremento

de la durabilidad y reducción o eliminación del refuerzo tradicional. El concreto soporta esfuerzos a tracción que son transmitidos por adherencia a las fibras una vez se ha producido micro-fisura, controlan la fisuración y reducen la intensidad de la misma a la vez que mejoran la tenacidad.

Esencialmente, la naturaleza y el tipo de fibras determinan la efectividad de la acción reforzante y la eficacia de la transmisión. En la actualidad se utilizan diversos tipos de fibras.

3.03.- Tipos de Fibra.-

Las fibras no son más que elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa de concreto a fin de conferirle ciertas propiedades específicas, ya sea en estado fresco, en primeras edades o en estado endurecido. De una manera general se pueden clasificar como:

- Fibras estructurales: aquéllas que proporcionan una mayor energía de rotura al concreto en masa (en el caso de las fibras estructurales, la contribución de las mismas puede ser considerada en el cálculo de la respuesta de la sección de concreto).

- Fibras no estructurales: aquéllas que sin considerar en el cálculo esta energía, suponen una mejora ante determinadas propiedades como por ejemplo el control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros.

Las fibras utilizadas en el concreto reforzado son de corta longitud y pequeña sección. Se pueden clasificar según su naturaleza en los siguientes tipos:

- Fibras de acero (en sus variantes en contenido de carbono y inoxidable)
- Fibras poliméricas (como polipropileno, polietileno)

- Fibras inorgánicas

La efectividad de la acción reforzante y la eficacia de la transmisión de tensiones por parte de las fibras dependen de muchos factores, pero especialmente, de la naturaleza, tipo y características geométricas de las fibras empleadas.

A continuación se muestra en la tabla 1 algunas características de las fibras utilizadas con mortero y concretos.

Tabla 1. Características de las fibras

<i>Tipo de fibra</i>	<i>Resistencia a tracción (MPa)</i>	<i>Módulo de elasticidad (GPa)</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Alargamiento de rotura (%)</i>
Acero	500-3000	210	7800	3,5
Acero inoxidable	2100	160	7860	3,0
Vidrio	2000	60	2700	3,6
Carbono	3000	200-500	1900	0,5
Nilon	900	4	1100	13,0-15,0
Polipropileno	400-800	5-25	900	8,0-20,0
Poliéster	700-900	8,2	1400	11,0-13,0
Hormigón	5-8	30	2300	-

Al observar la Tabla 1 se aprecian las diferencias entre las propiedades de cada tipo de fibra y las del concreto, especialmente significativas la resistencia a tracción y el módulo de elasticidad. Para que las fibras sean efectivas se recomienda que tengan un módulo de elasticidad(5) al menos 3 veces superior al del concreto (Hormigón) . En este sentido, es destacable el módulo de elasticidad de las fibras de acero que es 7 veces mayor que el del concreto.

Las fibras sintéticas están teniendo aplicación fundamentalmente para el control de la fisuración plástica en concretos y morteros, si bien, en algunos

casos, se han realizado aplicaciones buscando reforzar a concretos frente a la acción de impactos.

Las fibras de vidrio resistentes a los álcalis del cemento, se vienen utilizando desde hace muchas décadas en el refuerzo de pastas y morteros de cemento para la fabricación de paneles delgados de alta resistencia destinados a revestimientos de edificios. Actualmente estas fibras empiezan a aplicarse en concretos en elementos prefabricados y en aplicaciones de revestimientos.

Las fibras metálicas fundamentalmente son de acero en sus variantes de bajo y medio contenido en carbono, de acero inoxidable y de acero galvanizado, las cuales en el caso de concretos para la construcción se puede destacar la utilización de las fibras de acero.

Las fibras de acero en todas sus variantes son las más utilizadas para conseguir concretos con mejor resistencia a flexión, tracción, impacto, fatiga, etc. La presente tesis se centra en losas de concreto reforzado con fibras de acero, ya que es la aplicación que se dá en la construcción en su mayoría, por esta razón se realiza un apartado específico de fibras de acero en el concreto armado.



CAPÍTULO IV.- FIBRAS DE ACERO

4.01.- Generalidades.-

A partir de 1960 se incorporaron las fibras de acero para fabricar un concreto consolidado de elementos discontinuos y distribuidos aleatoriamente. Sin embargo, no fue sino en 1971 cuando en Estados Unidos se hicieron los primeros estudios e investigaciones dirigidos al uso del concreto consolidado con fibras, las que desde entonces han sido elementos indispensables en la construcción de pisos industriales de alto desempeño, pavimentos, cubiertas para puentes, concretos lanzados para la estabilización de taludes, revestimientos de túneles, elementos estructurales prefabricados, bóvedas y refractarios, entre otros usos.

La aparición en el mercado de nuevos tipos de fibras y su utilización para el refuerzo del concreto permite mejorar notablemente su calidad, propiedades y su comportamiento a los refuerzos y deformaciones.

El concreto reforzado con fibras de acero es una alternativa eficaz ante la necesidad de reforzar y mejorar el comportamiento estructural del concreto armado tradicional. Incorporando y distribuyendo homogéneamente fibras de acero en la matriz del concreto puede reducirse significativamente la fragilidad y con ello mejorar las propiedades mecánicas.

La orientación de la fibra también influye siendo máximo el beneficio cuando la fibra es unidireccional y paralela al esfuerzo de tracción aplicado y es de menor influencia cuando se orientan al azar en tres dimensiones.

Suelen tener diversas formas siendo las onduladas y las ganchudas las más comunes. Los aceros que se usan son aceros al Carbono o inoxidables.

Diferentes formas de presentación:

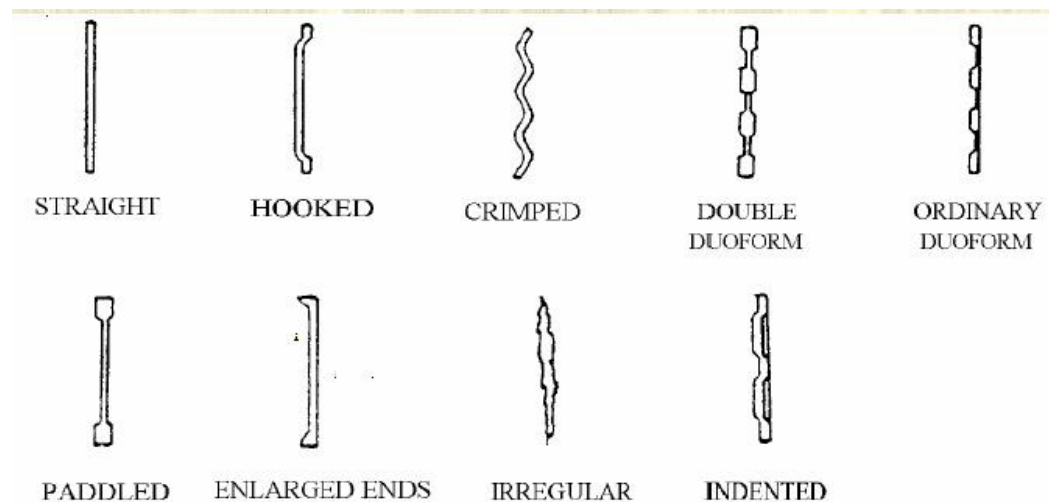


Fig. 1.- Tipos de Fibras de Acero.

4.02.- Características generales

Las fibras se caracterizan:

- Longitud L: es la distancia entre las dos extremidades;
- Relación de forma L/d (longitud /diámetro medio)
- El esfuerzo máximo que puede soportar la fibra depende de su relación de forma.

- Diámetro (o diámetro equivalente) D_e : 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 ($0,15 \leq D_e \leq 1,20$);
- Relación de aspecto $\lambda = L/D_e$: es la relación entre la longitud L y el diámetro D_e (o diámetro equivalente);
- Resistencia a tracción: se refiere al hilo semielaborado o el de la fibra;
- Forma: fibras rectilíneas o fibras amoldadas (longitudinalmente transversalmente);
- La fibra falla por tensión.
- La longitud de la fibra debe ser mayor que el tamaño máximo de las partículas de agregado.
- La adherencia mejora en fibras de superficie rugosa, extremos agrandados.

4.03.- Comportamiento mecánico del concreto armado con fibras.-

Cuando una pieza de concreto armado con fibras es sometida a flexión se observa varios tipos de comportamiento en la curva de tensión-deformación.

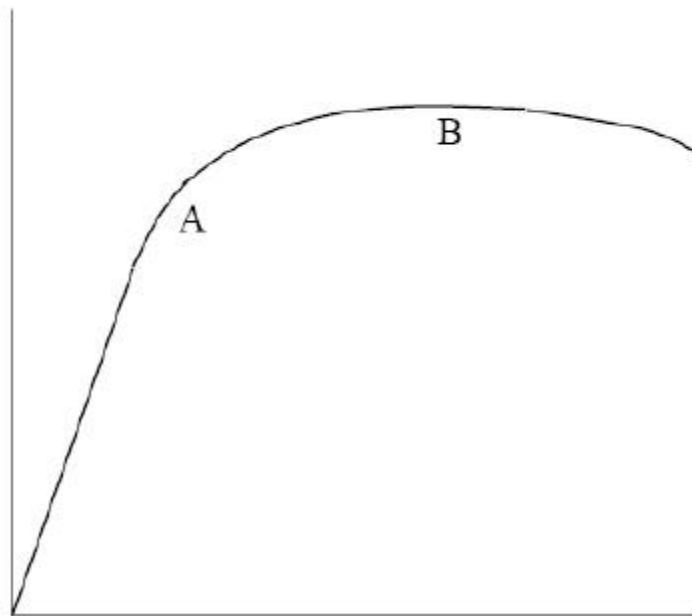


Fig. 2.- Variación de tensión.

Hasta el punto A se puede considerar que existe proporcionalidad entre la carga aplicada y la deformación originada, aplicando incrementos sucesivos de carga. A este punto se le denomina "tensión de primera fisura" o "límite elástico". Posteriormente aparece un nuevo punto B a partir del cual se produce una caída en la tensión. A este punto B se le denomina "tensión de rotura" o "resistencia final".

En el concreto convencional, una vez fisurada la zona en tracción se produce la rotura de la pieza.

Antes de llegar a la tensión de primera fisura se puede suponer un comportamiento elástico, tanto para el concreto como para las fibras; ya que el módulo de elasticidad de las fibras es mayor que la del concreto (10 veces en el caso de fibras de acero), el incremento de volumen de fibras aumenta el límite elástico del compuesto. No obstante, este efecto es menor que en el caso del concreto armado convencional para el mismo volumen de acero y fibras uniformemente distribuidas.

Una vez sobrepasado el límite elástico, la curva tensión-deformación deja de ser lineal, alcanzando un máximo en el punto B. El fallo se produce generalmente por arrancamiento de las fibras, sin que éstas lleguen a alcanzar su tensión de rotura salvo en aquellos casos en que se mejora la adherencia de las fibras, con lo que algunas pueden llegar a la rotura. Después de la carga máxima, la disminución de tensiones con el incremento de las deformaciones es mucho menor en el concreto armado con fibras que en el convencional y, por tanto, la energía absorbida antes de la rotura completa de la pieza ensayada es mucho mayor en el concreto de fibras que en uno convencional, dependiendo esta diferencia del volumen de fibras empleado.

Se produce, además, un importante aumento de la tenacidad, que se pone de manifiesto en la menor pendiente de la curva tensión-deformación del concreto de fibras respecto al convencional.

En las proximidades de la máxima carga de flexión, parte de la sección transversal de la pieza se agrieta y algunas de las fibras pueden sufrir deslizamientos parciales, dependiendo su cuantía, entre otras cosas, de que se haya mejorado por algún sistema la adherencia de las fibras. Por ello, no es posible predecir racionalmente la carga de rotura del concreto con fibras; sin embargo, basándose en los resultados experimentales y en las teorías de composición pueden lograrse aproximaciones empíricas.

Los factores que tienen mayor influencia en la carga máxima son el porcentaje en volumen de fibras y el aspecto (esbeltez) de las mismas.

Se define la tenacidad como la energía absorbida para producir la separación completa de la pieza. Está representada por el área de la curva de tensión-deformación. También se puede medir mediante ensayos de impacto. La adición de fibras al concreto aumenta hasta el doble la tenacidad del concreto.

4.04.- Fibras en el Mercado Nacional – Tipos de Fibra

Las fibras que más se utilizan son de acero, de vidrio y de polipropileno y por otro lado las de carbono y aramida.

Las propiedades son las que se muestran en la tabla a continuación:

Las cantidades usadas de fibra van aproximadamente entre el 1 al 5% por volumen, y sus propiedades deben ser bastante más altas que las de matriz. El flujo plástico de las fibras debe ser muy bajo para que no ocurran esfuerzos por relajación. El módulo de Poisson debe ser similar para que no ocurran esfuerzos laterales inducidos, que pudiera afectar la adherencia entre las superficies de contacto.

El mezclado de las fibras se realiza al final del proceso de amasado, este concreto que contiene cierta dosificación de fibra tienen menos docilidad que los concretos tradicionales. Debe preverse una dispersión uniforme de las fibras y prevenirse una segregación o enredo de las fibras.

➤ Concreto con fibra de vidrio

La longitud de este tipo de fibra es de hasta 40 mm y los contenidos usuales sonde alrededor del 5%.

Su mezclado es diferente al de las fibras de acero, por ejemplo cuando se trata de capas delgadas, las fibras en madeja se alimentan dentro de una pistola de aire comprimido que las corta y las rosea con la lechada de cemento. Lo que se denomina colocación por proyección.

La fibra de vidrio debe ser resistente al ataque del álcalis del cemento. Son muy utilizadas en paneles de fachadas más que nada con propósitos arquitectónicos o de revestimiento. También se usa para tabiques antifuego, muros antirruído y como encofrados perdidos.



Foto N° 1.- Fibra de vidrio

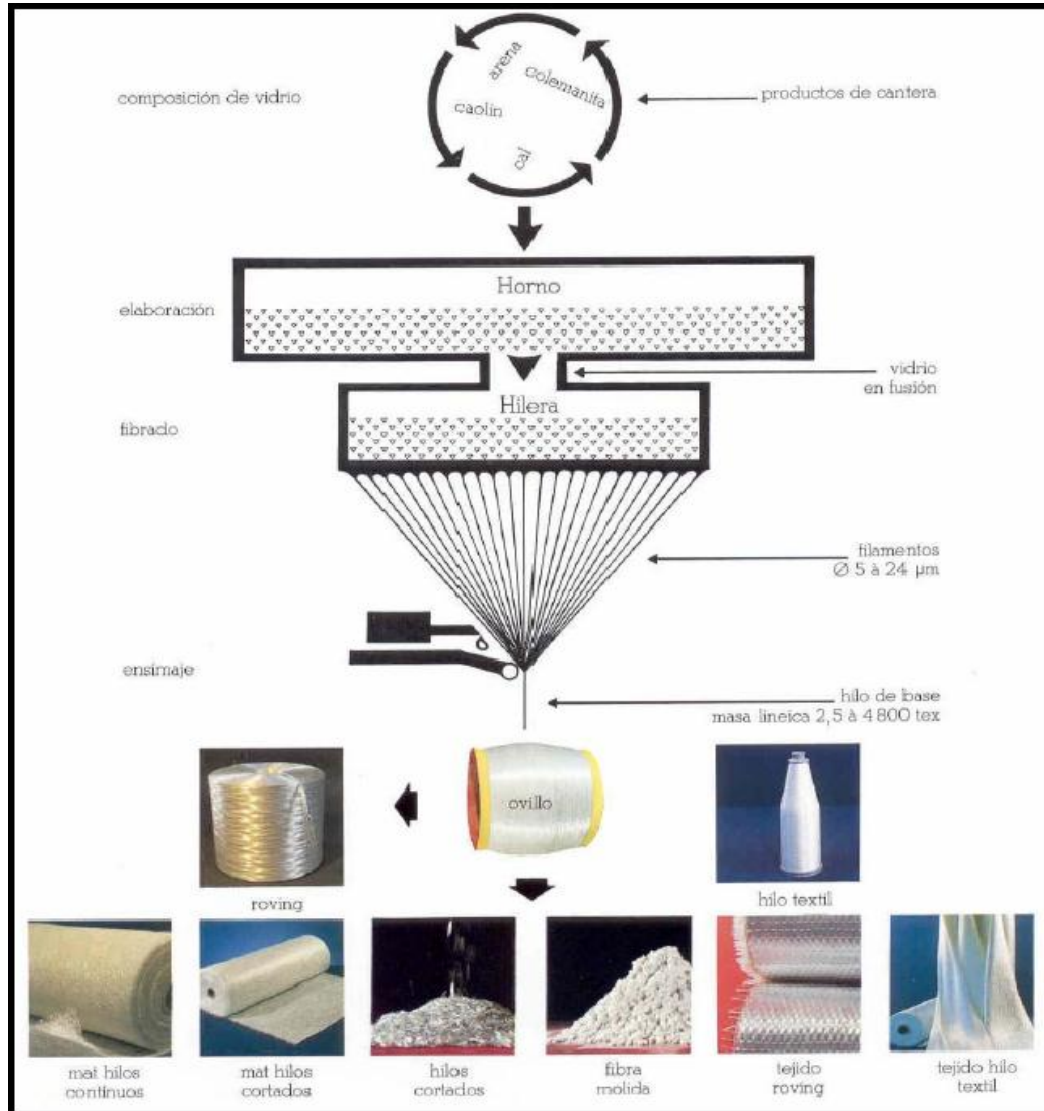


Fig. N° 3.- Proceso de Fabricación de Fibra de Vidrio.

- Concreto con fibra de polipropileno

En este caso las fibras son de polímeros, (plásticas) son también resistentes a los álcalis. El problema que tienen es que sus propiedades mecánicas son bajas (con módulos de elasticidad pequeños y adherencia reducida).

Estas fibras se usan mayormente como refuerzo de morteros, controlando la fisuración por retracción, para elementos prefabricados (mejoran la resistencia al impacto y al fraccionamiento de las piezas terminadas) y para concretos proyectados, en los que se producen menores pérdidas por rebote y se consiguen mayores espesores sin descuelgues de material.



Foto N° 2.- Fibra de Carbono

➤ Concreto con fibra Aramida

Las fibras de Aramida comenzaron a fabricarse en 1987 (Teijin), a partir de copolímeros a través de diferentes procesos de fabricación.

Las principales características son:

- Densidad baja: 1,39-1,45
- Es cinco veces más dura que la fibra de acero (por unidad de masa).
- Alta tenacidad y elasticidad.
- Alta resistencia a tracción.
- Alto módulo de elasticidad Young.
- Resistente a la corrosión y a la oxidación.
- Aislante eléctrico; no conductor.
- Resistente a los álcalis excepto con valores extremos de PH.
- No magnético; permeable al magnetismo.
- Resistente a la abrasión y a la erosión.
- Químicamente resistente.
- Resistente al calor (200° C durante largos períodos de tiempo).
- Sensible a la humedad y a las sales.

Usos:

- Similar al de las fibras de carbono.
- Por el momento, su utilización en el campo de la ingeniería civil está limitada, a la fabricación de cables de anclaje, elementos de pretensado y geomallas.
- En un futuro próximo con la reducción de sus costos de producción, estas fibras, solas o en combinación con otro tipo de fibras, se utilizarán como refuerzo de concretos proyectados

tenaces y dúctiles, compatibles con deformaciones superiores al 4%.

- Estas fibras hacen a los hormigones proyectados muy adecuados para ser utilizados en túneles que desarrollen fuertes presiones y deformaciones del terreno.
- En reparaciones y refuerzos puntuales de revestimientos deteriorados.
- En la fabricación de revestimientos más resistentes estructuralmente y resistentes a los seísmos.



Foto N° 3.- Fibra de Aramida

4.05.- Comportamiento Estructural

- Comportamiento dúctil

Debido a la energía absorbida por las FIBRAS que se adhieren al concreto durante la ruptura.

Las fibras se oponen al desarrollo de la fisura.

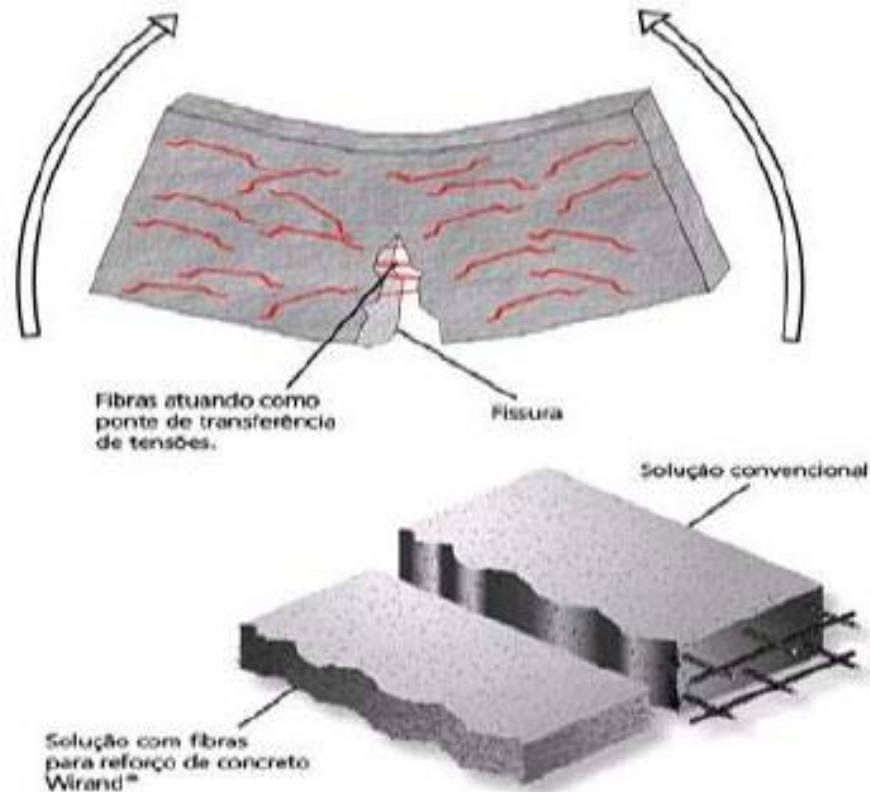


Foto N° 4.- Comportamiento dúctil.

□ Resistencia a la Compresión

Las fibras de acero evitan que el concreto tenga una falla frágil y explosiva cuando éste está sometido a compresión dándole ductilidad al compuesto. Bajo esfuerzos uniaxiales, el concreto reforzado con fibras de acero muestra ligero aumento, disminución o mantiene la resistencia comparado con el concreto simple, dependiendo del tipo de fibra, factor de forma y concentración de fibra.

Resistencia a La Tracción.

El ensayo de Tracción se utiliza para evaluar 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.

El esfuerzo último a la tracción se alcanza cuando el 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 entre las fibras: un concepto importante es el espaciamiento.

Las fibras mejoran su participación en el concreto si están más cerca unas a otras, incrementando más la resistencia a la tracción y controlando mejor las fisuras.

Resistencia a la Flexión.

La influencia de las fibras en la resistencia a la flexión es mayor que en la compresión y en la tensión directa. Dos valores se distinguen normalmente, referido al esfuerzo de fisuración, correspondiente a la carga que origina la primera fisura y hace que la curva carga -deformación abandone su comportamiento lineal. El otro valor corresponde a la máxima carga registrada, llamada esfuerzo último deflexión o Módulo de Rotura.

El contenido de fibra es el parámetro de mayor importancia. El esfuerzo último crece en relación al índice de refuerzo de fibra, que viene a ser el producto de la concentración de fibra (v) por el factor de forma (l/d).

Concentraciones menores a 0.5% de fibra con factores de forma menores a 50 no tienen efecto sobre el concreto.

Las fibras prismáticas con extremos ensanchados o doblados pueden producir un incremento en la flexión respecto al concreto no reforzado de hasta 100%. Se ha encontrado además que la resistencia decrece con el aumento del tamaño máximo del agregado.

Existen tres etapas en la respuesta a la carga - deflexión de muestras de concreto reforzado con fibras ensayadas a flexión, el que se grafica a continuación, estas son:

Diagrama esquemático de carga - deflexión del concreto reforzado con fibras.

- a. 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 seraje lo que se conoce como "resistencia inicial a la fisura" o "límite de elasticidad".
- b. Una etapa de transición no lineal entre el punto A y la máxima capacidad de carga en el punto B (suponiendo que la carga en B es mayor que la

carga en 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 en flexión en el punto B. Este punto es conocido como "máxima resistencia".

- c. 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".

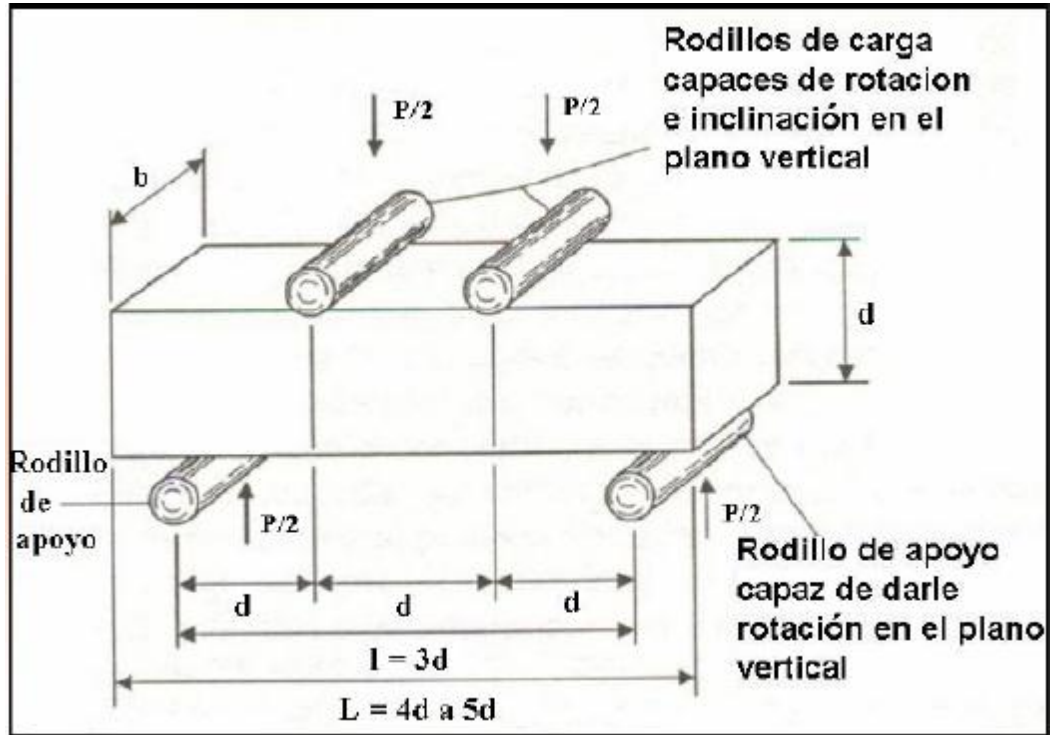


Fig. 4.- Esquema.

□ 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 las de acero), 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. 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.

□ 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 de fatiga. Ningún ensayo normal (tamaño de la muestra, tipo de carga, porcentaje de carga, criterio de falla a la fatiga) se encuentra 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 reforzados 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.

□ Resistencia a la Abrasión y Erosión.

Según Nanni 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 las estructuras hidráulicas donde no se espera que la presencia de fibras incremente la resistencia a la abrasión del concreto.

□ 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 tiende 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.

□ Resistencia al Fisuramiento

La Resistencia al 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 ésta 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.

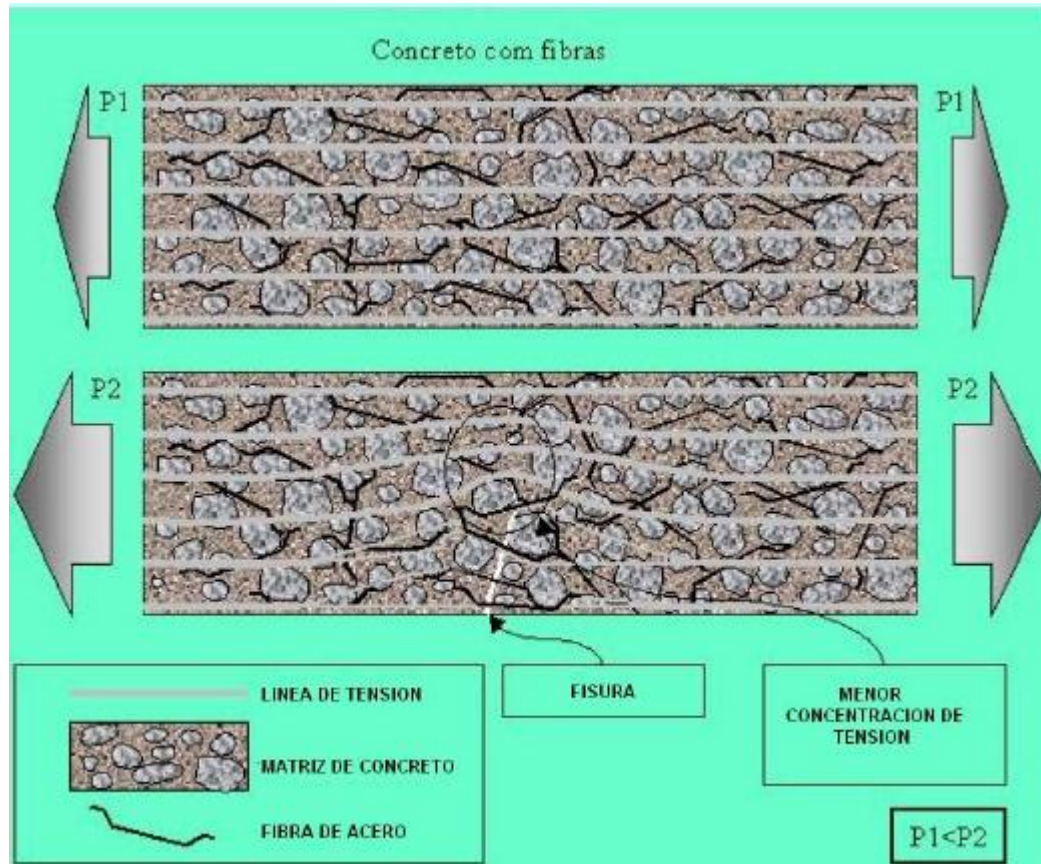


Fig. 5.- Resistencia a la Fisuración.

□ 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 del concreto reforzado con fibras son limitados.

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

Resistencia al Congelamiento - Deshielo

La adición de las fibras de acero no tiene algún efecto considerable sobre la resistencia al congelamiento y deshielo del concreto.

Es decir, los concretos que no son resistentes al congelamiento y al deshielo no mejorarán su resistencia con la adición de fibras.

4.06.- Fibras utilizadas.-

Las fibras utilizadas para este informe fueron, DRAMIX y WIRAND las que actualmente están siendo usadas en el mercado nacional.

FIBRA DRAMIX

Las fibras Dramix son filamentos de acero, deformados y cortados en determinadas longitudes, para el refuerzo del hormigón, mortero u otros materiales compuestos. El Dramix es una fibra de alambre estirado en frío, con extremos conformados y encolado en peines.

Un factor clave para valorar la calidad del concreto con fibras de acero, es la relación entre la longitud y el diámetro de las fibras. Cuánto más alta sea la relación l/d , mejor será el resultado.

Según las presentaciones de DRAMIX se tiene 3 diferentes relaciones l/d .

DRAMIX l/d 45

Una relación l/d de 45 es el valor mínimo requerido para obtener un hormigón dúctil con fibra de acero con dosificaciones razonables de fibra. Estas fibras se utilizan en aplicaciones con requerimientos generales y no especificados. Incluso de forma suelta (no encoladas) son fáciles de mezclar.

□ DRAMIX l/d 65

Las fibras de acero encoladas con una relación l/d de 65 son fáciles de mezclar y utilizar, al mismo tiempo que proporcionan un hormigón con fibra de acero notablemente mejorado. Dramix l/d 65 es el compromiso ideal entre rendimiento, facilidad de mezclado y coste. Llamada la fibra “RENDIMIENTO DE ALTA CALIDAD”.

□ DRAMIX l/d 80

Es ideal para aplicaciones que requieran un hormigón muy resistente, con especificaciones muy estrictas. Es llamada la fibra “SUPER RENDIMIENTO”. Estas fibras encoladas ofrecen lo mejor en ductilidad, absorción de energía y control de fisuras.



Fig. 6.- Fibra DRAMIX

□ FIBRA WIRAND

Es una fibra metálica, producida por trefilación a partir de alambres de bajo contenido de carbono. Presenta dos dobleces en cada extremidad para mejorar la adherencia y consecuentemente, el anclaje.

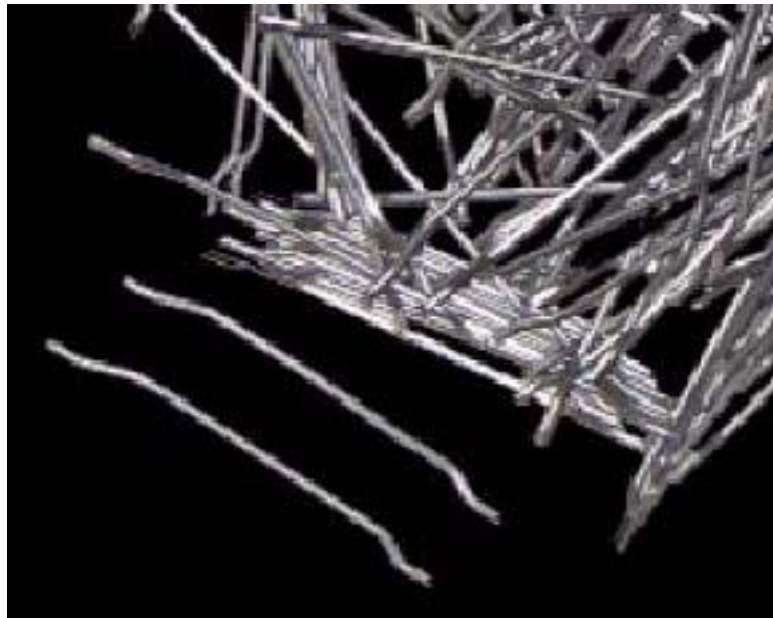


Figura 7.- Fibra Wirand.

CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLA.

5.01.- Propiedades de la Mezcla.-

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

En el análisis de las propiedades del concreto es importante recordar que ellas están íntimamente asociadas con las características y proporciones relativas de los materiales integrantes; que la calidad, cantidad y densidad de la pasta es determinante en las propiedades del concreto; y que la relación agua-cemento lo es sobre las características de la pasta.

5.01.01.- 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 fluidéz de la misma; entendiéndose con ello que cuanto más húmeda es la mezcla, mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación.

El método de determinación empleado es el ensayo del "Cono de Abrams" ó "Slump" (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 definidas y sección tronco cónica. Por consiguiente, se puede definir el asentamiento como la medida de la diferencia de altura entre el molde metálico estándar y la masa de concreto después que ha

sido retirado el molde que la recubría. 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" (0 a 5 cm).
- Concretos plásticos, con asentamiento de 3" a 4" (7,5 a 10 cm).
- Concretos fluidos, con asentamientos con más de 5" (12,5 cm).

□ Trabajabilidad:

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

La trabajabilidad es una propiedad que no es mensurable dado que está referida a las características y perfil del encofrado; a la cantidad y distribución del acero de refuerzo y elementos embebidos; y al procedimiento empleado para compactar el concreto. Sin embargo, 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.

Entre otras consideraciones se tiene que, la presencia, en porcentajes adecuados, de las partículas más finas del agregado tiende a mejorar la trabajabilidad del concreto. Se recomienda para el porcentaje acumulado que pasa la malla N° 50 del 10% al 30%; y para el porcentaje acumulado que pasa la malla N° 100 del 2% al 10%. Sin embargo la ausencia de las partículas finas en el agregado puede ser compensada por el empleo de cementos Tipo I ó IP, o por la adición de arenas muy finas, cenizas volcánicas, puzolana, o escorias de altos hornos finamente molida, siempre que se tenga en consideración la posible influencia de estas adiciones sobre la demanda de agua y las propiedades del concreto.

5.01.02.- Propiedades del concreto endurecido.-

Resistencia:

La resistencia es considerada como una de las propiedades más importantes 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 su calidad.

La resistencia del concreto está principalmente determinada por la cantidad neta de agua empleada por unidad de cemento. El factor que influye en forma determinante sobre la resistencia del concreto es la relación agua-cemento de la mezcla, siendo mayores las resistencias conforme dicha relación se hace menor.

En resumen la resistencia al concreto es función de cuatro factores:

- Relación agua-cemento
- Relación cemento-agregado
- Granulometría, perfil, textura superficial, resistencia y dureza del agregado.
- Tamaño máximo del agregado.

Adicionalmente a los factores indicados, pueden influir sobre la resistencia final del concreto y por lo tanto deben ser tomados en consideración en el diseño de mezcla los siguientes:

- Cambio en el tipo, marca y tiempo de almacenamiento del cemento y materiales cementantes empleados.
- Características del agua en aquellos casos en que no se emplea agua potable.
- Presencia de limo, arcilla, mica, carbón, humus, materia orgánica, sales químicas en el agregado. Todos los compuestos enunciados disminuyen la resistencia del concreto principalmente debido a que se incrementan los requisitos de agua, se facilita la acción del intemperismo, se inhibe el desarrollo de una máxima adherencia entre el cemento hidratado y los agregados, se dificulta la hidratación normal del cemento, y se facilita la reacción química de los agregados con los elementos que componen el cemento.
- Modificaciones en la granulometría del agregado con el consiguiente incremento en la superficie específica y en la demanda de agua para una consistencia determinada.

- Presencia de aire en la mezcla, la cual modifica la relación poros-cemento, siendo mayor la resistencia del concreto cuanto menor es esta relación.
- Empleo de aditivos que pudieran modificar el proceso de hidratación del cemento y por tanto la resistencia del concreto.
- El empleo de materiales puzolánicos, cenizas, o escorias de alto horno finamente divididas, los cuales por sí mismos pueden desarrollar propiedades cementantes.

Durabilidad:

El concreto debe ser capaz de 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 o 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; la acción de agentes químicos, especialmente cloruros y sulfatos; y la de aditivos descongelantes.

La resistencia del concreto a algunos de los factores mencionados, con el consiguiente incremento en la durabilidad, puede ser mejorada por el empleo de cemento de bajo contenido de aluminato tricálcico; cementos de bajo contenido de álcalis; cementos puzolánicos; cementos de escorias; puzolanas, cenizas o escorias de alto horno finamente molidas; agregados seleccionados para prevenir posibles expansiones debidas a la reacción álcali-agregados; o empleo de agregados de dureza

adecuada y libres de cantidades excesivas de partículas blandas, en todos aquellos casos en que se requiera resistencia al desgaste por abrasión superficial.

El empleo de las relaciones agua-cemento bajas deberán prolongar la vida del concreto al reducir el volumen de poros capilares, incrementar la relación gel-espacio y reducir la permeabilidad y absorción; disminuyendo por todas las razones expuestas la posibilidad de penetración de agua o líquidos agresivos.

La resistencia a los procesos de intemperismo severo, especialmente acciones de congelación y deshielo, mejora significativamente por la incorporación, en todos los concretos expuestos a ambientes menores de 4° C, de una cantidad adecuada de aire, el cual debe obligatoriamente ser empleado siempre que exista la posibilidad de que se presenten procesos de congelación durante la vida del concreto. El aire incorporado al ser dispersado a través de la masa de concreto en forma de minúsculas burbujas, proporciona espacios en los cuales las fuerzas mecánicas que causan la desintegración son disipadas.

La incorporación de aire igualmente incrementa la durabilidad por reducción de la capilaridad y disminución del volumen y sección de los canales de agua o poros capilares del concreto endurecido, por disminución de la exudación y segregación del concreto fresco.

La resistencia del concreto a la acción de las heladas depende de la naturaleza de los agregados y de su granulometría; del volumen de agua de la mezcla; de la

estructura capilar del concreto, y de su resistencia a la compresión.

□ Elasticidad:

El concreto no es un material 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 aparta de la recta y comienza a ser curva.

En el diseño de mezcla debe tenerse presente que el módulo de elasticidad del concreto depende, entre otros, de los siguientes factores:

- La resistencia a la compresión del concreto.
- A la igualdad de resistencia, de la naturaleza petrográfica de los agregados.
- De la tensión de trabajo.
- De la forma y tiempo de curado del concreto.
- Del grado de humedad del concreto.

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.

5.02.- 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.

5.02.01.- Cemento.-

Es importante conocer:

- Peso específico del cemento, para este caso (Tipo IP) = 3,00
- 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.

Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso	Contenido mínimo de cemento en Kg/m ³
3/8"	360
1/2"	350
3/4"	320
1"	300
1½"	280

Tabla IV.1

5.02.02.- 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. En el caso de los agregados fino y grueso es importante conocer:

- Perfil y textura superficial.
- Análisis granulométrico.
- Peso específico de masa.
- Peso unitario suelto y compactado.
- Porcentaje de absorción y contenido de humedad.
- Pérdida por abrasión, si el agregado va a ser empleado en concreto para pavimentos.
- Presencia de materia orgánica.

5.02.03.- Otros

El agua debe de ser de preferencia potable de lo contrario se deberá hacer el respectivo análisis químico.

La cantidad de agua de mezclado que se obtiene en la **Tabla IV.5** es considerando al agregado en estado saturado superficialmente seco, pero en la práctica generalmente no se da esto, lo que quiere decir que hay que hacer una corrección por contenido de humedad del agregado según su porcentaje de absorción, dando como resultado el agua efectiva del diseño de la mezcla.

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

ensayadas por resistencia de acuerdo a la Norma ASTM C 39, a los 28 días, o a la edad especificada 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 edad del concreto.

5.03.- Diseño de Mezcla para Concreto Reforzado con Fibra de Acero

5.03.01.- Secuencia en el diseño de 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 por el proyectista (f'_c).
2. Seleccionar el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso,
3. Elegir la consistencia de la mezcla y expresarla 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 nominal 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 estas 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 de agua.
8. Determinar las proporciones relativas de los agregados fino y grueso.
9. Determinar, empleando el método de diseño seleccionado, las proporciones de la mezcla, considerando que el agregado está en estado seco y que el volumen unitario de agua no ha sido corregido por humedad del agregado.
10. Corregir dichas proporciones en función del porcentaje de absorción y el contenido de humedad de los agregados fino y grueso.

5.03.02.- Cálculos para la dosificación de los materiales.-

5.03.02.01.- 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 $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$.

F'c	Fcr
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 $f'_{cr} = 364 \text{ kg/cm}^2$, ya que para nuestra resistencia de diseño ($f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$) le corresponde la segunda opción $f'_c + 84$.

5.03.02.02.- Selección del Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso

En la selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso, el Ingeniero deberá tener en consideración que el concreto deberá ser colocado sin dificultad en los encofrados y que en todos los lugares de ellos, especialmente esquinas y ángulos, espacio entre barras, ductos y elementos embebidos, secciones altamente reforzadas, y paredes de encofrados, no deberán quedar espacios vacíos ni cangrejeras.

En general, en la medida que el porcentaje de vacíos tienda a disminuir conforme aumente el tamaño máximo nominal de un agregado bien graduado, los requisitos del mortero de la unidad de volumen del concreto serán menores.

La Tabla IV.4 presenta las curvas granulométricas que corresponden a tamaños máximos nominales comprendidos entre 2" y 3/8". Esta tabla corresponde a la clasificación de la Norma ASTM C 33.

Tamaño Máximo Nominal	Porcentaje que pasan por las siguientes mallas							
	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	N° 4	N° 8
2"	95-100	...	35-70	...	10-30	...	0-5	...
1½"	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
⅜"	...	...	...	...	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".

5.03.02.03.- Selección del Asentamiento.-

La consistencia es aquella propiedad del concreto no endurecido que define el grado de humedad de la mezcla. De acuerdo a su consistencia, las mezclas 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; aquellas cuyo asentamiento está entre 5" o más pulgadas (mayor de 125 mm).

Existen diferentes métodos de laboratorio para determinar la consistencia de las mezclas de concreto. De

todos ellos se considera que el ensayo de determinación del asentamiento, medido con el Cono de Abrams, es aquel que da una mejor idea de las características de la mezcla de concreto. Para la presente tesis se empleará una mezcla de consistencia plástica con 3" de asentamiento promedio.

5.03.02.04.- 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 está en estado seco.

Después de haber elegido el tamaño máximo nominal del agregado grueso (1") de nuestra granulometría, y el asentamiento deseado de 3", procedemos a seleccionar el volumen unitario de agua de la Tabla IV.5

ASENTAMIENTO	Agua, en l/m ³ de concreto, para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y asentamiento indicados.							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1½"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporados								
1" a 2"	205	200	185	180	160	155	145	125
3" a 4"	225	215	200	195	175	170	160	140
6" a 7"	240	230	210	205	185	180	170	...
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	180	175	165	160	145	140	135	120
3" a 4"	200	190	180	175	160	155	150	135
6" a 7"	215	205	190	185	170	165	160	...

Para la presente tesis, de la tabla obtenemos el volumen unitario: 195 l/m^3 . Corrección de agua de mezclado = 225 l/m^3 .

5.03.02.05.- 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 se obtiene el porcentaje aproximado de aire atrapado, en mezclas sin aire incorporado, para diferentes tamaños máximos nominales de agregado grueso adecuadamente graduado dentro de los requisitos de la norma ASTM C 33. Para nuestro caso entramos a la tabla con tamaño máximo nominal de 1" y obtenemos 1,5% de aire atrapado.

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3,0%
1/2"	2,5%
3/4"	2,0%
1"	1,5%
1½"	1,0%
2"	0,5%
3"	0,3%

Tabla IV. 6

5.03.02.06.- 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.

En aquellos casos en que fuere necesario, se determinará en primer lugar la relación agua-cemento requerida por durabilidad y, a continuación, se procederá a determinar la misma relación en función de la resistencia en compresión promedio que se desea obtener para el concreto. De los dos valores se escogerá el menor.

En nuestro caso no se considerará al concreto endurecido expuesto a soluciones químicas dañinas, por lo tanto la relación agua-cemento será seleccionado según la resistencia a la compresión promedio del concreto a diseñar, obteniendo el valor de la tabla IV.7, para ello se tendrá que interpolar su correspondiente $f'_{cr} = 364 \text{ kg/cm}^2$.

Resistencia a la compresión probable a los 28 días en kg/cm ² (f'cr)	Relación agua-cemento en peso	
	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

Siendo f'cr = 364 kg/cm², interpolando se tiene que:

$$\begin{array}{rcl}
 400 & \text{-----} & 0,43 \\
 364 & \text{-----} & a/c \\
 350 & \text{-----} & 0,48
 \end{array}
 \rightarrow a/c = 0,466$$

5.03.02.07.- Cálculo del Contenido de Cemento

Conocidos el volumen unitario de agua por unidad de volumen del concreto y la relación agua-cemento seleccionada, se puede determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto mediante el simple expediente de dividir el 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. En nuestro caso se tiene que:

- Factor cemento (FC) = $225/0,466 = 482,83 \text{ kg/m}^3$.
- FC = 350 Kg/m^3 , contenido mínimo de cemento para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

De ambos valores escogemos el mayor, entonces FC = $482,83 \text{ kg/m}^3$.

5.03.02.08.- Contenido de Agregado Grueso

La selección de las proporciones de los agregados fino y grueso en la unidad cúbica de concreto tiene por finalidad obtener una mezcla en la que, con un mínimo contenido de pasta, se puedan obtener las propiedades deseadas en el concreto.

En nuestro caso, para determinar el contenido de agregado grueso, empleando el Método del Comité 211 del ACI, se debe entrar a la Tabla IV.8 con el Módulo de Fineza del agregado fino = 2,97 y con el tamaño máximo nominal del agregado grueso = 1", encontrándose por interpolación un

valor de $b/b_0 = 0,653$ metros cúbicos de agregado grueso seco compactado por unidad de volumen del concreto.

T.M.N. del Ag. Grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto (b/b_0), para diferentes módulos de fineza del ag. fino.			
	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1½"	0,76	0,74	0,72	0,70
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,81	0,79	0,77	0,75
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Tabla IV. 8

Para el T.M.N. del Agregado Grueso = 1" y el Módulo de Finura del Agregado Fino = 2,97, interpolando se tiene que:

$$\begin{array}{r}
 2,80 \text{ ----- } 0,67 \\
 2,97 \text{ ----- } b/b_0 \quad \rightarrow \quad b/b_0 = \\
 0,653 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\
 3,00 \text{ ----- } 0,65
 \end{array}$$

- Peso del agregado grueso seco = $b/b_0 \times$ Peso Unitario Compactado del agregado grueso.
- Peso del agregado grueso seco = $0,653 \times 1\ 572 = 1\ 026,52$ kg por metro cúbico de concreto.

5.02.03.09.- Contenido de Agregado Fino.-

El volumen absoluto de agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos. El peso del agregado fino seco será igual a su volumen absoluto multiplicado por su peso sólido (peso específico de masa multiplicado por mil).

Volúmenes absolutos conocidos:

- F.C. / (Peso específico del cemento x 1 000) = 482,83 / 3 000 = 0,1609 m³
- Agua de mezclado / Densidad del agua = 225 / 1 000 = 0,225 m³
- Peso del agregado grueso seco / (Peso específico de masa del ag. grueso x 1 000) = 1 026,52 / 2 700 = 0,3802 m³
- % Aire atrapado = 1,5 % = 0,015 m³
- Suma de volúmenes absolutos conocidos = (0,1609 + 0,225 + 0,3802 + 0,015) m³ = 0,7811 m³

Volumen absoluto agregado fino = 1 – 0,7811 = 0,2189 m³

Peso del agregado fino seco = 0,2189 x 2 580 = 564,67 kg

5.02.03.10.- Valores de Diseño

Las cantidades de materiales a ser empleadas como valores de diseño serán:

- Cemento.....482,83 kg/m³
- Agua de diseño.....225 l/m³
- Agregado fino seco.....564,67 kg/m³
- Agregado grueso seco.....1 026,52 kg/m³

5.02.03.11.- Corrección por Humedad del Agregado.-

Las proporciones de los materiales que integran la unidad cúbica de concreto deben ser corregidas en función de las condiciones de humedad de los agregados fino y grueso, a fin de obtener los valores a ser utilizados en obra:

- Peso real del agregado:
 - Agregado Fino húmedo... $564,67 \times 1,0561 = 596,35$ kg/m³
 - Agregado Grueso húmedo $1\ 026,52 \times 1,0026 = 1\ 029,18$ kg/m³.

□ Agua efectiva:

- % Humedad superficial del agregado fino $5,61 - 1,89 = 3,72$
%
- % Humedad superficial del agregado grueso..... $0,26 - 0,78 = - 0,52$ %
- Aporte de humedad del agregado fino.....
 $564,67 \times (+ 0,0372) = + 21,01 \text{ l/m}^3$
- Aporte de humedad del agregado grueso..... $1\ 026,52 \times (- 0,0052) = - 5,33 \text{ l/m}^3$
- Aporte de humedad de los agregados..... $+ 21,00 - 5,33 = + 15,67 \text{ l/m}^3$
- Agua efectiva..... $225 - (+ 15,67) = 209,33 \text{ l/m}^3$

□ Cantidad de materiales en obra por metro cúbico de concreto:

- Cemento..... 482,83 kg.
- Agregado Fino (h)..... 596,35 kg.
- Agregado Grueso (h)..... 1 029,18 kg.
- Agua Efectiva..... 209,33 L.

**DISEÑO DE MEZCLA PARA EL CONCRETO PATRÓN
MÉTODO DEL ACI**

- Se va a diseñar para una resistencia a la compresión: $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- Las propiedades físicas de los agregados son las siguientes:

DESCRIPCIÓN	AG. FINO	AG. GRUESO
P. específico de masa	2,58	2,70
P. unitario suelto seco (kg/m^3)	1 630	1 403
P. unitario compactado seco (kg/m^3)	1 882	1 572
Contenido de humedad (%)	5,61	0,26
% de absorción	1,89	0,78

- Peso específico del cemento Tipo IP..... 3,00
- Asentamiento deseado..... 3"
- Tamaño Máximo Nominal del Agregado (TMN)..... 1"
- Agua de mezclado..... 225 l/m³
- % de aire atrapado..... 1,5 %
- Relación agua / cemento por Resistencia..... 0,466
- Contenido de cemento (FC)..... 482,83 kg/m³
- Módulo de fineza del agregado fino..... 2,97
- Peso del agregado grueso (seco)..... 1 026,52 kg/m³
- Volumen absoluto del agregado fino..... 0,2189 m³
- Peso del agregado fino (seco)..... 564,67 kg/m³

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 DE CONCRETO

- Cemento = 482,83 kg..... 11,36 bolsas
- Agregado fino (h) = 596,35 kg..... 12,23 ps³
- Agregado grueso (h) = 1 029,18 kg..... 25,84 ps³
- Agua efectiva = 209,33 L.

CAPÍTULO VI: ENSAYOS DE CONCRETO.

6.01.- Ensayos de Concreto Fresco.

6.01.01.- 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 estado y las pruebas que las evalúan. La Norma ASTM C-172, da las pautas a seguirse en el muestreo, y que consisten básicamente en:

- El tiempo transcurrido entre la obtención de dos porciones para formar una muestra debe ser como máximo 15 min.
- 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.
- Las pruebas de control de concreto fresco deben efectuarse a más tardar 5 min. después de obtenida la muestra.
- El moldeo de probetas para ensayos de compresión debe iniciarse dentro de los 15 min. luego del muestreo.
- El tiempo entre la obtención y el uso de la muestra debe ser el menor posible, cuidando en todo momento de protegerla del sol, el viento y otras fuentes de evaporación.
- El tamaño mínimo de las muestras para los ensayos de compresión debe ser de 1 pie³.

- El muestreo de mezcladoras estacionarias o camiones mezcladores debe realizarse del tercio central de la carga, y en por lo menos dos porciones que se integrarán en una sola muestra.
- El muestreo de concreto ya descargado se debe efectuar con por lo 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, se puede estar afectando al resultado del control, y consecuentemente obtener un mal resultado de un buen concreto.

6.01.01.01.- Control de la Trabajabilidad

La trabajabilidad constituye el parámetro más manejado por los que diseñan, producen y colocan concreto, sin embargo es el más difícil de 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.

La trabajabilidad involucra conceptos tales como capacidad de moldeo, cohesividad y capacidad de compactación, igualmente involucra el concepto de fluidez, con énfasis en la plasticidad y uniformidad dado que ambas tienen marcada influencia en el comportamiento y apariencia final de la estructura.

La trabajabilidad es una propiedad que no es mensurable, sin embargo, 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; con la presencia de aditivos; y con las condiciones ambientales.

Debido a la gran cantidad de factores que determinan la trabajabilidad del concreto, algunos de ellos propios de cada estructura, no se ha desarrollado un método adecuado para medirla y la determinación de la misma en cada caso depende principalmente de los conocimientos y experiencia del ingeniero encargado del diseño de la mezcla.

Los norteamericanos clasifican al concreto por el asentamiento de la mezcla fresca. El método de determinación empleado es conocido como método del Cono de Asentamiento, método del Cono de Abrams, ó método de Slump, y define la consistencia de la mezcla por el asentamiento, medido en pulgadas o en milímetros, de una masa de concreto que previamente ha sido colocada y compactado en un molde metálico de dimensiones definidas y sección tronco cónica.

Al controlar el asentamiento en obra se controla directamente la uniformidad en la consistencia y trabajabilidad necesarias para una adecuada colocación; e indirectamente el volumen unitario de agua, la relación agua-cemento y las modificaciones en la humedad del agregado.

6.01.01.02.- 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 del 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 min. hasta que se estabilice la lectura y un máximo de 5 min. 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.

6.01.02.- Características del Concreto Fresco

6.01.02.01.- 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 Standard que permiten comparar dichas características entre varios diseños, siendo obvio que se debe buscar obtener los 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 la pasta.

6.01.02.02.- Segregación.-

La diferencia de densidades entre los componentes del concreto provoca una tendencia natural a que las partículas más pesadas desciendan, pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es solo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo cual sumado 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 piedra > 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).

6.01.02.03.- Compatibilidad

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 constantes 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 similares para elegir el óptimo, pero no nos da un valor absoluto para 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.

6.01.02.03.04.- 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 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 son las 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.

6.01.03.- Ensayo del Cono de Abrams 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, ó en el uso de aditivos.

6.01.03.01.- Equipos y Accesorios

- Barra compactadora, recta de acero liso de 16mm (5/8") de diámetro y aproximadamente 600mm (24") de largo, con un extremo redondeado con forma de punta redondeada. En ningún caso se usa fierro corrugado.
- Cono de Abrams, molde metálico con forma de tronco de cono hueco, con los dos círculos de las bases paralelos entre sí y formando ángulo recto con el eje del cono. El diámetro de la base inferior es 20 cm. y de 10 cm. en la base superior con un espesor mínimo de 1,5 mm y la altura

del molde es de 30 cm. El molde está provisto de agarradores y aletas de pie.

6.01.03.02.- PROCEDIMIENTO

- Se coloca el molde sobre una superficie plana, manteniéndolo inmóvil pisando las dos aletas de pie del cono.
- Se realiza el llenado del concreto en 3 capas de aproximadamente $\frac{1}{3}$ del volumen del cono cada una y se compactan con 25 golpes, distribuyendo uniformemente los golpes en la sección transversal de cada capa.
- Luego se llena el cono hasta los $\frac{2}{3}$ del volumen total y se compacta de nuevo 25 veces, penetrando esta capa pero no atravesando hasta el fondo, solo penetrando ligeramente en la capa inmediata inferior.
- Se llena el cono en exceso y se compacta de nuevo con 25 golpes. Si después de compactar hubiera una deficiencia de material, se añade la cantidad necesaria para mantener un exceso por encima del molde.
- Luego se retira el exceso de concreto de la parte superior del cono utilizando la varilla de acero o la plancha de albañil y enrasar. Se limpia el concreto derramado en la base del cono y se levanta el mismo sin movimientos laterales o torsionales.
- Para terminar se coloca la varilla de acero horizontalmente a lo largo del molde invertido de manera que la varilla se extienda hasta el concreto revenido. Se mide la distancia de la parte inferior de la varilla de acero al centro de la cara superior del concreto deformado.

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

ASENTAMIENTO DEL CONCRETO PATRÓN

Norma : NTP 339.035

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	ENSAYOS			
		N° 01	N° 02	N° 03	PROM
ASENTAMIENTO	As	2 ¾"	3"	3 ¼"	3"

Promedio del Asentamiento = 3"

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

ASENTAMIENTO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (20 kg/m³)

Norma : NTP 339.035

Hecho por: **Ángel David Wilson Oré**

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	ENSAYOS			
		N° 01	N° 02	N° 03	PROM
ASENTAMIENTO	As	2 ³ / ₄ "	3"	3 ¹ / ₄ "	3"

Promedio del Asentamiento = 3"

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

ASENTAMIENTO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (25 kg/m³)

Norma : NTP 339.035

Hecho por: **Angel David Wilson Oré**

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	ENSAYOS			
		N° 01	N° 02	N° 03	PROM
ASENTAMIENTO	As	3"	3"	3"	3"

Promedio del Asentamiento = 3"

6.01.04.- Ensayo de Fluidez (NTP 339.085)

Se llama también ensayo de la mesa de sacudida o de escurrimiento. El ensayo responde principalmente a la variación del contenido de agua de la mezcla y sirve para indicar la consistencia y proclividad a la segregación. Es con respecto a la segregación que este ensayo es de utilidad, pues además nos proporciona un índice de mezclas rígidas, ricas y cohesivas.

En éste ensayo, el índice de consistencia se determina con el aumento del diámetro que experimenta la base inferior de un tronco de cono fresco sometido a sacudidas sucesivas.

Para el cálculo del índice de fluidez tenemos:

Dónde: F = Porcentaje de Fluidez

D = Diámetro Promedio.

$$F = \frac{(D-25)*100}{25}$$

Este método se considera aplicable a concretos plásticos que tienen un agregado grueso hasta 1½". Para los tamizados que pasan este límite, se le aplica al concreto tamizado por la malla de 1½".

Para determinarla se procede de la siguiente manera:

1. Se limpia y moja la mesa de sacudidas con una esponja, retirando todo el exceso de agua que se pueda quedar.
2. Se centra el molde en la mesa y se procede a llenarlo con concreto hasta la mitad de su volumen, sujetar bien el molde para que no se mueva.
3. Compactar con la varilla de acero liso (Diámetro de 5/8") dando veinticinco golpes de manera uniforme y bien distribuidos en la masa de concreto.
4. Proceder a terminar de llenar el molde con concreto y seguidamente compactamos la capa de igual forma que la anterior procurando que la varilla penetre ligeramente en la primera capa.
5. Se nivela la parte superior y se retira el concreto sobrante del exterior de la mesa si es necesario.
6. Se levanta el molde verticalmente y lo más rápido posible.
7. Luego se eleva la mesa girando la manivela y dejándola caer desde una altura de 12,5 mm. por quince segundos. La operación debe ser uniforme y constante.
8. Se mide el diámetro del concreto expandido en la mesa desde varias diagonales opuestas y luego se obtiene el promedio de una medición.

6.01.05.- Peso Unitario (NTP 339.046)

El peso unitario se obtiene al pesar el concreto fresco compactado en un recipiente estandarizado, de volumen y masa conocidos, cuyo procedimiento se describe en la norma NTP 339.046.

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2 240 y 2 400 kg por metro cúbico (kg/m^3). El peso unitario (densidad) del concreto varía, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, los mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado.

Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa $2\,400\text{ kg/m}^3$. Además del concreto convencional, existe una amplia variedad de otros concretos para hacer frente a diversas necesidades, variando desde concretos aisladores ligeros con pesos unitarios de $2\,400\text{ kg/m}^3$, a concretos pesados con pesos unitarios de $6\,400\text{ kg/m}^3$, que se emplean para contrapesos o para blindajes contra radiaciones.

6.01.05.01.- Equipos y Accesorios

- Barra compactadora, recta de acero liso de 16mm (5/8") de diámetro y aproximadamente 600mm (24") de largo, con un extremo redondeado con forma de punta semiesférica.
- Recipiente cilíndrico de metal cuya capacidad depende del tamaño máximo del agregado.

6.01.05.02.- Recipiente

CAPACIDAD		TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO	
ps ³	dm ³	pulg.	mm
1/10	3	1/2	12,5
1/3	10	1	25,4
1/2	15	1 1/2	38,1
1	30	2	50,8

6.01.05.03.- Calibración del Recipiente

El recipiente se calibra determinando con exactitud el peso del agua necesaria para llenarlo a 16,7° C. Para cualquier unidad el factor (f) se obtiene dividiendo el peso unitario del agua a 16,7° C (1 000 kg/m³) por el peso del agua a 16,7° C necesario para llenar el recipiente. Se puede obtener un llenado preciso del recipiente mediante el uso de una lámina de vidrio.

6.01.05.04.- Procedimiento

Se llena la tercera parte del recipiente y se apisona el concreto con la barra compactadora, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie y luego dar golpes con el martillo de goma. Se llena hasta las dos terceras partes de la medida y de nuevo se compacta con 25 golpes en forma de

espiral y dar de 10 a 15 golpes con el martillo de goma. Llenar hasta rebosar y compactar 25 veces con la barra compactadora y nuevamente dar golpes con el martillo de goma, el concreto excedente se elimina usando la barra compactadora y luego se pesa el recipiente lleno.

6.01.05.05.- Expresión de Resultados

Se determina el peso neto del concreto en el recipiente. El peso unitario del concreto (PU) se obtiene multiplicando el peso neto del concreto (W_c) por el factor (f) de calibración del recipiente calculado.

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

PESO UNITARIO DEL CONCRETO PATRÓN

Norma : NTP 339.046

Hecho por: Angel David Wilson Oré

PESO UNITARIO DEL CONCRETO PATRÓN						
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	UND	ENSAYOS			
			N° 1	N° 2	N° 3	PROM
PESO DEL CONCRETO + RECIPIENTE		kg	39,40	39,45	39,35	
PESO DEL RECIPIENTE		kg	5,94	5,94	5,94	
PESO DEL CONCRETO	Wc	kg	33,46	33,51	33,41	
PESO DEL AGUA + RECIPIENTE		kg	19,98	19,98	19,98	
PESO DEL AGUA	Wa	kg	14,04	14,04	14,04	
FACTOR DE CALIBRACIÓN	f	m ⁻³	71,23	71,23	71,23	
PESO UNITARIO DEL CONCRETO	PU	kg/ m³	2 383	2 387	2 380	2 383

Promedio del Peso Unitario del Concreto Patrón = 2 383 kg/m³

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

PESO UNITARIO DEL CONCRETO REFORZADO CON
FIBRA WIRAND (20 kg/m³)

Norma : NTP 339.046

Hecho por: Angel David Wilson Oré

PESO UNITARIO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (20 kg/m ³)						
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	UND	ENSAYOS			
			N° 1	N° 2	N° 3	PROM
PESO DEL CONCRETO + RECIPIENTE		kg	39,50	39,45	39,60	
PESO DEL RECIPIENTE		kg	5,94	5,94	5,94	
PESO DEL CONCRETO	Wc	kg	33,56	33,51	33,66	
PESO DEL AGUA + RECIPIENTE		kg	19,98	19,98	19,98	
PESO DEL AGUA	Wa	kg	14,04	14,04	14,04	
FACTOR DE CALIBRACIÓN	f	m ⁻³	71,23	71,23	71,23	
PESO UNITARIO DEL CONCRETO	PU	kg/ m³	2 390	2 387	2 397	2 392

Promedio del Peso Unitario del Concreto Reforzado = 2 392 kg/m³

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

PESO UNITARIO DEL CONCRETO REFORZADO CON
FIBRA (25 kg/m³)

Norma : NTP 339.046

Hecho por: Angel David Wilson Oré

PESO UNITARIO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (25 kg/m ³)						
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	UND	ENSAYOS			
			N° 1	N° 2	N° 3	PROM
PESO DEL CONCRETO + RECIPIENTE		kg	39,70	39,80	39,65	
PESO DEL RECIPIENTE		kg	5,94	5,94	5,94	
PESO DEL CONCRETO	Wc	kg	33,76	33,86	33,71	
PESO DEL AGUA + RECIPIENTE		kg	19,98	19,98	19,98	
PESO DEL AGUA	Wa	kg	14,04	14,04	14,04	
FACTOR DE CALIBRACIÓN	f	m ⁻³	71,23	71,23	71,23	
PESO UNITARIO DEL CONCRETO	PU	kg/ m³	2 405	2 412	2 401	2 406

Promedio del Peso Unitario del Concreto Reforzado = 2 406 kg/m³

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

PESO UNITARIO DEL CONCRETO REFORZADO CON
FIBRA (35 kg/m³)

Norma : NTP 339.046

Hecho por: Angel David Wilson Oré

PESO UNITARIO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (35 kg/m ³)						
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	UND	ENSAYOS			
			N° 1	N° 2	N° 3	PROM
PESO DEL CONCRETO + RECIPIENTE		kg	39,80	39,90	39,85	
PESO DEL RECIPIENTE		kg	5,94	5,94	5,94	
PESO DEL CONCRETO	Wc	kg	33,86	33,96	33,91	
PESO DEL AGUA + RECIPIENTE		kg	19,98	19,98	19,98	
PESO DEL AGUA	Wa	kg	14,04	14,04	14,04	
FACTOR DE CALIBRACIÓN	f	m ⁻³	71,23	71,23	71,23	
PESO UNITARIO DEL CONCRETO	PU	kg/ m³	2 412	2 419	2 415	2 415

Promedio del Peso Unitario del Concreto Reforzado = 2 415 kg/m³

6.01.06.- Ensayo de Tiempo de Fraguado (NTP 339.082)

El fraguado es el proceso de endurecimiento del concreto. Por lo que su determinación tiene una trascendencia muy importante, por cuanto nos da la pauta del tiempo que se dispone en el proceso constructivo para las operaciones de colocación y acabado.

Este proceso está dividido en dos periodos: el fraguado inicial y el fraguado final. El fraguado inicial se caracteriza por la pérdida de plasticidad y aumento en la temperatura de la mezcla. El fraguado final se caracteriza por endurecimiento significativo y deformaciones permanentes, como lógica consecuencia del aumento de su resistencia.

La fragua del concreto depende básicamente del contenido de aluminato tricálcico del cemento, finura del cemento, relación agua/cemento, temperatura y humedad del ensayo.

La norma establece el tiempo de fraguado del concreto con asentamiento superior a cero por medio de agujas de penetración sobre la muestra tamizada; así el fraguado inicial se determina por el tiempo transcurrido, luego del contacto inicial del cemento y el agua hasta que el mortero alcance una resistencia a la penetración de 500 lb/pulg², y la fragua final cuando alcance 4000 lb/pulg².

La resistencia a la penetración, se calcula como el cociente de la fuerza requerida para que la aguja penetre 25 mm. y el área de la superficie de contacto de la aguja.

A diferencia del Tiempo de Fraguado para el cemento, en el concreto, están involucrados otros factores por los cuales no se pueden generalizar este concepto para todas las mezclas y casos, por

ejemplo: una mezcla que ya no sirve para tomar la forma de un encofrado, sin embargo puede realizarse bien el acabado de un piso: lo cual nos indica que es difícil generalizar un concepto de Fragua Inicial puesto que en la medida que el concreto mantenga un grado significativo de trabajabilidad, aún no habrá fraguado.

Por eso el método empleado, sólo consiste en determinar la velocidad de endurecimiento que experimenta una muestra de concreto fresco.

Para determinarla se procede de la siguiente manera:

1. Se usará dos moldes cilíndricos para el ensayo, ellos deben tener 15cm de diámetro y 15cm de altura.
2. Debe contarse con un aparato hidráulico con capacidad de 60kgf a 100kgf provisto de un dispositivo medidor de presión y un medidor de carga con escala graduada.
3. Preparamos una tanda de 0.02 m³ de concreto.
4. Tamizamos la mezcla por la malla N° 4; la mezcla que pasa por dicha malla, mortero, es llenada en los dos moldes cilíndricos.
5. Se llena cada molde en dos capas con 27 golpes cada capa hasta una altura mínima de 14 cm. Se golpea a los costados del molde para eliminar las burbujas de aire y luego se enrasa. La muestra se compacta con la varilla (diámetro de 5/8" y longitud de sesenta centímetros) aplicando un golpe por cada 6.5 cm² de superficie de la muestra. La varillada debe ser uniforme y bien distribuida.
6. Se dispone de 6 agujas cuyos diámetros son de 1 1/8", 13/16", 9/16", 5/16", 4/16" y 3/16". Obtener como mínimo seis penetraciones espaciadas tal que se pueda obtener una buena gráfica (resistencia vs. tiempo).

7. La muestra debe almacenarse a temperatura ambiente y protegerse del sol para evitar el secado inmediato. Antes del ensayo con la ayuda de una pipeta retirar el agua que haya exudado.
8. Se anota la hora de inicio del ensayo.
9. Según el estado de endurecimiento del mortero, se debe colocar el aparato con una aguja de tamaño apropiado y se pone esta en contacto con el mortero.
10. Se aplica una fuerza vertical y uniformemente hacia abajo hasta lograr una penetración de 25mm en un tiempo aproximado de 10 segundos.
11. Se registra la fuerza aplicada, el área de la aguja de penetración y la hora de ensayo. En posteriores ensayos de penetración se debe tener cuidado en eludir sitios en los cuales el mortero ha sido alterado por penetraciones previas.
12. La distancia libre entre la aguja y el lugar de cualquier penetración anterior, debe ser al menos 2 veces el diámetro de la aguja que se use, pero en ningún caso inferior a 15mm. Se debe dejar una distancia libre entre la aguja y la pared del recipiente por lo menos de 25mm.
13. Para muestras normales y temperaturas normales, el primer ensayo se debe hacer cuando haya transcurrido 3 a 4 horas y los demás ensayos cada hora. Para mezclas aceleradas o altas temperaturas se recomienda hacer el primer ensayo cuando hayan transcurrido 1 a 2 horas y los demás ensayos a intervalos de 0,5 horas.
14. Para condiciones de baja temperatura o mezclas retardantes, el primer ensayo hacer cuando hayan transcurrido 4 horas o más, los posteriores deben llevarse a intervalos de 1 hora a menos que el incremento de resistencia a la penetración indique que son aconsejables a intervalos más cortos.
15. Para cada ensayo de fraguado, se deben hacer por lo menos 6 penetraciones y los intervalos de tiempo entre ellas, serán tales que

suministren pintos adecuados y lo suficientemente espaciados para dibujar una curva satisfactoria de velocidad de endurecimiento.

6.01.07.- Ensayo de Contenido de Aire (NTP 339.036)

Toda mezcla de concreto tiene aire atrapado entre los materiales (agua, cemento y agregados). La cantidad de este aire depende de las propiedades físicas del agregado, del método de compactación y de las proporciones en que se han combinado los ingredientes en la mezcla. Generalmente este aire ocupa del 1% al 3% del volumen de la mezcla salvo que el concreto esté expuesto a cambios bruscos de temperatura (congelarse y descongelarse), para lo cual se necesita incorporar aire mediante el uso de aditivos, por lo tanto el volumen de aire en la mezcla aumentaría.

Hay tres métodos para medir el contenido de aire total en el concreto fresco:

- a) GRAVIMÉTRICO.
- b) VOLUMÉTRICO.
- c) DE PRESIÓN.

El método más confiable y exacto es el de presión, el cual se basa en la relación entre el volumen de aire y la presión aplicada (a una temperatura constante). No se necesita conocer las proporciones de la mezcla o las propiedades de los materiales, el porcentaje de aire se obtiene directamente.

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO PATRÓN

Norma : NTP 339.036

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO PATRÓN						
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	UND	ENSAYOS			
			N° 1	N° 2	N° 3	PROM
CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO	A	%	1,3	1,4	1,2	1,3

Promedio del Contenido de Aire del Concreto Patrón = 1,3 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

**CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO REFORZADO CON
FIBRA (20 kg/m³)**

Norma : NTP 339.036

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (20 kg/m ³)						
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	UND	ENSAYOS			
			N° 1	N° 2	N° 3	PROM
CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO	A	%	1,3	1,2	1,4	1,3

Promedio del Contenido de Aire del Concreto Reforzado = 1,3 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO REFORZADO CON
FIBRA (25 kg/m³)

Norma : NTP 339.036

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (25 kg/m ³)						
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	UND	ENSAYOS			
			N° 1	N° 2	N° 3	PROM
CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO	A	%	1,3	1,3	1,3	1,3

Promedio del Contenido de Aire del Concreto Reforzado = 1,3 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

**CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO REFORZADO CON
FIBRA (35 kg/m³)**

Norma : NTP 339.036

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (35 kg/m ³)						
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	UND	ENSAYOS			
			N° 1	N° 2	N° 3	PROM
CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO	A	%	1,1	1,3	1,2	1,2

Promedio del Contenido de Aire del Concreto Reforzado = 1,2 %

6.01.08.- Ensayo de Exudación (NTP 339.077)

Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto. Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica.

El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades. La exudación no es necesariamente dañina, si no es interrumpida (el agua se evapora), la relación efectiva de a/c puede reducirse, con el consiguiente incremento en la resistencia. Por otra parte, si el agua que sube lleva consigo gran cantidad de las partículas más finas del cemento, se formará una capa de nata. Si ésta queda en la parte superior de un bloque, se formará una superficie porosa. En la parte superior se formará una capa débil y su adherencia con la siguiente capa será inadecuada. Por ésta razón, la nata siempre debe ser removida mediante cepillado y lavado.

Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de éste y mayor es el porcentaje de material menor que la malla Nº 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla. Una mayor temperatura, dentro del rango normal, incrementa la tasa de exudación, aunque la capacidad de exudación total probablemente no resulte afectada. Las mezclas ricas son menos propensas a la exudación que las pobres; también se logra reducir la exudación añadiendo puzolana o polvo de aluminio.

La exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura, luego lo importante es evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener.

6.01.08.01.- Equipos y Accesorios.-

- Barra compactadora, recta de acero liso de 16mm (5/8") de diámetro y aproximadamente 600mm (24") de largo, con un extremo redondeado con forma de punta semiesférica.
- Martillo de goma.
- Recipiente cilíndrico de metal cuya capacidad depende del tamaño máximo del agregado.
- Pipeta o instrumento similar para extraer el agua libre de la superficie de la probeta.
- Tubo graduado con capacidad suficiente para recoger y medir la cantidad de agua extraída.

6.01.08.02.- Procedimiento

- Llenar el recipiente con concreto fresco en tres capas, se compacta cada capa con 25 golpes con la barra compactadora y los lados del recipiente de 10 a 15 veces con el martillo de goma después de compactar cada capa.
- Después de colocar la tercera capa de concreto se enrasa el exceso con la barra compactadora y se limpia la pestaña del recipiente.
- Después de llenar, nivelar y alisar la superficie del recipiente se anota lo hora, peso y su contenido.

- Se extrae el agua que se haya acumulado en la superficie (con una pipeta) a intervalos de 10 min. Durante los primeros 40 min., y a intervalos de 30 min. de allí en adelante hasta que cese la exudación, se inclina el recipiente colocando un taco de aproximadamente 5 cm. de espesor debajo de uno de los lados del recipiente 2 min. antes de extraer el agua.
- Después que el agua haya sido extraída, se devuelve el recipiente a su posición original, y después de cada extracción transferir el agua a un tubo graduado. Se anota la cantidad acumulada de agua después de cada transferencia.
- Cuando se requiere solamente el volumen total de agua exudada el procedimiento de extracción periódica puede ser omitido y la extracción se hará en una sola operación.

6.01.08.03.- Expresión de Resultados

- Se calcula el volumen de agua de exudación por unidad de superficie con la siguiente ecuación:

$$V = v1 / A$$

En donde:

V1: Volumen en centímetros cúbicos del agua de exudación, durante un intervalo seleccionado.

A: Área expuesta del concreto, en centímetros cuadrados.

- Se calcula el agua acumulada de exudación, expresada como porcentaje del agua de mezclado contenida en la probeta de ensayo; como sigue:

$$C = \frac{w}{W} \times S \qquad E = \frac{D}{C} \times 100$$

En donde:

C= Masa de agua en la muestra de ensayo, en kilogramos.

W= Masa total de la tanda, en kilogramos.

W= Masa del agua efectiva en la tanda, en kilogramos.

S= Masa de la muestra, en kilogramos.

D= Volumen total de agua de exudación extraída de la muestra de ensayo en L multiplicada por 1 kg/l.

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO PATRÓN

Norma : NTP 339.077

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

ENSAYO N° 01			
TIEMPO (hrs.)	INTERVALO (min.)	VOLUMEN (ml)	V. ACUM (ml)
11:10	Inicio	0,0	0,0
11:20	10	1,0	1,0
11:30	10	1,2	2,2
11:40	10	1,2	3,4
11:50	10	2,0	5,4
12:20	30	3,7	9,1
12:50	30	6,8	15,9
1:20	30	3,8	19,7
1:50	30	2,2	21,9
2:20	30	1,4	23,3

Exudación = 0,84 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO PATRÓN

Norma : NTP 339.077

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

ENSAYO N° 02			
TIEMPO (hrs.)	INTERVALO (min.)	VOLUMEN (ml)	V. ACUM (ml)
11:25	Inicio	0,0	0,0
11:35	10	1,2	1,2
11:45	10	1,4	2,6
11:55	10	1,6	4,2
12:05	10	2,3	6,5
12:35	30	3,2	9,7
1:05	30	6,1	15,8
1:35	30	3,7	19,5
2:05	30	2,3	21,8
2:35	30	1,2	23,0

Exudación = 0,82 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO PATRÓN

Norma : NTP 339.077

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

ENSAYO N° 03			
TIEMPO (hrs.)	INTERVALO (min.)	VOLUMEN (ml)	V. ACUM (ml)
2:00	Inicio	0,0	0,0
2:10	10	0,8	0,8
2:20	10	1,1	1,9
2:30	10	1,4	3,3
2:40	10	2,5	5,8
3:10	30	3,5	9,3
3:40	30	5,6	14,9
4:10	30	4,5	19,4
4:40	30	2,1	21,5
5:10	30	1,0	22,5

Exudación = 0,80 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO PATRÓN

Norma : NTP 339.077

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

DESCRIPCIÓN	SIMB.	UND.	ENSAYOS			
			N° 01	N° 02	N° 03	PROM.
TANDA						
CEMENTO		kg.	9,66	9,66	9,66	
AG. FINO		kg.	11,51	11,51	11,51	
AG.GRUESO		kg.	20,58	20,58	20,58	
AGUA EFECTIVA	w	kg.	4,61	4,61	4,61	
MASA TOTAL DE LA TANDA	W	kg.	46,35	46,35	46,35	
MUESTRA						
PESO DEL RECIPIENTE		kg.	5,94	5,94	5,94	
PESO DEL RECIPIENTE + CONCRETO		kg.	33,80	34,00	34,10	
PESO DEL CONCRETO	S	kg.	27,86	28,06	28,16	
VOLUMEN DE EXUDACIÓN x (1 kg/l)	D	kg.	0,0233	0,0230	0,0225	
MASA DE AGUA	C	kg.	2,77	2,79	2,80	
EXUDACIÓN	E	%	0,84	0,82	0,80	0,82

Promedio de la Exudación del Concreto Patrón = 0,82 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (20kg/m³)

Norma : NTP 339.077

Hecho por: **Angel David Wilson Oré**

ENSAYO N° 01			
TIEMPO (hrs.)	INTERVALO (min.)	VOLUMEN (ml)	V. ACUM (ml)
11:16	Inicio	0,0	0,0
11:26	10	0,0	0,0
11:36	10	1,2	1,2
11:46	10	1,3	2,5
11:56	10	1,5	4,0
12:26	30	5,0	9,0
12:56	30	5,8	14,8
1:26	30	4,8	19,6
1:56	30	1,4	21,0
2:26	30	0,5	21,5

Exudación = 0,73 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (20kg/m³)

Norma : NTP 339.077

Hecho por: **Angel David Wilson Oré**

ENSAYO N° 02			
TIEMPO (hrs.)	INTERVALO (min.)	VOLUMEN (ml)	V. ACUM (ml)
9:10	Inicio	0,0	0,0
9:20	10	0,0	0,0
9:30	10	1,0	1,0
9:40	10	1,6	2,6
9:50	10	2,0	4,6
10:20	30	3,8	8,4
10:50	30	6,3	14,7
11:20	30	4,3	19,0
11:50	30	1,8	20,8
12:20	30	1,1	21,9

Exudación = 0,75 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (20kg/m³)

Norma : NTP 339.077

Hecho por: **Angel David Wilson Oré**

ENSAYO N° 03			
TIEMPO (hrs.)	INTERVALO (min.)	VOLUMEN (ml)	V. ACUM (ml)
1:50	Inicio	0,0	0,0
2:00	10	0,0	0,0
2:10	10	0,8	0,8
2:20	10	1,2	2,0
2:30	10	2,8	4,8
3:00	30	5,3	10,1
3:30	30	6,5	16,6
4:00	30	4,1	20,7
4:30	30	1,6	22,3
5:00	30	1,2	23,5

Exudación = 0,79 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (25kg/m³)

Norma: NTP 339.077

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

ENSAYO N° 01			
TIEMPO (hrs.)	INTERVALO (min.)	VOLUMEN (ml)	V. ACUM (ml)
10:24	Inicio	0,0	0,0
10:34	10	0,0	0,0
10:44	10	0,5	0,5
10:54	10	2,4	2,9
11:04	10	3,1	6,0
11:34	30	4,2	10,2
12:04	30	7,2	17,4
12:34	30	3,6	21,0
1:04	30	1,0	22,0
1:34	30	0,8	22,8

Exudación = 0,77 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (25kg/m³)

Norma: NTP 339.077

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

ENSAYO N° 02			
TIEMPO (hrs.)	INTERVALO (min.)	VOLUMEN (ml)	V. ACUM (ml)
11:00	Inicio	0,0	0,0
11:10	10	0,0	0,0
11:20	10	0,8	0,8
11:30	10	2,2	3,0
11:40	10	3,5	6,5
12:10	30	4,0	10,5
12:40	30	5,7	16,2
1:10	30	3,5	19,7
1:40	30	1,1	20,8
2:10	30	0,7	21,5

Exudación = 0,74 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (25kg/m³)

Norma: NTP 339.077

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

ENSAYO N° 03			
TIEMPO (hrs.)	INTERVALO (min.)	VOLUMEN (ml)	V. ACUM (ml)
2:00	Inicio	0,0	0,0
2:10	10	1,0	1,0
2:20	10	1,2	2,2
2:30	10	1,5	3,7
2:40	10	2,5	6,2
3:10	30	3,2	9,4
3:40	30	5,8	15,2
4:10	30	3,0	18,2
4:40	30	1,8	20,0
5:10	30	1,0	21,0

Exudación = 0,71 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (25kg/m³)

Norma: NTP 339.077

Hecho por: Angel David Wilson Oré

DESCRIPCIÓN	SIMB.	UND.	ENSAYOS			
			N° 01	N° 02	N° 03	PROM.
TANDA						
CEMENTO		kg.	9,91	9,91	9,91	
AG. FINO		kg.	10,88	10,88	10,88	
AG.GRUESO		kg.	20,58	20,58	20,58	
AGUA EFECTIVA	w	kg.	4,81	4,81	4,81	
MASA TOTAL DE LA TANDA	W	kg.	46,19	46,19	46,19	
MUESTRA						
PESO DEL RECIPIENTE		kg.	5,94	5,94	5,94	
PESO DEL RECIPIENTE + CONCRETO		kg.	34,20	34,00	34,40	
PESO DEL CONCRETO	S	kg.	28,26	28,06	28,46	
VOLUMEN DE EXUDACIÓN x (1 kg/l)	D	kg.	0,0228	0,0215	0,0210	
MASA DE AGUA	C	kg.	2,94	2,92	2,96	
EXUDACIÓN	E	%	0,77	0,74	0,71	0,74

Promedio de la Exudación del Concreto Reforzado = 0,74 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (35kg/m³)

Norma: NTP 339.077

Hecho por: **Angel David Wilson Oré**

ENSAYO N° 01			
TIEMPO (hrs.)	INTERVALO (min.)	VOLUMEN (ml)	V. ACUM (ml)
11:12	Inicio	0,0	0,0
11:22	10	0,0	0,0
11:32	10	0,8	0,8
11:42	10	1,8	2,6
11:52	10	2,8	5,4
12:22	30	5,2	10,6
12:52	30	6,2	16,8
1:22	30	4,0	20,8
1:52	30	0,8	21,6

Exudación = 0,70 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (35kg/m³)

Norma: NTP 339.077

Hecho por: Angel David Wilson Oré

ENSAYO N° 02			
TIEMPO (hrs.)	INTERVALO (min.)	VOLUMEN (ml)	V. ACUM (ml)
11:18	Inicio	0,0	0,0
11:28	10	0,0	0,0
11:38	10	1,0	1,0
11:48	10	1,4	2,4
11:58	10	2,5	4,9
12:28	30	4,3	9,2
12:58	30	6,1	15,3
1:28	30	4,1	19,4
1:58	30	1,1	20,5

Exudación = 0,67 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO

WIRAND (35kg/m³)

Norma: NTP 339.077

Hecho por: **Angel David Wilson Oré**

ENSAYO N° 03			
TIEMPO (hrs.)	INTERVALO (min.)	VOLUMEN (ml)	V. ACUM (ml)
2:04	Inicio	0,0	0,0
2:14	10	0,0	0,0
2:24	10	1,0	1,0
2:34	10	1,8	2,8
2:44	10	2,6	5,4
3:14	30	4,0	9,4
3:44	30	7,5	16,9
4:14	30	4,3	21,2
4:44	30	0,8	22,0

Exudación = 0,73 %

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

EXUDACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (35kg/m³)

Norma: NTP 339.077

Hecho por: Angel David Wilson Oré

DESCRIPCIÓN	SIMB.	UND.	ENSAYOS			
			N° 01	N° 02	N° 03	PROM.
TANDA						
CEMENTO		kg.	10,17	10,17	10,17	
AG. FINO		kg.	10,31	10,31	10,31	
AG.GRUESO		kg.	20,58	20,58	20,58	
AGUA EFECTIVA	w	kg.	4,96	4,96	4,96	
MASA TOTAL DE LA TANDA	W	kg.	46,03	46,03	46,03	
MUESTRA						
PESO DEL RECIPIENTE		kg.	5,94	5,94	5,94	
PESO DEL RECIPIENTE + CONCRETO		kg.	34,50	34,20	34,00	
PESO DEL CONCRETO	S	kg.	28,56	28,26	28,06	
VOLUMEN DE EXUDACIÓN x (1 kg/l)	D	kg.	0,0216	0,0205	0,0220	
MASA DE AGUA	C	kg.	3,08	3,04	3,02	
EXUDACIÓN	E	%	0,70	0,67	0,73	0,70

Promedio de la Exudación del Concreto Reforzado = 0,70 %

6.02.- Ensayos de Concreto Endurecido.

6.02.01.- Resistencia a la Compresión (NTP 339.034)

La Resistencia a la Compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (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 especímenes de concreto; en los Estados 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 cuanto menos 420 kg/cm².

6.02.01.01.- Resultados de los Ensayos de Resistencia ($f'c=280$ kg/cm²)

D = Diámetro promedio de la probeta cilíndrica en cm.

G = Carga Máxima aplicada sobre la probeta en kg.

Rc = Resistencia a la compresión en kg/cm².

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO

PATRÓN ($f'c = 280\text{kg/cm}^2$)

Norma: NTP 339.034 Hecho por: Angel David Wilson Oré

EDAD: 7 DÍAS				
PROBETA	DIÁMETRO	CARGA APLICADA	RESISTENCIA	PROMEDIO DE LA
N°	(cm)	G (kg)	Rc (kg/cm ²)	RESISTENCIA (Rc)
1	15	47 180	267	259 kg/cm ²
2	15	41 980	238	
3	15	48 120	272	

EDAD: 14 DÍAS				
PROBETA	DIÁMETRO	CARGA APLICADA	RESISTENCIA	PROMEDIO DE LA
N°	(cm)	G (kg)	Rc (kg/cm ²)	RESISTENCIA (Rc)
1	15	54 027	306	335 kg/cm ²
2	15	64 262	364	
3	15	59 123	335	

EDAD: 28 DÍAS				
PROBETA	DIÁMETRO	CARGA APLICADA	RESISTENCIA	PROMEDIO DE LA
N°	(cm)	G (kg)	Rc (kg/cm ²)	RESISTENCIA (Rc)
1	15	64 690	366	373 kg/cm ²
2	15	65 740	372	
3	15	67 270	381	

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO ($f'_c =$
 280 kg/cm^2) REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (20 kg/m^3)

Norma: NTP 339.034

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

EDAD: 7 DÍAS				
PROBETA	DIÁMETRO	CARGA APLICADA	RESISTENCIA	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA (Rc)
N°	(cm)	G (kg)	Rc (kg/cm ²)	
1	15	40 410	229	237 kg/cm ²
2	15	42 580	241	
3	15	42880	243	

EDAD: 14 DÍAS				
PROBETA	DIÁMETRO	CARGA APLICADA	RESISTENCIA	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA (Rc)
N°	(cm)	G (kg)	Rc (kg/cm ²)	
1	15	58 420	331	325 kg/cm ²
2	15	59 500	337	
3	15	54 490	308	

EDAD: 28 DÍAS				
PROBETA	DIÁMETRO	CARGA APLICADA	RESISTENCIA	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA (Rc)
N°	(cm)	G (kg)	Rc (kg/cm ²)	
1	15	61 400	348	352 kg/cm ²
2	15	62 219	352	
3	15	63 032	357	

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO ($f'_c =$
 280 kg/cm^2) REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (25 kg/m^3)

Norma: NTP 339.034

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

EDAD: 7 DÍAS				
PROBETA	DIÁMETRO	CARGA APLICADA	RESISTENCIA	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA (Rc)
N°	(cm)	G (kg)	Rc (kg/cm ²)	
1	15	47 940	271	291 kg/cm ²
2	15	53 490	303	
3	15	53 040	300	

EDAD: 14 DÍAS				
PROBETA	DIÁMETRO	CARGA APLICADA	RESISTENCIA	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA (Rc)
N°	(cm)	G (kg)	Rc (kg/cm ²)	
1	15	64 852	367	355 kg/cm ²
2	15	62 909	356	
3	15	60 435	342	

EDAD: 28 DÍAS				
PROBETA	DIÁMETRO	CARGA APLICADA	RESISTENCIA	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA (Rc)
N°	(cm)	G (kg)	Rc (kg/cm ²)	
1	15	67 720	383	385 kg/cm ²
2	15	66 973	379	
3	15	69 270	392	

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO ($f'_c =$
 280 kg/cm^2) REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (35 kg/m^3)

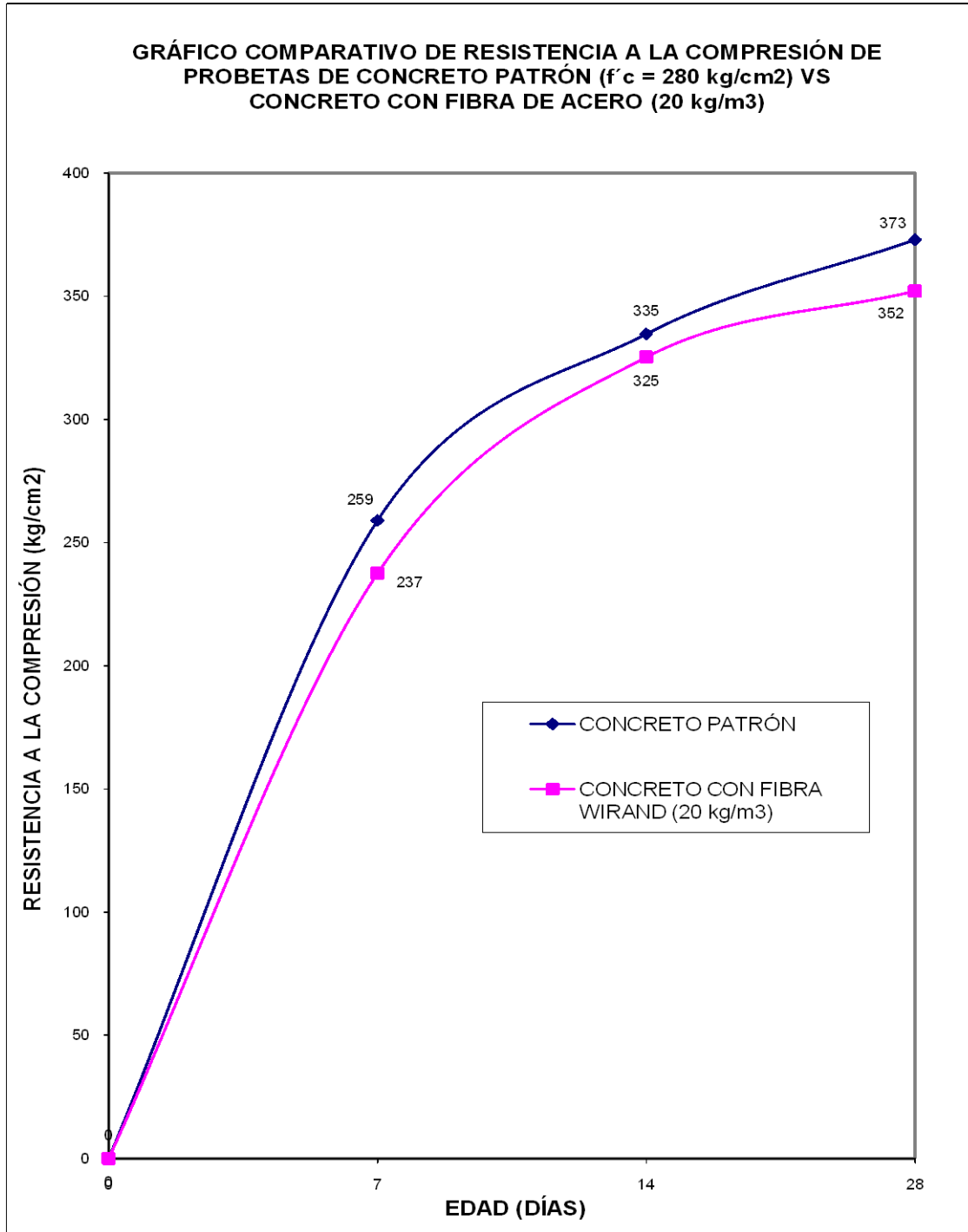
Norma: NTP 339.034

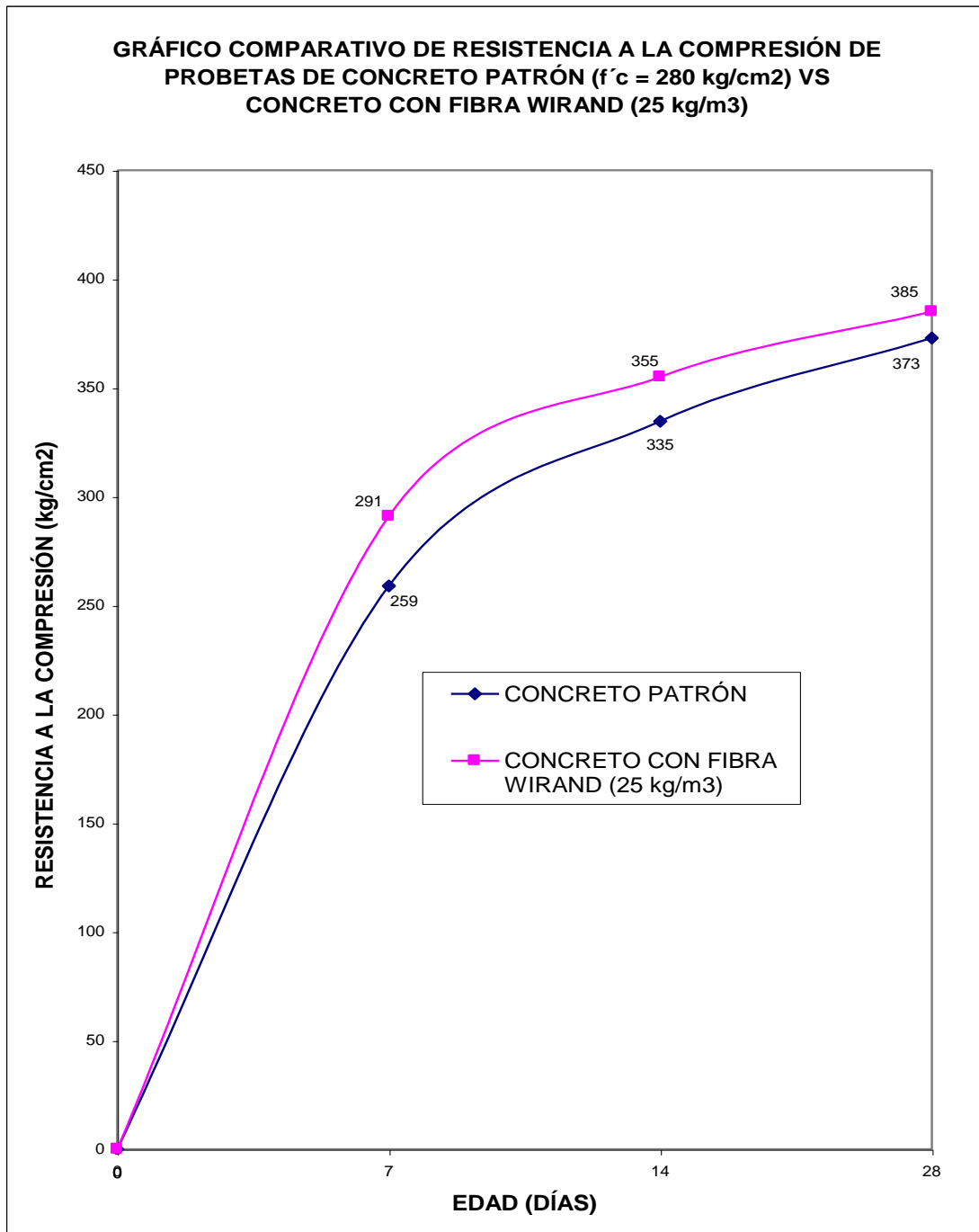
Hecho por: Angel David Wilson Oré

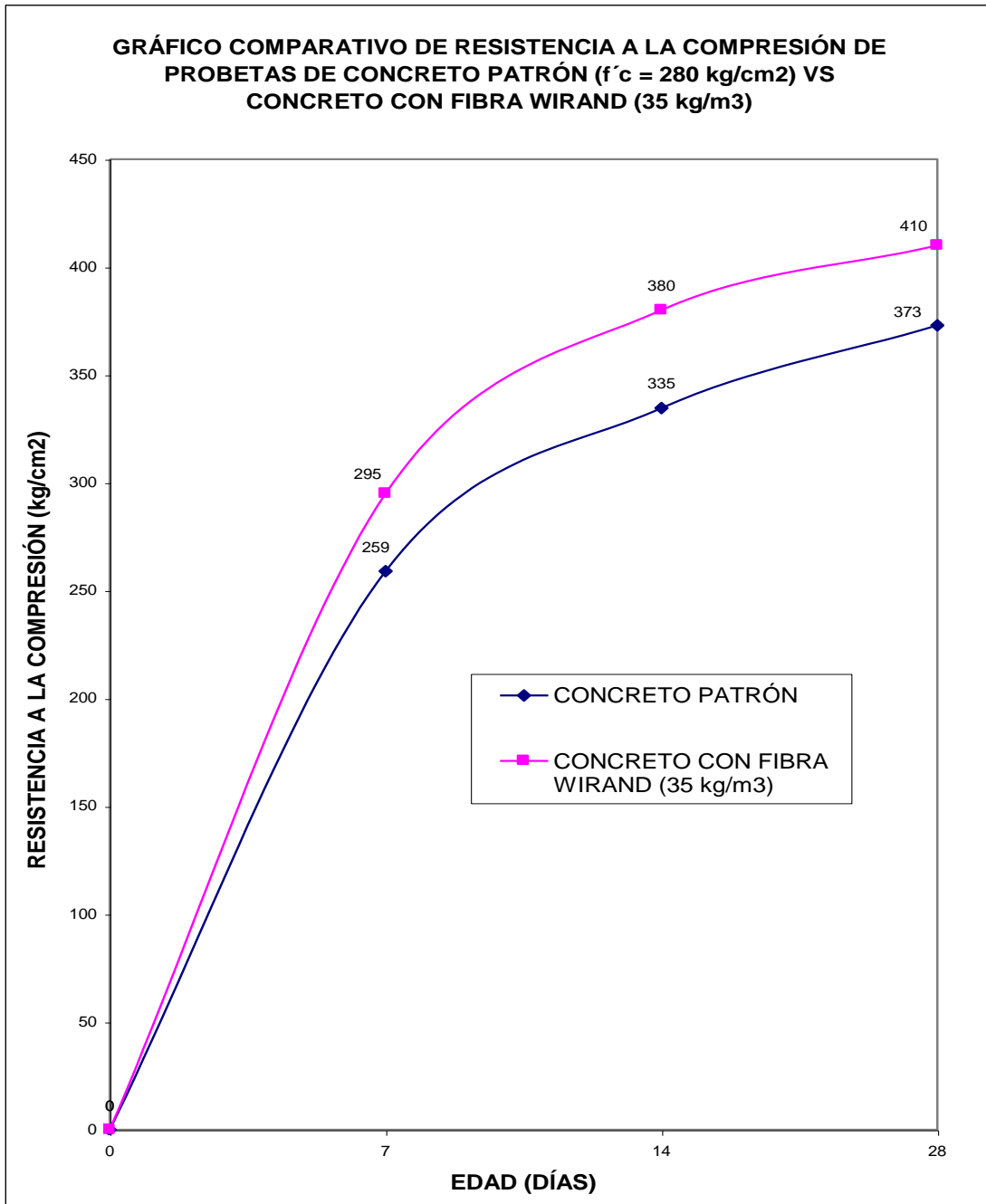
EDAD: 7 DÍAS				
PROBETA N°	DIÁMETRO (cm)	CARGA APLICADA G (kg)	RESISTENCIA Rc (kg/cm ²)	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA (Rc)
1	15	50 892	288	295 kg/cm ²
2	15	53 013	300	
3	15	52 483	297	

EDAD: 14 DÍAS				
PROBETA N°	DIÁMETRO (cm)	CARGA APLICADA G (kg)	RESISTENCIA Rc (kg/cm ²)	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA (Rc)
1	15	67 503	382	380 kg/cm ²
2	15	69 093	391	
3	15	65 029	368	

EDAD: 28 DÍAS				
PROBETA N°	DIÁMETRO (cm)	CARGA APLICADA G (kg)	RESISTENCIA Rc (kg/cm ²)	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA (Rc)
1	15	73 158	414	410 kg/cm ²
2	15	71 567	405	
3	15	72 451	410	







6.02.02.- Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral. (NTP 339.084)

La resistencia a la tracción del concreto es relativamente baja. Una buena aproximación para la resistencia a la tracción f_{ct} es $0,10f'c < f_{ct} < 0,20f'c$. Se considera al concreto como un elemento no adecuado para trabajar a tracción, sin embargo, demuestra que puede tomar hasta cierto punto estos esfuerzos; pero no tan significativos si los comparamos con su resistencia a la compresión (he aquí el motivo, por el cual se le incorporará el acero al concreto).

Es más difícil medir la resistencia a la tracción que la resistencia a compresión debido a los problemas de agarre con las máquinas de prueba. Debido a la existencia de diversos métodos que requieren una operación compleja, se optó por el método de tracción por hendimiento o prueba brasileña consistente en romper un cilindro de concreto, del tipo normalizado para el ensayo de compresión, entre los cabezales de una prensa, según generatrices opuestas.

Con este método normalizado, se determina indirectamente la resistencia a la tracción del concreto por medio de la compresión diametral de la probeta ensayada.

El ensayo se procede de la siguiente manera:

1. La probeta a ensayar debe estar normalizada (NTP 339.033). Se procede a medir el diámetro con aproximación de 1 mm. promediando tres medidas (a los extremos y una al centro); la longitud se determina con una aproximación de 1mm promediando dos medidas opuestas.
2. Si las dimensiones de las placas de apoyo de la máquina de compresión, son menores que la longitud del cilindro, debe interponerse una platina suplementaria de acero maquinado, de por lo menos 50 mm.

de ancho y espesor no menor que la distancia entre el borde de las placas del apoyo y el extremo del cilindro.

3. Debe colocarse entre el cilindro y la superficie de los cabezales de la máquina de ensayo, o eventualmente la platina suplementaria de ser utilizada, tablillas de madera contraplacadas, de 3mm de espesor y 25mm de ancho. A lo largo de toda la longitud del cilindro, con el fin de que la probeta al momento de realizar la prueba se mantenga quieta.
4. Se aplica la carga en forma continua, evitando impactos y una velocidad constante comprendida entre 0,3 a 0,7 kg/cm² por segundo hasta la carga de rotura (de 12,7 a 29,7 tn/min).

6.02.02.01.- Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral

La resistencia a la tracción debe darse según la relación:

$$T = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot L}$$

Dónde:

P = Fuerza de compresión

D = Diámetro

L = Longitud del cilindro.

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN

DIAMETRAL DEL CONCRETO PATRÓN ($f'_c = 280\text{kg/cm}^2$)

Norma: NTP 339.084

Hecho por: Angel David Wilson Oré

EDAD: 28 DÍAS					
PROBETA	DIÁMETRO	LARGO	CARGA APLICADA	RESISTENCIA	PROMEDIO DE LA
N°	(cm)	(cm)	P (kg)	TCD (kg/cm ²)	RESISTENCIA (TCD)
1	15,3	30,6	26 474	36	38 kg/cm²
2	15,2	30,5	27 945	38	
3	15,2	30,4	29 416	40	

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN

DIAMETRIAL DEL CONCRETO ($f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$) REFORZADO CON

FIBRA DE ACERO (20 kg/m^3)

Norma: NTP 339.084

Hecho por: **Angel David Wilson Oré**

EDAD: 28 DÍAS					
PROBETA	DIÁMETRO	LARGO	CARGA APLICADA	RESISTENCIA	PROMEDIO DE LA
N°	(cm)	(cm)	P (kg)	TCD (kg/cm^2)	RESISTENCIA (TCD)
1	15,2	30,6	27 762	38	41 kg/cm^2
2	15,3	30,4	32 146	44	
3	15,2	30,5	29 128	40	

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN
DIAMETRAL DEL CONCRETO ($f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$) REFORZADO CON
FIBRA DE ACERO (25 kg/m^3)

Norma: NTP 339.084

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

EDAD: 28 DÍAS					
PROBETA	DIAMETRO	LARGO	CARGA APLICADA	RESISTENCIA	PROMEDIO DE LA
N°	(cm)	(cm)	P (kg)	TCD (kg/cm^2)	RESISTENCIA (TCD)
1	15,2	30,6	35 799	49	44 kg/cm^2
2	15,3	30,5	32 252	44	
3	15,3	30,5	27 854	38	

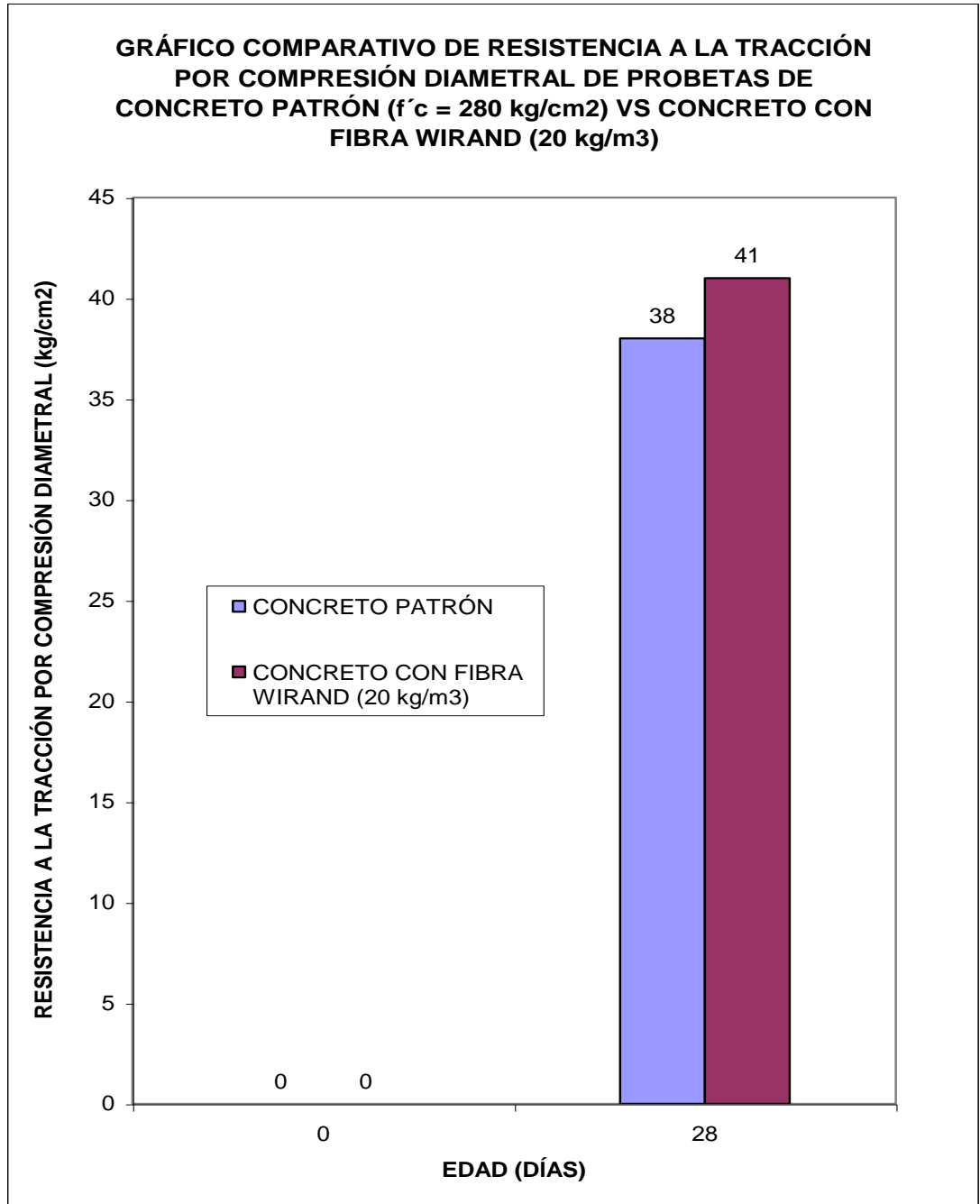
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

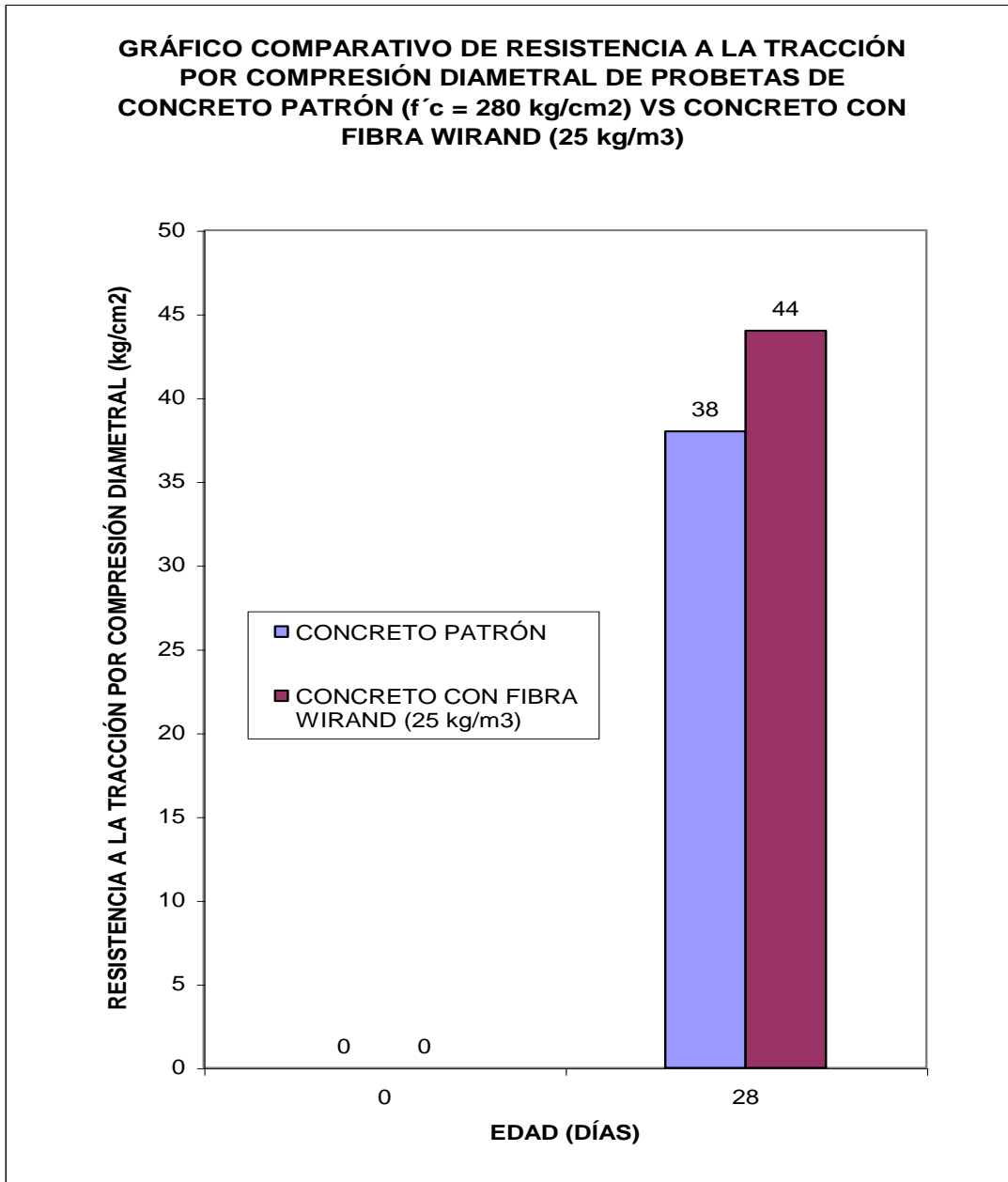
ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN
DIAMETRAL DEL CONCRETO ($f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$) REFORZADO CON
FIBRA DE ACERO (35 kg/m^3)

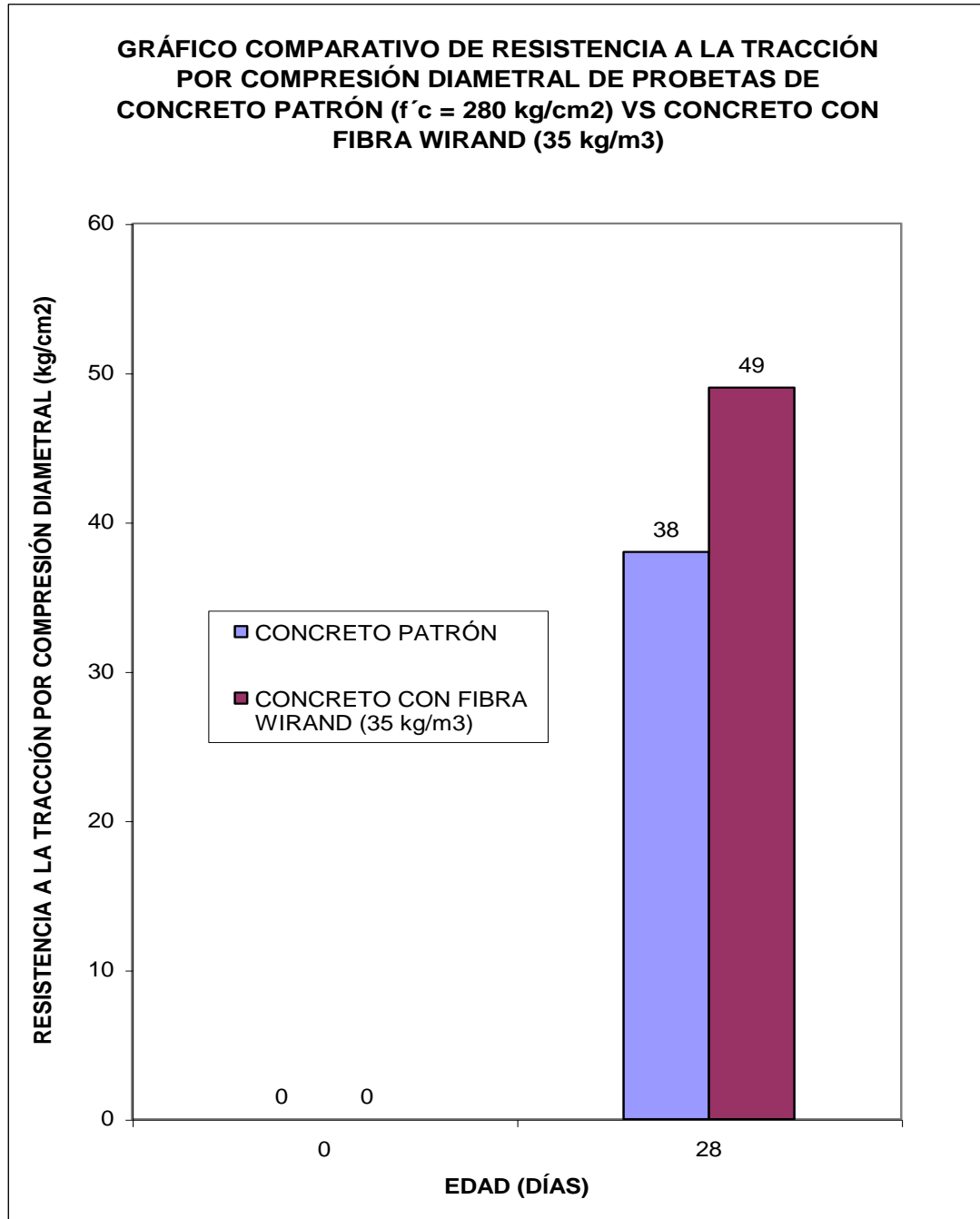
Norma: NTP 339.084

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

EDAD: 28 DÍAS					
PROBETA	DIAMETRO	LARGO	CARGA APLICADA	RESISTENCIA	PROMEDIO DE LA
N°	(cm)	(cm)	P (kg)	TCD (kg/cm^2)	RESISTENCIA (TCD)
1	15,2	30,6	40 182	55	49 kg/cm^2
2	15,2	30,6	35 068	48	
3	15,2	30,6	31 415	43	







6.02.03.- Módulo de Elasticidad Estática. (ASTM C-469)

En general es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente.

El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama Esfuerzo vs Deformación en compresión. Sin embargo se ha adoptado que el "Módulo de Elasticidad Estático" se define mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama (correspondiente a una deformación unitaria de 0,00005), con otro punto establecido al 40% del esfuerzo máximo de rotura.

Los módulos de elasticidad normales oscilan entre 250 000 a 350 000 kg/cm² y están en relación directa con la resistencia a la compresión del concreto y por ende con la relación agua / cemento. Conceptualmente, las mezclas más ricas tienen módulo de elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres.

Al someterse una probeta de concreto a una carga que se incrementa constantemente, ocurre una deformación plástica o escurrimiento. La curva esfuerzo-deformación muestra una zona de trabajo donde los esfuerzos y las deformaciones son proporcionales para fines prácticos.

Los equipos y materiales a usar son los siguientes:

- Máquina de Compresión. Utilizada para realizar el ensayo de resistencia a la compresión.
- Compresómetro. Utilizando para medir el Módulo de Elasticidad. Consta de dos especies de anillos, uno de los cuales está rígidamente sujeto al espécimen, y otro sujeto por dos puntos diametralmente opuestos, libre

para rotar. En la circunferencia del anillo de rotación, en la mitad entre los dos puntos de soporte, hay una varilla pivote, que será usada para mantener la distancia constante entre los dos anillos. La deformación es medida por un dispositivo usado directamente.

- Especímenes de Ensayo. Deben ser moldeados de acuerdo con el requerimiento para especímenes (NTP 339.033). Deberán estar sujetos a las condiciones de curado especificadas y ensayados a la edad para la cual la información de elasticidad es deseada. Los especímenes deberán ser ensayados dentro de 1 hora después que se retiran de los tanques de curado.

El ensayo se procede de la siguiente manera:

1. Medición. Medir dos diámetros perpendiculares entre sí en la zona central de la probeta con una aproximación de 0,25 mm. Calcular el diámetro de la probeta promediando los dos diámetros medidos. Medir la longitud del espécimen moldeado incluyendo capas de refrentado con una aproximación de 2,5 mm.
2. Mantenga constante como sea posible, la temperatura y humedad durante la prueba, registre las fluctuaciones inusuales.
3. Use un espécimen hermano para determinar su resistencia a la compresión previamente al ensayo del Módulo de Elasticidad, con lo cual se registrará su carga última a compresión.
4. Coloque el espécimen, con el equipo medidor de deformación ajustado, sobre el bloque inferior de la máquina de ensayo y cuidadosamente alinear los ejes del espécimen con el centro del bloque superior. Antes de aplicar alguna carga, retire las barras sujetadoras de los yugos. Anote las lecturas de los indicadores de deformación.

5. Cargar el espécimen por lo menos 2 veces. No registrar ningún dato durante la primera carga que es principalmente para la fijación de los calibradores, observar el desempeño de los calibradores y corregir algún comportamiento irregular previamente a la segunda carga.
6. Después de haber hecho las pruebas de fijación (sin registro) recién realizar el ensayo y obtener dos conjuntos de lecturas como sigue: Aplique la carga continuamente y sin choque, a una velocidad constante en un rango de $0,241 \pm 0,034$ Mpa/seg ($2,45 \pm 0,35$ kg/cm²). Registre sin interrupción las lecturas de cargas aplicadas y su correspondiente deformación longitudinal. Para el cálculo del Módulo de Elasticidad hay que tener en cuenta dos puntos. Punto (1), cuando la deformación longitudinal es de 50 millonésimas; y punto (2), cuando la carga aplicada es igual al 40% de la rotura. La deformación longitudinal se define como la deformación acumulada dividida entre la longitud del espécimen.
7. El módulo de elasticidad y la resistencia pueden ser obtenidas de la misma carga previendo que los dispositivos de medición sean reemplazables, removibles o adecuadamente protegidos por lo que es posible cumplir con los requerimientos del ASTM C-39. En este caso registrar varias lecturas y determinar el valor de deformación al 40% de la carga última por interpolación.
8. Si se toman lecturas intermedias, dibujar los resultados de cada tres ensayos con la deformación longitudinal como abscisa y la resistencia a la compresión como ordenada.

6.02.03.01.- Resultados de los Ensayos de Módulo de Elasticidad
Estática

Se calcula el módulo de elasticidad con una aproximación de 50 000 psi (344.74 Mpa) de la siguiente manera:

$$E = (S_2 - S_1) / (e_2 - 0,000050)$$

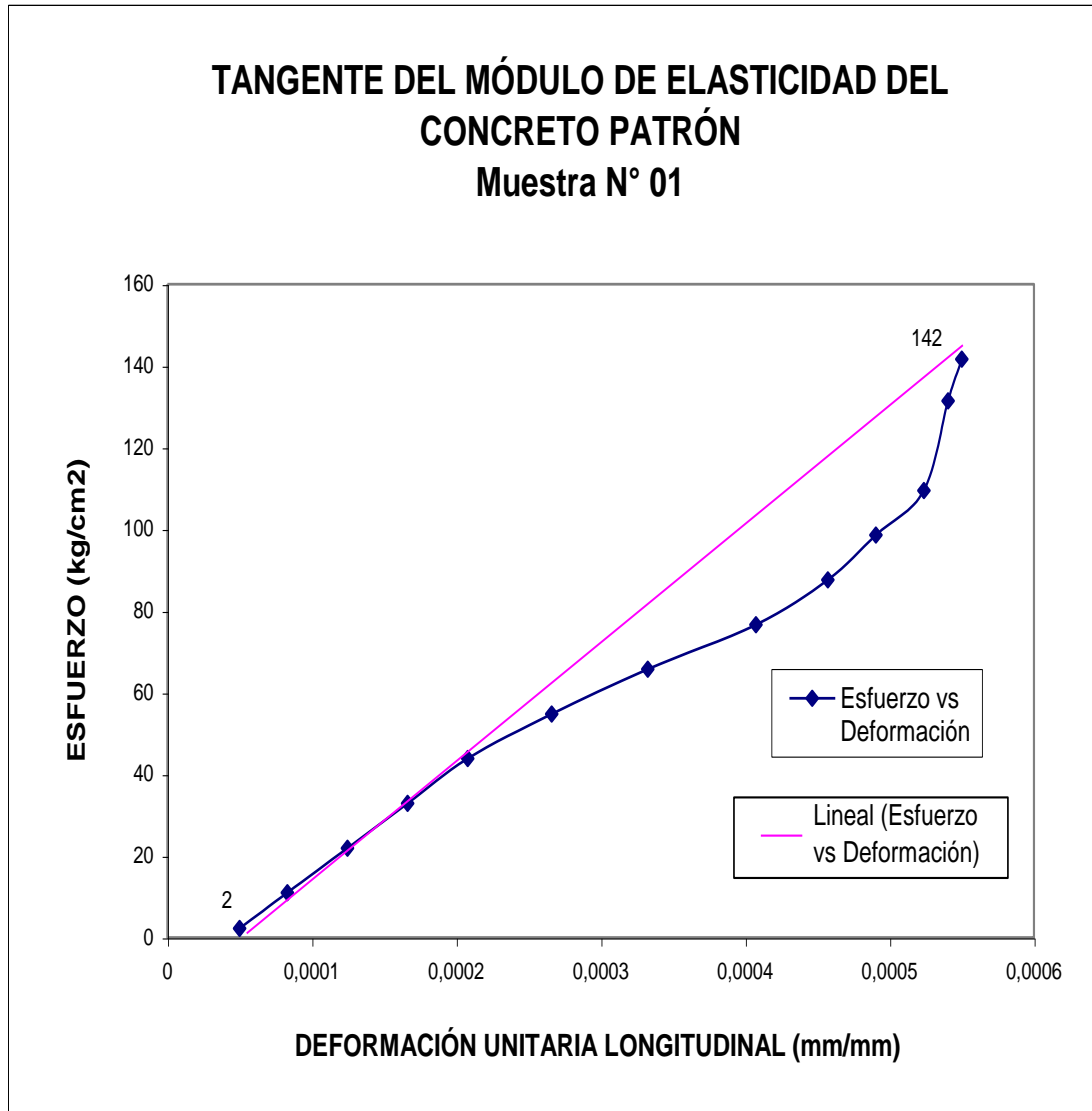
dónde:

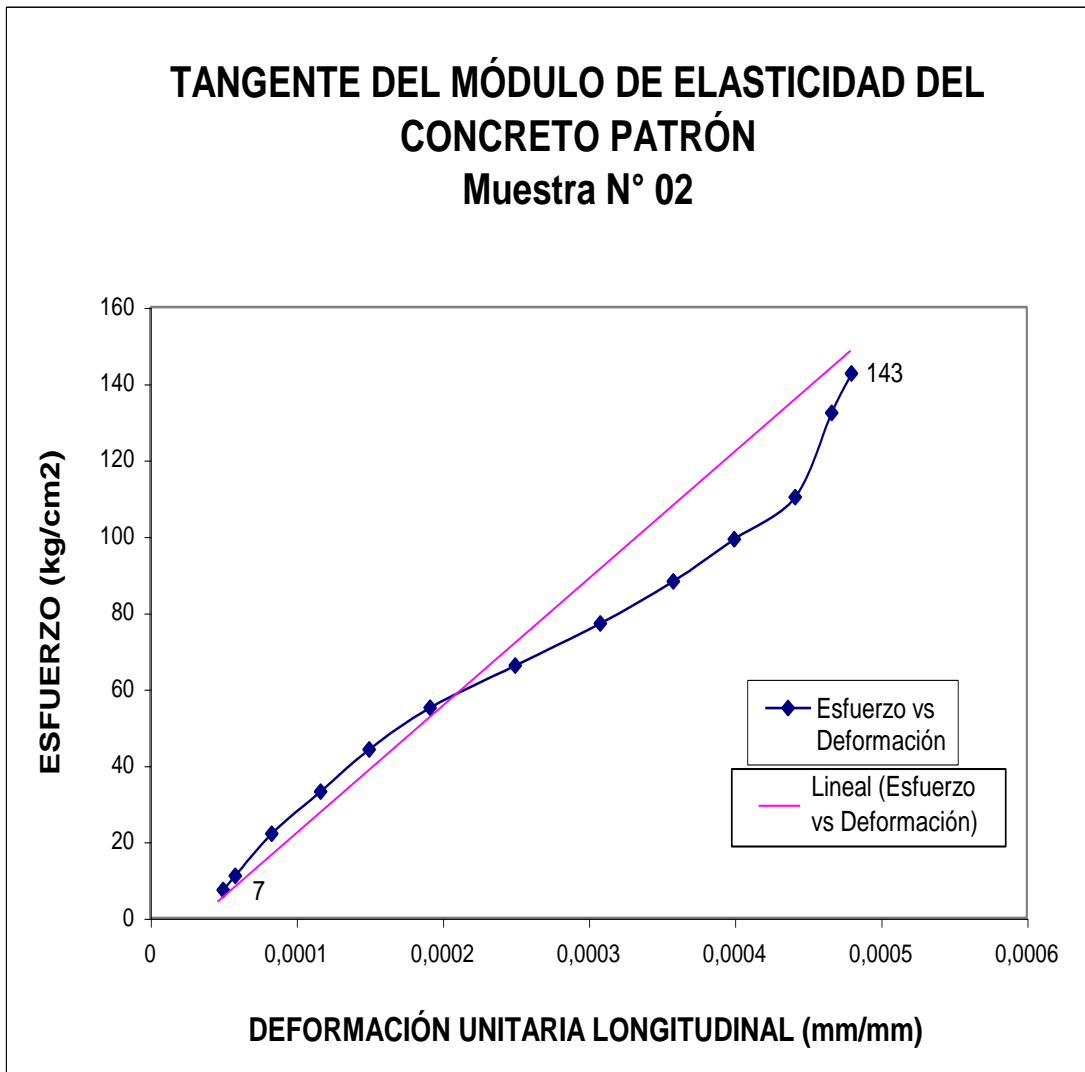
E = Módulo de elasticidad en kg/cm².

S₂ = Esfuerzo correspondiente al 40%
de la carga última en kg/cm².

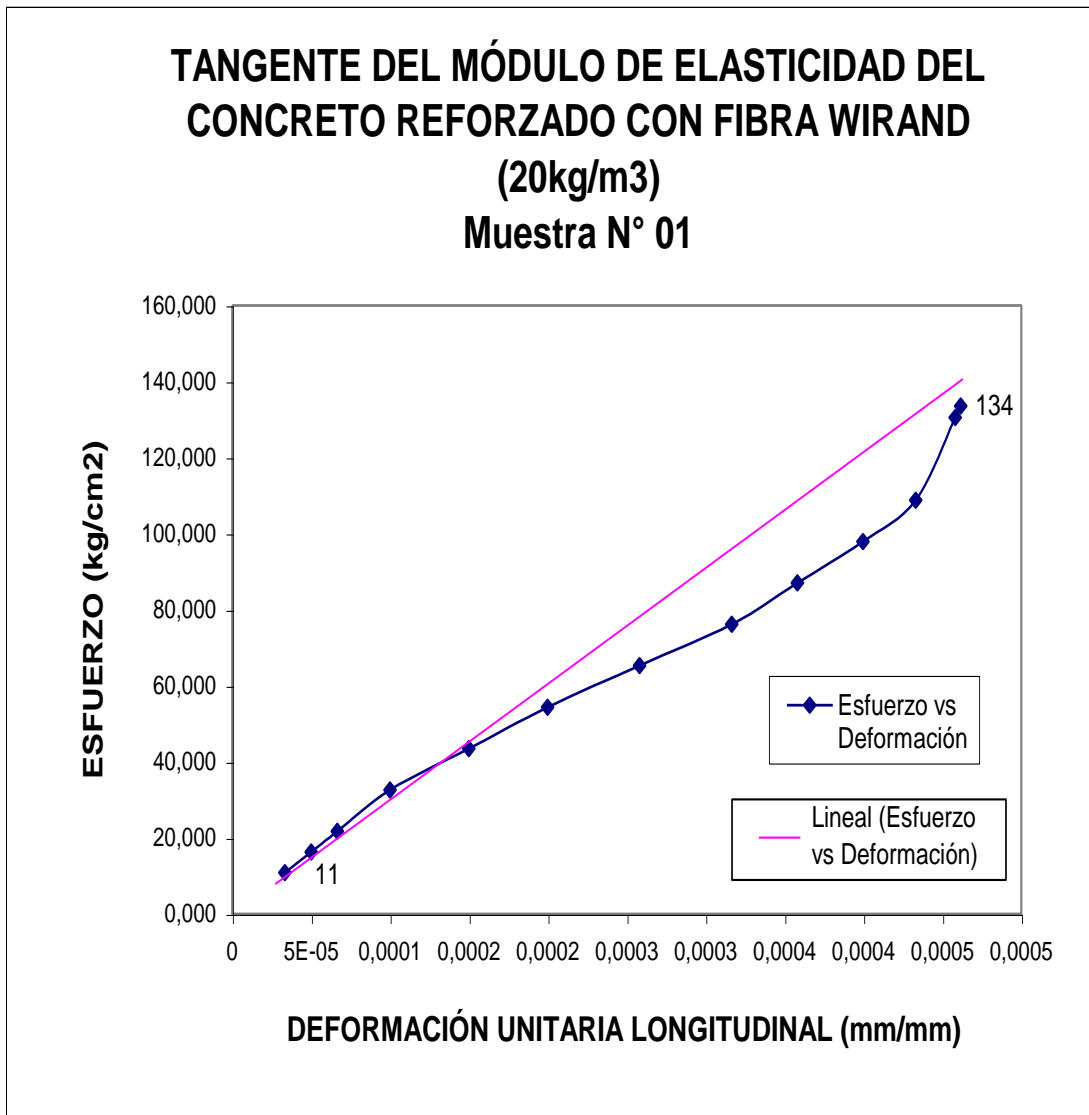
S₁ = Esfuerzo correspondiente a una deformación longitudinal
e₁ de 0,000050 mm/mm.

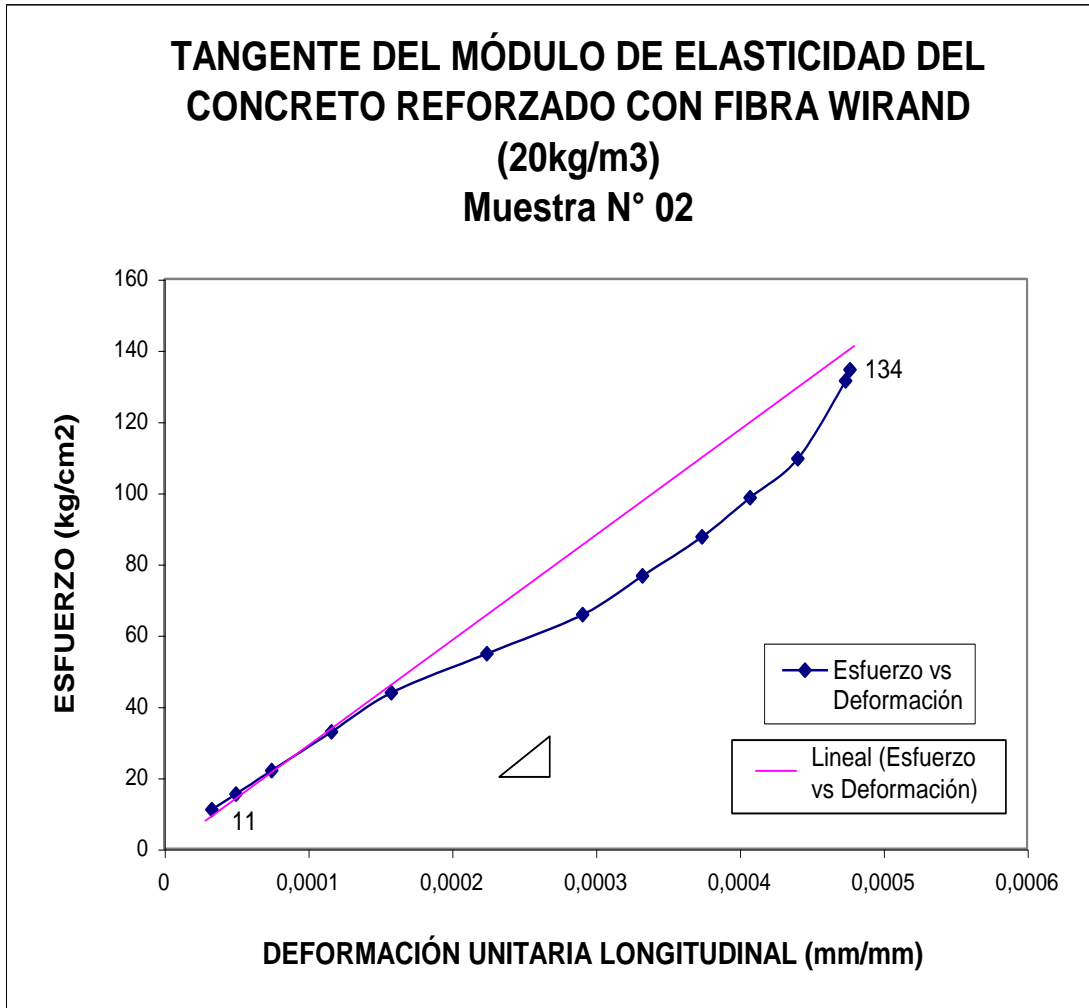
e₂ = Deformación longitudinal producida por el esfuerzo S₂.



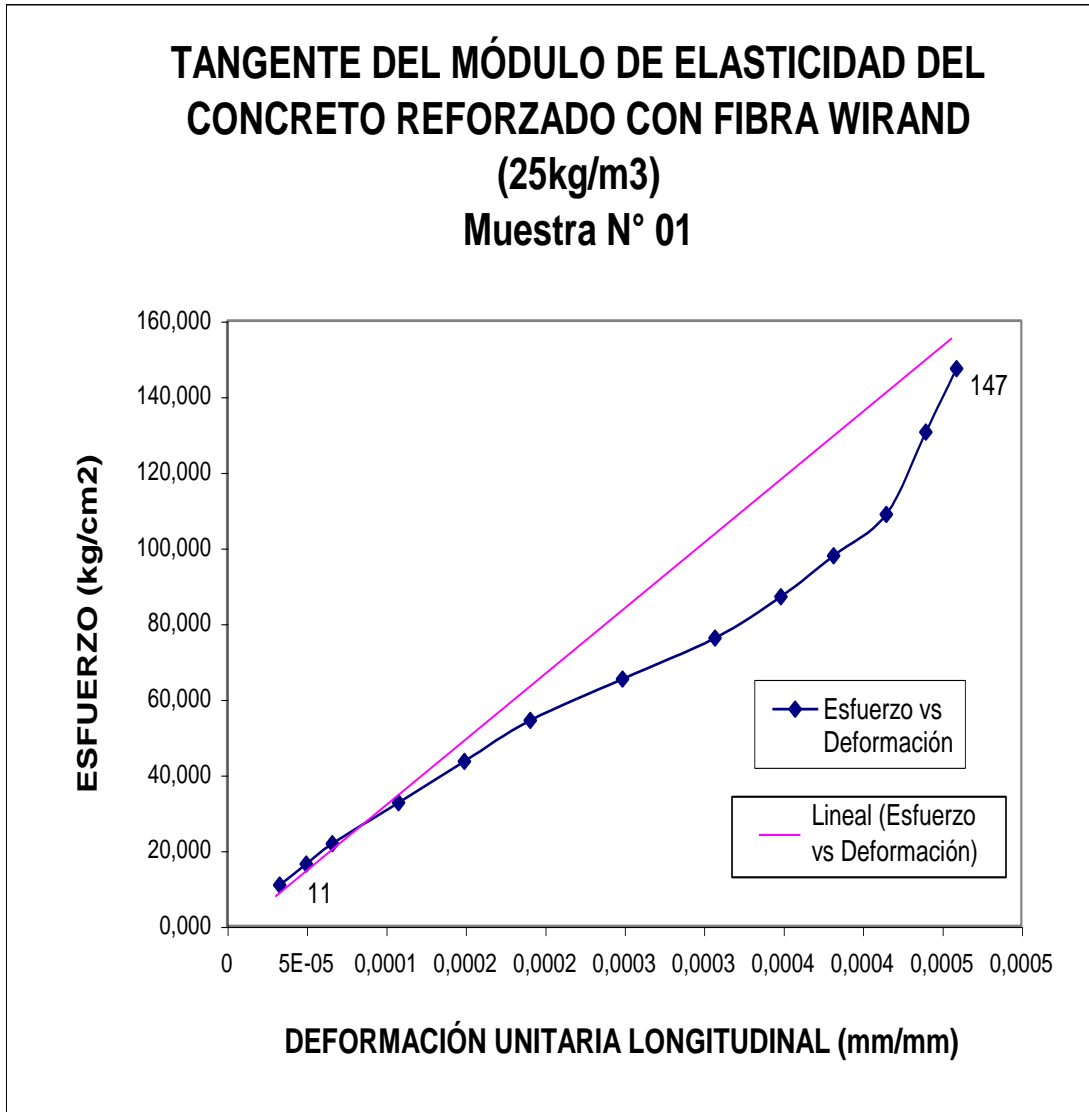


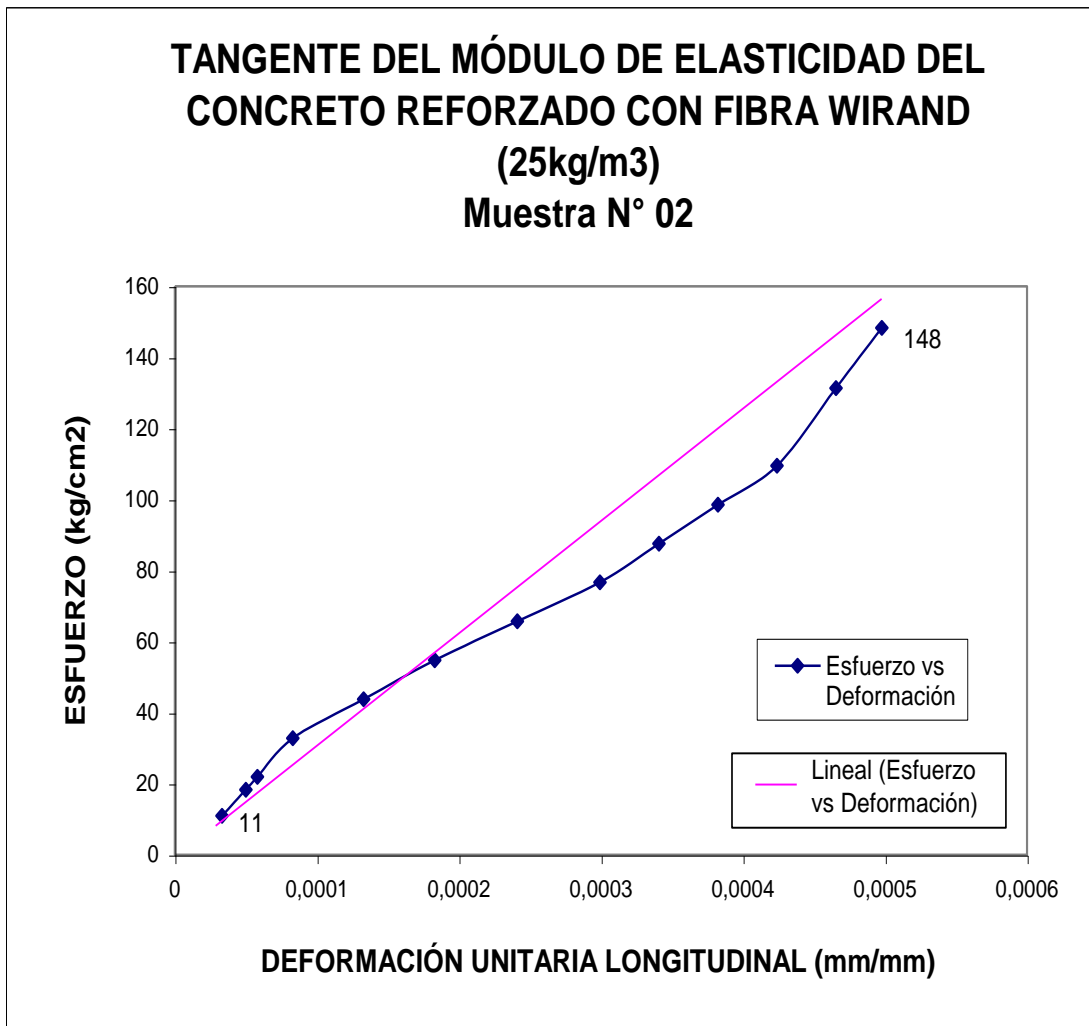
MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO PATRÓN (EDAD: 28 DÍAS)						
MUESTRA N°	S1 (kg/cm²)	S2 (kg/cm²)	e1 (mm/mm)	e2 (mm/mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD	
					E (kg/cm²)	"E" Promedio
01	2,22	141,67	0,00005	0,00055	279 887	297 903 kg/cm²
02	7,36	142,60	0,00005	0,00048	315 919	





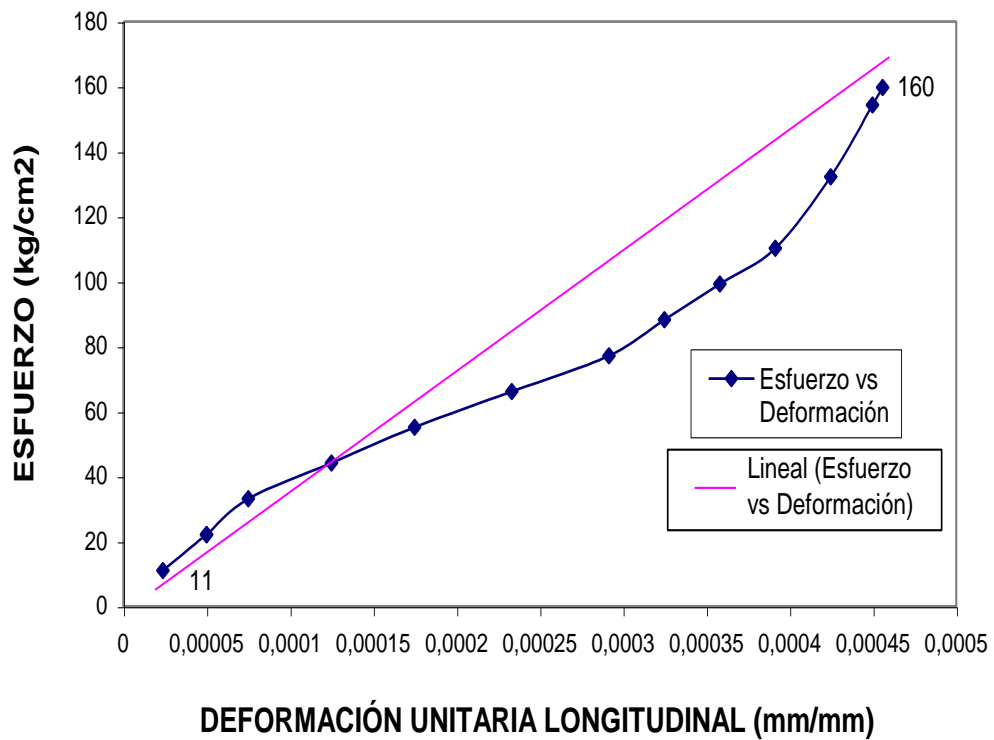
MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (20 kg/m ³)						
MUESTRA N°	S1 (kg/cm ²)	S2 (kg/cm ²)	e1 (mm/mm)	e2 (mm/mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (28 DÍAS)	
					E (kg/cm ²)	"E" Promedio
01	16,33	133,58	0,00005	0,00046	284 927	281 417 kg/cm ²
02	15,36	134,46	0,00005	0,00048	277 907	

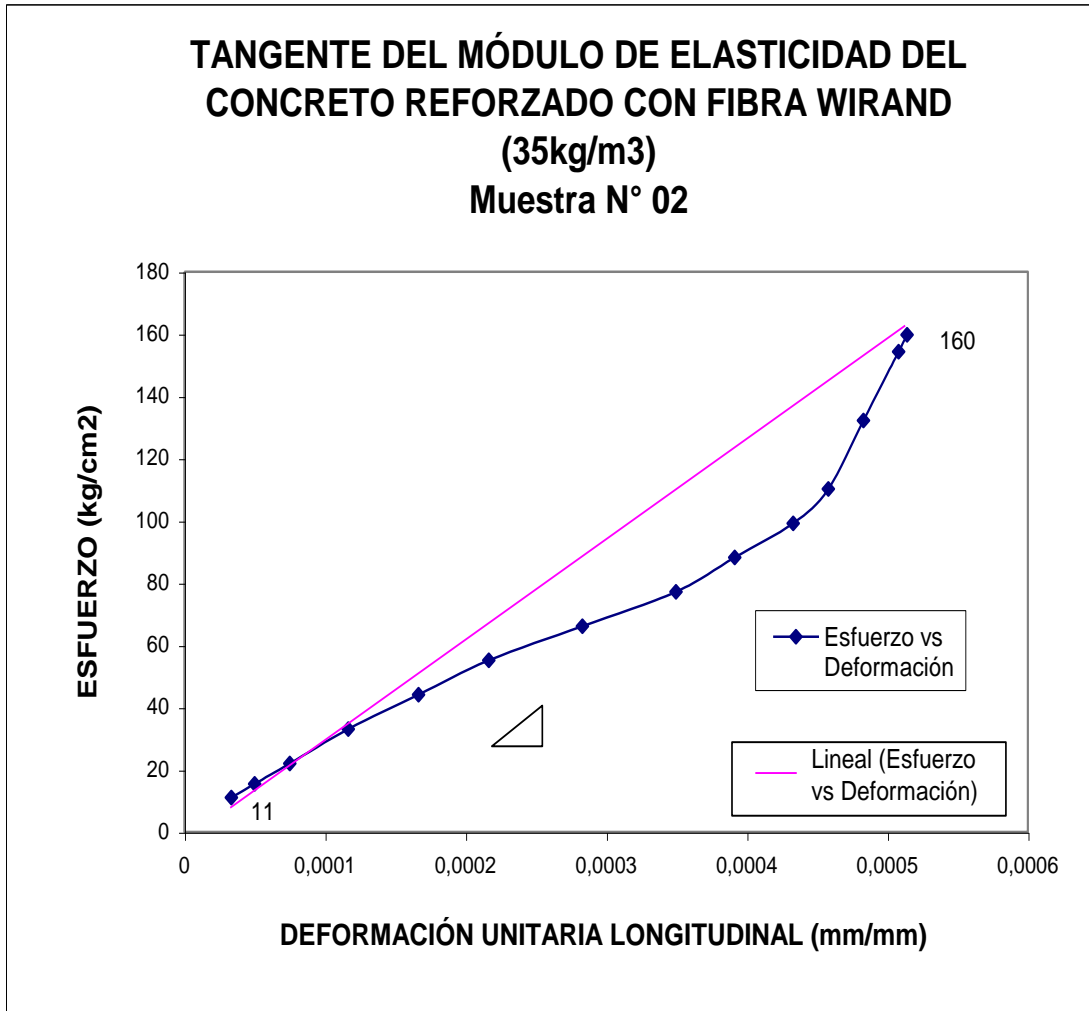




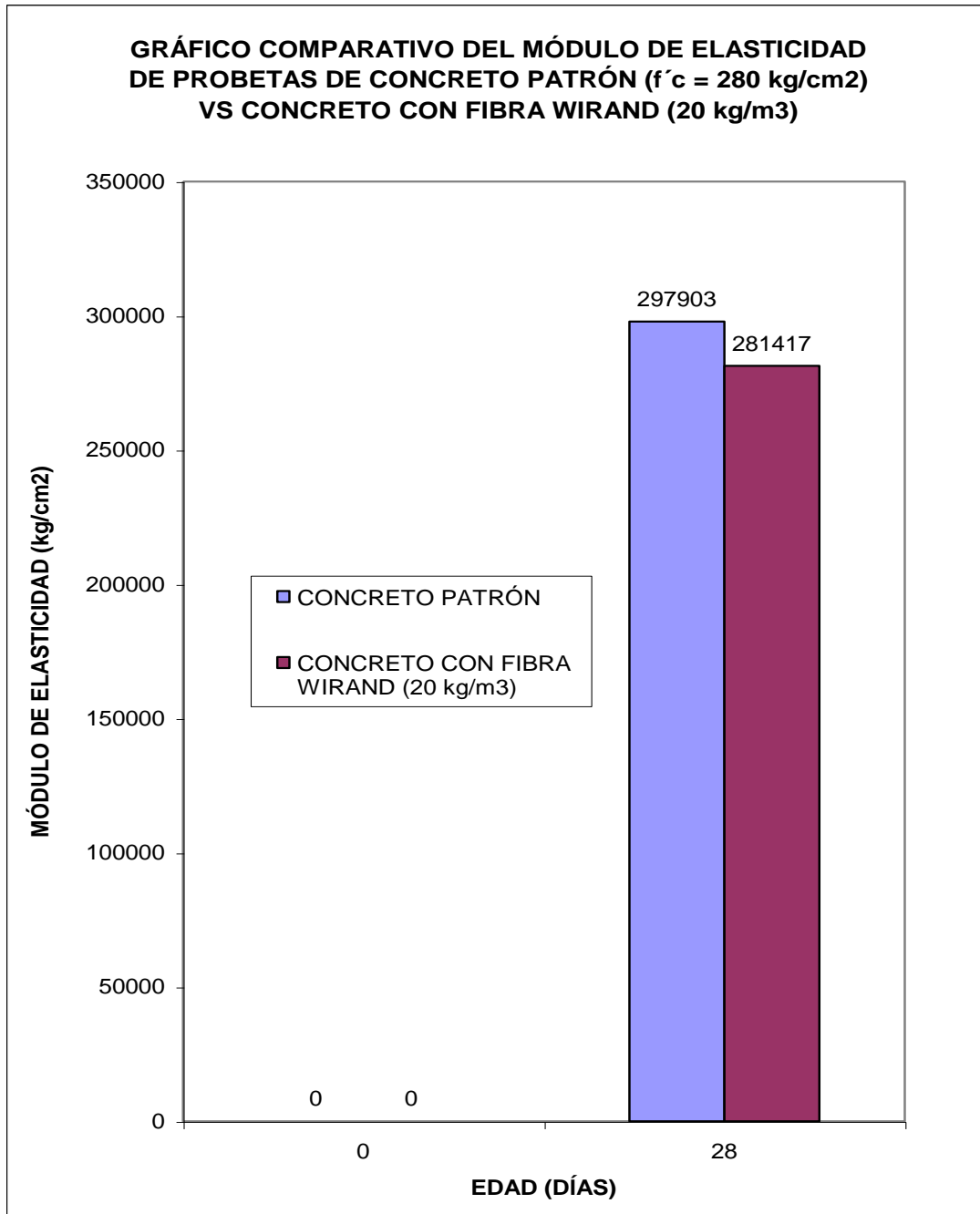
MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (25 kg/m ³)						
MUESTRA N°	S1 (kg/cm ²)	S2 (kg/cm ²)	e1 (mm/mm)	e2 (mm/mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (28 DÍAS)	
					E (kg/cm ²)	"E" Promedio
01	16,38	147,33	0,00005	0,00046	320 054	305 219 kg/cm ²
02	18,30	148,30	0,00005	0,00050	290 385	

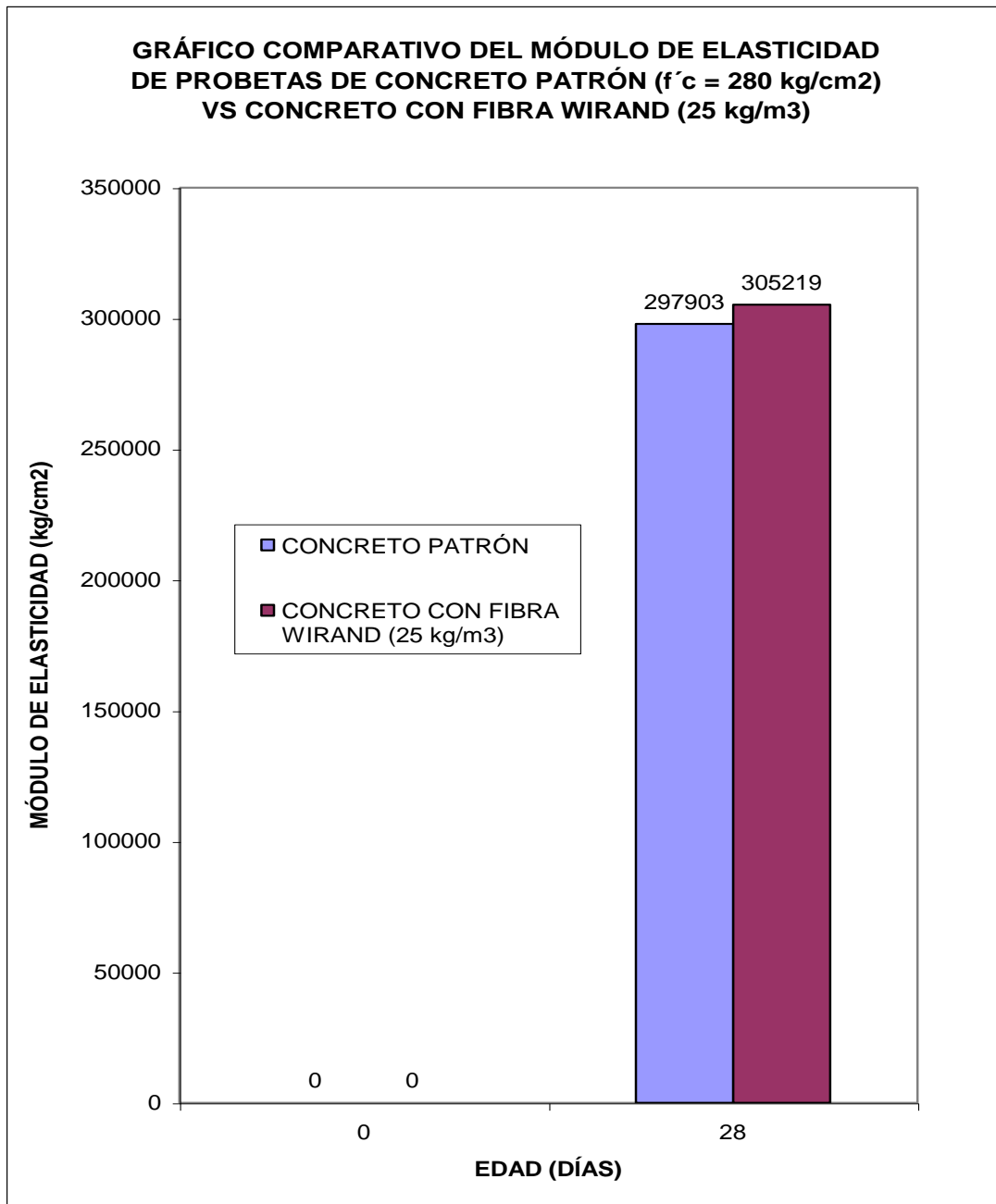
**TANGENTE DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL
CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND
(35kg/m³)
Muestra N° 01**

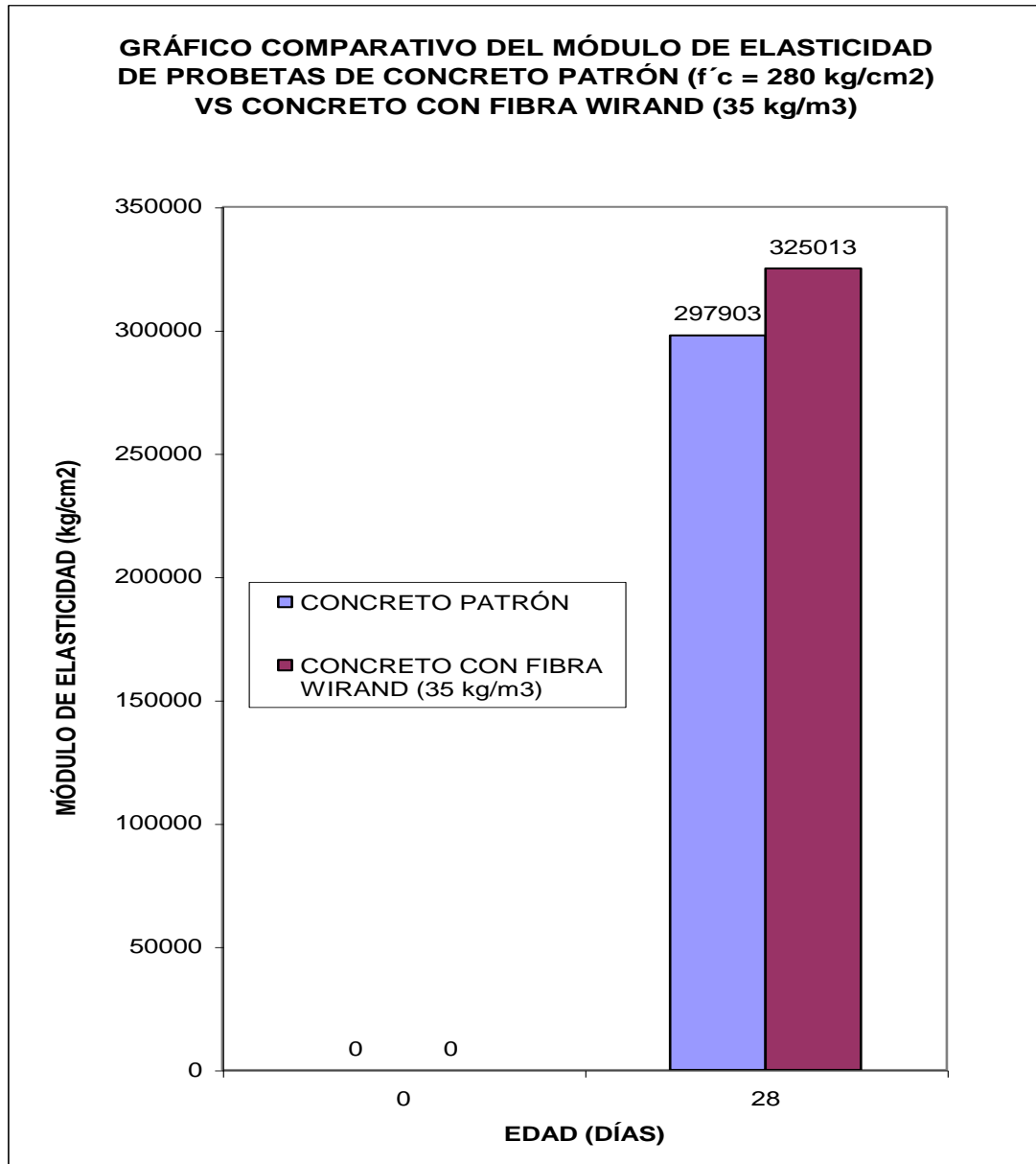




MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (35 kg/m ³)						
MUESTRA N°	S1 (kg/cm ²)	S2 (kg/cm ²)	e1 (mm/mm)	e2 (mm/mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (28 DÍAS)	
					E (kg/cm ²)	"E" Promedio
01	22,06	159,71	0,00005	0,00046	339 183	325 013 kg/cm ²
02	15,44	159,71	0,00005	0,00051	310 842	







6.02.04.- Resistencia a la Flexión. (NTP 339.078)

Las vigas de concreto son poco eficaces como elementos en flexión porque la resistencia a las tracciones por flexión (módulo de rotura), es una pequeña fracción de su resistencia a compresión, por consiguiente tales vigas se rompen por el lado de la tracción por cargas pequeñas mucho antes de que se haya utilizado en su totalidad la resistencia del concreto en lado de compresión.

El objeto de la presente norma describe un procedimiento de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de la luz, llevándola hasta la falla. El módulo de rotura se calculará, según la grieta se localice dentro del tercio medio o en una distancia de éste no mayor del 5% de la luz libre.

Para determinarla se procede de la siguiente manera:

1. Las probetas a ensayar están normalizadas (NTP 339.045). La probeta tendrá una luz libre lo más cerca posible a tres veces su altura. Las caras laterales de la probeta formarán ángulos rectos con la superior e inferior. Las dimensiones de las probetas rectangulares usadas en el ensayo son de 15*50 cm.
2. La probeta se voltea sobre uno de sus lados con respecto a la posición inicial de vaciado y se centra con respecto a las placas de apoyo. Las placas de aplicación de carga se ponen en contacto con la probeta y sobre los puntos extremos del tercio central de la luz libre.
3. Las medidas se tomarán con una aproximación de 1mm con el fin de determinar el ancho y la altura promedio de la probeta en la sección de falla.

4. Si la falla ocurre dentro del tercio medio de la luz, el módulo de rotura se calcula como sigue:

$$M_r = PL / bh^2$$

donde: M_r = Módulo de rotura en kg/cm².

P = Carga máxima, kg.

L = Luz, en cm.

b = Ancho promedio de la probeta, en cm.

h = Altura promedio de la probeta, en cm.

5. Si la fractura se produce fuera del tercio medio central entonces el resultado de la prueba debe descartarse. Por otro lado, ASTM C78-84 permite la falla fuera de los puntos de carga a una distancia promedio a del apoyo más cercano, por medio de la ecuación:

$$M_r = 3Pa / bh^2$$

donde: a = Distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano.

6. Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de éste, mayor del 5% de la luz libre, se rechaza el ensayo.

6.02.04.01.- Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Flexión

Todas las fallas por flexión, para esta investigación, se ubican dentro del tercio medio de la luz de su respectiva probeta prismática ensayada.

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO PATRÓN

($f'c = 280\text{kg/cm}^2$)

Norma: NTP 339.078

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

EDAD: 28 DÍAS						
PROBETA N°	BASE (cm)	ALTURA (cm)	CARGA (KN)	CARGA P (kg)	RESISTENCIA Mr (kg/cm ²)	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA (Mr)
1	15,7	15,5	41,0	4179	50	48 kg/cm ²
2	15,8	15,6	38,0	3874	45	

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

**ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ($f'_c = 280$
 kg/cm^2) REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (20 kg/m^3)**

Norma: NTP 339.078

Hecho por: **Ángel David Wilson Oré**

EDAD: 28 DÍAS						
PROBETA N°	BASE (cm)	ALTURA (cm)	CARGA (KN)	CARGA P (kg)	RESISTENCIA Mr (kg/cm²)	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA (Mr)
1	15,3	15,2	45,0	4587	58	55 kg/cm²
2	15,5	15,3	41,0	4179	52	

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

**ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ($f'_c = 280$
 kg/cm^2) REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (25 kg/m^3)**

Norma: NTP 339.078

Hecho por: **Angel David Wilson Oré**

EDAD: 28 DÍAS						
PROBETA N°	BASE (cm)	ALTURA (cm)	CARGA (KN)	CARGA P (kg)	RESISTENCIA Mr (kg/cm^2)	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA (Mr)
1	15,3	15,5	45	4587	56	60 kg/cm^2
2	15,5	15,4	51	5199	64	

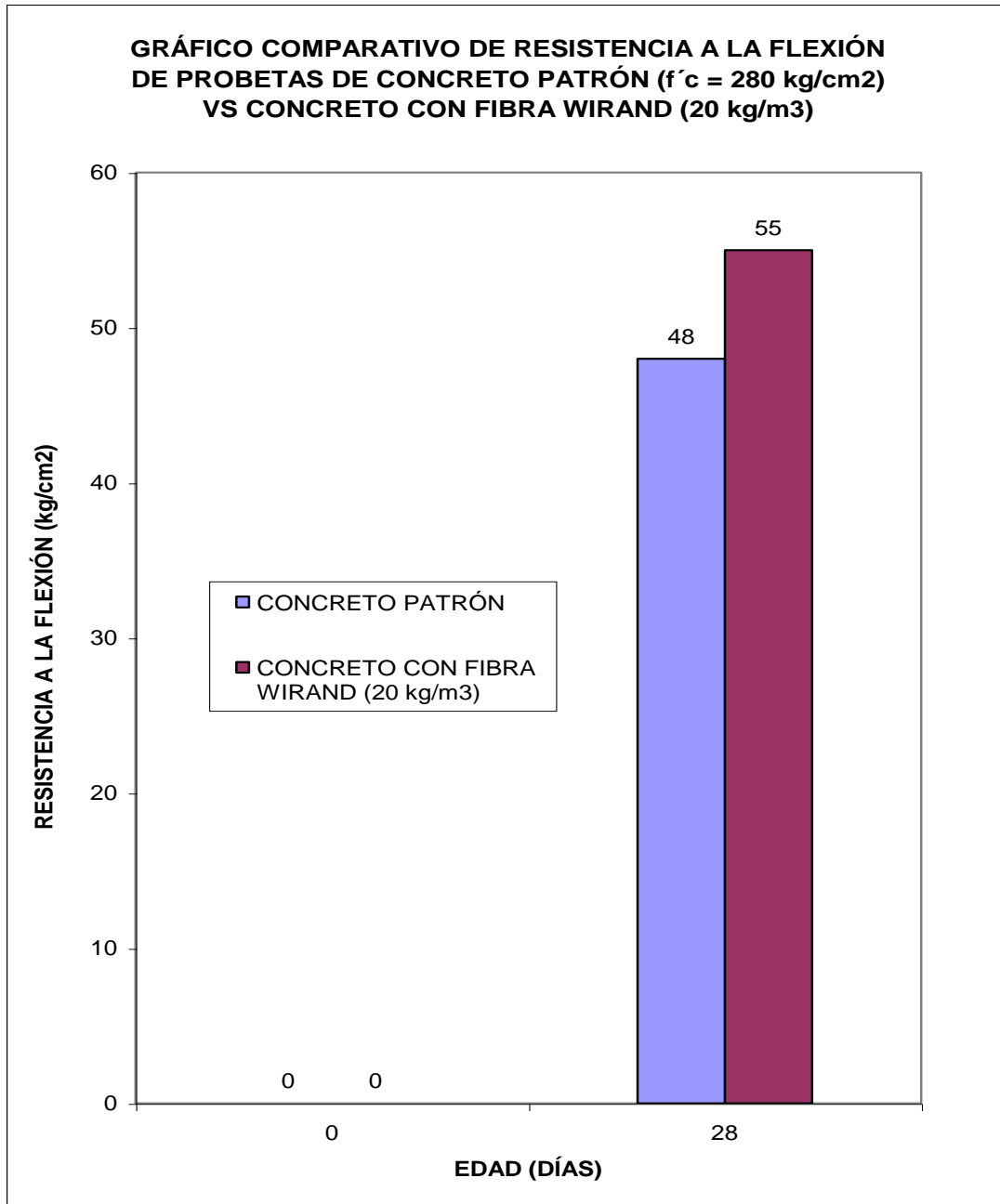
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

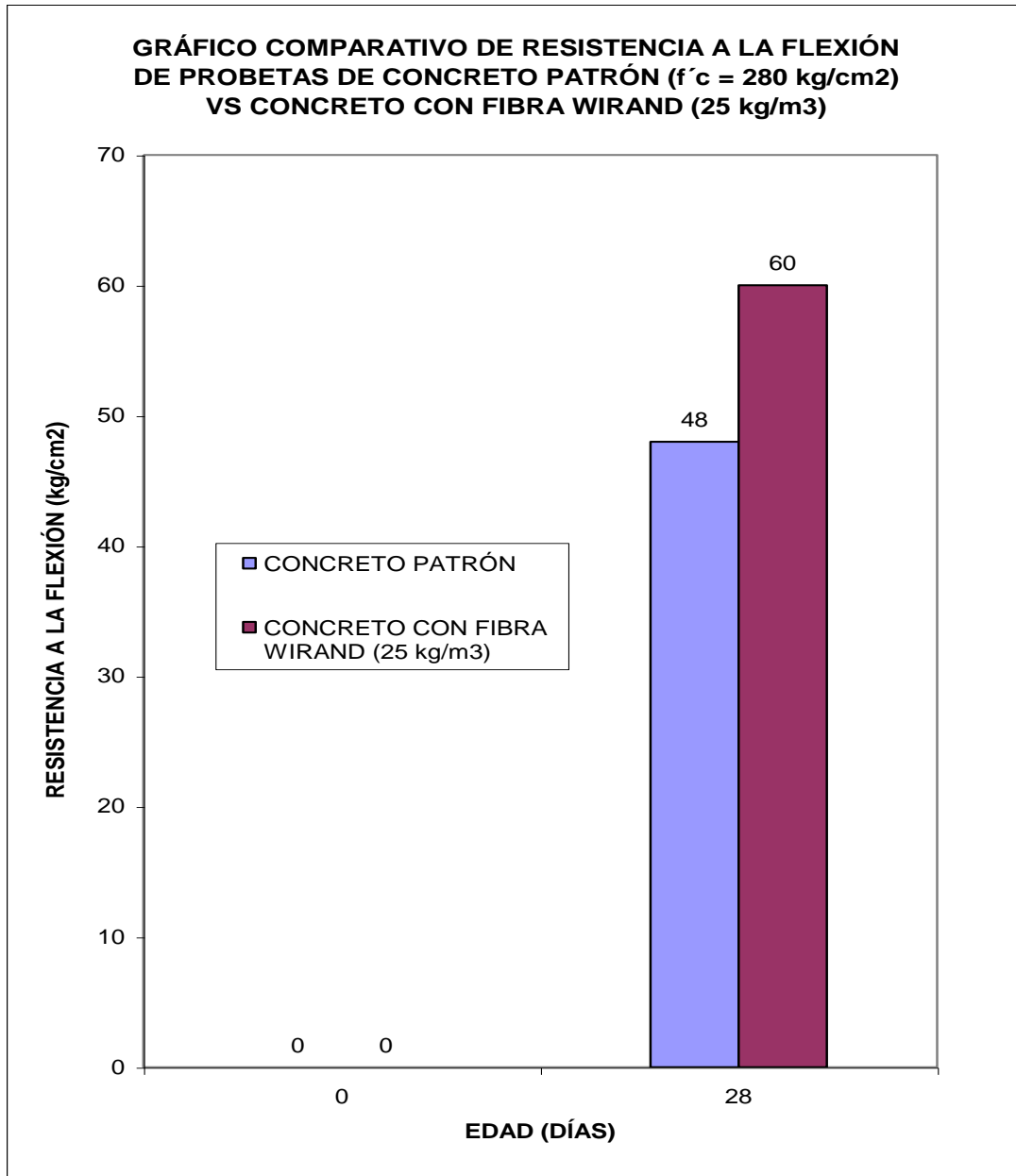
ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ($f'_c = 280$
 kg/cm^2) REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (35 kg/m^3)

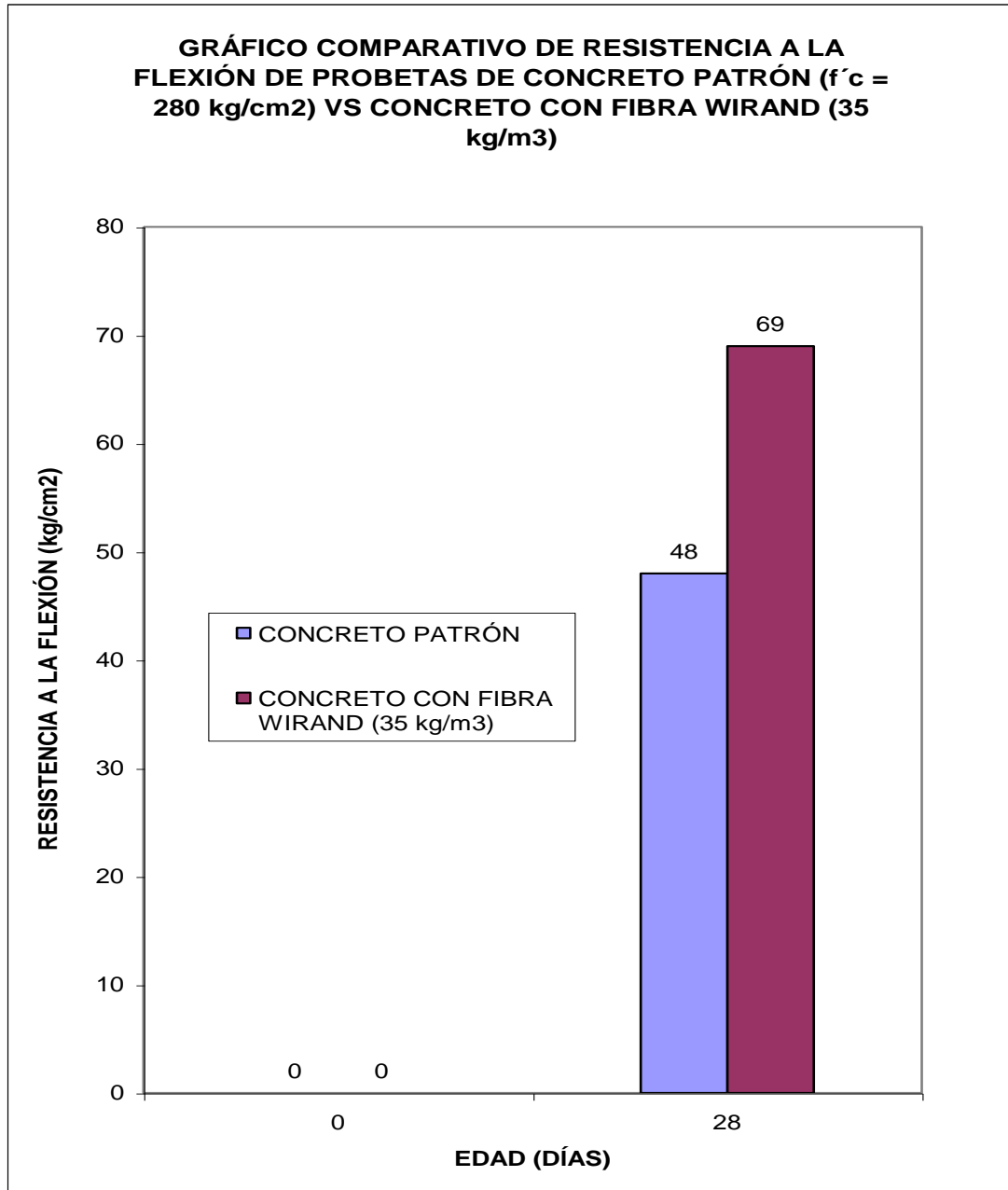
Norma: NTP 339.078

Hecho por: Ángel David Wilson Oré

EDAD: 28 DÍAS						
PROBETA N°	BASE (cm)	ALTURA (cm)	CARGA (KN)	CARGA P (kg)	RESISTENCIA Mr (kg/cm^2)	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA (Mr)
1	15,5	15,4	57	5810	71	69 kg/cm^2
2	15,5	15,2	52	5301	67	







CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.01.- CONCLUSIONES.-

- Las fibras mejoran las características mecánicas del concreto.
- La longitud de la fibra debe ser siempre uniforme para mantener la ductilidad del concreto.
- Los concretos con fibras de acero, al tener una rotura a flexo tracción dúctil aumenta mucho la tenacidad igualmente mejoran de manera considerable la resistencia a la fatiga.
- La corrosión de la fibra no produce un volumen de oxidación que dé lugar a tensiones en el concreto, y tampoco hay continuidad entre ellas por lo que la corrosión no progresa, en cualquier caso se puede utilizar fibras galvanizadas.
- La carbonatación y otras características que influyen en la durabilidad de los concretos, no se ven afectadas por las fibras de acero.
- Las fibras de acero pueden trabajar estructuralmente, pero no sustituyen al acero convencional en la mayoría de sus aplicaciones.
- Con respecto a la durabilidad, la presencia de las fibras permite una mejor redistribución de las microfisuras y fisuras.

7.02.- RECOMENDACIONES

- Las fibras de acero actúan en la masa de concreto como elementos rígidos, de gran área superficial y geometría muy esbelta, mejoran algunas propiedades en estado endurecido y exigiendo modificaciones en los procesos tradicionales de

dosificación, fabricación, transporte, vertido, compactación y acabado.

- Adicionar fibras al concreto tiene un peso importante en el costo total del SFRC, por lo que se hace necesaria la optimización de la dosificación para emplear la cantidad estrictamente necesaria de fibras y así obtener un material que sea más atractivo comercialmente.
- Se debe evitar a toda costa la formación de pelotas de fibras en la mezcla, también conocidas como erizos. Para evitar la formación de pelotas y lograr una buena dispersión de las fibras se recomienda adicionarlas a una mezcla ya fluida (ACI 544, 3R-08, 2008), dosificar los concretos con suficiente contenido de árido fino, no emplear fibras muy esbeltas y evitar tiempos de transporte excesivamente largos.
- Generalmente las fibras de acero son menos dóciles que los concretos tradicionales y demandan mayor energía en la compactación.
- Cuando se emplean vibradores internos, las fibras tienden a orientarse alrededor del vibrador, lo que puede provocar distribuciones circulares y dan lugar a contenidos de fibras y orientaciones heterogéneas entre puntos próximos del elemento.
- En general, Las mezclas de fibras de acero tienden a ser de consistencia más seca, el uso de fibras de acero disminuye la docilidad del concreto, por lo que se requiere una mayor energía para compactar el material.
- En este sentido, y dada la resistencia a la penetración que presentan las fibras, es necesario utilizar el vibrador como medio de compactación, no siendo recomendable el picado con barra.
- El acabado de las fibras de acero se puede realizar aplicando las mismas técnicas empleados con los concretos convencionales. Las caras, tanto de acabado como de contacto con los

encofrados, presentan superficies bastante regulares, con pocas o ninguna fibra visible.

- Para obtener un buen acabado liso basta con pasar una llana y dejar endurecer el concreto. Durante el proceso, la llana debe mantenerse plana, pues, de lo contrario, se pueden extraer parcialmente las fibras.

VIII.- BIBLIOGRAFÍA

- NORMAS TÉCNICAS PERUANAS
- ASTM Normas Técnicas
- RIVA LOPEZ, ENRIQUE
Tecnología del Concreto – Diseño de Mezclas – Perú, 1992
- RIVA LOPEZ, ENRIQUE
Naturaleza y Materiales del Concreto – Capítulo Peruano del American Concrete Institute (ACI) Perú 2000
- ASOCEM – Boletines Técnicos.
- ENRIQUE PASQUEL Tecnología del concreto
- ASTM (American Society for Testing and Materials). (1997). Standard test method for flexural performance of fiber reinforced concrete (using beam with third-point loading) ASTM C 1018. Pennsylvania: ASTM.
- ACI (American Concrete Institute). Reported by Committee 544. Detroit, MI: American Concrete Institute. (1988). Design considerations for steel fiber reinforced concrete ACI 544.4R-88.
- Navas Carro Alejandro Rojas Juarez Jose Ingeniería 20: 67-80, ISSN:1409-2441 (2010). Comportamiento de Losas apoyadas en el Suelo Reforzadas con fibras de Acero.
- INFORME TECNICO ABD ALL BUILDING DESIGNS, Hormigón Reforzado con Fibras de Acero.
- JORNADAS SAM – CONAMET – AAS, “Medición de Propiedades de Factura en Hormigón Reforzados con Fibra de Acero, 2001.
- ANTONIO DOMINGUES, “Concreto Com Fibras de Aco”, Tesis Escola Politécnica de Universidade de Sao Paulo, Departamento de Engenharia de Construcao Civil. Brasil 2000.