

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS EFECTOS SOBRE LA
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN REFORZADO
CON FIBRAS (HRF) USANDO MACRO FIBRAS DE ACERO
DRAMIX RC-6535-BN Y DE POLIPROPILENO/POLIETILENO
TUF-STRAND SF.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN ESTRUCTURAS**

FRANCISCO XAVIER RAMÍREZ TAPIA
fxrt@hotmail.com

JOSÉ ANTONIO SAMANIEGO PACTONG
jasphonda@hotmail.es

DIRECTOR: ING. GERMÁN VINICIO LUNA HERMOSA, MBA
german.luna@epn.edu.ec

Quito, mayo 2016

DECLARACIÓN

Nosotros, Francisco Xavier Ramírez Tapia, José Antonio Samaniego Pactong, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado en ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa vigente.

FRANCISCO X. RAMÍREZ TAPIA

JOSÉ A. SAMANIEGO PACTONG

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Francisco Xavier Ramírez Tapia y José Antonio Samaniego Pactong, bajo mi supervisión.

ING. GERMÁN VINICIO LUNA HERMOSA, MBA.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Empezaré por agradecer a mi familia, por su amor, compañía y apoyo incondicional en cada proyecto de mi vida.

Aprovecho este espacio para agradecer a todas las personas que he conocido a lo largo de este proceso de formación, a mis grandes profesores, a mis excelentes compañeros y queridos amigos con los que hemos aprendido mucho de nuestras maravillosas experiencias en la Escuela Politécnica Nacional.

Cada uno me deja recuerdos de enorme gratitud.

Francisco Xavier Ramírez Tapia

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado la maravillosa oportunidad de vivir y ayudarme a superar mis retos.

A mis padres Ramón y Josefina, por su apoyo constante, por los regaños necesarios y por los valores que me han inculcado a lo largo de mi vida.

A mi hermana Lourdes, que desde la distancia siempre me envía sus ánimos para seguir adelante y por quien busco siempre ser mejor.

Al Ing. Germán Luna e Ing. Mercedes Villacís, gracias por su tiempo y sabiduría para realizar este trabajo, por su guía durante toda mi estancia en el Laboratorio de Materiales y por ayudarme siempre a ser mejor en mi vida personal y profesional.

A Paúl, Liz, Julia, Gis, Juli, Iván, Fanny, Freddy, Lucho, Mauxi, Brian y al Ing. Martínez por ser más que compañeros, mis grandes amigos del Laboratorio de Materiales, que me acompañaron y compartieron conmigo momentos inolvidables.

A Ing. Christian Gómez, Robert, Diego y todos los miembros del Centro de Investigación de la Vivienda por su ayuda y colaboración para desarrollar este proyecto.

A Pancho, no sólo por ser un gran compañero de tesis, sino también por brindarme su amistad y apoyo en los momentos más difíciles.

A Carmen, Majo, Vale, Byron, Dann, Gastón, Juan Jo, Mauri, y Rulo por su amistad en estos años de vida llenos de enseñanza.

José Antonio Samaniego Pactong

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi madre, ejemplo de trabajo y dedicación, de amor y valentía para cumplir cada uno de los objetivos trazados en mi vida. A mi familia y amigos que gracias a su confianza, respeto y alegría han generado el ambiente perfecto para hacer de mis días los más dichosos.

Francisco Xavier Ramírez Tapia

DEDICATORIA

De todo corazón a Dios, a mis padres Ramón y Josefina, a mi hermana Lourdes, a mis abuelos Carlos, Rebeca, Ramón y Alicia que me miran desde el cielo, a mis tíos Carlos Antonio, Eva, José Julio, Paulina y Antonio, mis primos Fabián, María Auxiliadora, Juan Carlos, José Leonardo y Pedro José, a mis amigos Andrea, Cristina, David, Gisela, Manuel, Sandra y Sebastián.

José Antonio Samaniego Pactong

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO	VIII
LISTA DE TABLAS	X
LISTA DE GRÁFICOS	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XII
LISTA DE FOTOGRAFÍAS	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT	XV
PRESENTACIÓN	XVI
CAPÍTULO 1.....	1
GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.4 ALCANCE	4
CAPÍTULO 2.....	7
METODOLOGÍA DE ENSAYO	7
2.1 INTRODUCCIÓN	7
2.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEJO-TRACCIÓN	7
2.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN	19
CAPÍTULO 3.....	21
CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	21
3.1 AGUA.....	21
3.2 CEMENTO	22
3.3 AGREGADOS	28
3.4 FIBRAS	39
CAPÍTULO 4.....	43
ESPECÍMENES PARA ENSAYO.....	43
4.1 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PATRÓN	43
4.2 DOSIFICACIÓN DE FIBRAS	45
4.3 IDENTIFICACIÓN.....	46

CAPÍTULO 5.....	49
DESARROLLO EXPERIMENTAL	49
5.1 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES	49
5.2 ENSAYO DE ESPECÍMENES	54
CAPÍTULO 6.....	64
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	64
6.1 RESULTADOS DE LOS MATERIALES.....	64
6.2 EFECTOS SOBRE EL HORMIGÓN FRESCO	67
6.3 EFECTOS SOBRE EL HORMIGÓN ENDURECIDO	68
6.4 ANÁLISIS DE TENACIDAD Y ESFUERZOS	77
6.5 ANÁLISIS ECONÓMICO	79
CAPÍTULO 7.....	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
7.1 CONCLUSIONES.....	81
7.2 RECOMENDACIONES	83
ANEXOS.....	87
Anexo No. 1.....	93
A.1 ENSAYOS EN EL CEMENTO	94
A.2 ENSAYOS DE AGREGADOS.....	95
A.3 CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN PATRÓN (MÉTODO DEL ACI)	101
Anexo No. 2.....	88
Anexo No. 3.....	108
Anexo No. 4.....	112

LISTA DE TABLAS

TABLA 2. 1 TABLA PARA REGISTRO DE DATOS	17
TABLA 3. 1 FRECUENCIA DE ENSAYOS	21
TABLA 3. 2 COLORES DE COMPARACIÓN.....	36
TABLA 3. 3 GRADACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO.....	38
TABLA 3. 4 CARGA ABRASIVA EN FUNCIÓN DE LA GRADACIÓN.	38
TABLA 3. 5 REQUERIMIENTO DE RESISTENCIA RESIDUAL A LA FLEXIÓN.....	39
TABLA 3. 6 PROPIEDADES DE LAS FIBRAS DE ACERO	40
TABLA 3. 7 PROPIEDADES DE LA FIBRA TUF-STRAND SF	41
TABLA 4. 1 PROPIEDADES DEL CEMENTO	43
TABLA 4. 2 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	44
TABLA 4. 3 DOSIFICACIÓN FINAL PARA EL HORMIGÓN PATRÓN.....	44
TABLA 4. 4 DOSIFICACIÓN FINAL PARA FIBRAS DRAMIX RC-65/35-BN.....	45
TABLA 4. 5 DOSIFICACIÓN FINAL PARA FIBRAS TUF-STRAND SF.....	46
TABLA 4. 6 IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS PATRÓN (SIN FIBRAS).	46
TABLA 4. 7 IDENTIFICACIÓN DE ESPECÍMENES REFORZADOS CON FIBRAS.....	47
TABLA 5. 1 RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN HORMIGÓN PATRÓN.....	54
TABLA 5. 2 RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS DRAMIX.	55
TABLA 5. 3 RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS TUF STRAND.....	56
TABLA 5. 4 RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN DE LOS LOTES PATRÓN (HORMIGÓN PATRÓN).....	59
TABLA 5. 5 RESULTADOS PROMEDIOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS DRAMIX RC-6435-BN.....	60
TABLA 5. 6 RESULTADOS PROMEDIOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS TUF STRAND SF	62
TABLA 6. 1 RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO	64
TABLA 6. 2 RESUMEN DE RESULTADOS DEL AGREGADO FINO.....	65
TABLA 6. 3 RESUMEN DE RESULTADOS DEL AGREGADO GRUESO.....	66
TABLA 6. 4 EFECTO SOBRE EL HORMIGÓN FRESCO.....	67
TABLA 6. 5 EFECTO SOBRE EL PESO ESPECÍFICO.....	68
TABLA 6. 6 EFECTO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	68
TABLA 6. 7 EFECTO DE LAS FIBRAS SOBRE LA CAPACIDAD MÁXIMA A FLEJO-TRACCIÓN	70
TABLA 6. 8 TENACIDAD RELATIVA	78
TABLA 6. 9 COMPARACIÓN ECONÓMICA.....	79

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 3. 1 LÍMITES PARA CUMPLIR CON LOS REQUISITOS DE GRADACIÓN DEL AGREGADO FINO.	30
GRÁFICO 3. 2 LÍMITES PARA CUMPLIR CON LOS REQUISITOS DE GRADACIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	30
GRÁFICO 5. 1 CARGA VS CMOD HRF DRAMIX RC-65/35-BN	61
GRÁFICO 5. 2 CARGA VS CMOD HRF TUF STRAND SF	62
GRÁFICO 6. 1 CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO.....	65
GRÁFICO 6. 2 CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO.....	66
GRÁFICO 6. 3 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS CMOD DRAMIX 15KG/M ³	71
GRÁFICO 6. 4 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS CMOD DRAMIX 20KG/M ³	71
GRÁFICO 6. 5 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS CMOD DRAMIX 25KG/M ³	72
GRÁFICO 6. 6 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS CMOD DRAMIX	72
GRÁFICO 6. 7 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS DOSIS DRAMIX.....	73
GRÁFICO 6. 8 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS. CMOD TUF-STRAND SF 4 KG/M ³	74
GRÁFICO 6. 9 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS CMOD TUF-STRAND SF 6 KG/M ³	74
GRÁFICO 6. 10 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS CMOD TUF-STRAND SF 8 KG/M ³	75
GRÁFICO 6. 11 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS CMOD TUF-STRAND SF.....	75
GRÁFICO 6. 12 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS DOSIS TUF-STRAND SF.....	76
GRÁFICO 6. 13 DOSIS TUF STRAND SF VS. FR ₁	76
GRÁFICO 6. 14 DOSIS TUF STRAND SF VS. FR ₄	77
GRÁFICO 6. 15 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS CMOD PROMEDIOS	78
GRÁFICO 6. 14 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS TIPO DE FIBRA.....	79
GRÁFICO 6. 15 COSTO DE FIBRA POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN	80

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2. 1 DIAGRAMA DEL SISTEMA DE APOYOS Y CARGA DEL ESPÉCIMEN.	11
FIGURA 2. 2 PUNTA DE CONTACTO – IMPRESIÓN 3D.	12
FIGURA 2. 3 CORTE DE DISPOSITIVO DE MONTAJE PARA TRANSDUCTOR DE DESPLAZAMIENTO LINEAL.	12
FIGURA 2. 4 DETALLE DE LA PLACA 1 DEL DISPOSITIVO DE MONTAJE.	13
FIGURA 2. 5 DETALLE DE PLACA 2 DEL DISPOSITIVO DE MONTAJE.	13
FIGURA 2. 6 DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS PARA ENSAYO A FLEXO-TRACCIÓN.	15
FIGURA 2. 7 CORTE A-A EN EL PLANO DE CARGA.	15
FIGURA 2. 8 CORTE B-B EN LA CARA DE APOYO.	16
FIGURA 2. 9 DIAGRAMA CARGA VS CMOD.	19
FIGURA 3. 1 APARATO VICAT (CONSISTENCIA NORMAL).	26
FIGURA 5. 1 VACIADO DE HORMIGÓN CON FIBRAS EN EL MOLDE.	52
FIGURA 5. 2 POSICIÓN DE LA RANURA ASERRADA EN EL ESPÉCIMEN.	53

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. 1 UBICACIÓN DE LA MINA DE PIFO.....	4
FOTOGRAFÍA 1. 2 VISTA DE LA MINA DE HOLCIM, PIFO, QUITO, ECUADOR.	5
FOTOGRAFÍA 3. 1 MUESTRA DE CEMENTO EN EL FRASCO DE LE CHATELIER.....	23
FOTOGRAFÍA 3. 2 ENSAYO PARA DETERMINAR LAS DENSIDADES SUELTA Y COMPACTADA DEL CEMENTO	25
FOTOGRAFÍA 3. 3 APARATO VICAT (TIEMPOS DE FRAGUADO).....	27
FOTOGRAFÍA 3. 4 GRANULOMETRÍA EN AGREGADOS	29
FOTOGRAFÍA 3. 5 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.	32
FOTOGRAFÍA 3. 6 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.	32
FOTOGRAFÍA 3. 7 DENSIDADES APARENTES DEL AGREGADO FINO.....	35
FOTOGRAFÍA 3. 8 DENSIDADES APARENTES DEL AGREGADO GRUESO.....	35
FOTOGRAFÍA 3. 9 CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN EL AGREGADO FINO.....	36
FOTOGRAFÍA 3. 10 MÁQUINA “LOS ÁNGELES”	37
FOTOGRAFÍA 3. 11 FIBRAS DE ACERO DRAMIX RC-65/35-BN.....	40
FOTOGRAFÍA 3. 12 FIBRAS DE POLIPROPILENO/POLIETILENO TUF – STRAND SF.	42
FOTOGRAFÍA 5. 1 FIBRAS DE ACERO DRAMIX RC-65/35-BN EN HORMIGÓN FRESCO.	49
FOTOGRAFÍA 5. 2 HRFP ANTES DEL MEZCLADO FINAL.....	50
FOTOGRAFÍA 5. 3 MOLDES PARA PROBETAS CILÍNDRICAS.	51
FOTOGRAFÍA 5. 4 ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS.	51
FOTOGRAFÍA 5. 5 ELABORACIÓN DE VIGAS.	52
FOTOGRAFÍA 5. 6 CURADO DE VIGAS.....	53
FOTOGRAFÍA 5. 7 CORTE DE LAS RANURAS DE LOS ESPECÍMENES.	54
FOTOGRAFÍA 5. 8 ENSAYO A FLEXIÓN.....	57
FOTOGRAFÍA 5. 9 CAJA LECTORA DE DEFORMACIONES CMOD.....	57
FOTOGRAFÍA 5. 10 TRANSDUCTOR QUE MIDE CMOD	58
FOTOGRAFÍA 5. 11 FALLA TÍPICA DE ESPECÍMENES	58
FOTOGRAFÍA 5. 12 DISTRIBUCIÓN DE FIBRAS A LO LARGO DE LA FISURA.....	59

RESUMEN

La presente investigación propone analizar el comportamiento del hormigón reforzado con fibras (HRF) para lo cual se realizó una mezcla patrón con resistencia característica a la compresión de 24 MPa, a la que se le añadió tres dosis diferentes de fibras estructurales escogidas en base a la disponibilidad del mercado ecuatoriano, las cuales son las fibras metálicas de acero DRAMIX RC-65/35-BN de la empresa BEKAERT y las fibras sintéticas de polipropileno/polietileno TUF-STRAND SF desarrolladas por TOXEMENT.

En el caso de las fibras DRAMIX, las dosis fueron de 15, 20 y 25 kilogramos por metro cúbico de hormigón (kg/m^3), mientras que las dosis para las fibras TUF-STRAND SF serán 4, 6 y 8 kg/m^3 .

El desempeño de las fibras se evaluó en función de las resistencias residuales a la flexión obtenidas de la adaptación del ensayo de laboratorio descrito en la norma mexicana NMX-C-488-ONNCCE-2014, en la cual se relaciona el esfuerzo residual a flexión vs la apertura de una ranura practicada en la probeta. Se pudo observar que los resultados obtenidos mostraron que las fibras tuvieron un comportamiento similar a lo descrito en la norma, corroborando así que la metodología utilizada generó resultados aceptables y reproducibles.

También se realizó la comparación económica entre el uso de dos fibras, en función de los precios unitarios para la elaboración de HRF, tomando en cuenta las dosis y el tipo de fibras que presenten resistencias residuales a la flexión similares. La fibra de mejor relación costo-beneficio fue la DRAMIX RC-65/35-BN, en una dosis de 20 kg/m^3 , alcanzando los mayores esfuerzos residuales a flexión respecto de todos los lotes, y manteniéndose debajo del costo de todas las dosis estudiadas de TUF-STRAND SF.

ABSTRACT

This research aims to analyze the behavior of fiber reinforced concrete (HRF) for which has made a standard mixture with compressive strength of 24 MPa, which will be added three different doses of structural fibers chosen based on the Ecuadorian market availability, this ones will be the metallic steel fiber DRAMIX RC-65/35-BN from the company BEKAERT and the synthetic polypropylene/polyethylene TUF-STRAND SF developed by TOXEMENT.

For the case of DRAMIX fibers, the doses will be 15, 20 and 25 kilograms per cubic meter of concrete (kg/m^3), meanwhile the doses for TUF-STRAND SF fibers will be 4, 6 and 8 kg/m^3 .

The performance of the fibers are assessed on the basis of residual flexural strengths obtained from the adaptation of the laboratory test described in the Mexican standard NMX-C-488-ONNCCE-2014, in which the effort is related with the crack mouth opening displacement (CMOD).

In addition, an economic comparison will be made between the two fibers, based on HRF fabrication unit prices, taking into consideration the type and doses of fibers that shows similar residual flexural strength.

The best cost-benefit relation was for the fiber DRAMIX RC-60/35-BN with a doses of 20 kg/m^3 , reaching the highest residual flexural strength over all other specimens, keeping a lower cost than the TUF STRAND SF doses.

PRESENTACIÓN

El presente estudio se propuso con el fin de determinar la fibra que otorgue el mejor comportamiento mecánico al reforzar el hormigón, para lo cual se analizó las resistencias residuales a la flexión mediante la adaptación de la norma mexicana NMX-C-488-ONNCCE-2014, en el Centro de investigación de la Vivienda (CIV) y en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR), los procedimientos realizados se describen en los siete capítulos de esta investigación:

Capítulo 1 Generalidades: Se presenta un breve resumen del uso de las fibras como refuerzo en el hormigón, así como los objetivos, el planteamiento del problema y el alcance.

Capítulo 2 Metodología de ensayo: Aquí se describe la adaptación realizada de la norma mexicana NMX-C—488-ONNCCE-2014, así como de las definiciones empleadas.

Capítulo 3 Caracterización de materiales: Describe el proceso para determinar las propiedades de los materiales a usar en la investigación.

Capítulo 4 Especímenes para ensayo: Se explica el proceso de dosificación y elaboración de las probetas de ensayo.

Capítulo 5 Desarrollo experimental: Se detallan los procesos realizados durante los ensayos de laboratorio en las etapas de fabricación y ensayo.

Capítulo 6 Análisis de resultados: Se discute y expone los resultados obtenidos de los ensayos realizados.

Capítulo 7 Conclusiones y recomendaciones: Aquí se sintetizan los resultados y experiencias obtenidas durante el desarrollo del estudio.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

En la década de 1940 se empezó a añadir las fibras como un refuerzo en el hormigón y desde entonces se han realizado una gran cantidad de pruebas para determinar sus características reales y sus beneficios. (R. Brown, 2002).

A partir de 1967 diferentes tipos de fibras se ha utilizado en el hormigón de forma satisfactoria pues se han mejorado las propiedades físicas y de durabilidad del hormigón. Adicionalmente, los resultados experimentales han demostrado la capacidad de las fibras para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón. (ACI-Comité-544, 2010).

El hormigón reforzado con fibras (HRF) se beneficia con el aumento de tenacidad, esto ayuda a que su falla se aleje del comportamiento frágil típico del hormigón simple. Por más de 30 años, las fibras de mayor uso para el control de fisuras de este compuesto en su estado endurecido han sido las sintéticas de Polipropileno/Polietileno y de Acero. (ACI 360R, 2006).

El uso de las fibras puede ser de tipo Estructural, cuando la incorporación de ellas al hormigón aporta a la capacidad de carga del elemento, o de tipo No Estructural si esta adicción no contribuye para dicho efecto. (ASTM INTERNATIONAL, 2015).

Cuando el hormigón comienza a agrietarse debido a la acción de las cargas de compresión o tracción, las fibras comienzan a aportar en la absorción de energía adicional evitando daños graves como grietas o colapsos violentos que caracterizan a las fallas del hormigón (The Euclid Chemical Company, 2014).

Debido a los beneficios entregados por las fibras en el hormigón, se creó la necesidad de diversos métodos de diseño y análisis para evaluar su desempeño (Jansson, 2008).

Con el propósito de normalizar el uso de las fibras para refuerzo en el hormigón, en el año 2014, es México el primer país de hispanoamérica en incorporar una norma para el método de ensayo de hormigones reforzados con fibras. La norma NMX-C-488-ONNCCE-2014 propone el análisis experimental del comportamiento del HRF en función de los efectos sobre la resistencia a la flexión.

Aun cuando dicha norma limita su aplicación a las fibras de acero, el presente estudio realizará el ensayo para una comparación de los resultados entre hormigones reforzados con fibras sintéticas y de acero con el fin de determinar su desempeño y su comparación económica.

Este análisis permitirá conocer cuál es la dosis y cuál es el mejor tipo de fibra para este propósito.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la cantidad de fibra, en peso por metro cúbico de hormigón, que genere el mejor comportamiento mecánico y mayor factibilidad económica mediante la comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de flexo-tracción.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el comportamiento del HRF a compresión y flexo-tracción en función de la dosis y del tipo de fibras utilizadas como refuerzo para comparar el rendimiento entre ellas y una mezcla patrón.
- Realizar un análisis de costos de producción de hormigón reforzado con cada tipo de fibra para evidenciar el impacto económico frente al comportamiento.
- Implementar la metodología de ensayo de efectos sobre la resistencia a la flexión de la norma NMX-C-488-ONNCCE-2014, adaptada a condiciones locales.
- Verificar si los resultados obtenidos con el ensayo modificado se ajustan al original para validar la metodología de ensayo empleada.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para conocer los rendimientos que tienen las fibras al utilizarlas como refuerzo para el hormigón, es necesario realizar suficientes estudios técnico-económicos de acceso libre en el país sobre el comportamiento de éste en diversos campos de aplicación.

Con la realización de este tipo de estudios se propiciará la complementación de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) ayudando a la creación de un apartado referente para el diseño de Hormigones Reforzados con Fibras (HRF), debido a que sin esta información no se permite a la industria de la construcción desarrollar todo el potencial de estas tecnologías en el campo estructural.

Dicho avance en la NEC permitirá el uso óptimo de estas tecnologías en el mercado nacional y así acceder a todos sus beneficios.

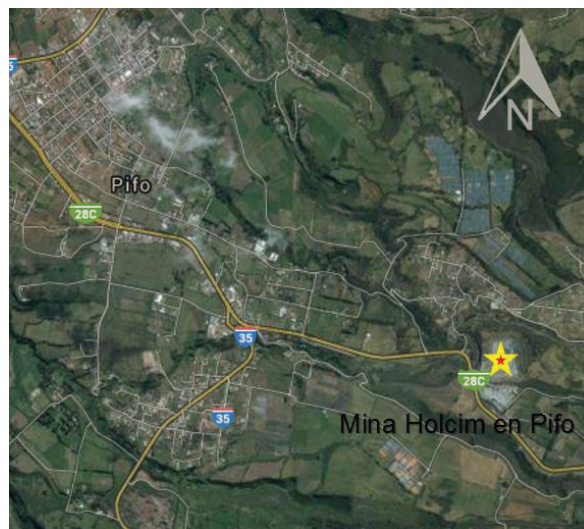
1.4 ALCANCE

La presente investigación entregará a la industria de la construcción información necesaria para la optimización de los recursos, que es un factor crítico para la viabilidad económica de un proyecto al manejar grandes volúmenes de materiales y personal.

Para analizar el comportamiento del hormigón reforzado con fibras se realizó una mezcla patrón con $f'c=24$ MPa, esta resistencia característica fue adoptada para el presente estudio por recomendación de los fabricantes del cemento ARMADURO, ya que ha sido la resistencia en hormigón premezclado que más se ha utilizado en la actualidad en el mercado local. (UNACEM, 2015).

Los agregados fino y grueso provinieron de la planta de HOLCIM ubicada en la parroquia Pifo, al Nororiente de la ciudad de Quito. Se eligió a la planta de HOLCIM ya que cubre con más del 60% del suministro de hormigón premezclado en la ciudad, además que por su regularidad en la producción, genera confiabilidad en los parámetros granulométricos. (Líderes, 2016).

FOTOGRAFÍA 1. 1 UBICACIÓN DE LA MINA DE PIFO.



FUENTE: Recorte de pantalla Google Earth. (Google, 2016).

FOTOGRAFÍA 1. 2 VISTA DE LA MINA DE HOLCIM, PIFO, QUITO, ECUADOR.

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Se escogieron las fibras disponibles en el mercado que se promocionan como de tipo “estructurales”, éstas son las DRAMIX RC-65/35-BN de la empresa BEKAERT y las TUF-STRAND SF distribuidas por TOXEMENT.

En el caso de las fibras DRAMIX la dosis mínima recomendada en la ficha técnica del producto, incluida en el Anexo No. 1, es de 15 kg de fibra por metro cúbico de hormigón (kg/m^3), adicionalmente la dosis de 20 kg/m^3 recomendada por el representante de BEKAERT (Badillo, 2015); y una dosis adicional de 25 kg/m^3 . Serán estas tres dosis las que se consideren para el análisis.

La fibra de TUF-STRAND SF recomienda dosis de 1,8 a 12 kg/m^3 en su ficha técnica (Anexo No. 1), sin embargo basados en un estudio previo, se observó que un aporte óptimo de resistencia a la flexión se da en la mitad de este rango, por lo que se eligieron las dosis de 4, 6 y 8 kg/m^3 para el estudio. (Guamán & Pilatasig, 2015).

La comparación económica se realizó en función de los precios unitarios para la elaboración de hormigón reforzado con fibras, tomando en cuenta la dosis y tipo de fibras que presenten resistencias similares a flexo-tracción.

Así, se pretende establecer el refuerzo de mejor comportamiento mecánico y su factibilidad económica para el HRF mediante el estudio comparativo de los efectos sobre la resistencia a la flexión usando macro fibras de acero DRAMIX RC-65/35-BN y de polipropileno/polietileno TUF-STRAND SF.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA DE ENSAYO

2.1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio se basó en la aplicación de una variante al ensayo a flexo-tracción de la norma NMX-C-488-ONNCCE publicada en México en el año 2014. El objetivo de la Norma Mexicana es establecer especificaciones técnicas para las fibras adicionadas al hormigón, así como los procedimientos de ensayo para medir los efectos de éstas sobre la resistencia a flexo-tracción del hormigón, con el fin de obtener la dosis mínima de fibras necesaria para que su comportamiento se clasifique como estructural.

Se realizó adicionalmente ensayos de resistencia a la compresión cilíndrica para conocer las variaciones en este parámetro.

2.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXO-TRACCIÓN

A continuación se detalla el campo de aplicación, definiciones y especificaciones para el ensayo de flexo-tracción definido por la Norma Mexicana.

2.2.1 CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma limita su campo de aplicación a las fibras de acero basándose en los métodos de diseño y ensayo de la Unión Internacional de Laboratorios y Expertos en Materiales de Construcción, Sistemas y Estructuras, RILEM TC 162-TDF, que actualmente está integrado en la norma europea EN 14651, sin embargo el procedimiento de iguales características del Instituto Japonés de Normalización del Hormigón, JCI-S-002-2003, no incluye esta limitación por lo que en el actual estudio se realizó el ensayo tanto en fibras de acero cuanto para fibras sintéticas para que sus dosis y comportamientos sean comparables.

La norma se aplica para uso de las fibras como reforzamiento del hormigón y morteros para pisos, pavimentos, hormigón proyectado, colado en sitio o prefabricado.

2.2.2 DEFINICIONES

Para el correcto entendimiento de la norma mexicana, así como para el presente estudio, se hace necesaria una definición de términos que se detalla a continuación:

2.2.2.1 Desplazamiento de apertura de la boca de la ranura (CMOD por sus siglas en inglés).

Es el desplazamiento lineal medido, por un transductor instalado, en la boca de una ranura practicada en la cara inferior de la viga prismática (Figuras 2.6, 2.7 y 2.8) sometida a una carga F en el centro de luz de carga. Con el propósito de poder realizar esta medición en la práctica y dentro de las condiciones del laboratorio del Centro de la Vivienda-EPN, se diseñó una modificación en la punta de un transductor de desplazamiento lineal que se comercializa normalmente en el mercado y hace que este trabajo esté dentro de las especificaciones normadas (Figura 2.2).

Donde: **CMOD₀ = 0 mm de apertura de la boca en la ranura (inicial).**

CMOD_{FL} = 0.05mm de apertura de la boca en la ranura.

CMOD₁ = 0.50mm de apertura de la boca en la ranura.

CMOD₂ = 1.50mm de apertura de la boca en la ranura.

CMOD₃ = 2.50mm de apertura de la boca en la ranura.

CMOD₄ = 3.50mm de apertura de la boca en la ranura.

2.2.2.2 Altura Efectiva (h_{sp})

Distancia entre la superficie lateral de colado no ranurada y el extremo interior de la ranura, expresado en milímetros.

2.2.2.3 Deflexión (δ)

Desplazamiento lineal medido por un transductor instalado en el centro de la viga, o calculado con la equivalencia entre CMOD utilizando la Ecuación 2.3 (Sección 2.2.3.4.3.), expresada en milímetros.

2.2.2.4 Diámetro equivalente de la fibra (d)

Diámetro de un círculo con un área igual al área transversal de la sección transversal de la fibra, expresado en milímetros.

2.2.2.5 Límite de proporcionalidad del ensayo de la viga (FRFL)

Esfuerzo teórico en el extremo interno de la ranura que actúa a la mitad de la sección no fisurada, con una distribución de fuerza lineal, de una viga sometida a una carga FL en el punto central, FL corresponde a la carga máxima aplicada en el intervalo de CMOD0 a CMODFL. Su expresión está definida en la Ecuación 2.1. (Sección 2.4.3.3.1. Límite de Proporcionalidad (FRFL)).

2.2.2.6 Longitud de fibra (L)

Distancia entre los extremos de la fibra, expresada en milímetros.

2.2.2.7 Relación de aspecto ($\lambda = L/d$)

Relación entre la longitud de la fibra (L) y su diámetro equivalente (d).

2.2.2.8 Resistencia residual a la flexión (F_{Ri})

Esfuerzo teórico en el extremo interno de la ranura que actúa a la mitad de la sección no fisurada, con una distribución de fuerza lineal, de una viga sometida a una carga F_i en el punto central que corresponde a $CMOD_i$, donde $CMOD_i > CMOD_{FL}$ ($i=1, 2, 3, 4$).

Su expresión está definida en la Ecuación 2.2. (Sección 2.4.3.3.2).

2.2.3 ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

Para el presente estudio se realizaron adaptaciones respecto al ensayo de la Norma Mexicana, esto debido al poco detalle explicativo de la norma y a la falta de disponibilidad inmediata de los equipos requeridos para las mediciones de $CMOD$.

2.2.3.1 Equipo

Para la realización del ensayo se utilizó el siguiente equipo.

2.2.3.1.1 Equipo de corte

Amoladora provista de un disco de rotación de hoja de carburo de 3mm de espesor con la profundidad de corte ajustable y capacidad de fijación del corte de manera perpendicular. Con este instrumento se practican las ranuras en los especímenes.

2.2.3.1.2 Calibrador vernier

Calibrador Vernier con rango de 150 mm con una precisión de 0.05 mm.

2.2.3.1.3 Flexómetro

Flexómetro metálico con rango de 3000 mm y con una precisión de 1 mm.

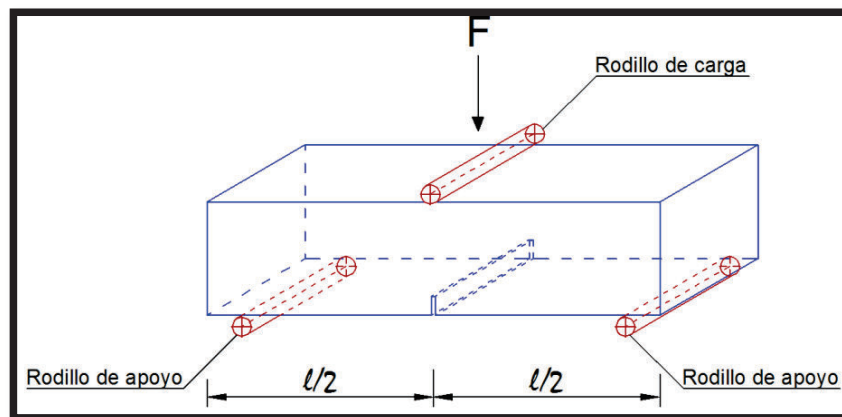
2.2.3.1.4 Marco de carga

Marco de carga con 1000 kN de capacidad, equipado con una celda de carga con 100 kN de capacidad y precisión de 0.01 N, con ajuste manual para establecer el ritmo de carga.

2.2.3.1.5 Mecanismo de transmisión de la carga

Se conforma por un rodillo de carga ubicado en el centro del espécimen y 2 rodillos de apoyos. Los rodillos son de acero A36 con una sección transversal circular de 25mm de diámetro ($\pm 1\text{mm.}$), estos tienen una longitud de 200 mm, la superficie de los rodillos debe estar limpia y lisa.

FIGURA 2. 1 DIAGRAMA DEL SISTEMA DE APOYOS Y CARGA DEL ESPÉCIMEN.

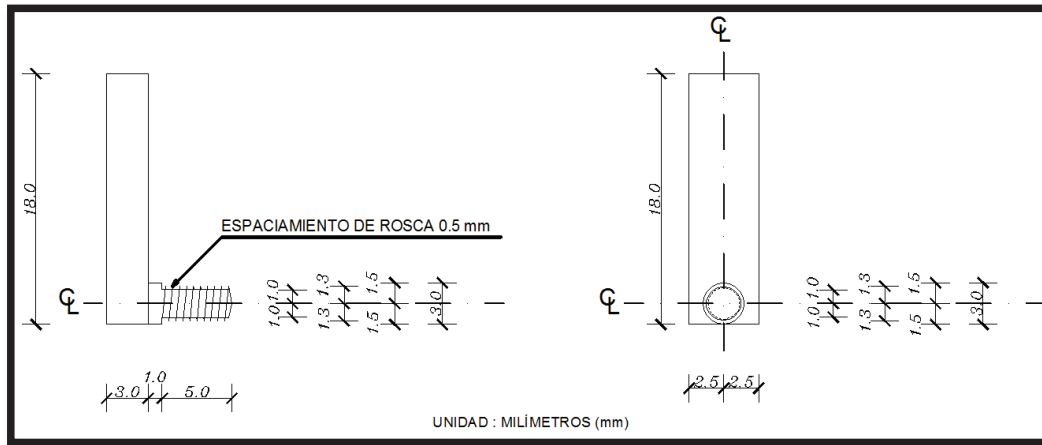


ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.
FUENTE: NMX-C-488-ONNCCE-2014.

2.2.3.1.6 Transductor de desplazamiento lineal con salida digital y punta modificada

Transductor SANGAMO SCHLUMBERGER DG 5.0 de precisión 0.001 mm y recorrido de 10 mm. Salida Digital de triple puerto ELE DRAINED TRIAXIAL TEST de deformación, carga y presión. Punta de contacto elaborada en polímero ABS de que permite registrar la apertura de la boca de la ranura (CMOD) y cuyas dimensiones se detallan en la Figura 2.2.

FIGURA 2. 2 PUNTA DE CONTACTO – IMPRESIÓN 3D.

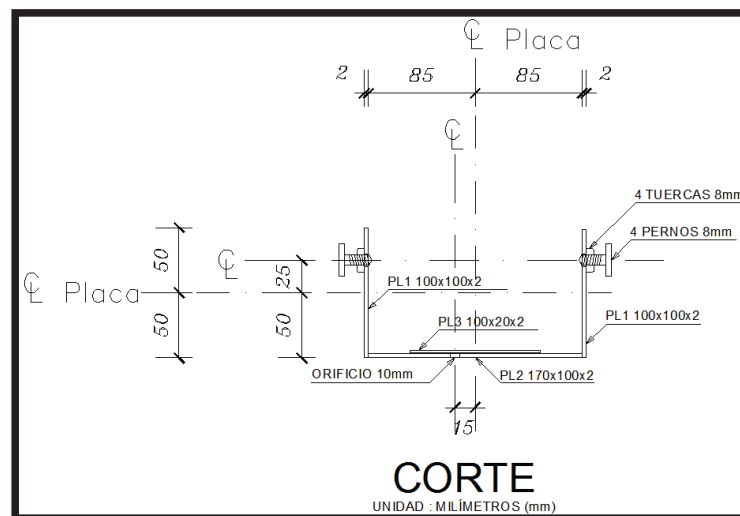


ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

2.2.3.1.7 Dispositivo para el montaje del transductor de desplazamiento

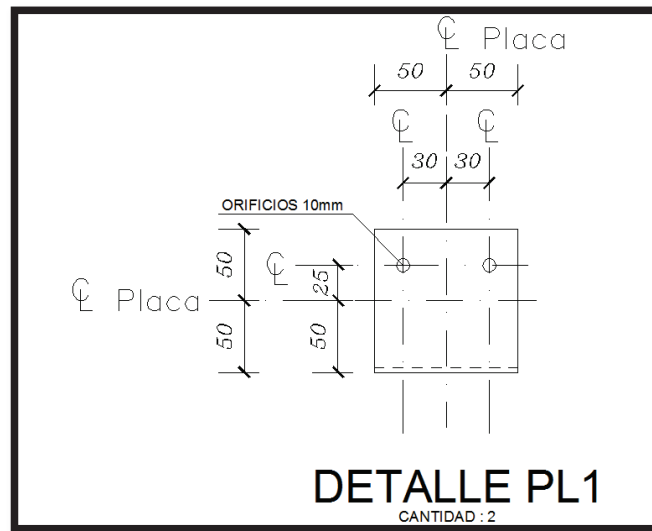
El equipo para el montaje del transductor de desplazamiento lineal, garantizará la precisión de la medición del CMOD netas en el centro del claro del espécimen dentro del rango establecido de cero a cuatro milímetros. El dispositivo mostrado en las Figuras 2.3, 2.4 y 2.5, está diseñado específicamente para el transductor utilizado para el presente estudio.

FIGURA 2. 3 CORTE DE DISPOSITIVO DE MONTAJE PARA TRANSDUCTOR DE DESPLAZAMIENTO LINEAL.



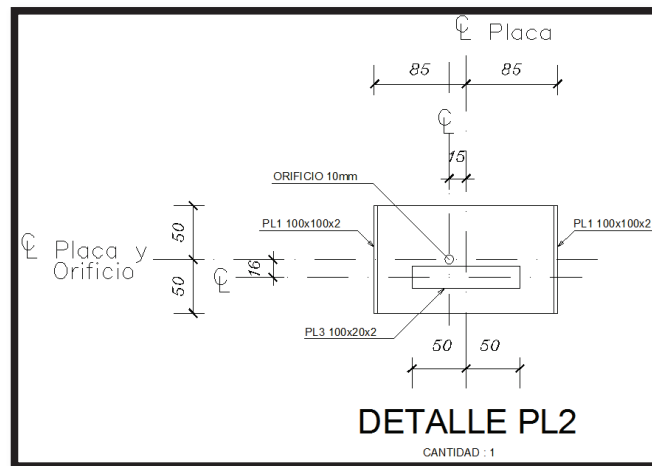
ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FIGURA 2. 4 DETALLE DE LA PLACA 1 DEL DISPOSITIVO DE MONTAJE.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FIGURA 2. 5 DETALLE DE PLACA 2 DEL DISPOSITIVO DE MONTAJE.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

2.2.3.1.8 Bases para rodillos

Para lograr la altura suficiente sobre el suelo que facilite la colocación del dispositivo de montaje del transductor. En la figura 2.6 se visualiza de mejor manera el uso y la necesidad de estos elementos.

Estas bases garantizarán estabilidad del conjunto en su contacto con el suelo.

2.2.3.2 Especímenes de ensayo

Los especímenes para el ensayo de resistencia a flexo-tracción son vigas prismáticas de sección cuadrada con un tamaño normalizado de ancho 150 mm y longitud de 600 mm.

Estas dimensiones son adecuadas según la Norma Mexicana para el hormigón con agregados de diámetro nominal menor a 32 mm y fibras de 60 mm de longitud máxima.

2.2.3.3 Método de ensayo

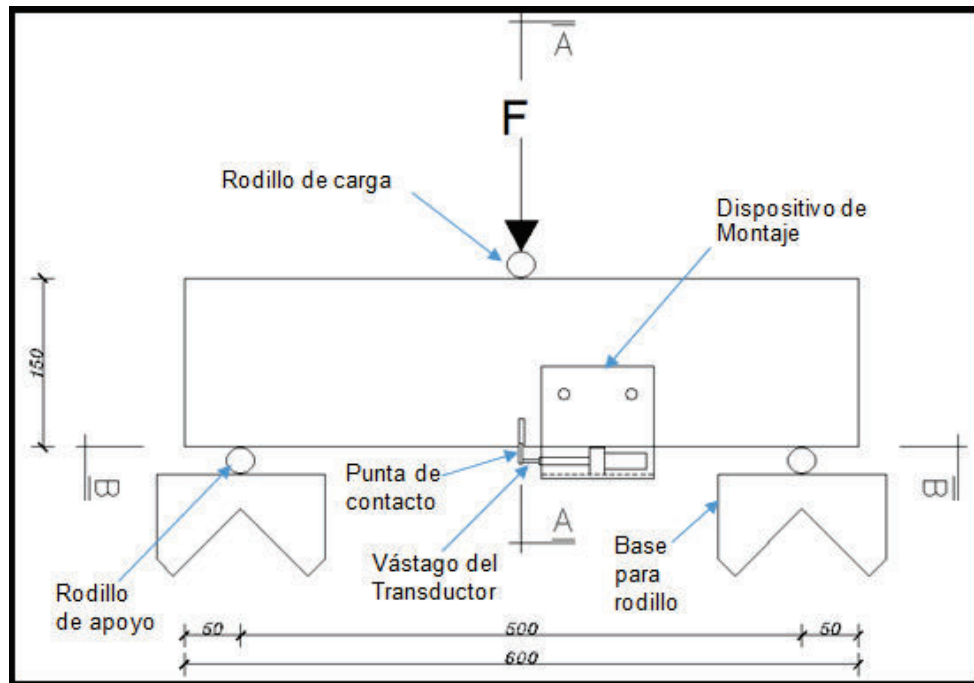
2.2.3.3.1 Preparación y montaje de especímenes

El ancho promedio de la viga (b), y; la altura efectiva se determinaron con el promedio de las dos mediciones hechas de cada lado con el calibrador y con una precisión de 0.1mm.

La luz o distancia entre los ejes longitudinales de los rodillos de apoyo es igual a 500 mm, con una precisión de ± 2 mm.

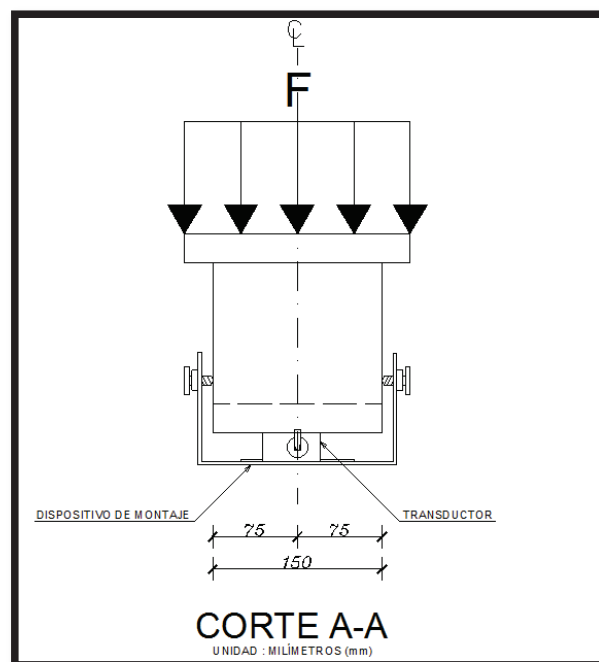
Para la medición del CMOD se colocó el dispositivo para el montaje del transductor de desplazamiento, de tal forma que el vástago del transductor estuvo centrado y paralelo al eje longitudinal de la viga, la colocación aseguró que el transductor de desplazamiento lineal tenga una compresión inicial de al menos 4mm y su posición sea estable y fija respecto de la viga. (Figuras 2.6, 2.7 y 2.8).

FIGURA 2. 6 DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS PARA ENSAYO A FLEJO-TRACCIÓN.



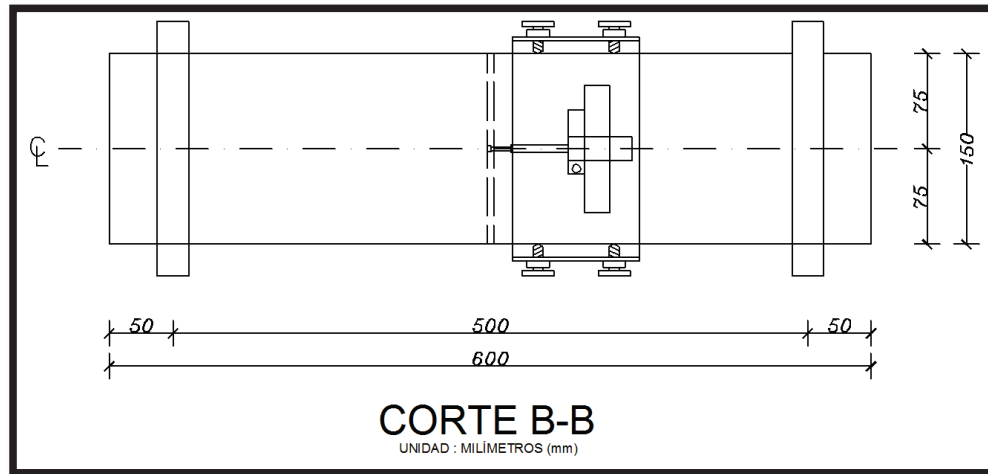
ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FIGURA 2. 7 CORTE A-A EN EL PLANO DE CARGA.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FIGURA 2. 8 CORTE B-B EN LA CARA DE APOYO.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Para tener una aplicación de carga uniforme, se verificó que tanto los rodillos, las bases y las caras de apoyo de los especímenes no tengan ningún tipo de material ajeno o rebabas que generen irregularidad.

El posicionamiento del espécimen de prueba se lo realizó dibujando líneas auxiliares que aseguraron el centrado de la viga entre apoyos y la perpendicular del eje longitudinal de la muestra respecto a eje de los rodillo de apoyo.

Previo al ensayo se determinó la longitud promedio del espécimen mediante dos mediciones a cada lado, también se midió la distancia entre los ejes longitudinales de los rodillos de apoyo para garantizar que sea la especificada.

2.2.3.3.2 Desarrollo ensayo a flexo-tracción

El inicio del proceso de carga se realizó cuando todos los rodillos estaban en contacto total con el espécimen de ensayo.

Para asegurar la posibilidad de toma de información se recomienda que se inicie el ensayo con una tasa fija de aumento de carga no mayor a 1.2 kN/min, esto

permite una fácil lectura de las CMOD en la pantalla de lectura. Una vez que el CMOD sea mayor a 1.0 mm, la tasa de carga se puede aumentar hasta 3.0 kN/min.

Ya que el equipo de medición de carga y el de medición de CMOD trabajan independientes entre sí, el procedimiento seguido fue la toma de lecturas, tanto de tiempo de ejecución y cargas aplicadas, a intervalos establecidos de deformación CMOD que permitieron la obtención de un diagrama adecuado de Carga vs. CMOD, para la toma de datos se empleó la Tabla 2.1.

Los intervalos establecidos de CMOD permitirán una visualización aproximada ya que incluye los CMOD de mayor interés.

TABLA 2. 1 TABLA PARA REGISTRO DE DATOS

DATOS		
CMOD (mm)	Tiempo (s)	Carga (kN)
0	0	0
0.01		
0.02		
0.03		
0.04		
0.05		
CMOD_{F1}=0.50		
0.60		
0.70		
0.80		
0.90		
1.00		
1.10		
1.20		
1.30		
1.40		
CMOD_{F2}=1.50		
1.60		
1.70		
1.80		
1.90		
2.00		
2.20		
CMOD_{F3}=2.50		
3.00		
CMOD_{F4}=3.50		
4.00		

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

El ensayo termina cuando se obtiene un valor de CMOD mayor de 4mm.

2.2.3.4 Manejo y Procesamiento de datos

2.2.3.4.1 Límite de Proporcionalidad (FRFL)

El FRFL obedece a la Ecuación 2.1 y se expresa en N/mm² con una aproximación de un decimal.

$$F_{RFL} = \frac{3 \cdot F_L \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} \quad (2.1.)$$

Donde:

l = Longitud del claro (mm)

b = Ancho del espécimen (mm)

h_{sp} = Altura efectiva (mm)

F_L = Carga máxima en el rango de CMOD de 0 a 0.05 mm (N) (Figura 2.9)

2.2.3.4.2 Resistencia residual a flexo-tracción (FRi)

La FRi obedece a la Ecuación 2.2 y se expresa en N/mm² con una aproximación de un decimal.

$$F_{Ri} = \frac{3 \cdot F_i \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} \quad (2.2.)$$

Donde

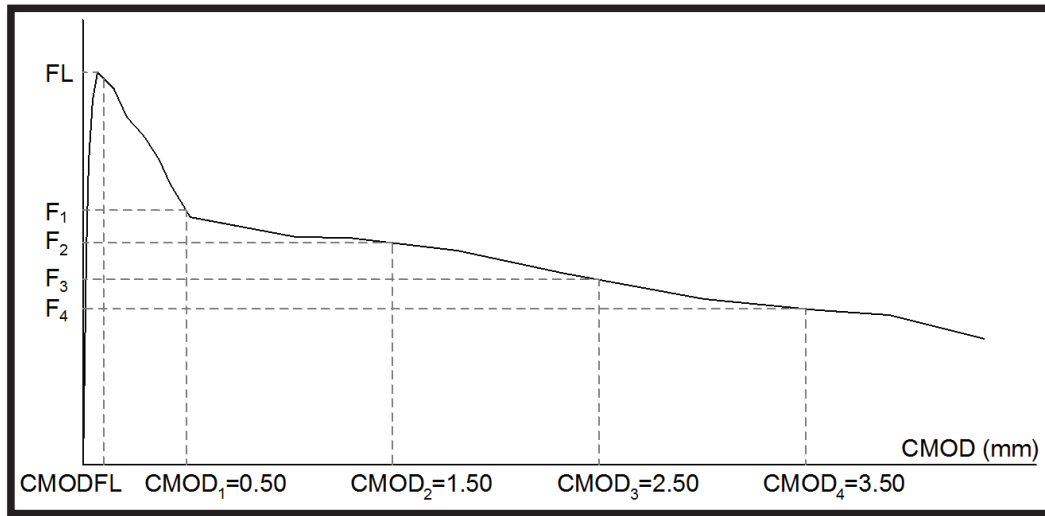
l = Longitud del claro (mm)

b = Ancho del espécimen (mm)

h_{sp} = Altura efectiva (mm)

F_{Ri} = Carga que corresponde a CMOD = CMODi (i=1,2,3,4) (N) (Figura 2.9)

FIGURA 2. 9 DIAGRAMA CARGA VS CMOD



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.
FUENTE: NMX-C-488-ONNCCE-2014

2.2.3.4.3 Equivalencia entre *CMOD* y la deflexión

Se puede aproximar la relación entre *CMOD* y la deflexión (δ) con la Ecuación 2.3.

$$\delta = 0.85 \text{ CMOD} + 0.04 \quad (2.3.)$$

2.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

El ensayo a compresión se realizó en especímenes cilíndricos de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura, curados por sumersión en agua durante 28 días. (NTE-INEN-1576, 2011).

Este ensayo cumplió con los parámetros definidos en el proceso detallado por la norma ASTM-C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, el ensayo consiste en la aplicación de fuerza constante de compresión axial en los cilindros, sin generar impacto, y a una tasa de carga de 0.25 MPa \pm 0.05 MPa hasta que ocurra la falla y se registra el valor máximo.

Debido a que el presente estudio centró su atención en la resistencia residual a flexión se recomienda remitirse a la norma ASTM-C39 para más características sobre el ensayo a compresión.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

3.1 AGUA

El agua es esencial para que el cemento desarrolle su capacidad ligante, esto sucede cuando el cemento se hidrata completamente, sólo se necesita de una parte del agua proporcionada a la mezcla para lograrlo, el resto se encarga de dar fluidez a la pasta para que los agregados se lubriquen y que la mezcla final tenga la trabajabilidad deseada (Luna, 2014).

Si el agua de mezclado es potable no existe inconveniente en utilizarla, como se indica en la Tabla 3.1. En caso de que el agua no sea potable se sugiere examinarla bajo los parámetros de la norma ASTM C1602/C1602-12: Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete.

TABLA 3. 1 FRECUENCIA DE ENSAYOS

Fuente de Agua		Densidad	Frecuencia de ensayo
Potable		No Ensayar	No Ensayar
No Potable		N/A	3 meses (4 anuales)
Agua de lavado (por densidad)	<1,01	Diario	6 meses (2 anuales)
	1,01-1,03		Mensual
	>1,03		Semanal

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FUENTE: ASTM C1602/C1602-12: Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete.

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), garantiza la calidad del agua potable en el Distrito Metropolitano de Quito mediante la comunicación del 5 de enero de 2016 en la cual indica:

“La EPMAPS es la primera empresa de agua potable que demuestra el cumplimiento de los 69 parámetros de la Norma INEN 1108, lo que se concluye luego de que el INEN verificó minuciosamente que existen controles sistemáticos que aseguran resultados conformes con esta Norma.” (EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO, 2016).

3.2 CEMENTO

En la presente investigación se utilizó el cemento puzolánico tipo IP ARMADURO, producido por el grupo UNACEM, que cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 490 y ASTM C 595, según lo indica la Ficha Técnica 4 adjunta en el Anexo No. 1.

Los ensayos que a continuación se detallan tienen como objeto encontrar las propiedades necesarias para el cálculo de las proporciones para la mezcla patrón, las pruebas realizadas fueron: Densidad real, densidades aparentes, consistencia normal y tiempos de fraguado del cemento.

3.2.1 DENSIDAD REAL

La densidad es la relación que existe entre el peso de un cuerpo y el volumen que ocupa en el espacio, existen dos tipos de densidades: real y aparente.

Cuando se habla de densidad real de un material no se está teniendo en cuenta los espacios llenos de aire que existen entre las partículas que conforman el material. En este caso se busca determinar el espacio que ocupa cada gramo de cemento en un m³ de hormigón.

Para encontrar la densidad real del cemento se siguió el procedimiento dado por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 156:2009: Cemento hidráulico. Determinación de la densidad. Siguiendo los pasos del método con el frasco de Le Chatelier y se empleó la Ecuación 3.1.

$$\delta_{REAL} = \frac{P_2 - P_1}{L_2 - L_1} \frac{gr}{cm^3} \quad (3.1.)$$

De donde:

δ_{REAL} = Densidad real, en gr/cm^3 .

P_1 = Peso del frasco con reactivo, en gr.

P_2 = Peso del frasco con reactivo y cemento, en gr.

L_1 = Lectura del frasco en el cuello inferior, en cm^3 .

L_2 = Lectura final del frasco en el cuello superior, en cm^3 .

FOTOGRAFÍA 3. 1 MUESTRA DE CEMENTO EN EL FRASCO DE LE CHATELIER



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

3.2.2 DENSIDADES APARENTES

La densidad aparente si considera los espacios vacíos entre partículas por lo que su valor respecto a la densidad real es mucho menor, este valor se lo emplea para las conversiones de volumen a masa y viceversa en el diseño de mezclas, y dependerá del estado en el que se encuentre el material, bien sea suelto o compactado.

El ensayo se realizó, adaptando al cemento, los pasos de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 858:2010: Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. Para encontrar la densidad aparente se vierte el cemento en un recipiente cilíndrico, el cual previamente se midió y pesó (P_1, \emptyset, h), el material se agrega hasta llenar completamente el envase, se toma nuevamente el peso del recipiente pero esta vez con el material (P_{2S}), ya que el volumen interno del recipiente es el mismo que el del material, se encuentra la densidad relacionando el peso con el volumen.

La densidad aparente compactada se la determina de una manera similar, la diferencia radica en que el material se introduce en dos capas de igual volumen, después de cada una estas se compacta el cemento dejando caer el recipiente desde una altura de no más de dos centímetros y se pesa (P_{2C}).

Se calculan las densidades suelta y compactada con las Ecuaciones 3.2 y 3.3.

$$\delta_{suelta} = \frac{W_{cs}}{V_r} = \frac{4 * (P_{2S} - P_1)}{\pi * \emptyset^2 * h} \quad (3. 2.)$$

$$\delta_{compactada} = \frac{W_{cc}}{V_r} = \frac{4 * (P_{2C} - P_1)}{\pi * \emptyset^2 * h} \quad (3. 3.)$$

De donde:

δ_{suelta} = Densidad aparente suelta del cemento, en gr/cm^3 .

$\delta_{compactada}$ = Densidad aparente compactada del cemento, en gr/cm^3 .

W_{cs} = Peso del cemento suelto, en gr. ($P_{2S} - P_1$).

W_{cc} = Peso del cemento compactado, en gr. ($P_{2C} - P_1$).

V_r = Volumen del recipiente.

FOTOGRAFÍA 3. 2 ENSAYO PARA DETERMINAR LAS DENSIDADES SUELTA Y COMPACTADA DEL CEMENTO



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

3.2.3 CONSISTENCIA NORMAL

La consistencia normal se define como el estado de humedad al cual llega una cantidad de cemento una vez que todas y cada una de sus partículas se encuentran hidratadas, alcanzando así una fluidez y plasticidad óptimas. Se la representa como la relación entre el peso de agua necesario para hidratar todas las partículas, sobre el peso del cemento, expresado en porcentaje mediante la Ecuación 3.4.

$$C\% = \frac{M_a}{M_c} \times 100 \quad (3.4.)$$

Dónde:

C% = consistencia normal en %.

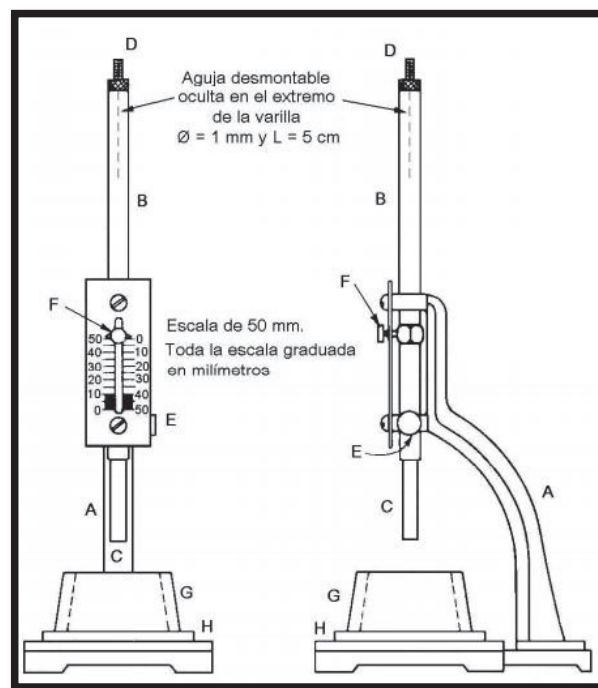
M_a = peso de agua en gramos.

M_c = peso de cemento seco en gramos.

El valor de la consistencia normal está entre 20% y 30% en cemento Portland, pero puede verse afectado debido a las impurezas añadidas al cemento, así como también al agua absorbida del ambiente. (Luna, 2014).

Se realiza el procedimiento dado por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 157:2009: Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat.

FIGURA 3. 1 APARATO VICAT (CONSISTENCIA NORMAL)



FUENTE: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 157:2009

Se alcanza la consistencia normal cuando la sonda Tetmayer penetró $10 \pm 1 \text{ mm}$ en la pasta, luego de 30 segundos de haber soltado el vástago del aparato Vicat.

3.2.4 TIEMPOS DE FRAGUADO

El fraguado es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad de la pasta agua cemento, éste inicia cuando el cemento entra en contacto con el agua, sin embargo el estado de fraguado inicial se lo define de manera convencional como el instante en el que la mezcla pierde su plasticidad de manera significativa y se torna difícil su manipulación; en cambio el estado de fraguado final llega cuando la pasta pierde totalmente su plasticidad y es capaz de soportar su propio peso, en otras palabras, se llega al final del fraguado cuando la pasta se solidifica.

El ensayo para determinar los tiempos de fraguado de un cemento está dado por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 158:2009. Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat.

El tiempo inicial de fraguado se da cuando la aguja de Vicat penetra $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ en 30 segundos y el tiempo final cuando la aguja no dejó huella perceptible en la superficie de la pasta.

FOTOGRAFÍA 3. 3 APARATO VICAT (TIEMPOS DE FRAGUADO)



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

3.3 AGREGADOS

Los ensayos en agregados se los realizan por dos motivos:

- Verificar que los agregados puedan ser usados como componentes del hormigón, para eso deben cumplir con los requisitos mencionados en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 872:2011: Áridos para hormigón. Requisitos.
- Caracterizar los materiales para el diseño de la mezcla del hormigón patrón.

Entre los ensayos practicados se encuentran: granulometría, densidades aparentes, pesos específicos y absorción; además se analizó el contenido de materia orgánica en el agregado fino y se determinó el coeficiente de desgaste en el agregado grueso. Cada uno de los ensayos mencionados, tanto para el agregado fino como para el agregado grueso, se realizaron con tres muestras diferentes, tomadas del lote adquirido de la mina de Holcim.

3.3.1 GRANULOMETRÍA

La granulometría es el análisis de la distribución del tamaño de las partículas que componen al agregado, ésta se la realizó mediante el procedimiento descrito en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 696:2011: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.

FOTOGRAFÍA 3. 4 GRANULOMETRÍA EN AGREGADOS



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Este ensayo consiste en pasar el material por una serie de tamices ordenados en forma decreciente según sus diferentes tamaños de aberturas, se anota el peso retenido en cada tamiz y se encuentra el porcentaje de material que pasa por cada tamiz con las Ecuaciones 3.5, 3.6 y 3.7:

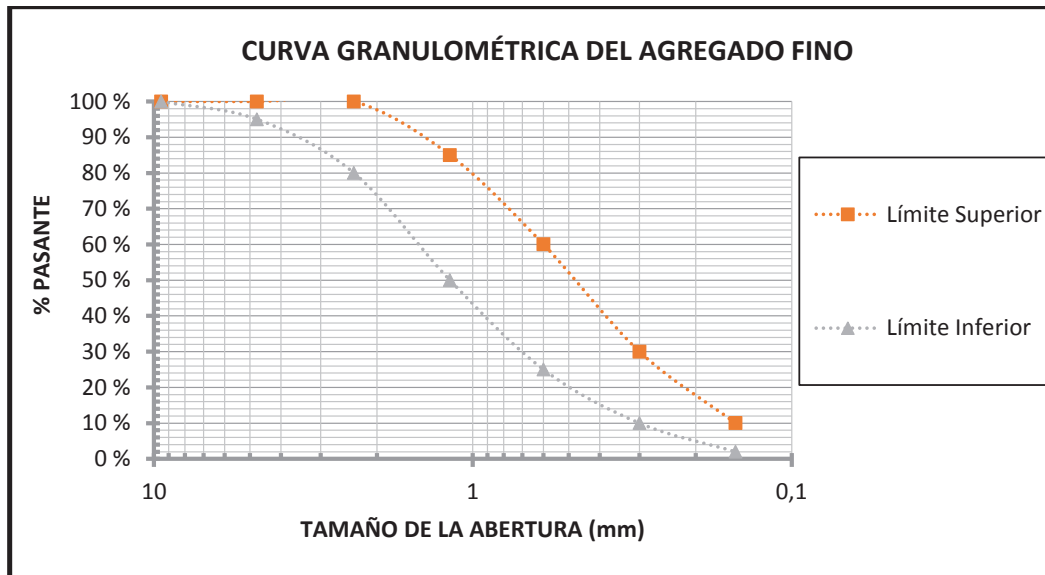
$$\%Retenido = \frac{\text{peso retenido en cada tamiz} \times 100}{\text{peso total de la muestra}} \quad (3.5.)$$

$$\%Retenido acumulado = \frac{\sum \% \text{ retenidos en cada tamiz}}{100} \quad (3.6.)$$

$$\%Que \text{ pasa} = 100\% - \%Retenido acumulado \quad (3.7.)$$

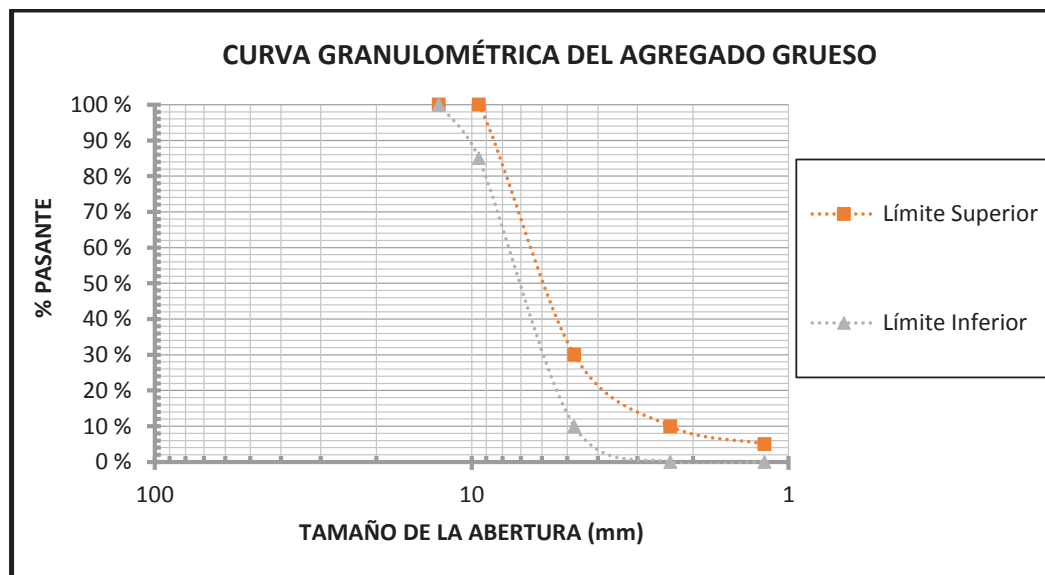
Una vez conocido el porcentaje que pasa, se grafica la curva granulométrica en una hoja semilogarítmica, colocando en el eje de las abscisas (escala logarítmica) el tamaño de la abertura del tamiz y en el eje de las ordenadas (escala aritmética) su correspondiente porcentaje que pasa. El material deberá cumplir con los requisitos de gradación de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 872:2011: Áridos para hormigón. Requisitos. Para esto la curva granulométrica deberá estar dentro de los límites establecidos. (Gráficos 3.1 y 3.2).

GRÁFICO 3. 1 LÍMITES PARA CUMPLIR CON LOS REQUISITOS DE GRADACIÓN DEL AGREGADO FINO.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.
FUENTE: NTE INEN 872: Áridos para hormigón. Requisitos.

GRÁFICO 3. 2 LÍMITES PARA CUMPLIR CON LOS REQUISITOS DE GRADACIÓN DEL AGREGADO GRUESO.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.
FUENTE: NTE INEN 872: Áridos para hormigón. Requisitos.

Con este ensayo se encuentran los siguientes parámetros:

- El tamaño máximo (TM) de un árido, es la abertura más pequeña de tamiz a través de la cual debe pasar la totalidad del árido.
- El tamaño máximo nominal (TMN) de un árido, es la abertura más grande de tamiz en la que se retiene algo de material.
- El porcentaje más fino que 75 µm (tamiz 200), este valor debe ser menor al 5% para fabricar hormigones no sometidos a abrasión.
- El módulo de finura se lo define como el índice aproximado que describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen, se lo calcula con la Ecuación 3.8.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum. de los tamices de la serie de Tyler}}{100} \quad (3.8.)$$

Donde los tamices de la serie de Tyler son:

75,00 mm (3"), 37,50 mm (1 1/2"), 19,00 mm (3/4"), 9,50 mm (3/8"), 4,75 mm (No. 4), 2,36 mm (No. 8), 1,18 mm (No. 16), 0,60 mm (No. 30), 0,30 mm (No. 50), 0,15 mm (No. 100).

3.3.2 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.

El peso específico y la absorción de los agregados se encontraron mediante el procedimiento descrito en las siguientes normas:

- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 856:2010: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.

FOTOGRAFÍA 3. 5 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 857:2010: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.

FOTOGRAFÍA 3. 6 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

En el proceso de dosificar hormigones, es fundamental conocer estas dos propiedades con el fin de encontrar las cantidades necesarias para obtener un cierto volumen de mezcla. Con este ensayo se busca conocer el espacio que ocupan cada uno de los agregados utilizados en esta investigación. Dado que tanto el agregado fino como el grueso están en la capacidad de absorber agua, es necesario conocer el porcentaje de absorción de cada uno, para que al realizar la mezcla, la relación agua-cemento no se vea afectada y por ende tampoco la resistencia.

En el Agregado Fino se encuentra el peso específico y la absorción mediante las Ecuaciones 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12:

$$W_{ms} = W_{r+ms} - W_r \quad (3.9.)$$

$$\gamma_f = \frac{W_{ms}}{W_{p+a} + W_{S.S.S.} - W_{p+a+m}} \quad (3.10.)$$

$$\delta_{fS.S.S.} = \frac{W_{S.S.S.}}{W_{p+a} + W_{S.S.S.} - W_{p+a+m}} \quad (3.11.)$$

$$\%Absorción = \frac{W_{S.S.S.} - W_{ms}}{W_{ms}} \times 100 \quad (3.12.)$$

Dónde:

γ_f = Peso específico del agregado fino.

$\delta_{fS.S.S.}$ = Densidad S.S.S. del agregado fino.

W_{p+a} = Peso del picnómetro lleno de agua hasta la línea de aforo.

$W_{S.S.S.}$ = Peso del material en estado S.S.S.

W_{p+a+m} = Peso del picnómetro más agua más material S.S.S.

W_r = Peso del recipiente.

W_{r+ms} = Peso del recipiente más muestra seca.

W_{ms} = Peso de la muestra seca.

En el Agregado Grueso se encuentra el peso específico y la absorción mediante las Ecuaciones 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 y 3.17.

$$W_{Ms} = W_{r+Ms} - W_r \quad (3.13.)$$

$$W_{Msum} = W_{C+Msum} - W_C \quad (3.14.)$$

$$\gamma_g = \frac{W_{Ms}}{W_{S.S.S.} - W_{Msum}} \quad (3.15.)$$

$$\delta_{g.S.S.S.} = \frac{W_{S.S.S.}}{W_{S.S.S.} - W_{Msum}} \quad (3.16.)$$

$$\%Absorción = \frac{W_{S.S.S.} - W_{Ms}}{W_{Ms}} \times 100 \quad (3.17.)$$

Dónde:

γ_g = Peso específico del agregado grueso.

$\delta_{g.S.S.S.}$ = Densidad S.S.S. del agregado grueso.

W_C = Peso de la canastilla sumergida.

$W_{S.S.S.}$ = Peso del material en estado S.S.S.

W_{C+Msum} = Peso de la canastilla más el material sumergido.

W_{Msum} = Peso de la muestra sumergido.

W_r = Peso del recipiente.

W_{r+Ms} = Peso del recipiente más muestra seca.

W_{Ms} = Peso de la muestra seca.

3.3.3 DENSIDADES APARENTES

Los ensayos de densidades aparentes en los agregados, al igual que en el cemento, son de utilidad para cambiar los volúmenes a masa. Los ensayos se realizaron bajo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 858:2010: Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.

FOTOGRAFÍA 3. 7 DENSIDADES APARENTES DEL AGREGADO FINO.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FOTOGRAFÍA 3. 8 DENSIDADES APARENTES DEL AGREGADO GRUESO.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Para encontrar las densidades suelta y compactada de los agregados se emplean las Ecuaciones 3.18 y 3.19.

$$\delta_{\text{aparente suelta}} = \frac{W_{r+msuelto} - W_r}{V} \quad (3.18.)$$

$$\delta_{\text{aparente compactada}} = \frac{W_{r+mcomp} - W_r}{V} \quad (3.19.)$$

Dónde:

- $\delta_{\text{aparente suelta}}$ = Densidad aparente suelta.
- $\delta_{\text{aparente compactada}}$ = Densidad aparente compactada.
- W_r = Peso del recipiente vacío.
- $W_{r+msuelto}$ = Peso del recipiente más material suelto.

- $W_{r+mcomp}$ = Peso del recipiente más material compactado.
- V = Volumen del recipiente.

3.3.4 CONTENIDO ORGÁNICO

Este ensayo se lo realizó únicamente en el agregado fino, con el fin de determinar si la cantidad de materia orgánica existente está dentro de los parámetros permitidos por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 855:2010: Áridos. Determinación de impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón. Para esto se utilizó el método descrito en la misma norma y se verificó que el color producido no sea más oscuro que el normalizado, este es el número de orden 3 en el comparador.

En una botella de vidrio graduada se mezcló 130 ml de material con 70 ml de una solución de hidróxido de sodio al 3%, usada como reactivo, y se dejó reposar 24 horas. Luego del tiempo indicado se compara la coloración del agua sobre el Agregado Fino.

TABLA 3. 2 COLORES DE COMPARACIÓN

Color normalizado escala de Gardner No.	Número de orden en el comparador
5	1
8	2
11	3 (normalizado de referencia)
14	4
16	5

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FUENTE: NTE INEN 855:2010 Áridos. Determinación de impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.

FOTOGRAFÍA 3. 9 CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN EL AGREGADO FINO



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

3.3.5 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Este ensayo busca determinar la dureza del Agregado Grueso ante una carga abrasiva producida por la interacción entre el material y cierto número de esferas de acero dentro de un tambor giratorio, el ensayo se lo realizó bajo el procedimiento de la norma NTE INEN 860: Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de Los Ángeles. Para que el agregado grueso cumpla con los requerimientos de la norma técnica ecuatoriana este no puede tener un desgaste mayor al 50%.

FOTOGRAFÍA 3. 10 MÁQUINA “LOS ÁNGELES”.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

El material se separa mediante tamizado en rangos de tamaño, para luego recombinarlas y obtener una de las gradaciones de la Tabla 3.3. Una vez recombinado el material se lo somete a la carga de abrasión correspondiente según la Tabla 3.4 y se gira la máquina 500 revoluciones según lo indica la norma.

TABLA 3. 3 GRADACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO.

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (gr)			
		Gradación			
Pasante	Retenido	A	B	C	D
37,5	25,0	1250 ± 25			
25,0	19,0	1250 ± 25			
19,0	12,5	1250 ± 10	2500 ± 10		
12,5	9,5	1250 ± 10	2500 ± 10		
9,5	6,3			2500 ± 10	
6,3	4,8			2500 ± 10	
4,8	2,4				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FUENTE: NTE INEN 860: Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles.

TABLA 3. 4 CARGA ABRASIVA EN FUNCIÓN DE LA GRADACIÓN.

Gradación	Número de esferas	Masa de carga (gr)
A	12	5000 ± 10
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FUENTE: NTE INEN 860: Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles.

El porcentaje de pérdida o desgaste se calcula con la Ecuación 3.20.

$$V = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (3. 20.)$$

Donde:

- V = Porcentaje de pérdida o desgaste (%).
- A = Peso original de la muestra antes del ensayo.
- B = Peso de la muestra luego del ensayo y tamizado (retenido en el No. 12).

3.4 FIBRAS

3.4.1 EFECTOS SOBRE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN

El fabricante declara la dosis mínima en kilogramos de fibra por metro cúbico de hormigón (kg/m^3), que permita alcanzar el comportamiento que se detalla en la Tabla 3.5.

TABLA 3. 5 REQUERIMIENTO DE RESISTENCIA RESIDUAL A LA FLEXIÓN.

Resistencia Residual a Flexión	CMOD
FR1 = 1,5 N/mm ²	0,50 mm
FR4 = 1,0 N/mm ²	3,50 mm

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.
FUENTE: NMX-C-488-ONNCCE-2014

El desempeño a tracción del hormigón reforzado con fibras (HRF) se evalúa en función de los valores de la resistencia residual a la flexión F_{Ri} , esta resistencia se define por la curva de desplazamiento de la abertura de la boca de la ranura (CMOD) obtenida al aplicar una carga en el punto central del espécimen simplemente apoyado.

Adicional a los requerimientos en la Tabla 3.5, para que las fibras puedan ser consideradas como “estructurales”, el valor de la resistencia residual F_{R1} , correspondiente a un CMOD = 0,5 mm, no debe ser menor al 40% del límite de

proporcionalidad F_{RFL} , y el valor de la resistencia residual F_{R4} correspondiente a un $CMOD = 3,5$ mm no debe ser menor al 20% del límite de proporcionalidad F_{RFL} . (Majoral, Berge, & Ribeiro, 2011).

3.4.2 FIBRAS DE ACERO (FA)

Para el estudio se utilizó las fibras DRAMIX RC-65/35-BN cuyas características se muestran a continuación en base a la Ficha Técnica 1, (Anexo No. 1) (BEKAERT, 2009).

TABLA 3. 6 PROPIEDADES DE LAS FIBRAS DE ACERO

DRAMIX RC-65/35-BN
Resistencia a Tensión: 1345 MPa ($\pm 7,5\%$ Promedio)
Módulo de elasticidad: 210000 MPa
Longitud de fibra: 35 mm
Diámetro: 0,55 mm
Relación de aspecto: 65
Terminado: Brillante
Contenido de Carbón: Bajo
Dosis mínima recomendada: 15 kg/m ³
Presentación: Engomada
Anclaje: Dobleces en ambos extremos
Certificaciones: CE, ASTM A820, ISO 9001, ISO 14001

ELABORADO POR: FRANCISCO RAMÍREZ Y JOSÉ ANTONIO SAMANIEGO.
FUENTE: HOJA TÉCNICA DRAMIX RC-65/35-BN.

FOTOGRAFÍA 3. 11 FIBRAS DE ACERO DRAMIX RC-65/35-BN.



ELABORADO POR: FRANCISCO RAMÍREZ Y JOSÉ ANTONIO SAMANIEGO.

3.4.3 FIBRAS DE POLIPROPILENO/POLIETILENO (FPP).

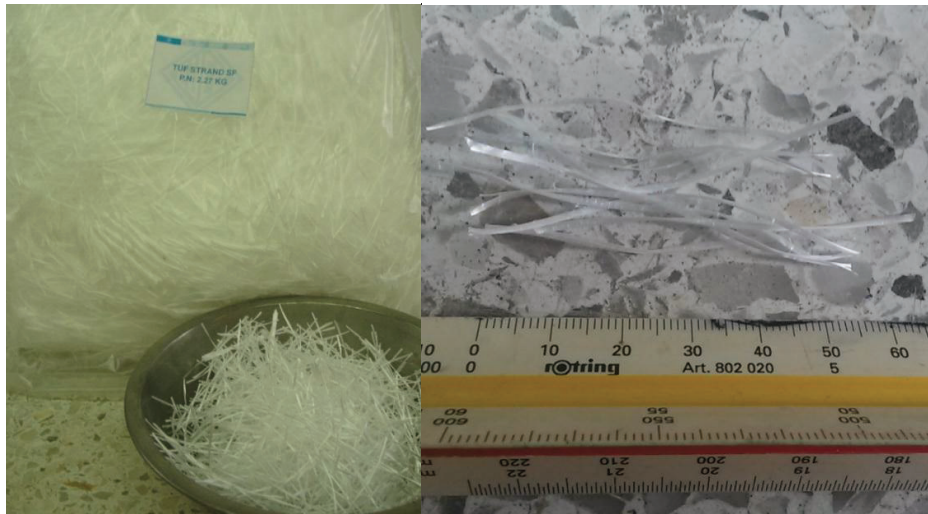
Para el estudio se utilizó la fibra TUF-STRAND SF, a continuación se listan las propiedades descritas en la Ficha Técnica 2, (Anexo No. 1). (Euclid Chemical Toxement, 2011).

TABLA 3. 7 PROPIEDADES DE LA FIBRA TUF-STRAND SF

TUF-STRAND SF
Gravedad Específica: 0,92
Resistencia a Tensión: 600 - 650 MPa
Módulo de elasticidad: 9500 MPa
Longitud de fibra: 50 mm
Absorción de agua: Despreciable
Resistencia a álcalis: Excelente
Resistencia a ácidos: Excelente
Resistencia a moho – hongos: Excelente
Dosis recomendada: 1,8 - 12 kg/m ³

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.
FUENTE: Hoja Técnica Euclid TUF-STRAND SF.

FOTOGRAFÍA 3. 12 FIBRAS DE POLIPROPILENO/POLIETILENO TUF – STRAND SF.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

CAPÍTULO 4

ESPECÍMENES PARA ENSAYO

4.1 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PATRÓN

El objetivo principal del presente estudio es la comparación del comportamiento de las fibras metálicas y sintéticas ante esfuerzos de flexotracción, para lo cual es necesario que el hormigón receptor no sea una variable significativa al momento de ensayar las probetas, por lo tanto, todas las probetas se fabricaron con la misma dosificación de tal forma que los factores más importantes que marquen una diferencia sean el tipo y la cantidad de fibra que se le añade a la mezcla.

La proporción en la que se mezclaron el agua, el cemento y los agregados, para obtener el hormigón patrón, se la encontró empleando el método recomendado por el American Concrete Institute (ACI 318S, 2008), el cual es un método empírico que determina la dosificación en función de tablas las que indican las relaciones básicas entre los componentes, dicho método necesita de la información descrita en las Tablas 4.1 y 4.2, una vez que se ha verificado que los agregados cumplan con las normas locales para su uso en el hormigón.

TABLA 4. 1 PROPIEDADES DEL CEMENTO

Propiedades del CEMENTO		
Densidad Real		3,07 gr/cm ³
Densidades Aparentes	Suelta	1,03 gr/cm ³
	Compactada	1,26 gr/cm ³
Lafarge ARMADURO		

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

TABLA 4. 2 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Propiedad	Fino	Grueso
Tamaño máximo nominal	-	3/8"
Módulo de finura	2,56	6,06
Peso Específico	2,35 gr/cm ³	2,39 gr/cm ³
Peso Específico SSS	2,48 gr/cm ³	2,49 gr/cm ³
Absorción de Agua	5,56%	4,41%
Densidad Aparente Suelta	1,55 gr/cm ³	1,19 gr/cm ³
Densidad Aparente Compactada	1,68 gr/cm ³	1,32 gr/cm ³

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Es importante aclarar que los agregados fueron tomados en estado seco, de tal forma que no se van a tener correcciones por humedad natural.

Los datos de partida fueron la resistencia esperada a los 28 días y el asentamiento; en el presente estudio se eligió la resistencia de $f'c = 24$ MPa (≈ 240 kg/cm²), debido a su uso cada vez más frecuente en las construcciones de nuestro medio. (UNACEM, 2015). El asentamiento elegido fue de 8 cm ya que es el mínimo exigido para el uso de las fibras TUF-STRAND como lo indica la Ficha Técnica 3 (Anexo No. 1).

Siguiendo el método se obtuvieron las cuantías necesarias de los materiales para obtener la resistencia ya mencionada:

TABLA 4. 3 DOSIFICACIÓN FINAL PARA EL HORMIGÓN PATRÓN.

Dosificación al peso corregido por absorción			
a/c	Cemento	Arena	Ripio
0,66	1,00	1,94	1,26
Cantidad final para 0,0481 m ³			
AGUA	CEMENTO	ARENA	RIPIO
14,620 kg	22,240 kg	43,119 kg	27,987 kg

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Las cantidades finales fueron calculadas para la fundición de 3 vigas de 15x15x60 cm y 4 cilindros de 10x20 cm, además de un 3 % de desperdicio dando un total de 0,05 m³ de hormigón.

El proceso completo para encontrar la dosificación patrón se lo puede revisar en el Anexo No. 2.

4.2 DOSIFICACIÓN DE FIBRAS

4.2.1 FIBRAS DE ACERO DRAMIX RC-65/35-BN

Se eligieron 3 dosificaciones para las fibras de acero: la mínima recomendada, 15 kg/m³ como se mencionó en la Tabla 3.6, la dosis óptima de 20 kg/m³ (Collazos, 2015) y una dosis más alta a las dos anteriores igual a 25 kg/m³.

TABLA 4. 4 DOSIFICACIÓN FINAL PARA FIBRAS DRAMIX RC-65/35-BN.

FIBRA DRAMIX RC-65/35- BN	Dosis para 1 m ³ de hormigón	Cantidad final para cada mezcla de 0,0481 m ³
	15 kg/m ³	0,750 kg
	20 kg/m ³	1,000 kg
	25 kg/m ³	1,250 kg

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

4.2.2 FIBRAS DE FIBRAS DE POLIPROPILENO/POLIETILENO TUF-STRAND SF.

Como ya se mencionó en la Tabla 3.7 la dosis recomendada varía entre 1,8 a 12 kg/m³. La fibra de TUF-STRAND SF aumenta la resistencia a la flexotracción a partir de 2 kg/m³, llegando a un aporte óptimo a los 5 kg/m³ (Guamán & Pilatasig, 2015), se eligieron 3 dosis cercanas al valor óptimo, una menor y dos mayores:

TABLA 4. 5 DOSIFICACIÓN FINAL PARA FIBRAS TUF-STRAND SF.

FIBRA TUF-STRAND SF	Dosis para 1 m ³ de hormigón	Cantidad final para cada mezcla de 0,0481 m ³
	4 kg/m ³	0,200 kg
	6 kg/m ³	0,300 kg
	8 kg/m ³	0,400 kg

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

4.3 IDENTIFICACIÓN

Los elementos se identificaron por la fecha y por el número de lote, en cada uno de los cuales se elaboraron 3 vigas y 4 cilindros. En el caso de las probetas de HRF se tomó en cuenta también el tipo y la dosis de fibra de su elaboración. A continuación se detalla la identificación de los especímenes elaborados:

TABLA 4. 6 IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS PATRÓN (SIN FIBRAS).

ID del Lote	Fecha de fábrica	IDENTIFICACIÓN			Fecha de rotura
		Tipo de fibra	Núm. de probeta	Dosis por m ³ de hormigón	
PATRÓN	10/9/2015	***	1	0 kg/m ³	8/10/2015
	10/9/2015	***	2	0 kg/m ³	8/10/2015
	10/9/2015	***	3	0 kg/m ³	8/10/2015
PATRÓN	11/9/2015	***	4	0 kg/m ³	9/10/2015
	11/9/2015	***	5	0 kg/m ³	9/10/2015
	11/9/2015	***	6	0 kg/m ³	9/10/2015

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

TABLA 4. 7 IDENTIFICACIÓN DE ESPECÍMENES REFORZADOS CON FIBRAS.

ID del Lote	Fecha de fábrica	IDENTIFICACIÓN			Fecha de rotura
		Tipo de fibra	Núm. de probeta	Dosis por m ³ de hormigón	
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 20 kg/m ³	14/9/2015	DRAMIX	1	20 kg/m ³	12/10/2015
	14/9/2015	DRAMIX	2	20 kg/m ³	12/10/2015
	14/9/2015	DRAMIX	3	20 kg/m ³	12/10/2015
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 20 kg/m ³	15/9/2015	DRAMIX	4	20 kg/m ³	13/10/2015
	15/9/2015	DRAMIX	5	20 kg/m ³	13/10/2015
	15/9/2015	DRAMIX	6	20 kg/m ³	13/10/2015
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 25 kg/m ³	16/9/2015	DRAMIX	1	25 kg/m ³	14/10/2015
	16/9/2015	DRAMIX	2	25 kg/m ³	14/10/2015
	16/9/2015	DRAMIX	3	25 kg/m ³	14/10/2015
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 25 kg/m ³	18/9/2015	DRAMIX	4	25 kg/m ³	16/10/2015
	18/9/2015	DRAMIX	5	25 kg/m ³	16/10/2015
	18/9/2015	DRAMIX	6	25 kg/m ³	16/10/2015
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 15 kg/m ³	21/9/2015	DRAMIX	1	15 kg/m ³	19/10/2015
	21/9/2015	DRAMIX	2	15 kg/m ³	19/10/2015
	21/9/2015	DRAMIX	3	15 kg/m ³	19/10/2015
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 15 kg/m ³	23/9/2015	DRAMIX	4	15 kg/m ³	21/10/2015
	23/9/2015	DRAMIX	5	15 kg/m ³	21/10/2015
	23/9/2015	DRAMIX	6	15 kg/m ³	21/10/2015
HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³	25/9/2015	TUF STRAND	1	8 kg/m ³	23/10/2015
	25/9/2015	TUF STRAND	2	8 kg/m ³	23/10/2015
	25/9/2015	TUF STRAND	3	8 kg/m ³	23/10/2015
HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³	28/9/2015	TUF STRAND	4	8 kg/m ³	26/10/2015
	28/9/2015	TUF STRAND	5	8 kg/m ³	26/10/2015
	28/9/2015	TUF STRAND	6	8 kg/m ³	26/10/2015
HRF TUF STRAND SF 6 kg/m ³	29/9/2015	TUF STRAND	1	6 kg/m ³	27/10/2015
	29/9/2015	TUF STRAND	2	6 kg/m ³	27/10/2015
	29/9/2015	TUF STRAND	3	6 kg/m ³	27/10/2015

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

TABLA 4. 7 CONTINUACIÓN

Núm. de lote	Fecha de fábrica	IDENTIFICACIÓN			Fecha de rotura
		Tipo de fibra	Núm. de probeta	Dosis por m ³ de hormigón	
HRF TUF STRAND SF 6 kg/m³	30/9/2015	TUF STRAND	4	6 kg/m ³	28/10/2015
	30/9/2015	TUF STRAND	5	6 kg/m ³	28/10/2015
	30/9/2015	TUF STRAND	6	6 kg/m ³	28/10/2015
HRF TUF STRAND SF 4 kg/m³	1/10/2015	TUF STRAND	1	4 kg/m ³	29/10/2015
	1/10/2015	TUF STRAND	2	4 kg/m ³	29/10/2015
	1/10/2015	TUF STRAND	3	4 kg/m ³	29/10/2015
HRF TUF STRAND SF 4 kg/m³	2/10/2015	TUF STRAND	4	4 kg/m ³	30/10/2015
	2/10/2015	TUF STRAND	5	4 kg/m ³	30/10/2015
	2/10/2015	TUF STRAND	6	4 kg/m ³	30/10/2015

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

CAPÍTULO 5

DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES

5.1.1 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA PATRÓN.

La mezcla se realizó manualmente mediante volteo con el uso de palas. Siguiendo la recomendación del personal técnico del LEMSUR-EPN se inició mezclando el agregado fino y el cemento durante 5 minutos hasta obtener un material de apariencia homogénea, a continuación se incluyó el agregado grueso y se mezcló 5 minutos más, una vez obtenida una masa uniforme de sólidos se agregó el agua de forma gradual, este proceso final duró 15 minutos. Tiempo total de mezclado 25 minutos.

5.1.2 HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (HRFA)

Debido a que la presentación comercial de las fibras DRAMIX RC-65/35-BN es engomada entre sí para formar pequeños paquetes, se reservó un litro de agua de la mezcla patrón con el fin de disolver la goma y que éstas queden separadas individualmente.

FOTOGRAFÍA 5. 1 FIBRAS DE ACERO DRAMIX RC-65/35-BN EN HORMIGÓN FRESCO.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Una vez separadas las fibras se añadieron gradualmente a la mezcla patrón para que éstas se distribuyan de manera uniforme. El proceso de distribución y mezcla de las fibras tuvo una duración promedio de 5 minutos adicionales.

5.1.3 HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO (HRFP)

Las fibras TUF-STRAND SF vienen en presentación individual por lo que se distribuyeron directamente sobre la mezcla patrón de forma gradual para lograr una distribución uniforme en el hormigón. La duración de este proceso fue igual a la del numeral 5.1.2.

FOTOGRAFÍA 5. 2 HRFP ANTES DEL MEZCLADO FINAL.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

5.1.4 PROBETAS CILÍNDRICAS

En cada lote se elaboraron cuatro cilindros para comprobar que el hormigón cumpla con el f_c de diseño igual a 24MPa ($\approx 240 \text{ kg/cm}^2$). El moldeo de cilindros seguirá el procedimiento indicado en el numeral 5.6 de la norma NTE INEN 1576:2011: Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes de ensayo.

FOTOGRAFÍA 5. 3 MOLDES PARA PROBETAS CILÍNDRICAS.

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FOTOGRAFÍA 5. 4 ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS.

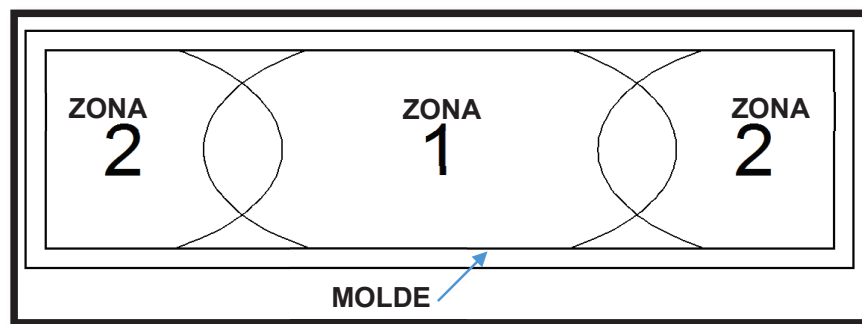
ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Dado que el agregado grueso utilizado tiene un tamaño máximo nominal igual a 0,95 cm (3/8"), los cilindros utilizados (10 x 20 cm) son aceptables según la norma.

5.1.5 ELABORACIÓN Y CURADO DE VIGAS

En primera instancia se procedió a llenar el molde de cada espécimen hasta el 90% de su altura, de tal forma que en el centro se colocó la primera mitad del vaciado (ZONA 1 en la Figura 5.1) y, en partes iguales, se distribuyó la segunda mitad del vaciado en los extremos del molde antes de su compactación. (ZONAS 2 de la Figura 5.1).

FIGURA 5. 1 VACIADO DE HORMIGÓN CON FIBRAS EN EL MOLDE.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.
FUENTE: NMX-C-488-ONNCCE-2014

A continuación se sobre llenó el molde en las mismas proporciones de la primera etapa, se volvió a compactar y en última instancia se niveló. Las dos compactaciones se realizaron por medio de vibración externa con ayuda de una mesa vibradora marca SYNTRON, modelo SCR-2 durante 15 segundos cada una.

FOTOGRAFÍA 5. 5 ELABORACIÓN DE VIGAS.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

El curado por inmersión en agua tuvo una duración de 28 días, éste proceso se interrumpió antes de cumplir los 24 días durante unos minutos para realizar las ranuras en cada espécimen. Luego de ser ranurados, los especímenes volvieron al tanque de curado. Todos los especímenes fueron curados hasta 3 horas antes de realizar el ensayo.

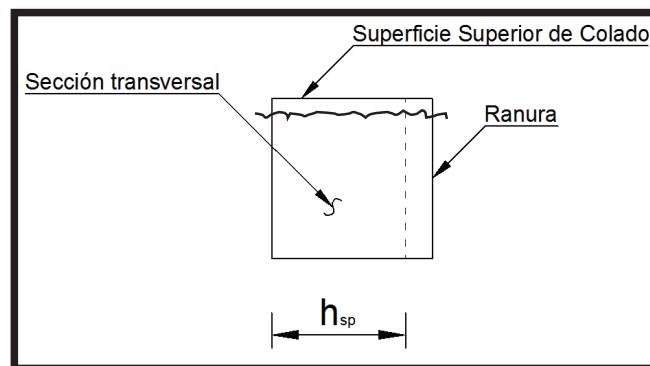
FOTOGRAFÍA 5. 6 CURADO DE VIGAS.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Se utilizó el aserrado en húmedo con el equipo del apartado 2.2.3.1.1 para realizar las ranuras en todos los especímenes de ensayo. La ranura se realizó en la superficie lateral de colado una vez endurecido, y a través del ancho de la viga a la mitad de su longitud (Figura 5.2).

FIGURA 5. 2 POSICIÓN DE LA RANURA ASERRADA EN EL ESPÉCIMEN.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.
FUENTE: NMX-C-488-ONNCCE-2014.

El ancho de la ranura no excedió los 5 mm y tuvo una profundidad de $25\text{mm} \pm 1$ mm, es decir que la altura efectiva (h_{sp}) fue de 125 mm con variación de ± 1 mm.

FOTOGRAFÍA 5. 7 CORTE DE LAS RANURAS DE LOS ESPECÍMENES.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

5.2 ENSAYO DE ESPECÍMENES

5.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La verificación de la resistencia del hormigón se realiza bajo el procedimiento de la norma NTE INEN 1573: Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. En la Tabla 5.1 se puede ver el resumen de los resultados promedio obtenidos sobre los cuatro especímenes de prueba, a la edad de 28 días, la información completa de datos empleada para este efecto se encuentra en el Anexo No. 3.

TABLA 5. 1 RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN HORMIGÓN PATRÓN.

ENSAYO A COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN PATRÓN						
ID del Lote	Fecha de Fábrica	Tipo de fibra	Dosis por m^3 de hormigón	Resistencia Promedio (MPa)	Resistencia Promedio (kg/cm^2)	f'_c Característico (kg/cm^2)
PATRÓN	10/09/15	Ninguna	0 kg/m^3	23,1	235,8	236.7
PATRÓN	11/09/15	Ninguna	0 kg/m^3	23,3	237,5	

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Los valores de las resistencias obtenidas indican que el hormigón está dentro del rango de tolerancia admisible según la norma INEN 1573 ($f'c \pm 10,2\%$), cumpliendo así con el $f'c$ requerido de 24MPa ($\approx 240 \text{ kg/cm}^2$) para los cilindros patrón.

TABLA 5. 2 RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS DRAMIX.

ENSAYO A COMPRESIÓN FIBRA DE ACERO DRAMIX						
ID del Lote	Fecha de Fábrica	Tipo de fibra	Dosis por m^3 de hormigón	Resistencia Promedio (MPa)	Resistencia Promedio (kg/cm^2)	$f'c$ Característico (kg/cm^2)
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 15 kg/m^3	21/09/15	DRAMIX	15 kg/m^3	22,7	231,5	233.8
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 15 kg/m^3	23/09/15	DRAMIX	15 kg/m^3	23,2	236,1	
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 20 kg/m^3	14/09/15	DRAMIX	20 kg/m^3	23,7	242,0	240.0
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 20 kg/m^3	15/09/15	DRAMIX	20 kg/m^3	23,3	237,9	
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 25 kg/m^3	16/09/15	DRAMIX	25 kg/m^3	23,2	236,7	240.8
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 25 kg/m^3	18/09/15	DRAMIX	25 kg/m^3	24,0	244,8	

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

TABLA 5. 3 RESULTADOS DEL A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS TUF STRAND.

ENSAYO A COMPRESIÓN FIBRA DE POLIPROPILENO/POLIETILENO TUF STRAND SF						
ID de LOTE	Fecha de Fábrica	Tipo de fibra	Dosis por m ³ de hormigón	Resistencia Promedio (MPa)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)	f'c Característico (kg/cm ²)
HRF TUF STRAND SF 4 kg/m ³	01/10/15	TUF STRAND SF	4 kg/m ³	24,2	246,6	249.7
HRF TUF STRAND SF 4 kg/m ³	02/10/15	TUF STRAND SF	4 kg/m ³	24,8	252,7	
HRF TUF STRAND SF 6 kg/m ³	29/09/15	TUF STRAND SF	6 kg/m ³	23,2	236,2	237.8
HRF TUF STRAND SF 6 kg/m ³	30/09/15	TUF STRAND SF	6 kg/m ³	23,5	239,3	
HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³	25/09/15	TUF STRAND SF	8 kg/m ³	23,6	241,0	240.0
HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³	28/09/15	TUF STRAND SF	8 kg/m ³	23,4	238,9	

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

5.2.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Para el ensayo de los especímenes a la edad de 28 días se siguió el proceso de ensayo descrito en el apartado 2.4.3, proceso que se realizó de la misma forma para todos los casos; en la Fotografía 5.8 se puede observar el sistema de ensayo implementado para este efecto, pudiéndose notar las bases para rodillos, los rodillos de carga y de apoyo, el espécimen, el dispositivo para montaje del transductor bajo el espécimen y el marco de carga.

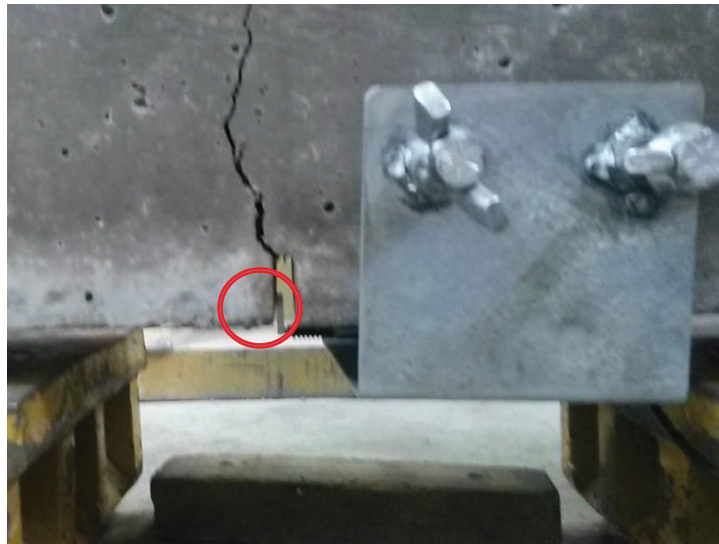
FOTOGRAFÍA 5. 8 ENSAYO A FLEXIÓN

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

El ensayo de los especímenes se realizó con una aplicación de carga cumpliendo con las tasas de aumento de carga dispuesto en el capítulo 2, esto permitió que la lectura de los datos pueda realizarse con facilidad; para la lectura del CMOD se dispuso de la caja lectora conectada directamente al transductor colocado en la parte inferior del espécimen (Fotografías 5.9 y 5.10).

FOTOGRAFÍA 5. 9 CAJA LECTORA DE DEFORMACIONES CMOD

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FOTOGRAFÍA 5. 10 TRANSDUCTOR QUE MIDE CMOD

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FOTOGRAFÍA 5. 11 FALLA TÍPICA DE ESPECÍMENES

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Al final de la prueba, se procedió a la apertura total de la fisura y se constató la distribución tridimensional de las fibras que atraviesan la fisura en los especímenes (Fotografías 5.11 y 5.12).

FOTOGRAFÍA 5. 12 DISTRIBUCIÓN DE FIBRAS A LO LARGO DE LA FISURA



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Los resultados obtenidos fueron los que se listan a continuación en las siguientes tablas, en función del tipo de fibra y su dosificación.

5.2.2.1 HORMIGÓN PATRÓN.

En el caso del hormigón simple se esperaba una falla frágil típica a efectos de flexión, por lo que en lugar de medir la CMOD se midió la deflexión en el centro de las vigas. Los valores registrados se encuentran en el Anexo No. 4.

TABLA 5. 4 RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN DE LOS LOTES PATRÓN (HORMIGÓN PATRÓN).

ENSAYO A FLEXIÓN VIGAS PATRÓN						
LOTES	PATRÓN			PATRÓN		
Fecha de Fábrica	10/09/15			11/09/15		
Número de Probeta	1	2	3	4	5	6
Deflexión Máxima (mm)	0.0595	0.0593	0.0594	0.0591	0.0597	0.0562
Deflexión Máxima Promedio (mm)	0.0594			0.0583		
Carga Máxima (kN)	9.05	8.98	8.68	8.59	8.74	8.56
Carga Máxima Promedio (kN)	8,90			8,63		

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

5.2.2.2 HRF DRAMIX RC-6535-BN

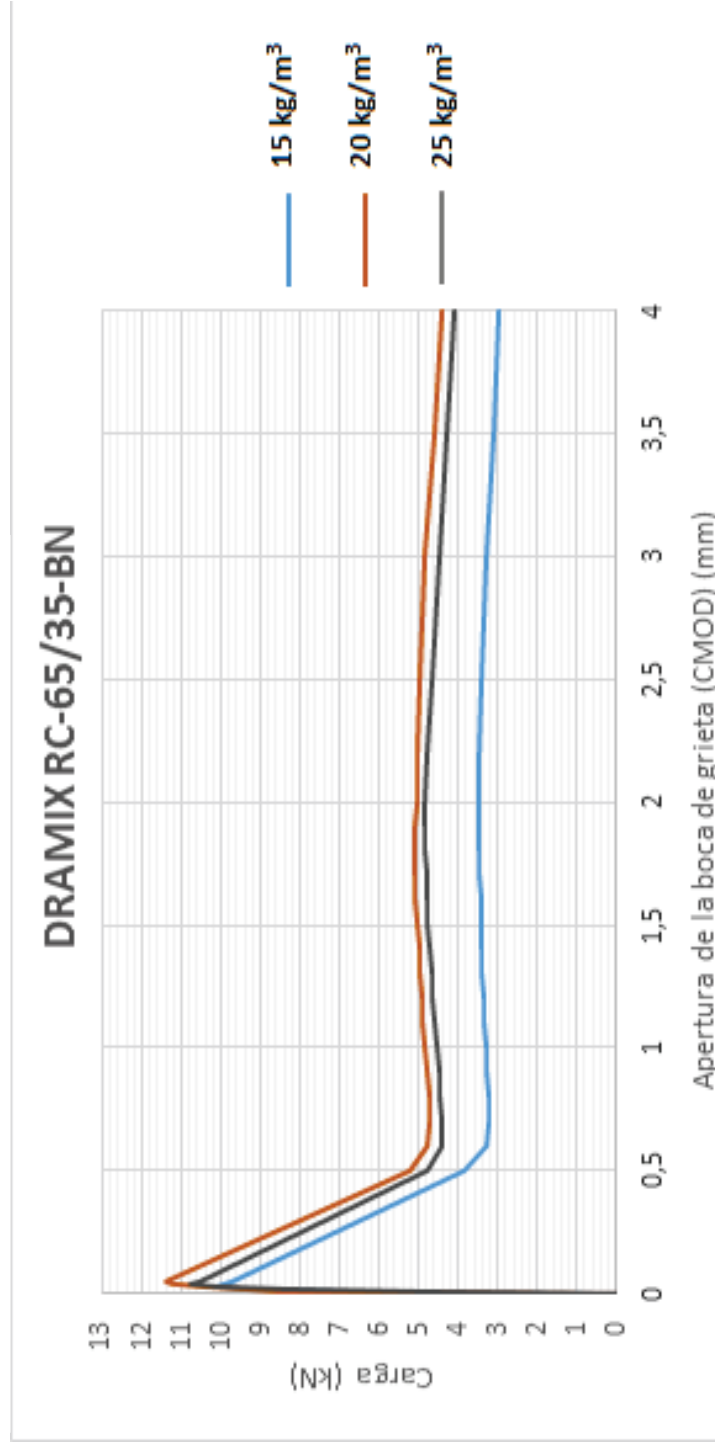
En la Tabla 5.5 se presentan los resultados promedios obtenidos de los ensayos a flexo tracción. Los registros individuales se encuentran en el Anexo No. 4.

TABLA 5. 5 RESULTADOS PROMEDIOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS DRAMIX RC-6435-BN

LOTE		HRF DRAMIX RC-65/35-BN (15 kg/m ³)		HRF DRAMIX RC-65/35-BN (20 kg/m ³)		HRF DRAMIX RC-65/35-BN (25 kg/m ³)	
CMOD (mm)	δ (mm)	t (s)	F (kN)	t (s)	F (kN)	t (s)	F (kN)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,05	378,43	7,12	442,63	8,60	549,20	5,07
0,02	0,06	438,87	9,53	458,83	9,45	642,80	8,44
0,03	0,07	464,88	10,08	484,45	10,46	693,78	10,18
0,04	0,08	474,25	9,89	501,57	11,23	713,78	10,79
0,05	0,09	477,02	9,72	514,50	11,43	724,37	10,54
0,5	0,47	488,37	3,88	524,85	5,24	746,72	4,81
0,6	0,55	498,35	3,26	530,52	4,79	762,63	4,42
0,7	0,64	511,12	3,21	550,03	4,73	781,13	4,43
0,8	0,72	521,23	3,25	570,07	4,75	797,72	4,45
0,9	0,81	527,57	3,28	593,12	4,78	812,48	4,48
1	0,89	532,20	3,31	658,32	4,84	825,23	4,54
1,1	0,98	536,12	3,33	659,38	4,89	837,85	4,62
1,2	1,06	540,05	3,34	680,68	4,92	850,58	4,65
1,3	1,15	544,48	3,39	702,47	4,96	868,67	4,69
1,4	1,23	548,12	3,41	725,28	4,98	875,93	4,73
1,5	1,32	551,88	3,43	750,00	5,05	888,23	4,76
1,6	1,40	555,72	3,44	774,67	5,07	900,68	4,80
1,7	1,49	559,15	3,45	792,63	5,10	912,95	4,80
1,8	1,57	562,97	3,47	810,07	5,08	924,47	4,82
1,9	1,66	566,63	3,48	823,62	5,07	933,17	4,83
2	1,74	570,30	3,48	841,67	5,06	942,53	4,82
2,2	1,91	578,08	3,46	859,57	5,04	960,45	4,79
2,5	2,17	588,53	3,43	898,40	4,95	987,05	4,68
3	2,59	605,35	3,31	926,65	4,85	1025,80	4,47
3,5	3,02	621,22	3,13	958,92	4,62	1062,73	4,27
4	3,44	633,20	2,97	993,50	4,43	1097,25	4,10

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

GRÁFICO 5. 2 CARGA VS CMOD HRF DRAMIX RC-65/35-BN



ELABORADO POR: Francisco Ramirez y José Antonio Samaniego.

5.2.2.3 HRF TUF STRAND SF

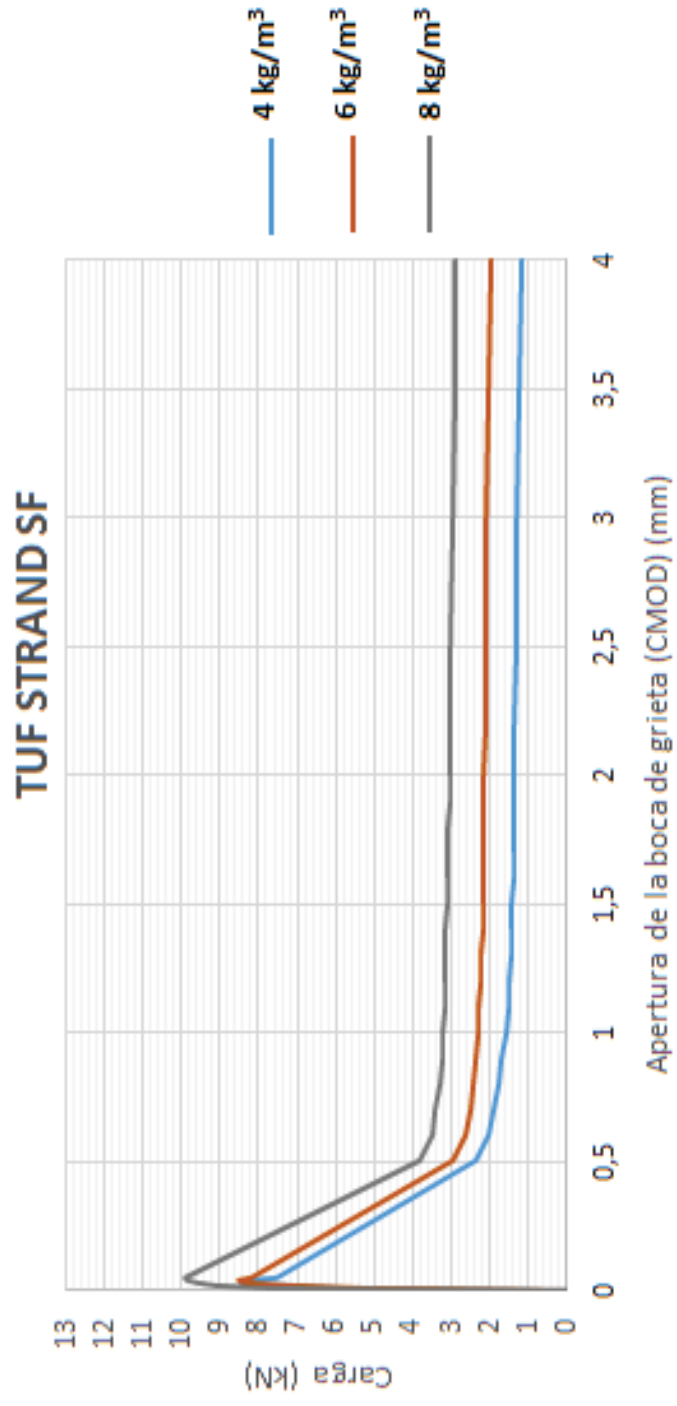
En la Tabla 5.6 se presentan los resultados promedios obtenidos de los ensayos a flexo tracción. Los registros individuales se encuentran en el Anexo No. 4.

TABLA 5. 6 RESULTADOS PROMEDIOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS TUF STRAND SF

LOTE		HRF TUF STRAND SF (4kg/m3)		HRF TUF STRAND SF (6kg/m3)		HRF TUF STRAND SF (8kg/m3)	
CMOD (mm)	δ (mm)	t (s)	F (kN)	t (s)	F (kN)	t (s)	F (kN)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,05	578,70	6,02	495,53	5,33	409,77	7,81
0,02	0,05	612,18	7,14	547,40	7,28	446,67	9,11
0,03	0,06	667,55	8,47	584,32	8,41	463,82	9,59
0,04	0,07	677,85	8,30	598,00	8,53	472,98	9,83
0,05	0,08	682,30	7,52	605,23	8,21	479,10	9,90
0,5	0,47	693,33	2,40	620,28	2,98	504,50	3,81
0,6	0,55	700,72	2,03	630,77	2,64	520,80	3,51
0,7	0,64	706,25	1,90	641,18	2,50	535,53	3,40
0,8	0,72	714,30	1,79	652,32	2,42	549,83	3,30
0,9	0,81	724,22	1,69	662,30	2,36	564,05	3,24
1	0,89	736,35	1,59	672,67	2,32	575,18	3,20
1,1	0,98	749,17	1,53	681,65	2,29	586,83	3,18
1,2	1,06	762,35	1,49	690,68	2,26	596,32	3,16
1,3	1,15	773,90	1,45	700,57	2,22	606,32	3,14
1,4	1,23	784,77	1,44	709,20	2,20	614,93	3,13
1,5	1,32	795,98	1,41	718,22	2,18	623,05	3,12
1,6	1,40	806,87	1,41	725,38	2,17	631,25	3,11
1,7	1,49	816,60	1,40	731,47	2,18	639,43	3,10
1,8	1,57	825,83	1,38	737,65	2,18	647,75	3,08
1,9	1,66	833,80	1,36	743,78	2,17	655,83	3,06
2	1,74	841,72	1,36	750,00	2,15	664,08	3,04
2,2	1,91	857,98	1,34	762,12	2,12	677,95	3,03
2,5	2,17	881,48	1,32	780,02	2,09	696,32	3,02
3	2,59	916,83	1,29	810,17	2,08	726,75	2,97
3,5	3,02	950,08	1,26	837,43	2,05	753,60	2,93
4	3,44	983,18	1,21	863,58	2,00	775,70	2,90

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

GRÁFICO 5. 4 CARGA VS CMOD HRF TUF STRAND SF



ELABORADO POR: Francisco Ramirez y José Antonio Samaniego.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se detallan los resultados de los materiales y se describe la comparación realizada tanto del hormigón fresco cuanto del hormigón endurecido, se cotejara en función de la experiencia durante la fabricación, los efectos sobre la resistencia a la compresión y flexo-tracción de las probetas, finalmente el análisis económico entre las dosis de fibras que presentan un comportamiento semejante en la resistencia a la flexo-tracción.

6.1 RESULTADOS DE LOS MATERIALES

6.1.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN EL CEMENTO

Los resultados mostrados en la Tabla 6.1 son los valores promedios obtenidos de los diferentes ensayos, cada uno de los cuales fueron realizados con tres muestras tomadas de diferentes sacos, esto con el fin de controlar que no existan variaciones significativas en el material. Los registros se presentan en el Anexo No.2.

TABLA 6. 1 RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO

Propiedades del CEMENTO		
Densidad Real		3,07 gr/cm ³
Densidades Aparentes	Suelta	1,03 gr/cm ³
	Compactada	1,26 gr/cm ³
Consistencia Normal		28,9%
Tiempo de fraguado	Inicial	1 h 03 min.
	Final	6 h 13 min.
Lafarge ARMADURO		

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Las densidades obtenidas se encuentran dentro del rango normal cementos puzolánicos (Luna, 2014) y el tiempo de fraguado cumple con la NTE INEN 490: 2011 Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos.

6.1.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE AGREGADOS.

A continuación se muestran los resultados promedios obtenidos de los ensayos, tanto del agregado fino como del agregado grueso. El detalle del cálculo se lo muestra en el Anexo No. 2.

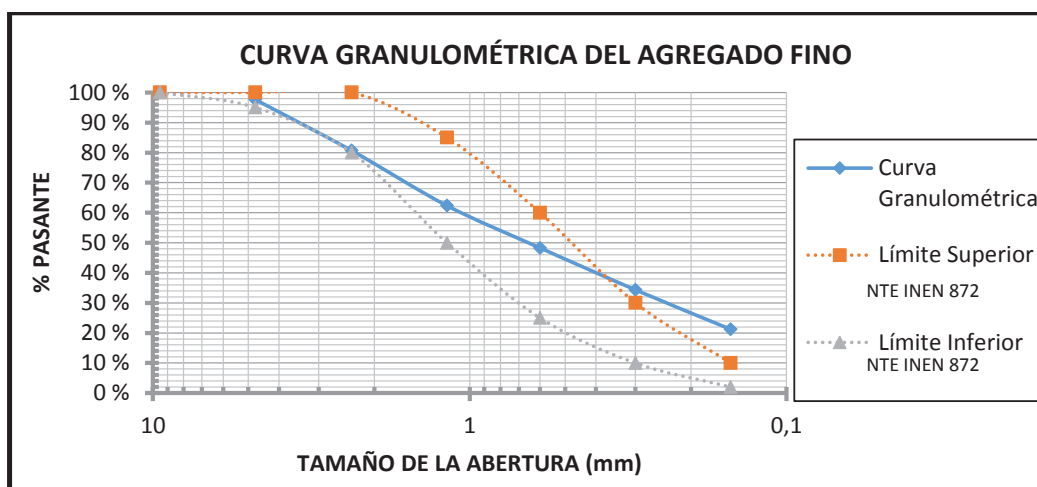
6.1.2.1 Agregado fino.

TABLA 6. 2 RESUMEN DE RESULTADOS DEL AGREGADO FINO.

Módulo de finura	2,56
%más fino que 75 μm (tamiz 200)	4%
Peso específico	2,35 gr/cm^3
Peso específico SSS	2,48 gr/cm^3
Absorción de agua	4,41%
Densidad aparente suelta	1,56 gr/cm^3
Densidad aparente compactada	1,69 gr/cm^3
Contenido de materia orgánica	3

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

GRÁFICO 6. 1 CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.
FUENTE: NTE INEN 872: Áridos para hormigón. Requisitos.

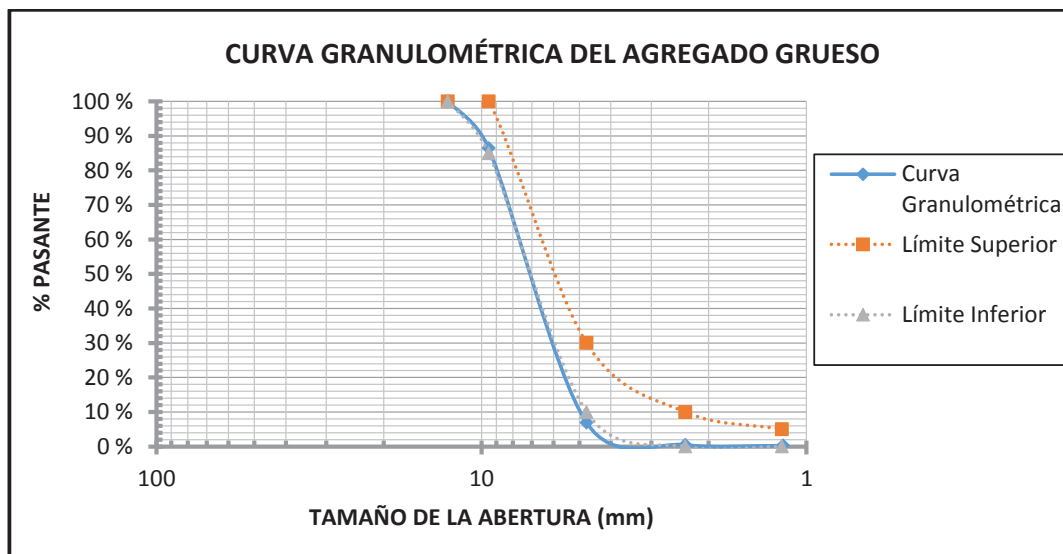
6.1.2.2 Agregado grueso.

TABLA 6. 3 RESUMEN DE RESULTADOS DEL AGREGADO GRUESO.

Tamaño máximo	12,7 mm (1/2")
Tamaño máximo nominal	9,5 mm (3/8")
Módulo de finura	6,06
Peso específico	2,39 gr/cm ³
Peso específico SSS	2,49 gr/cm ³
Absorción de agua	4,41 %
Densidad aparente suelta	1,18 gr/cm ³
Densidad aparente compactada	1,33 gr/cm ³
% Desgaste 100 rev.	5,0%
% Desgaste 500 rev.	25,8%
Coefficiente de uniformidad	19,3%

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

GRÁFICO 6. 2 CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Los agregados finos y gruesos cumplen con los requerimientos descritos en la NTE INEN 872:2011 Áridos para hormigón. Requisitos. Las curvas granulométricas se aceptan al estar en su mayoría dentro de los límites normalizados.

6.2 EFECTOS SOBRE EL HORMIGÓN FRESCO

Durante el proceso de fabricación de los especímenes se observó cualitativamente que la “trabajabilidad” del hormigón fresco se modificó con el uso de las fibras respecto del lote patrón, a continuación se detalla esta variación basada en la experiencia durante el proceso de mezclado por volteo mediante el uso de palas.

TABLA 6. 4 EFECTO SOBRE EL HORMIGÓN FRESCO

TRABAJABILIDAD	
ESPÉCIMEN	Dificultad de mezclado
PATRÓN	Baja
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 15 kg/m ³	Baja
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 20 kg/m ³	Media-Baja
HRF DRAMIX RC-65/35-BN 25 kg/m ³	Media
HRF TUF STRAND SF 4 kg/m ³	Media
HRF TUF STRAND SF 6 kg/m ³	Media-Alta
HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³	Alta

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

En el proceso de mezclado, se sugiere añadir las fibras como último elemento, es decir, añadir las fibras una vez el hormigón esté listo, esto para evaluar el cambio de la trabajabilidad del hormigón antes y después de la adición de fibras.

En algunas ocasiones las fibras de acero no vienen separadas individualmente, sino como paquetes engomados, no es conveniente mezclar las fibras de forma manual si están pegadas entre sí, ya que esto evita que se distribuyan de forma óptima en el hormigón, en tal caso se debe sumergir dichos paquetes en una parte del agua a usarse en la mezcla para que así el pegamento se disuelva y las fibras se separen obteniendo una mejor distribución.

6.3 EFECTOS SOBRE EL HORMIGÓN ENDURECIDO

6.3.1 PESO ESPECÍFICO

En función de las dimensiones y peso de los especímenes detallado en la Tabla 6.5, se evidencia que la variación en el peso específico es mínima en los especímenes de HRF respecto del lote patrón. Los resultados de cada espécimen se incluyen en el Anexo No. 3.

TABLA 6. 5 EFECTO SOBRE EL PESO ESPECÍFICO.

ESPÉCIMEN	DOSIS (kg/m ³)	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	VARIACIÓN
PATRÓN	-	2.23	-
DRAMIX RC-65/35-BN	15	2.25	+1%
	20	2.25	+1%
	25	2.25	+1%
TUF-STRAND SF	4	2.25	+1%
	6	2.20	-1%
	8	2.18	-1%

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

6.3.2 ESFUERZOS A COMPRESIÓN

En función de los resultados obtenidos del ensayo de compresión de cilindros se observa que la variación en la resistencia a la compresión es mínima en los especímenes de HRF respecto del lote patrón. (Anexo No. 3).

TABLA 6. 6 EFECTO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ESPÉCIMEN	DOSIS (kg/m ³)	ESFUERZO DE COMPRESIÓN (N/mm ²)	VARIACIÓN
PATRÓN	-	23.2	-
DRAMIX RC-65/35-BN	15	22.9	-1%
	20	23.6	+1%
	25	23.5	+1%
TUF-STRAND SF	4	24.5	+6%
	6	23.1	0%
	8	23.2	0%

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

6.3.3 DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS A FLEXO-TRACCIÓN

A partir de los datos de fuerza obtenidos durante el desarrollo experimental se procedió al cálculo de los esfuerzos en los especímenes para cada uno de los CMOD registrados con el fin de obtener la curva de Esfuerzo de Flexo-tracción vs. CMOD, este proceso se realizó mediante el uso de la Ecuación 2.1 para el límite de proporcionalidad F_{RFL} y la Ecuación 2.2 para las resistencias residuales a la flexión F_{Ri} , estas ecuaciones se encuentran expresadas en los cálculos.

Tomando como ejemplo el caso de las vigas reforzadas con fibra DRAMIX en dosis de 15 kg/m^3 , los cálculos de los parámetros de comparación fueron los siguientes:

Datos geométricos:

$$l = 500 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h_{sp} = 125 \text{ mm}$$

Datos de carga promedios para los CMOD principales, tomados de la Tabla 5.5 y del Anexo No. 4:

$F_L = 10767 \text{ N}$	carga máxima en el intervalo $\text{CMOD}_0 - \text{CMOD}_{FL}$
$F_1 = 3885 \text{ N}$	correspondiente a CMOD_1
$F_2 = 3428 \text{ N}$	“ CMOD_2
$F_3 = 3430 \text{ N}$	“ CMOD_3
$F_4 = 3125 \text{ N}$	“ CMOD_4

$$F_{RFL} = \frac{3 \cdot F_L \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} = \frac{3 \cdot 10767 \cdot 500}{2 \cdot 150 \cdot 125^2} = 3,45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_{R1} = \frac{3 \cdot F_1 \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} = \frac{3 \cdot 3885 \cdot 500}{2 \cdot 150 \cdot 125^2} = 1,24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_{R2} = \frac{3 \cdot F_2 \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} = \frac{3 \cdot 3428 \cdot 500}{2 \cdot 150 \cdot 125^2} = 1.10 \frac{N}{mm^2}$$

$$F_{R3} = \frac{3 \cdot F_3 \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} = \frac{3 \cdot 3430 \cdot 500}{2 \cdot 150 \cdot 125^2} = 1.10 \frac{N}{mm^2}$$

$$F_{R4} = \frac{3 \cdot F_4 \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} = \frac{3 \cdot 3125 \cdot 500}{2 \cdot 150 \cdot 125^2} = 1.00 \frac{N}{mm^2}$$

Debido a que los resultados del Lote Patrón solo registran la carga máxima de rotura, su valor es referencial para conocer la diferencia de capacidad máxima a flexo-tracción respecto del límite de proporcionalidad de los especímenes reforzados con fibras.

TABLA 6. 7 EFECTO DE LAS FIBRAS SOBRE LA CAPACIDAD MÁXIMA A FLEXO-TRACCIÓN

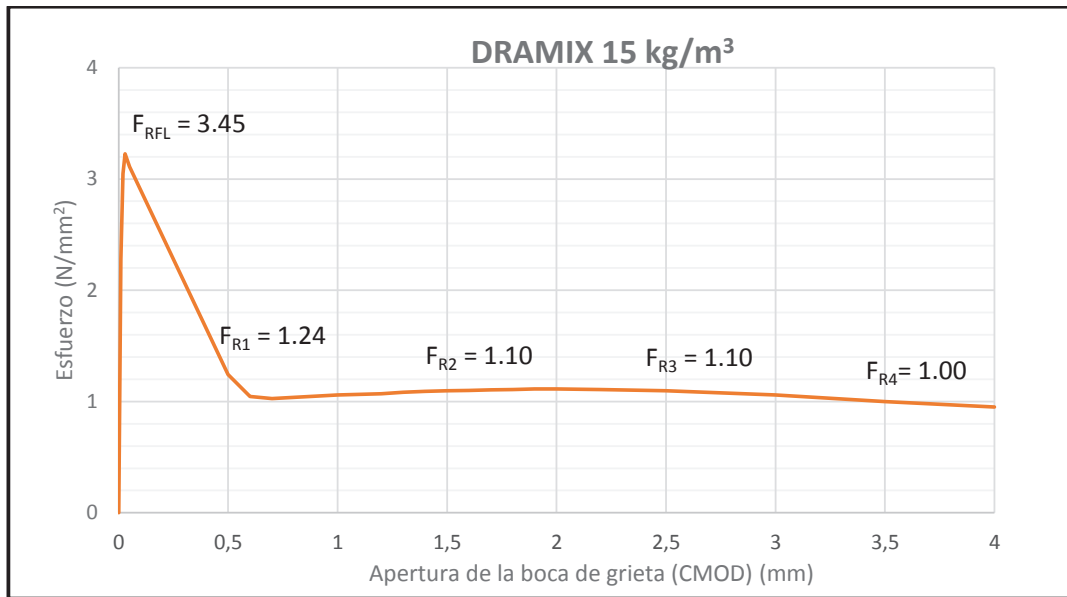
ESPECÍMEN	Promedio de Esfuerzo de Carga máxima - F_{RFL} (N/mm^2)	Variación respecto de la mezcla Patrón
PATRÓN	2.81	-
DRAMIX 15 kg/m^3	3.45	+23%
DRAMIX 20 kg/m^3	3.76	+37%
DRAMIX 25 kg/m^3	3.53	+26%
TUF-STRAND SF 4 kg/m^3	2.84	+1%
TUF-STRAND SF 6 kg/m^3	2.84	+1%
TUF-STRAND SF 8 kg/m^3	3.17	+11%

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

6.3.3.1 Esfuerzos en probetas HRF DRAMIX RC-65/35-BN

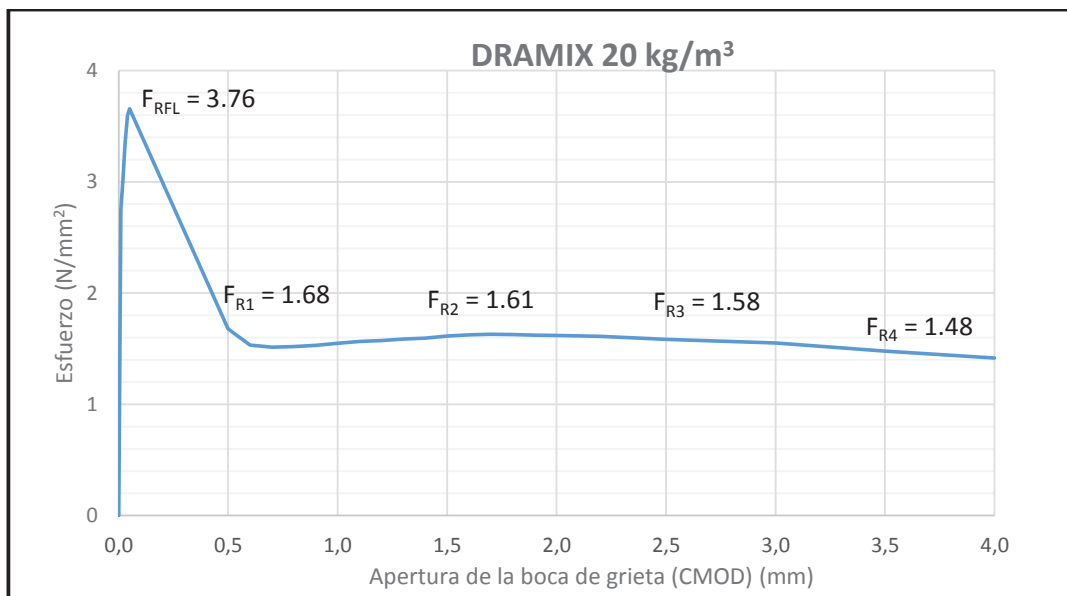
En el Gráfico 6.3 se observa que la dosis de 15 kg/m^3 no cumple con el mínimo establecido en la Tabla 3.5, ya que el esfuerzo residual para CMOD de 0.5 mm no alcanza el valor de $F_{R1} = 1.5 N/mm^2$, aun cuando el límite de proporcionalidad se incrementó 23% respecto del lote patrón, la fibra no clasificó como estructural, esta dosis es la mínima recomendada por el fabricante en la ficha técnica del producto.

GRÁFICO 6. 3 ESFUERZO A FLEJO-TRACCIÓN VS CMOD DRAMIX 15KG/M³



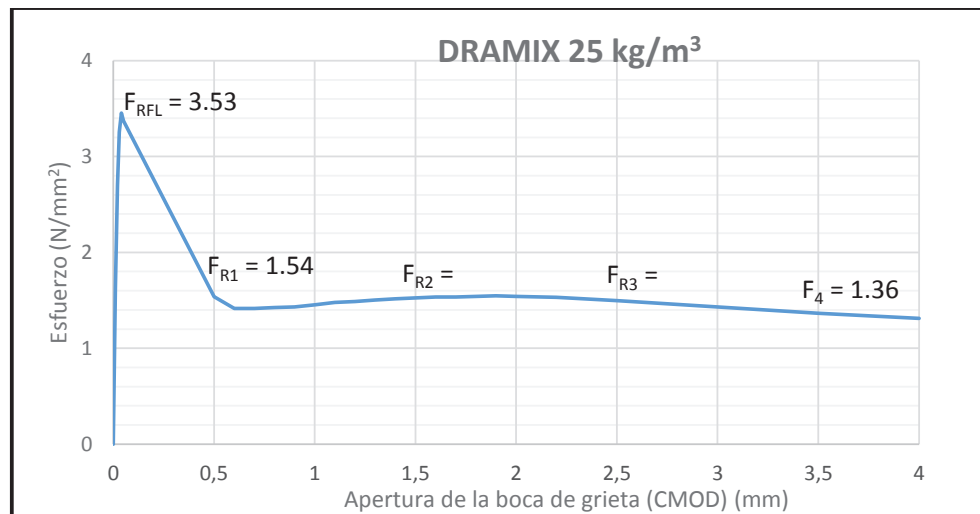
ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

GRÁFICO 6. 4 ESFUERZO A FLEJO-TRACCIÓN VS CMOD DRAMIX 20KG/M³



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

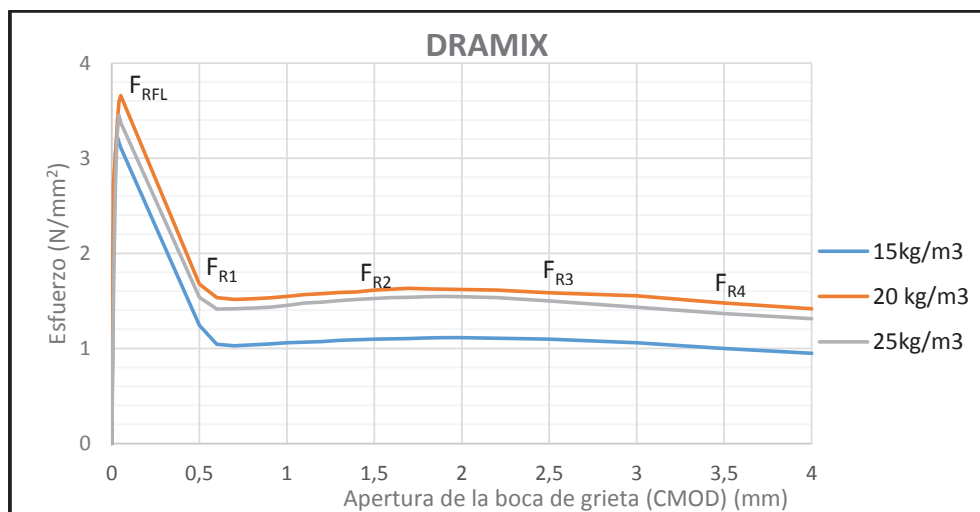
GRÁFICO 6. 5 ESFUERZO A FLEJO-TRACCIÓN VS CMOD DRAMIX 25KG/M³



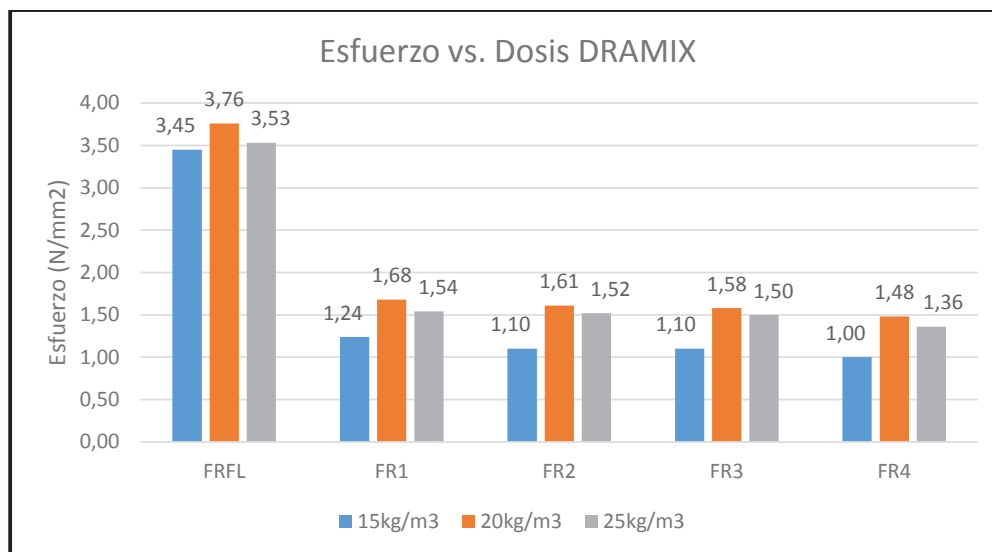
ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Las dosis de 20 kg/m³ y 25 kg/m³ de la fibra DRAMIX, presentan un comportamiento estructural como se visualiza en los Gráficos 6.4 y 6.5 respectivamente. Este comportamiento se evidencia debido a que los valores de F_{R1} y F_{R4} son mayores a los límites definidos en la Tabla 3.5 a la vez que existe un aumento en la resistencia del hormigón a flexo-tracción entre un 37 y 26%, respectivamente.

GRÁFICO 6. 6 ESFUERZO A FLEJO-TRACCIÓN VS CMOD DRAMIX



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

GRÁFICO 6. 7 ESFUERZO A FLEJO-TRACCIÓN VS DOSIS DRAMIX

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

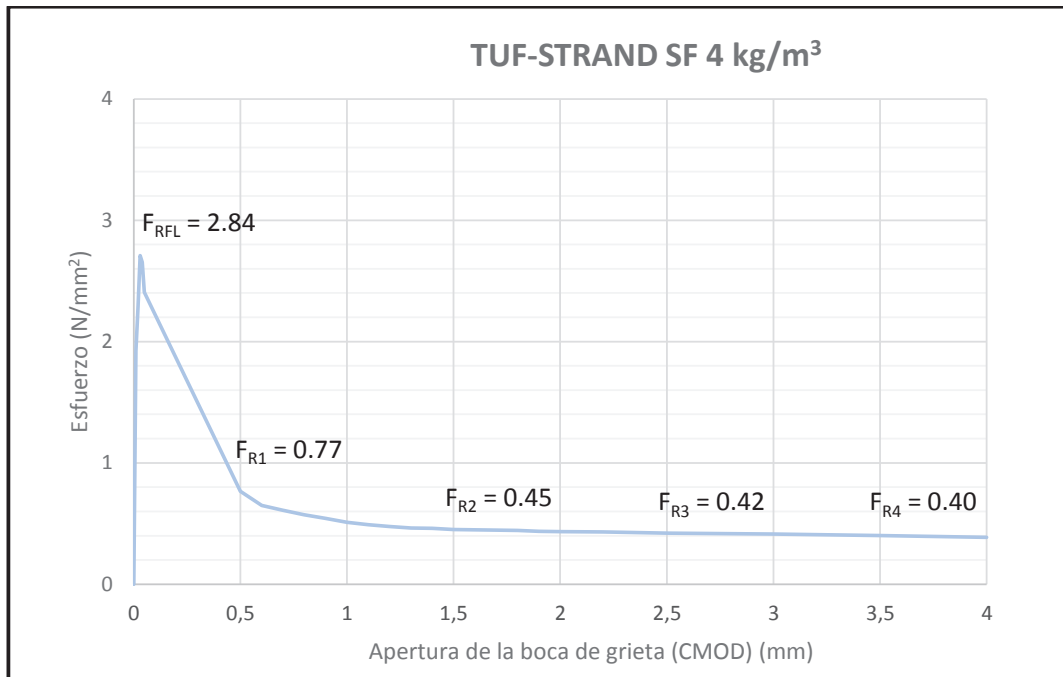
Los Gráficos 6.6 y 6.7 describen la tendencia de comportamiento de las fibras de acero para cada dosis, se observó que, la menor capacidad de resistencia residual le corresponde a la dosis 15 kg/m³, a la vez se evidenció un pico de efectividad debido a que entre la dosis de 20 kg/m³ y 25 kg/m³ no existe una diferencia significativa en la capacidad de los especímenes, tanto en el límite de proporcionalidad cuanto en la resistencia residual, como si existió entre éstas comparada con los resultados de la dosis de 15kg/m³.

De las tres dosis estudiadas se puede establecer que el mejor comportamiento para esfuerzos residuales de flexión es la de 20kg/m³ ya que al utilizar esta dosis se obtiene el pico de efectividad de la fibra DRAMIX RC-65/35-BN.

6.3.3.2 Esfuerzos en probetas HRF TUF STRAND SF

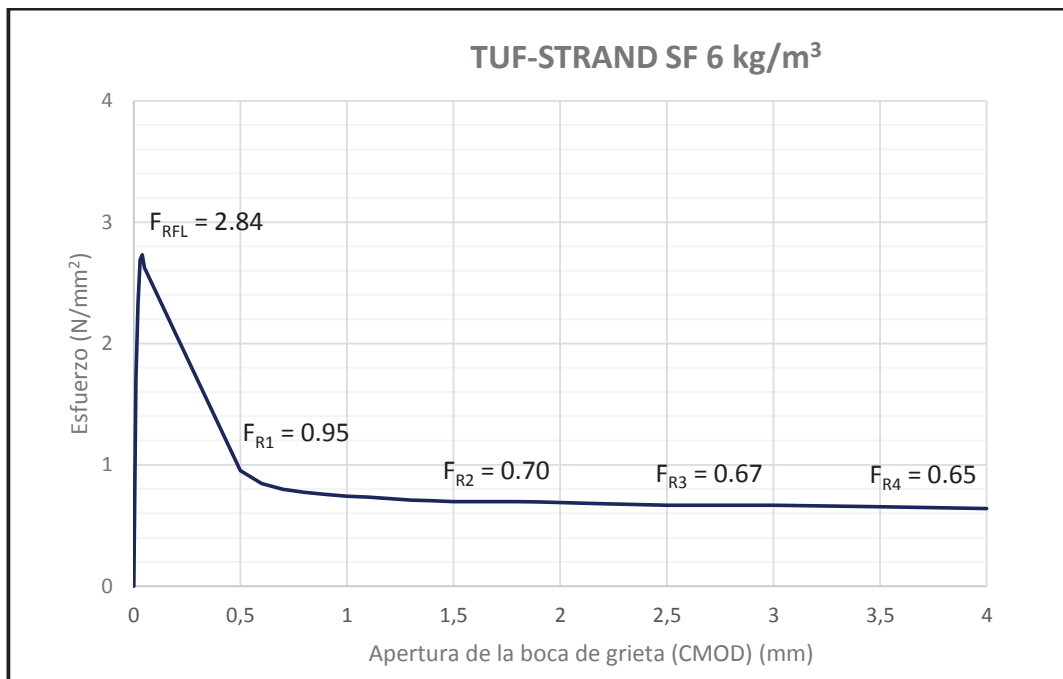
Los resultados obtenidos con las fibras TUF-STRAND SF expuestas en los Gráficos 6.8, 6.9 y 6.10, indican que ninguna de las tres dosis permite a las fibras un trabajo de tipo estructural en el HRF, aunque se aumentó el límite de proporcionalidad entre 1 al 10% respecto del lote patrón, el esfuerzo residual correspondiente a CMOD de 0.5 mm no alcanza el valor de $F_{R1} = 1.5 \text{ N/mm}^2$ y para CMOD de 2.5 mm no alcanza el valor de $F_{R4} = 1.0 \text{ N/mm}^2$.

GRÁFICO 6. 8 ESFUERZO A FLEJO-TRACCIÓN VS. CMOD TUF-STRAND SF 4 KG/M³



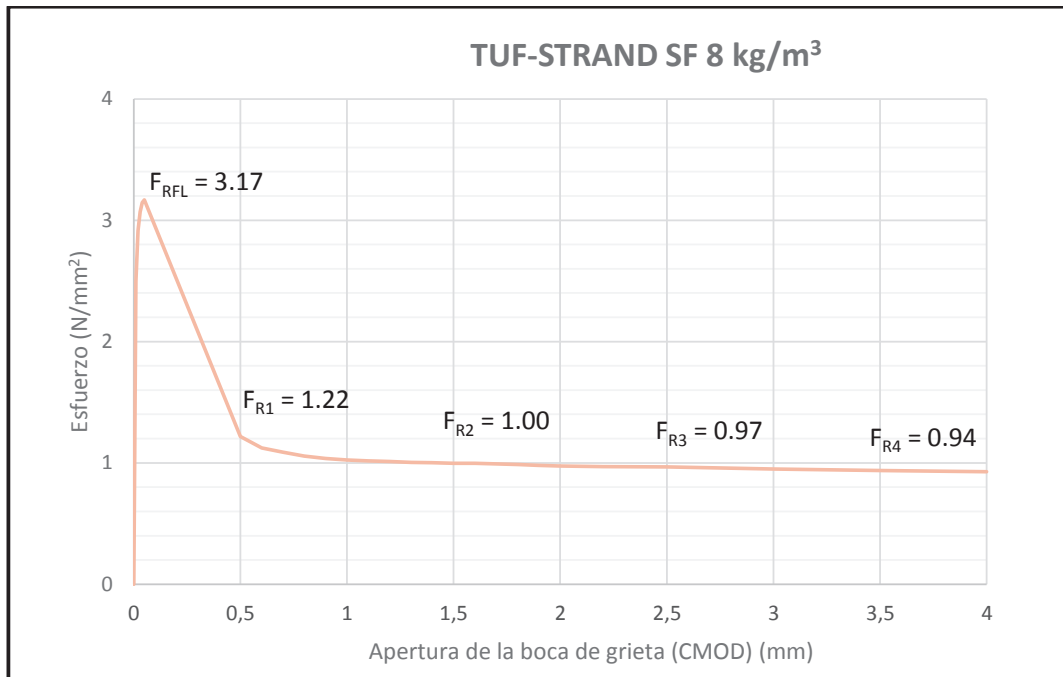
ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

GRÁFICO 6. 9 ESFUERZO A FLEJO-TRACCIÓN VS CMOD TUF-STRAND SF 6 KG/M³



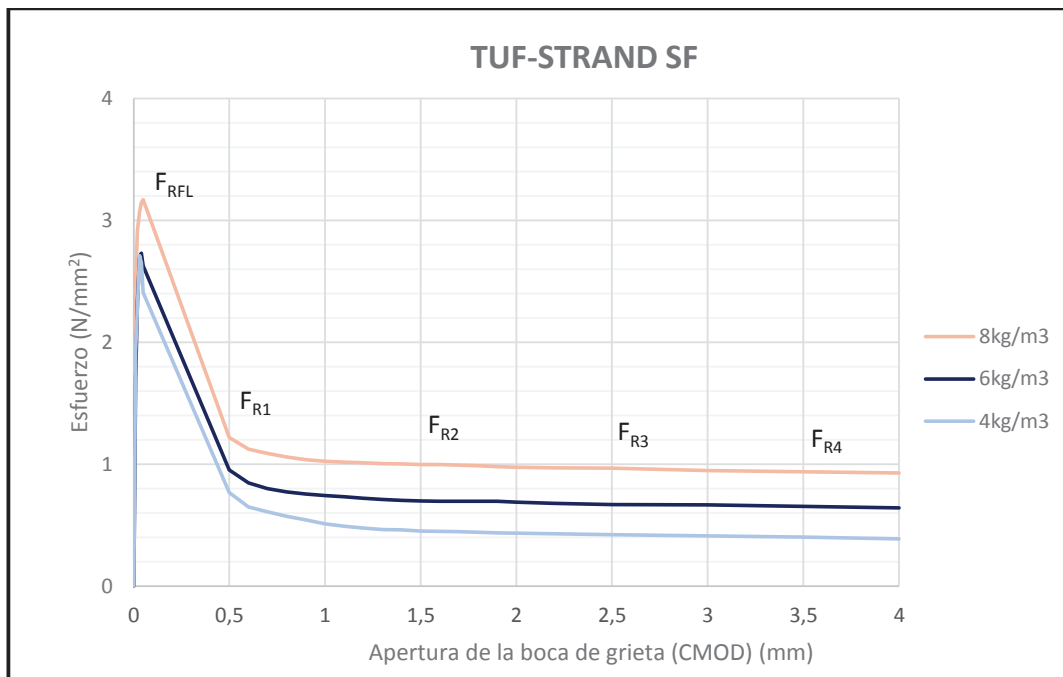
ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

GRÁFICO 6. 10 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS CMOD TUF-STRAND SF 8 KG/M³

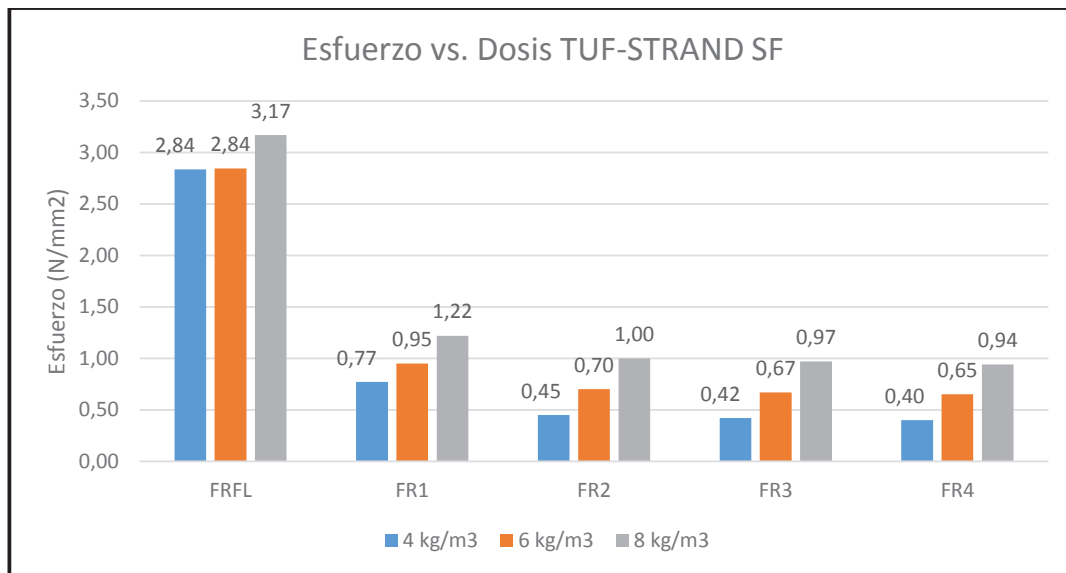


ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

GRÁFICO 6. 11 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS CMOD TUF-STRAND SF

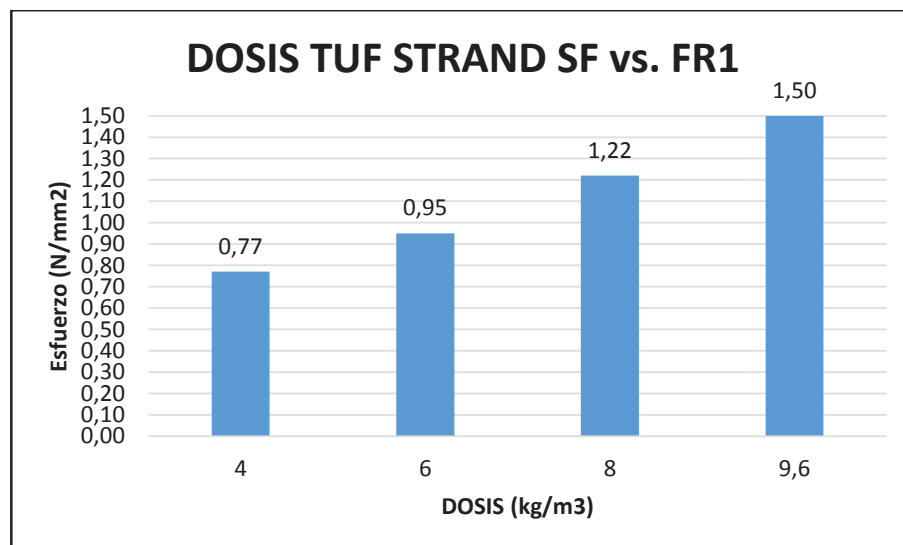


ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

GRÁFICO 6. 12 ESFUERZO A FLEJO-TRACCIÓN VS DOSIS TUF-STRAND SF

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

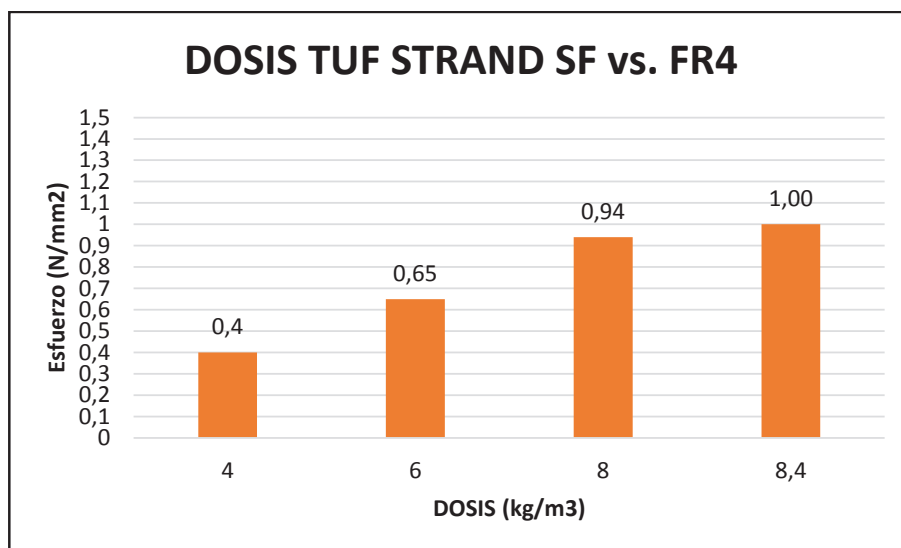
De los Gráficos 6.11 y 6.12 se observa que las fibras TUF-STRAND SF no alcanzan un pico de efectividad para las dosis estudiadas, ya que a mayor dosis de fibra, se observó que las curvas se desplazan hacia arriba manteniendo la tendencia de aumento.

GRÁFICO 6. 13 DOSIS TUF STRAND SF VS. FR₁

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

En el Gráfico 6.13 se observa que la dosis de 9.6 kg/m^3 de la fibra TUF STRAND SF permitiría alcanzar el valor de FR_1 igual a 1.5 kN/mm^2 .

GRÁFICO 6. 14 DOSIS TUF STRAND SF VS. FR_4



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

En el Gráfico 6.13 se observa que la dosis de 8.4 kg/m^3 permitiría alcanzar el valor de FR_4 igual a 1.0 kN/mm^2 . Los valores proyectados de las dosis se obtuvieron por regresión lineal de segundo grado. Por lo tanto para alcanzar un comportamiento estructural con las fibras TUF STRAND SF es necesaria una dosis de 9.6 kg/m^3 ya que esta dosis cubriría los requerimientos de $FR_1 \geq 1.5 \text{ N/mm}^2$ y $FR_4 \geq 1.0 \text{ N/mm}^2$.

6.4 ANÁLISIS DE TENACIDAD Y ESFUERZOS

La tenacidad de los especímenes fue calculada como el área bajo la curva Carga vs. Deflexión a partir de los valores de las Tablas 5.5 y 5.6.

En la Tabla 6.8 se listan las tenacidades relativas tomando como referencia a los especímenes patrón con una tenacidad de valor igual a uno, en esta tabla se observa que la adición de fibras DRAMIX RC-65/35-BN incrementa la tenacidad

del hormigón en un rango de 53 a 74 veces, mientras las fibras TUF STRAND SF la incrementan de 27 a 50 veces.

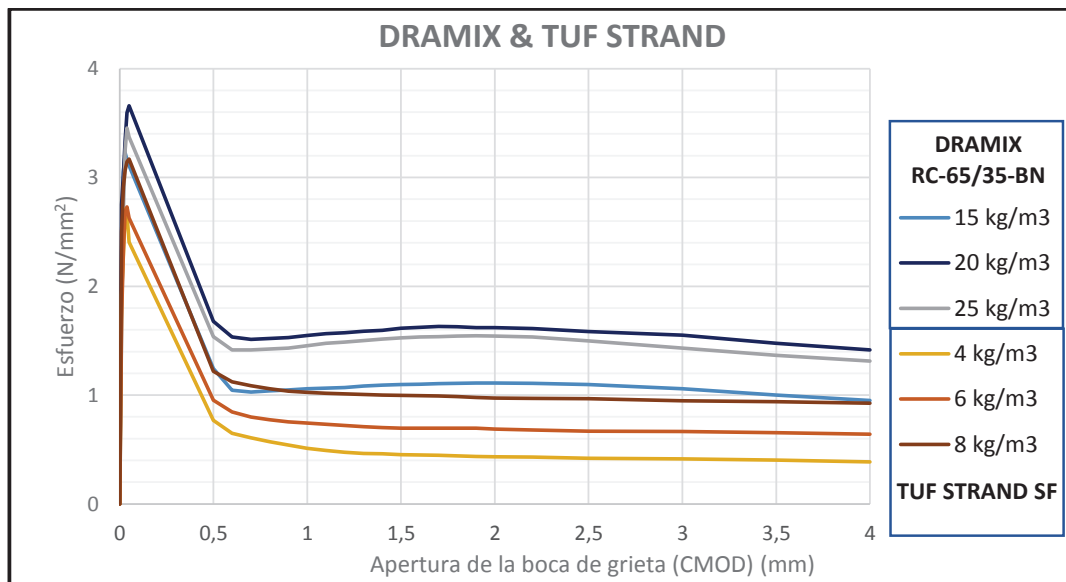
TABLA 6. 8 TENACIDAD RELATIVA

ESPECÍMEN	Tenacidad Relativa
PATRÓN	1
DRAMIX 15 kg/m ³	53
DRAMIX 20 kg/m ³	74
DRAMIX 25 kg/m ³	69
TUF-STRAND SF 4 kg/m ³	27
TUF-STRAND SF 6 kg/m ³	37
TUF-STRAND SF 8 kg/m ³	50

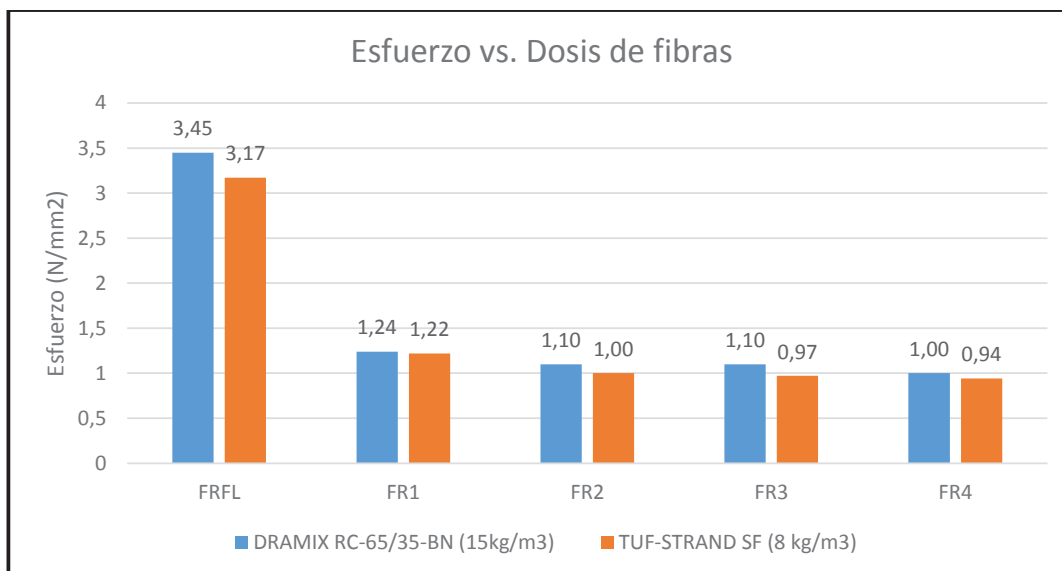
ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

En los Gráficos 6.15, 6.16 y la Tabla 6.8 se evidencia que las fibras DRAMIX y TUF-STRAND SF en dosis de 15 kg/m³ y 8 kg/m³, respectivamente, proveen resistencias residuales en el HRF de similares magnitudes.

GRÁFICO 6. 15 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS CMOD PROMEDIOS



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

GRÁFICO 6. 16 ESFUERZO A FLEXO-TRACCIÓN VS TIPO DE FIBRA

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

6.5 ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación se realiza el análisis económico del costo adicional de producción por la adición de fibras en el hormigón, basado en la semejanza de comportamiento de las fibras DRAMIX y TUF-STRAND SF en dosis de 15 kg/m³ y 8 kg/m³, respectivamente.

TABLA 6. 9 COMPARACIÓN ECONÓMICA

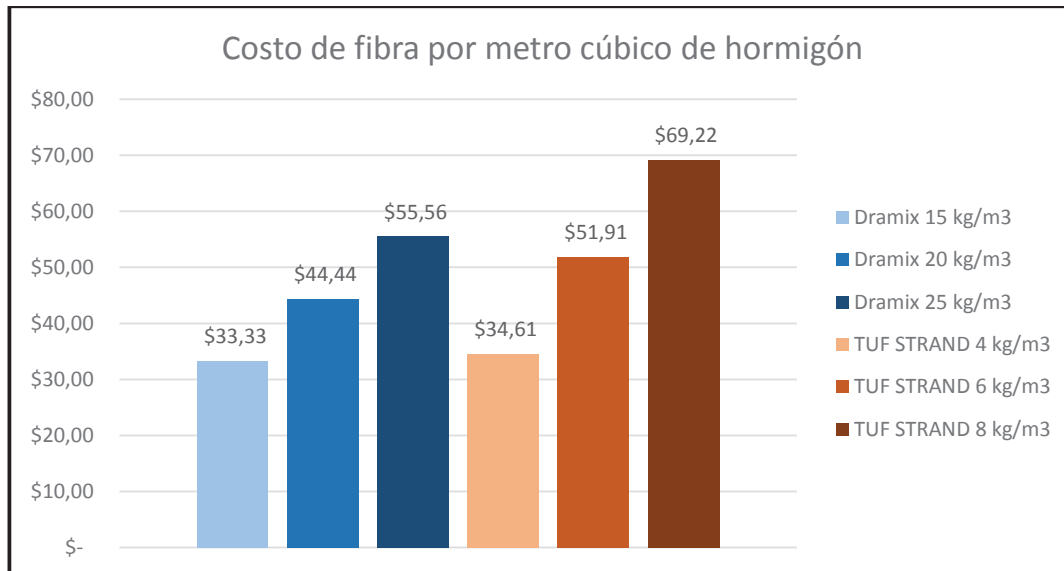
Tipo de Fibras	Dosis kg/m ³	Precio Unitario USD/kg	Costo adicional por m ³ de hormigón	Resistencias Residuales
DRAMIX RC-65/35-BN	15	\$ 2.22	\$ 33.33	Similares
TUF-STRAND SF	8	\$ 8.65	\$ 69.22	

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Se observa de la Tabla 6.9 que la fibra de acero DRAMIX RC-65/35-BN tiene una relación costo-beneficio superior a la fibra TUF-STRAND SF, debido a que

presenta un desempeño semejante de resistencias residuales con un costo menor a la mitad por cada metro cúbico de HRF producido.

GRÁFICO 6. 17 COSTO DE FIBRA POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Los especímenes de HRF presentaron mejor comportamiento post-agrietamiento al continuar el proceso de carga después de la aparición de la fisura, este efecto concuerda con el aumento de la tenacidad descrito en la bibliografía. (ACI-Comité-544, 2010).
- Se logró tener valores de esfuerzos residuales F_{R1} y F_{R4} mayores a $1,5 \text{ N/mm}^2$ con las fibras DRAMIX RC-65/35-BN a partir de una dosis de 20 kg/m^3 , clasificando así como fibras estructurales, mientras la dosis de 15 kg/m^3 fue insuficiente para llegar dicha clasificación al no cumplir con el requerimiento de $FR_1 \geq 1.5 \text{ N/mm}^2$ y $FR_4 \geq 1.0 \text{ N/mm}^2$.
- Ninguna de las dosis de fibras TUF STRAND SF alcanzó la clasificación de estructural, la dosis de 8 kg/m^3 generó el lote de mejor desempeño en este tipo de fibra, alcanzando un esfuerzo residual $F_{R1} = 1,22 \text{ N/mm}^2$. Mediante extrapolación se estimó que es necesaria una dosis de 9.6 kg/m^3 para cubrir los requerimientos de $FR_1 \geq 1.5 \text{ N/mm}^2$ y $FR_4 \geq 1.0 \text{ N/mm}^2$.
- La adición de fibras otorga al hormigón una mayor resistencia a la flexión, la carga máxima alcanzada con las vigas patrón fue de $8,9 \text{ kN}$ mientras que con las fibras DRAMIX RC-65/35-BN y TUF-STRAND SF se logró alcanzar 12 kN y 10 kN , respectivamente, esto es una resistencia adicional a la flexión de entre 20% y 30% con las fibras DRAMIX RC-65/35-BN, y de hasta un 11% con las fibras TUF-STRAND SF.

- Las fibras se distribuyeron de manera uniforme en el hormigón como se evidencia en la Fotografía 5.12, se observa a la vez que las fibras TUF-STRAND SF no tuvieron daños en su estructura luego del ensayo. En cambio las fibras de DRAMIX RC-65/35-BN sufrieron una deformación principalmente en el anclaje.
- De las gráficas de Esfuerzo vs CMOD, se observa que las fibras produjeron un comportamiento similar a lo mostrado en la norma NMX-C-488-ONNCCE, esta similitud de resultados corrobora que la metodología utilizada genera resultados aceptables y reproducibles.
- La tenacidad del HRF se incrementa con la adición de fibras, de 53 a 74 veces con el uso de las fibras DRAMIX RC-65/35-BN respecto de la tenacidad del hormigón simple, mientras que para las fibras TUF-STRAND SF se incrementó entre 23 y 50 veces pese a que su comportamiento no es estructural.
- En el aspecto económico las fibras DRAMIX RC-65/35-BN resultan ser una mejor alternativa dado sus bajos costos en el mercado y su gran desempeño, comparado con las fibras TUF-STRAND SF, se obtuvo el mismo rendimiento con una dosis de 15 kg/m^3 de fibras DRAMIX RC-65/35-BN al 48% del costo de la dosis de 8 kg/m^3 de fibras TUF-STRAND SF.
- Se obtuvo aproximadamente un 50% más de esfuerzo residual con la dosis de 20 kg/m^3 de la fibra DRAMIX RC-65/35-BN, al 64% del costo de la dosis de 8 kg/m^3 de la fibra TUF-STRAND SF.
- La fibra de mejor relación costo-beneficio fue la DRAMIX RC-65/35-BN, en una dosis de 20 kg/m^3 , alcanzando los mayores esfuerzos residuales a flexión respecto de todos los lotes, y manteniéndose debajo del costo de todas las dosis estudiadas de TUF-STRAND SF.

7.2 RECOMENDACIONES

- No se recomienda el uso de fibras de acero en hormigones de alta trabajabilidad, ya que estos tienen una relación agua-cemento lo suficientemente alta para que la densidad de la mezcla sea menor a la de las fibras, lo que podría ocasionar que al momento del vibrado las fibras de acero se sedimenten. Se podría realizar estudios futuros en este campo.
- El incremento de carga a una velocidad constante máxima de 1.2 kN/min, durante el inicio del ensayo y no mayor a 3 kN/min cuando el CMOD llegue a 1.0 mm, ayuda a tener una mayor cantidad de datos que permitan una curva más suavizada y que facilite la interpolación.
- En el caso de que no se tenga la certeza de que el espécimen a ensayar falle de forma dúctil, por ejemplo en vigas de hormigón simple sin fibras, se deberán tomar las medidas de precaución necesarias para asegurar la integridad del equipo, puesto que los escombros remanentes de la probeta pueden impactar contra los aparatos afectando su funcionamiento o calibración.
- En la presente investigación se analizaron diferentes dosis y tipos de fibras en un mismo hormigón, de modo que se podría complementar el estudio analizando un mismo tipo y dosis de fibra en hormigones de diferentes resistencias, para comprobar si el porcentaje de caída se mantiene constante.
- Debido a que los especímenes fallaron sin producir desprendimientos de material, sería útil el análisis de la formación de rótulas plásticas en estructuras aperticadas utilizando HRF.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 318S, A. C. (2008). *ACI 318S Requisitos para Concreto Estructural*. Estados Unidos.
- ACI-Comité-544. (2010). *Report on the Physical Properties and Durability of Fiber Reinforced Concrete*. Farmington Hills, MI, EUA.
- Askeland, D. R., & Phulé, P. P. (2004). *Ciencia e ingeniería de los materiales*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2015). ASTM A820 / A820M-15 Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete.
- ASTM, C.-1. (s.f.). *ASTM C1602/C1602-12: Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete*.
- Badillo, I. J. (3 de Junio de 2015). Empleo fibras de acero Dramix.
- Balaguru, P., Narahari, R., & Patel, M. (1992). *Flexural Toughness of Steel Fiber-Reinforced Concrete*. ACI Materials Journal.
- BEKAERT. (2009). *DRAMIX*. Kortrijk.
- Clements, M. J. (1996). Measuring the Performance of Steel Fibre Reinforced Shotcrete. *IX Australian Tunneling Conference*. Sydney, Australia.
- Collazos, I. J. (3 de Junio de 2015). Empleo fibras de acero Dramix.
- Committee-ACI-360R. (2006). *ACI 360R-06*.
- EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO, E. (5 de enero de 2016). *Agua Potable | EPMAPS - AGUA QUITO*. Obtenido de Aguaquito.gob.ec: <http://www.aguaquito.gob.ec/agua-potable-0>
- Euclid Chemical Toxement. (2011). *TUF STRAND SF Fibras sintéticas estructurales*. Bogotá.
- González, L. O. (2010). *GENERALIDADES SOBRE LAS FIBRAS ARTIFICIALES*. Palmira.
- Google, E. (19 de 3 de 2016). *Google.com.ec*. Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/place/Pifo/@-0.2412305,-78.32225,1486m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x91d5947d17a0b7c1:0xa97336a482c98d40>
- Guamán & Pilatasig. (2015). *Mejoramiento de la tenacidad del hormigón de alta resistencia con la adición de fibras de polipropileno/polietileno*. Quito: EPN.
- Jansson, A. (2008). *Design methods for fibre-reinforced concrete: a state-of-the-art review*. Goteborg.

- Johnston, C. D., & Skarendahl, A. (1992). *Comparative flexural performance evaluation of steel fibre-reinforced concretes according to ASTM C1018 shows importance of fibre parameters*.
- Lafarge. (septiembre de 2015).
- Líderes. (2016). *Revistalideres.ec*. Obtenido de En Ecuador, el consumo de cemento crece a ritmo sostenido: <http://www.revistalideres.ec/lideres/ecuador-consumo-cemento-crece-ritmo.html>
- Luna, G. V. (2014). *ESTUDIO DEL HORMIGÓN, Guía didáctica para el diseño de mezclas*. Quito: Editorial Edicumbre.
- Majoral, R., Berge, B., & Ribeiro, P. (Octubre de 2011). *Bianchini Ingeniero*. Obtenido de <https://www.abianchini.es/>
- Marmol, P. C. (2010). *Hormigones con Fibra de Acero Características Mecánicas*. Madrid.
- NMX-C-488-ONNCCE. (2014). *NMX-C-488-ONNCCE-2014 (INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - FIBRAS DE ACERO PARA REFUERZO DE CONCRETO - ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE ENSAYO)*. México D.F.: ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y LA EDIFICACIÓN, S. C. ONNCCE.
- NTE-INEN-156. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de la densidad*. Quito.
- NTE-INEN-157. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat*. Quito.
- NTE-INEN-1573. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndrico de hormigón de cemento hidráulico*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN.
- NTE-INEN-1576. (2011). *NTE INEN 1576:2011 HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES*. QUITO: Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN.
- NTE-INEN-158. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat*. Quito.
- NTE-INEN-696. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. . Quito.
- NTE-INEN-697. (2010). *Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μ m (no. 200), mediante lavado*. Quito.
- NTE-INEN-855. (2010). *Áridos. Determinación de impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón*. Quito.
- NTE-INEN-856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Quito.
- NTE-INEN-857. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Quito.

- NTE-INEN-858. (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Quito.
- NTE-INEN-860. (2011). *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles*. Quito.
- NTE-INEN-872. (2011). *Áridos para hormigón. Requisitos*. Quito.
- R. Brown, A. S. (Septiembre de 2002). FIBER REINFORCEMENT OF CONCRETE STRUCTURES. Rhode Island, E.E.U.U.
- RILEM-TECHNICAL-COMMITTEES. (2002). *RILEM TC 162-TDF : TEST AND DESIGN METHODS FOR STEEL FIBRE*. Bagnaux.
- TOXEMENT S.A., C. (2014). FIBRAS SINTÉTICAS FEBRERO 10. (I. G. LUNA, Entrevistador)
- TOXEMENT, E. C. (2011). *TUF STRAND SF Fibras sintéticas estructurales*. Bogotá.
- Trottier, J. F., Morgan, D. R., & Forgeron, D. (1997). *The Influence of Fiber Type: Fiber Reinforced Concrete for Exterior Slabs-on-Grade, Part I*.

ANEXOS

Anexo No. 1
Fichas técnicas

FICHA TÉCNICA 1. DRAMIX RC-65/35-BN

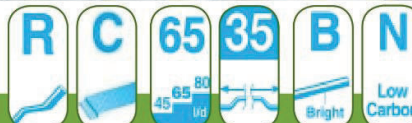
Dramix®

BEKAERT

better together



DATA SHEET



RC-65/35-BN

What is Dramix®?

Dramix® steel fibres, from industry specialist Bekaert, have set a new standard for concrete reinforcement with their unique combination of flexibility and cost-efficiency.

Dramix® is a cold drawn steel wire fibre with hooked ends for optimum anchorage.

What you get from Dramix® reinforced concrete is ductility and high load bearing capacity. On top of that, you'll find a quick and easy way to an efficient and cost effective solution.

RC-65/35-BN offers you:

✓ Dramix® Easy Mix

Dramix® Easy Mix fibres are engineered in such a way to offer fast and perfect mixing, improved pumpability and optimized fibre distribution. Even complex forms and structures are possible.

✓ Dramix® Hi Perform

Dramix® Hi Perform fibres provide high performance and crack resistance. These are products of choice to create optimal ductility. Dramix® Hi Perform is used for structural, designed applications, in situ, precast or sprayed.

GEOMETRY AND PERFORMANCE

length (l)



35 mm

diameter (d)



0,55 mm

Performance class: 65



Performance class: 65

14.500 Fibres/kg Minimum dosage: 15 kg per m³ (according to CE)
Minimum fibre network: 7,6 km per m³ (for 15 kg/m³)

MATERIAL PROPERTIES

Tensile strength: Rm nom: 1.345 N/mm²
Tolerances: ± 7,5% Avg
Young's Modulus (Emod): ± 210.000 N/mm²

PACKAGING



60 BAGS (20kg)
1200 kg



BIG BAG
1100 kg

STORAGE



KEEP DRY



NO STACKING

PRODUCT APPROVALS



CE



ASTM A820



ISO 9001



ISO 14001

• **CE LABEL:** Dramix® is certified for CE mark system 1: steel fibres for structural use. For detailed info: CE info sheet available on request.

• **ISO 9001:** All Dramix® plants are ISO 9001 certified. The same quality standards are applied.

• **ISO 14001:** Some plants are already ISO 14001 certified. All plants will be ISO 14001 certified before end 2011.

Bekaert will advise on the most suitable fibre for your application.

- For our recommendations on handling, dosing and mixing.

- For composition and safe application and in the frame of Reach art.33.

Please go to: www.bekaert.com/dosingdramix

infobuilding@bekaert.com

Modifications reserved.
All details describe our products in general form only. For detailed information, product specifications available on request.

© 2010 Bekaert

design by apantia.be - 71.10.05 - 07/2010

FUENTE: (BEKAERT, 2009).

FICHA TÉCNICA 2. TUF-STRAND SF (1/2)



Calle 20 C No. 43 A - 52 Int. 4
 PBX 2088600 Fax: 3680887 Bogotá D.C.
 E-mail: atencioncliente@toxement.com.co
 www.toxement.com.co

TUF STRAND SF

Fibras sintéticas estructurales

TX40T231

DESCRIPCION

TUF - STRAND SF son fibras sintéticas estructurales mezcla de polipropileno / polietileno, monofilamento, las cuales se auto fibrilan cuando se incorporan en la mezcla de concreto, utilizadas exitosamente para reemplazar la malla electrosoldada y las fibras metálicas en una amplia variedad de aplicaciones.

Las fibras **TUF – STRAND SF** cumplen con la norma ASTM C-1116, para el tipo III (Syntetic Fiber – Reinforced Concrete o Shotcrete). Especificación para concreto y concreto lanzado reforzado con fibra, y están diseñadas específicamente para proveer una resistencia a la tensión equivalente a la de los refuerzos convencionales.

El concreto reforzado con **TUF – STRAND SF** tiene un reforzamiento tridimensional con incremento de la tenacidad a la flexión, la resistencia a la abrasión y al impacto. También ayuda a reducir la formación de fisuras por retracción plástica en el concreto.

Las macrofibras sintéticas cumplen con las partes aplicables del International Code Council (ICC), criterio de aceptación AC 308 para fibras sintéticas, tienen certificación UL para uso en construcción de sistemas metaldeck y son reconocidas por ACI 308 R-06 y SDI / ANSI.CI.O como alternativas al reforzamiento con malla electrosoldada.

INFORMACION TECNICA

PROPIEDADES FISICAS

Material	: Mezcla de Polipropileno / polietileno
Gravedad Específica	: 0.92
Resistencia a Tensión	: 600 - 650 MPa (87 - 94 Ksi)
Módulo de elasticidad	: 9.5 GPa (1,388 Ksi)
Punto de llama (ASTM D-1929)	: 330°C (625°F)
Longitud de fibra	: 50 mm (2")
Aspect Ratio	: 74
Color	: Blanco
Absorción de agua	: Despreciable
Resistencia a álcalis	: Excelente
Resistencia a ácidos	: Excelente
Resistencia a moho – hongos	: Excelente
Dosis típica	: 1.8 - 12 kg/m ³
Denier	: 3000

USOS

- Elementos prefabricados en concreto.
- Concreto lanzado (recubrimiento de túneles, construcción de piscinas, estabilización de taludes).
- Pavimentos y Whitetopping
- Pisos de concreto en centros de distribución, pisos industriales, pisos de bodegas.

VENTAJAS

- Controla y mitiga la retracción y fisuración por retracción plástica, reduce la segregación y la exudación.
- Da un control tridimensional de la contracción plástica.
- Reduce el contenido de fibra y optimiza el espesor comparado con las fibras metálicas para aplicación de concreto lanzado.
- Excelente dispersión en concreto.
- Reduce el deterioro de equipos.
- Reduce el rebote del concreto lanzado cuando se compara con fibras de acero y otras fibras sintéticas.
- **TUF – STRAND SF** ha sido probada de acuerdo con ASTM C-1399, C-1550, C-1609 y C-1018 y EFNARC (Experts for Specialized Construction and Concrete Systems).
- Aplican los criterios de diseño considerados en ACI 308 R-06, capítulo 10.
- Certificación de uso UL / ULC para ensambles de metaldeck D900 series, como alternativa al uso de malla electrosoldada.
- Resistente a corrosión, no es magnética, no es un refuerzo estructural conductible.
- Reduce costos de colocación si se compara con la malla electrosoldada.
- Fácil de usar y puede ser adicionada a la mezcla de concreto en cualquier momento antes de la colocación.

DOSIFICACION

TUF - STRAND SF puede ser adicionado al concreto en un rango de 1.8 - 12 kg/m³ dependiendo de la aplicación y requerimientos del diseño de mezcla.

Para establecer la cantidad de **TUF - STRAND SF** necesaria para reemplazar la malla electrosoldada en una aplicación específica, consulte al Departamento Técnico de EUCLID - TOXEMENT.

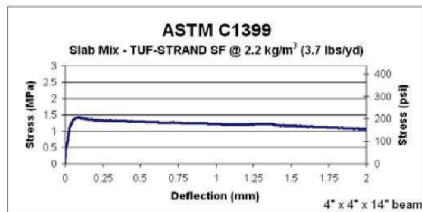
FICHA TÉCNICA 3. TUF-STRAND SF (2/2)



Calle 20 C No. 43 A - 52 Int. 4
 PBX 2088600 Fax: 3680887 Bogotá D.C.
 E-mail: atencioncliente@toxement.com.co
 www.toxement.com.co

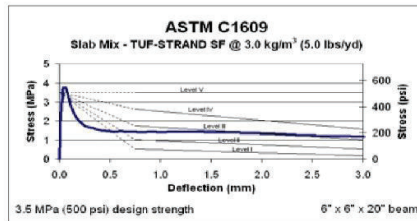
APLICACION

- Las fibras **TUF STRAND SF** se pueden adicionar a la mezcla de concreto en cualquier momento antes de la colocación del concreto. Generalmente se recomienda adicionar la fibra en la planta de producción del concreto.
- Una vez adicionadas las fibras al concreto, se debe mezclar por un mínimo de 3 a 5 minutos a la máxima velocidad para asegurar la completa dispersión y homogeneización de las fibras en la mezcla.
- Para dosificaciones de 2 – 3 kg/m³ se puede prever un asentamiento de 50 mm (2"). Para dosificaciones de 3 a 7 kg/m³ se puede esperar una pérdida de asentamiento de 75 a 125 mm (3 a 5 in).
- Para mantener la trabajabilidad deseada puede ser necesario usar aditivos reductores y/o plastificantes tales como EUCON 37, EUCON 1037 o aditivos de la serie PLASTOL.
- Adicione los aditivos de manera independiente a las fibras **TUF STRAND SF**.
- **TUF STRAND SF** es compatible con todos los aditivos de EUCLID – TOXEMENT.
- El uso apropiado de las fibras **TUF STRAND SF** no afecta la resistencia a la compresión o a la flexión del concreto o del concreto lanzado.



Average Residual Strength (ARS) at given deflection					
deflection	0.5 mm	0.75 mm	1 mm	1.25 mm	Average
ARS - MPa	1.29	1.24	1.21	1.19	1.23
ARS - psi	187	180	176	172	179

single test analysis - individual results may vary



P _{160,0.75}	f _{160,0.75}	P _{160,3.0}	f _{160,3.0}	T _{160,3.0}	JSCE	R _{st} (%)
10.5 kN	1.4 MPa	9.0 kN	1.2 MPa	35 J	1.41 MPa	34.8
2360 lbs	200 psi	2020 lbs	175 psi	310 in lb	205 psi	

single test analysis - individual results may vary

PRECAUCIONES

- Es necesario hacer ensayos preliminares para determinar las dosis óptimas de aditivo y fibra a utilizar, en función de los requerimientos de colocación y uso del concreto.
- El uso de fibras puede causar una pérdida aparente del asentamiento del concreto, la cual se puede compensar con el uso de aditivos plastificantes / reductores de agua.
- Las fibras nunca se deben adicionar a concretos con asentamiento cero. Asegúrese que el concreto tenga un asentamiento mínimo de 80 mm (3") antes de adicionar la fibra.

ALMACENAMIENTO

TUF - STRAND SF debe almacenarse en su empaque original, herméticamente cerrado y en lugares secos.

Vida útil de almacenamiento: 3 años en su empaque original, sin abrir.

PRESENTACION

Bolsa 2,27 kg
 Granel

Las Hojas Técnicas de los productos EUCLID - TOXEMENT pueden ser modificadas sin previo aviso. Visite nuestra página Web www.toxement.com.co para consultar la última versión.

FICHA TÉCNICA 4. ARMADURO

CEMENTO PORTLAND
PUZOLÁNICO TIPO IP

FICHA TÉCNICA ARMADURO

UN PRODUCTO DE
LAFARGE CEMENTOS S.A.

DENOMINACIÓN

- ARMADURO es un Cemento Portland Pozolánico Tipo IP, diseñado para la elaboración de toda clase de prefabricados de hormigón, para diferentes usos
- Cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 490 (Norma Técnica Ecuatoriana) y ASTM C 595
- La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad
- Posee Licencia Ambiental

APLICACIONES

Con este producto se pueden elaborar hormigones para la construcción de:

- Para obras viales: Losas, puentes, pantallas, dovelas, tubos, adoquines, etc.
- Aplicaciones estructurales y ornamentales: Postes, adoquines, bloques, bordillos, viguetas, etc.
- Estructuras de hormigón pre -o - postensado

PRECAUCIONES

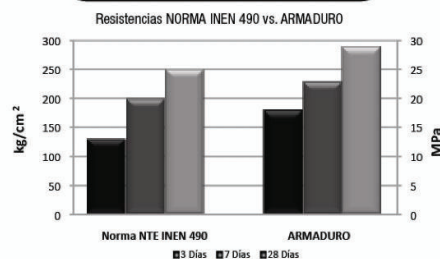
Almacenamiento

- Adquirir el cemento a distribuidores autorizados
- Evitar contacto directo con el suelo
- Evitar contacto con las paredes perimetrales de la bodega
- En ambientes húmedos asegurar una ventilación adecuada
- No exceder los 60 días de almacenamiento

Para aplicación

- Emplear dosificaciones de hormigón diseñadas en un laboratorio calificado
- Corregir periódicamente las mezclas para mantener constante el ratio a/c (la relación agua/cemento)
- Iniciar el curado lo más pronto posible y evitar desecación

Requisitos Mecánicos



Requisitos Químicos

PARÁMETRO	INEN 490	ARMADURO
Pérdida por calcinación	≤ 5 %	1,4%
Magnesio (MgO)	≤ 6 %	2,3%
Sulfatos (SO ₃)	≤ 4 %	2,4%

Requisitos Físicos

PARÁMETRO	INEN 490	ARMADURO
Fraguado inicial	≥ 45 % ≤ 420 min	120 min
Expansión	≤ 0,8 %	0,04%
Contenido del aire	≤ 12 %	4,50%



FUENTE: (Lafarge, 2015).

Anexo No. 2

Cálculos de ensayos de agregados y dosificación

A.1. ENSAYOS EN EL CEMENTO

A.1.1 DENSIDAD REAL

El procedimiento para encontrar la densidad real del cemento está dado por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 156:2009 mediante el método del frasco de Le Chatelier. La Tabla A.1 presenta los resultados de las tres muestras.

TABLA A. 1 CÁLCULOS DE DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

Densidad Real del Cemento			
Ensayo	1	2	3
Peso inicial	329,40 gr.	335,60 gr.	325,70 gr.
Lectura inicial	0,65 cm ³	0,75 cm ³	0,60 cm ³
Peso reactivo + cemento	389,50 gr.	395,59 gr.	385,67 gr.
Lectura final	20,31 cm ³	20,16 cm ³	20,26 cm ³
Densidad Real	3,06 gr/cm ³	3,09 gr/cm ³	3,05 gr/cm ³
Densidad Real Promedio	3,07 gr/cm³		

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

A.1.2 DENSIDADES APARENTES

En el caso de las densidades aparentes se tendrá dos: densidad aparente suelta y densidad aparente compactada; ambos procedimientos están dados por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 858:2010.

Realizados los ensayos de densidades aparentes, se obtuvieron los resultados indicados en la Tabla A.2, como promedio de las tres determinaciones.

TABLA A. 2 CÁLCULO DE DENSIDADES APARENTES DEL CEMENTO

Densidades Aparentes del Cemento			
Peso Molde	152,8 gr		
Diámetro del Molde	5,5 cm		
Altura del Molde	14,8 cm		
Volumen del Molde	350,4 cm ³		
Ensayo	1	2	3
W _{SUELTO}	518 gr	510 gr	511 gr
W _{COMPACTADO}	603 gr	600 gr	596 gr
Densidad Aparente Suelta	1,042 gr/cm ³	1,019 gr/cm ³	1,022 gr/cm ³
Densidad Aparente Compactada	1,285 gr/cm ³	1,276 gr/cm ³	1,265 gr/cm ³
Densidad Aparente Suelta PROMEDIO	1,028 gr/cm ³		
Densidad Aparente Compactada PROMEDIO	1,275 gr/cm ³		

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

A.2. ENSAYOS DE AGREGADOS.

A.2.1 GRANULOMETRÍA

A.2.1.1. Agregado Fino

Los datos obtenidos después de realizar el ensayo de granulometría sobre tres muestras se presentan en la Tabla A.3.

TABLA A. 3 PESOS RETENIDOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	PESO RET. 1 (gr.)	PESO RET. 2 (gr.)	PESO RET. 3 (gr.)	PESO RET. PROMEDIO (gr.)
4	23,6	23,6	23,6	23,6
8	169,3	169,3	169,3	169,3
16	182,8	183,0	183,2	183
30	140,3	140,2	140,4	140,3
50	139,2	139,3	139,4	139,3
100	131,2	131,2	131,2	131,2
200	169,6	169,6	170,1	169,8
BANDEJA	41,8	41,8	41,8	41,8
TOTAL	997,8	997,9	999,2	998,3

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

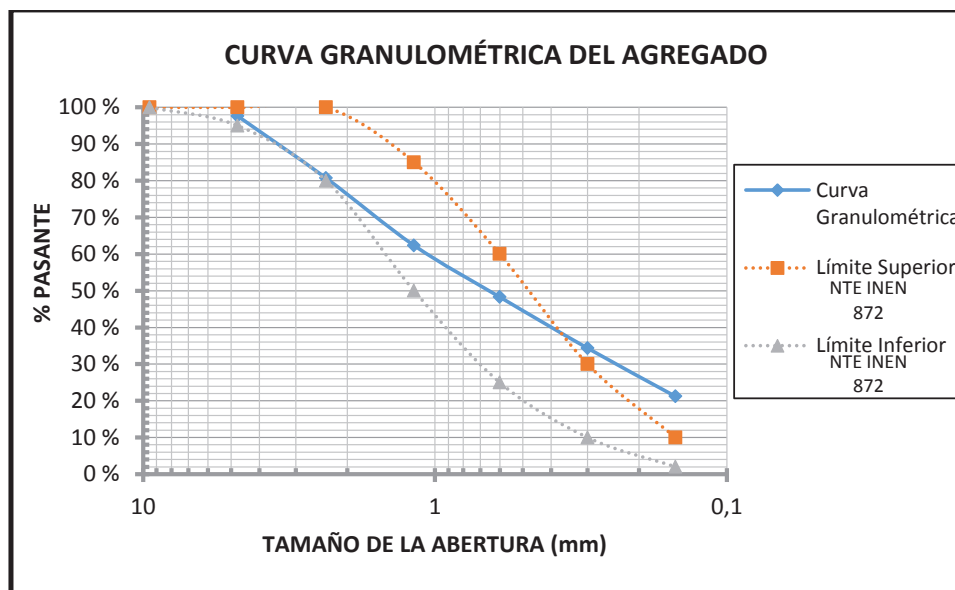
Con las Ecuaciones 3.5, 3.6 y 3.7 se realiza el cálculo del porcentaje que pasa.

TABLA A. 4 CÁLCULO PORCENTAJE QUE PASA DEL AGREGADO FINO

AGREGADO FINO					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr.)	% RETENIDO (gr.)	% RET. ACUM. (gr.)	% PASANTE (gr.)
4	4,75	23,6	2,36	2	98
8	2,36	169,3	16,96	19	81
16	1,18	183	18,33	38	62
30	0,6	140,3	14,05	52	48
50	0,3	139,3	13,95	66	34
100	0,15	131,2	13,14	79	21
200	0,075	169,8	17,01	96	4
BANDEJA		41,8	4,19	100	0
TOTAL		998,3	NTE INEN 872:1982		

ELABORADO POR: FRANCISCO RAMÍREZ Y JOSÉ ANTONIO SAMANIEGO.

GRÁFICO A. 1 CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FUENTE: NTE INEN 872: Áridos para hormigón. Requisitos.

Tamaño máximo = 9,5 mm (3/8")

Tamaño máximo nominal = 4,75 mm (No. 4)

% pasa 200 = 4%

Se calculó el módulo de finura del agregado fino con la Ecuación 3.8.

$$MF = \frac{2 + 19 + 38 + 52 + 66 + 79}{100} = 2,56$$

A.2.1.2. Agregado Grueso

Los datos obtenidos después de realizar el ensayo de granulometría sobre tres muestras se presentan en la Tabla A.5.

TABLA A. 5 PESOS RETENIDOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

TAMIZ	PESO RET. 1 (gr.)	PESO RET. 2 (gr.)	PESO RET. 3 (gr.)	PESO RET. PROMEDIO (gr.)
3/4"	0,0	0,0	0,0	0
1/2"	135,1	135,3	135,4	135,25
3/8"	794,0	794,8	795,5	794,75
4	63,6	63,6	63,6	63,6
8	2,2	2,2	2,2	2,2
BANDEJA	2,6	2,6	2,6	2,6
TOTAL	997,5	998,4	999,3	998,4

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

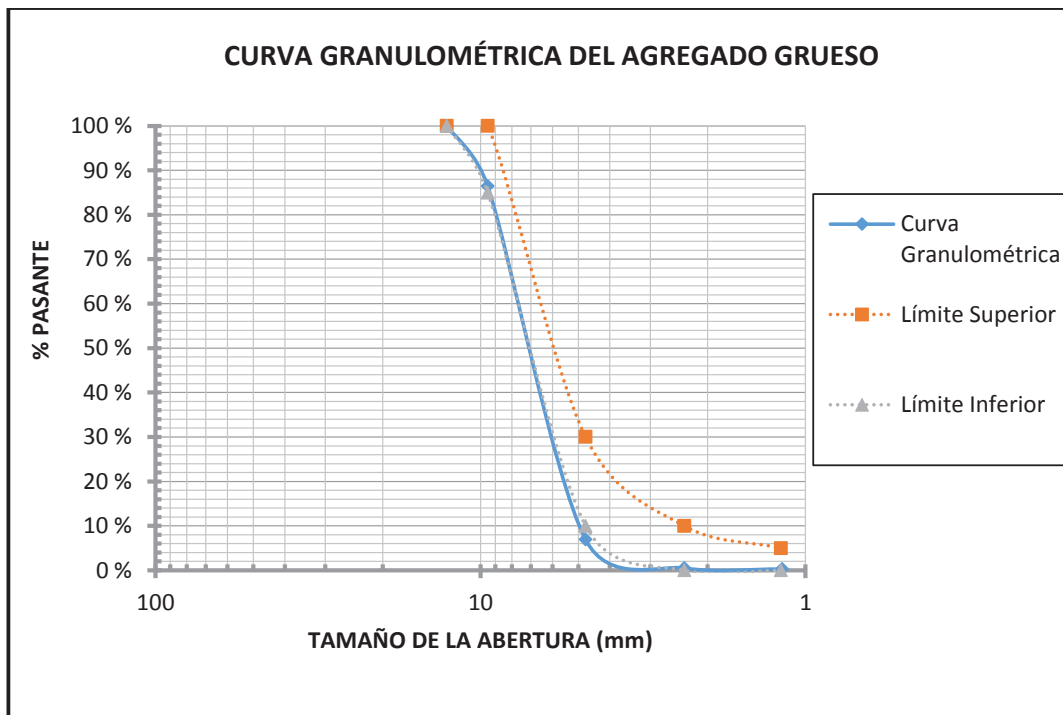
Con las Ecuaciones 3.5, 3.6 y 3.7 se realiza el cálculo del porcentaje que pasa.

TABLA A. 6 CÁLCULO PORCENTAJE QUE PASA DEL AGREGADO GRUESO

AGREGADO GRUESO					
ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr.)	% RETENIDO (gr.)	% RET. ACUM. (gr.)	% PASANTE (gr.)
1/2"	12,7	0,00	0,00	0	100
3/8"	9,5	135,25	13,55	14	86
4	4,75	794,75	79,60	93	7
8	2,36	63,60	6,37	100	0
16	1,18	2,20	0,22	100	0
BANDEJA		2,60	0,26	100	0
TOTAL		998,4	NTE INEN 872:1982		

ELABORADO POR: FRANCISCO RAMÍREZ Y JOSÉ ANTONIO SAMANIEGO.

GRÁFICO A. 2 CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO.



ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Tamaño máximo = 12,7 mm (1/2")

Tamaño máximo nominal = 9,5 mm (3/8")

Se calculó el módulo de finura del agregado fino con la Ecuación 3.8.

$$MF = \frac{14 + 93 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100}{100} = 6,07$$

A.2.2 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

A.2.2.1. Agregado Fino

TABLA A. 7 CÁLCULO PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

AGREGADO FINO			
ENSAYO	1	2	3
Peso del material SSS	499,5 gr	499,5 gr	501,0 gr
Peso del matraz + agua	661,0 gr	660,3 gr	661,7 gr
$W_{\text{matraz}} + \text{agua} + \text{mat. SSS}$	958,7 gr	959,6 gr	960,6 gr
Peso Material Seco	473,2 gr	473,2 gr	473,2 gr
RESULTADOS			
Peso Específico	2,34 gr/cm ³	2,36 gr/cm ³	2,34 gr/cm ³
Peso Específico SSS	2,47 gr/cm ³	2,49 gr/cm ³	2,48 gr/cm ³
Absorción de Agua	5,558%	5,558%	5,875%
Peso Específico <small>PROMEDIO</small>	2,350 gr/cm ³		
Peso Específico SSS <small>PROMEDIO</small>	2,483 gr/cm ³		
Absorción de Agua <small>PROMEDIO</small>	5,664%		

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

A.2.2.2. Agregado Grueso

TABLA A. 8 CÁLCULO PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

AGREGADO GRUESO			
ENSAYO	1	2	3
Peso del material SSS	1998,0 gr	1998,0 gr	2004,0 gr
Peso de la canastilla sumergida	2167,0 gr	2164,8 gr	2169,2 gr
$W_{\text{canastilla}} + \text{material SSS sumergido}$	3360,6 gr	3360,6 gr	3370,7 gr
Peso Material Seco	1915,6 gr	1915,6 gr	1915,6 gr
RESULTADOS			
Peso Específico	2,38 gr/cm ³	2,39 gr/cm ³	2,39 gr/cm ³
Peso Específico SSS	2,48 gr/cm ³	2,49 gr/cm ³	2,50 gr/cm ³
Absorción de Agua	4,302%	4,302%	4,615%
Peso Específico <small>PROMEDIO</small>	2,386 gr/cm ³		
Peso Específico SSS <small>PROMEDIO</small>	2,491 gr/cm ³		
Absorción de Agua <small>PROMEDIO</small>	4,406%		

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

A.2.3. DENSIDADES APARENTES

TABLA A. 9 CÁLCULOS DE DENSIDADES APARENTES EN EL AGREGADO FINO

AGREGADO FINO			
Peso Molde	4750,0 gr.		
Diámetro del Molde	20,3 cm		
Altura del Molde	29,3 cm		
Volumen del Molde	9436,4 cm ³		
Ensayo	1	2	3
W_{SUELTO}	19812 gr.	19500 gr.	19188 gr.
$W_{\text{COMPACTADO}}$	21166 gr.	20485 gr.	20299 gr.
Densidad Aparente Suelta PROMEDIO	1,563 gr/cm³		
Densidad Aparente Compactada PROMEDIO	1,685 gr/cm³		

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

TABLA A. 10 CÁLCULOS DE DENSIDADES APARENTES EN EL AGREGADO GRUESO

AGREGADO GRUESO			
Peso Molde	1900,0 gr.		
Diámetro del Molde	15,2 cm		
Altura del Molde	15,3 cm		
Volumen del Molde	2776,3 cm ³		
Ensayo	1	2	3
W_{SUELTO}	5356 gr.	5117 gr.	5127 gr.
$W_{\text{COMPACTADO}}$	5774 gr.	5533 gr.	5494 gr.
Densidad Aparente Suelta PROMEDIO	1,189 gr/cm³		
Densidad Aparente Compactada PROMEDIO	1,333 gr/cm³		

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

A.2.4. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

TABLA A. 11 CÁLCULO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN.

ABRASIÓN			
#Rev.	Peso 1	Peso 2	Peso 3
100	4750,5 gr	4788,5 gr	4751,0 gr
500	3768,0 gr	3705,5 gr	3711,0 gr
Peso inicial	5000,0 gr		
% Desgaste 100 rev. (PROMEDIO)	5,00%		
% Desgaste 500 rev. (PROMEDIO)	25,80%		
Coefficiente de Uniformidad	0,19		
Dureza uniforme			

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

A.3. CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN PATRÓN (MÉTODO DEL ACI)

Los datos de partida serán siempre la resistencia y el asentamiento, en el presente estudio se eligió la resistencia de $f'c = 24\text{MPa}$ ($\approx 240\text{ kg/cm}^2$) y el asentamiento de 8 cm.

Conociendo que el tamaño máximo del agregado a utilizarse es de 0.98cm (3/8"), se elige el asentamiento de entre 7,6 a 10,2 cm para la mezcla, teniendo en cuenta que se trabajará con hormigón sin inclusión de aire y se encuentra la cantidad de agua de mezclado que resulta en 228 litros/m³ de hormigón de Tabla A.12.

TABLA A. 12 CANTIDAD DE AGUA MEZCLADO, LITROS/M³ DE HORMIGÓN.

CANTIDAD DE AGUA MEZCLADO, LITROS/M ³ DE HORMIGÓN, REQUERIDA EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO UTILIZADO EN LA OBRA, PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS									
ASENTAMIENTO		TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO							
		0,95	1,27	1,9	2,54	3,81	5,08	7,62	15,24
MÍN	MÁX	HORMIGÓN SIN INCLUSIÓN DE AIRE							
2,5	5,1	208	198	183	178	163	153	144	124
7,6	10,2	228	218	203	193	178	168	158	139
15,2	17,8	243	228	213	203	188	178	168	149
Porcentaje de aire atrapado, %		3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
MÍN	MÁX	HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE AIRE							
2,5	5,1	183	178	163	153	144	134	124	109
7,6	10,2	203	193	178	168	158	149	139	119
15,2	17,8	213	203	188	178	168	158	149	129
Porcentaje de aire atrapado, %		8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FUENTE: (ACI 318S, 2008).

El siguiente paso es encontrar la relación agua/cemento, ésta dependerá de dos cosas: el tipo de exposición y la resistencia a la compresión deseada. Debido a que los especímenes no serán sometidos a ninguna clase de sulfato, la relación agua/cemento dependerá únicamente de las exigencias de la resistencia a la compresión dadas en la Tabla A.13.

TABLA A. 13 RELACIÓN A/C PARA DIFERENTES RESISTENCIAS.

RELACIÓN AGUA-CEMENTO (a/c) RECOMENDADA, EN litros/kg DE CEMENTO, PARA DIFERENTES RESISTENCIAS A COMPRESIÓN, CON Y SIN INCLUSIÓN DE AIRE*			
RELACIÓN AGUA-CEMENTO (a/c) (litros/kg de cemento)	Litros de agua por cada saco de 50 kg de cemento	Resistencia a la compresión probable a los 28 días	
		Hormigón sin inclusión de aire	Hormigón con inclusión de aire
0,265	15,0	424 Kg/cm ²	325 Kg/cm ²
0,353	19,0	350 Kg/cm ²	280 Kg/cm ²
0,445	22,5	280 Kg/cm ²	240 Kg/cm ²
0,494	24,8	240 Kg/cm ²	210 Kg/cm ²
0,530	26,5	210 Kg/cm ²	180 Kg/cm ²
0,623	30,0	180 Kg/cm ²	140 Kg/cm ²
0,705	34,0	140 Kg/cm ²	110 Kg/cm ²

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FUENTE: (ACI 318S, 2008)

Así la relación agua-cemento para un $f_c = 24\text{MPa}$ ($\approx 240 \text{ kg/cm}^2$) queda establecida en 0,494.

El siguiente paso es encontrar el volumen aparente de agregado grueso a través de la Tabla A.14.

TABLA A. 14 VOLUMEN APARENTE DE AGREGADO GRUESO POR M³ DE HORMIGÓN.

VOLUMEN APARENTE DE AGREGADO GRUESO, EN M ³ , POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN											
Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Volumen, en m ³ , de agregado grueso seco y compactado, por m ³ de hormigón									
		Módulo de finura del agregado fino									
cm	pulg	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00	3,10	3,20
1,00	3/8	0,47	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38
1,25	1/2	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47
1,90	3/4	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,58	0,57
2,54	1	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62
3,81	1 1/2	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68
5,08	2	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71
7,62	3	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76
15,24	6	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

FUENTE: (ACI 318S, 2008).

Con el tamaño nominal del ripio igual a 0,98 mm (3/8") y el módulo de finura de la arena igual a 2,56, resulta un volumen aparente para el ripio de 0,44 m³/m³ de hormigón.

A partir de aquí se puede calcular la dosificación, el primer valor a encontrar es el factor de cemento con la Ecuación A.1.

$$\text{Factor de Cemento} = \frac{\text{Cantidad de agua por m}^3}{\text{relación } a/c} \quad (\text{A. 1.})$$

$$\text{Factor de Cemento} = \frac{228 \text{ lt/m}^3}{0.494 \text{ lt/kg}} = 461.54 \text{ kg/m}^3 = 9.23 \text{ sacos/m}^3$$

El volumen real de cemento se calcula a partir de la densidad real con la Ecuación A.2.

$$\text{Volumen real de Cemento} = \frac{\text{Factor de Cemento}}{\text{Densidad Real}} \quad (\text{A. 2.})$$

$$\text{Volumen real de Cemento} = \frac{461.54 \text{ kg}/\text{m}^3}{3.12 \text{ gr}/\text{cm}^3} = 147.93 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

Se calcula el volumen real de sólidos gruesos en estado S.S.S. mediante el volumen aparente compactado del agregado grueso usando la Ecuación A.3.

$$\text{Vol}_{\text{Real}} \text{ agregados}_{(\text{S.S.S.})} = \text{Vol. aparente comp.} \times \frac{\text{Densidad compactada}}{\text{Densidad Real S.S.S.}} \quad (\text{A. 3.})$$

$$\text{Vol}_{\text{Real}} \text{ de agregados}_{(\text{S.S.S.})} = 440 \text{ dm}^3 \times \frac{1.32 \text{ gr}/\text{cm}^3}{2.49 \text{ gr}/\text{cm}^3} = 233.25 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

Conociendo el volumen de aire, agua, cemento y ripio que se usará en sólo queda por encontrar el volumen aparente de arena, el cual es la diferencia faltante para llegar a completar 1 m³ de hormigón, ver Ecuación A.4.

$$\text{Arena} = 1000 \text{ dm}^3 - (\text{Vol. Cemento} + \text{Vol. Agua} + \text{Vol. Aire} + \text{Vol. Ripio}) \quad (\text{A. 4.})$$

$$\text{Vol. Arena} = 1000 \text{ dm}^3 - (461.54 \text{ dm}^3 + 228 \text{ dm}^3 + 30 \text{ dm}^3(3\%) + 233.25 \text{ dm}^3) = 360.82 \text{ dm}^3$$

A continuación se calculan los pesos correspondientes usando las densidades reales, en el caso del cemento, y las densidades S.S.S., en el caso de los agregados. Además se encuentra la relación de pesos respecto al peso del cemento.

TABLA A. 15 CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN AL PESO.

ELEMENTO	VOLUMEN REAL (dm ³)	DENSIDAD REAL (gr/cm ³)	PESO (kg)	CANT. RELATIVA
AGUA	228.00	1.00	228.00	0.49
CEMENTO	147.93	3.12	461.54	1.00
ARENA	360.82	2.48	894.83	1.94
RIPIO	233.25	2.49	580.80	1.26

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Se reporta la dosificación en estado S.S.S. como se indica en la Tabla A.16.

TABLA A. 16 DOSIFICACIÓN AL PESO.

a/c	Cemento	Arena	Ripio
0,49	1,00	1,94	1,26

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Teniendo en cuenta la absorción de los materiales, se corrige la cantidad de agua de la mezcla, la cantidad de agua que hay que corregir por cada material se encuentra con las Ecuaciones A.5 y A.6.

$$Aa (kg) = W_{arena} \times \left(\frac{100 + Ab_{arena}\%}{100 + W_{arena}\%} - 1 \right) \quad (\text{A. 5.})$$

$$Ar (kg) = W_{ripio} \times \left(\frac{100 + Ab_{ripio}\%}{100 + W_{ripio}\%} - 1 \right) \quad (\text{A. 6.})$$

Donde:

Aa = Agua de corrección por absorción del arena.

Ar = Agua de corrección por absorción del ripio.

W_{arena} = Peso de arena.

W_{ripio} = Peso de ripio.

Ab_{arena}% = Absorción (arena).

Ab_{ripio}% = Absorción (ripio).

$W_{\text{arena}}\% = \text{Humedad natural (arena)}$.

$W_{\text{ripio}}\% = \text{Humedad natural (ripio)}$.

Se encuentra la cantidad de agua a corregir tomando en cuenta que los materiales al momento de la fundición estarán secos:

$$Aa = 894.83 \times \left(\frac{100 + 5.56}{100 + 0} - 1 \right) = 49.75 \text{ kg}$$

$$Ar = 580.8 \times \left(\frac{100 + 4.41}{100 + 0} - 1 \right) = 25.61 \text{ kg}$$

A continuación se corrige la dosificación añadiendo el agua de corrección por arena y por ripio:

TABLA A. 17 CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN AL PESO CORREGIDA POR ABSORCIÓN.

ELEMENTO	PESO (kg)	CANT. RELATIVA
AGUA	303.4	0.66
CEMENTO	461.54	1.00
ARENA	894.83	1.94
RIPIO	580.80	1.26

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

TABLA A. 18 DOSIFICACIÓN AL PESO CORREGIDA POR ABSORCIÓN.

a/c	Cemento	Arena	Ripio
0.66	1.00	1.94	1.26

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

En cada fundición se elaborarán 3 vigas y 4 cilindros, tomando en cuenta el 3% de desperdicios se tiene un total de $0,0481 \text{ m}^3$ de hormigón, para encontrar la cantidad necesaria de cada material, multiplicamos el volumen de hormigón a fundir por el peso necesario para fundir un m^3 (Tabla A.19.).

$$\text{Agua} = 303,40 \times 0,0481 = 14,620 \text{ kg}$$

$$\text{Cemento} = 461,54 \times 0,0481 = 22,240 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 894,83 \times 0,0481 = 43,119 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 580,80 \times 0,0481 = 27,987 \text{ kg}$$

TABLA A. 19 CANTIDADES PARA CADA FUNDICIÓN.

AGUA	CEMENTO	ARENA	RIPIO	Unidad
14.620	22.240	43.119	27.987	Kg.

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

Anexo No. 3

Ensayos de cilindros a compresión simple



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 18 de febrero de 2016

INF. No.16 - 0111
Hoja 01 de 03

SOLICITA: ING. GERMÁN LUNA, FRANCISCO XAVIER RAMIREZ Y JOSÉ ANTONIO SAMANIEGO
Atención: José Antonio Samaniego
Dirección: El Nacional N39-42 Y El Telégrafo
PROYECTO: TESIS DE GRADO, "ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS EFECTOS SOBRE EL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS (HRF) USANDO MACRO FIBRAS; DE ACERO DRAMIX RC-6535-BN Y DE POLIPROPILENO/POLIETILENO TUF-STRAND SF." FRANCISCO XAVIER RAMIREZ Y JOSÉ ANTONIO SAMANIEGO

CONTRATISTA: *****
FISCALIZADOR: *****
ELEMENTO: INDICADOS
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	10-sep-15	PATRÓN	08-oct-15	28	99	7698	2260	180.79	16.44	23.5	239
2	10-sep-15	PATRÓN	08-oct-15	28	102	8171	2240	188.62	19.23	23.1	235
3	10-sep-15	PATRÓN	08-oct-15	28	98	7543	2210	177.43	18.09	23.5	240
4	10-sep-15	PATRÓN	08-oct-15	28	102	8171	2220	183.12	16.67	22.4	229
5	11-sep-15	PATRÓN	09-oct-15	28	102	8171	2217	189.50	19.32	23.2	236
6	11-sep-15	PATRÓN	09-oct-15	28	100	7854	2240	178.79	18.23	22.8	232
7	11-sep-15	PATRÓN	09-oct-15	28	101	8012	2233	188.62	19.23	23.5	240
8	11-sep-15	PATRÓN	09-oct-15	28	99	7698	2250	182.08	18.57	23.7	241
9	14-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 25 kg/m ³	12-oct-15	28	101	8012	2244	189.68	19.34	23.7	241
10	14-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 25 kg/m ³	12-oct-15	28	101	8012	2279	188.62	19.23	23.5	240
11	14-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 25 kg/m ³	12-oct-15	28	100	7854	2254	177.73	18.12	22.6	231
12	14-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 25 kg/m ³	12-oct-15	28	100	7854	2275	197.13	20.10	25.1	256
13	15-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 25 kg/m ³	13-oct-15	28	102	8171	2212	188.29	19.20	23.0	235
14	15-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 25 kg/m ³	13-oct-15	28	101	8012	2254	178.48	18.20	22.3	227
15	15-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 25 kg/m ³	13-oct-15	28	102	8171	2230	189.27	19.30	23.2	236
16	15-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 25 kg/m ³	13-oct-15	28	101	8012	2271	199.07	20.30	24.8	253
17	16-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 20 kg/m ³	14-oct-15	28	101	8012	2217	178.81	18.23	22.3	228
18	16-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 20 kg/m ³	14-oct-15	28	101	8012	2214	185.38	18.90	23.1	236
19	16-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 20 kg/m ³	14-oct-15	28	100	7854	2256	170.97	17.43	21.8	222
20	16-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 20 kg/m ³	14-oct-15	28	101	8012	2195	205.38	20.94	25.6	261

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 18 de febrero de 2016

INF. No.16 - 0111
Hoja 02 de 03

SOLICITA: ING. GERMÁN LUNA, FRANCISCO XAVIER RAMIREZ Y JOSÉ ANTONIO SAMANIEGO
Atención: José Antonio Samaniego
Dirección: El Nacional N39-42 Y El Telégrafo
PROYECTO: TESIS DE GRADO, "ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS EFECTOS SOBRE EL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS (HRF) USANDO MACRO FIBRAS; DE ACERO DRAMIX RC-6535-BN Y DE POLIPROPILENO/POLIETILENO TUF-STRAND SF." FRANCISCO XAVIER RAMIREZ Y JOSÉ ANTONIO SAMANIEGO

CONTRATISTA: ****
FISCALIZADOR: ****
ELEMENTO: INDICADOS
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	18-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 20 kg/m ³	16-oct-15	28	100	7854	2288	197.34	20.12	25.1	256
2	18-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 20 kg/m ³	16-oct-15	28	101	8012	2242	203.80	20.78	25.4	259
3	18-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 20 kg/m ³	16-oct-15	28	100	7854	2290	179.90	18.35	22.9	234
4	18-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 20 kg/m ³	16-oct-15	28	101	8012	2249	180.82	18.44	22.6	230
5	21-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 15 kg/m ³	19-oct-15	28	100	7854	2261	167.15	17.05	21.3	217
6	21-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 15 kg/m ³	19-oct-15	28	100	7854	2279	186.54	19.02	23.8	242
7	21-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 15 kg/m ³	19-oct-15	28	101	8012	2230	185.57	18.92	23.2	236
8	21-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 15 kg/m ³	19-oct-15	28	100	7854	2276	177.49	18.10	22.6	230
9	23-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 15 kg/m ³	21-oct-15	28	101	8012	2218	180.93	18.45	22.6	230
10	23-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 15 kg/m ³	21-oct-15	28	100	7854	2273	179.16	18.27	22.8	233
11	23-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 15 kg/m ³	21-oct-15	28	101	8012	2225	182.64	18.62	22.8	232
12	23-sep-15	HRF DRAMIX RC-6535-BN 15 kg/m ³	21-oct-15	28	101	8012	2220	195.79	19.97	24.4	249
13	25-sep-15	HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³	23-oct-15	28	101	8012	2168	193.84	19.77	24.2	247
14	25-sep-15	HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³	23-oct-15	28	101	8012	2190	192.33	19.61	24.0	245
15	25-sep-15	HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³	23-oct-15	28	101	8012	2171	183.59	18.72	22.9	234
16	25-sep-15	HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³	23-oct-15	28	101	8012	2174	187.80	19.15	23.4	239
17	28-sep-15	HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³	26-oct-15	28	101	8012	2175	183.74	18.74	22.9	234
18	28-sep-15	HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³	26-oct-15	28	101	8012	2205	171.69	17.51	21.4	219
19	28-sep-15	HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³	26-oct-15	28	101	8012	2188	194.93	19.88	24.3	248
20	28-sep-15	HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³	26-oct-15	28	101	8012	2189	177.82	18.13	22.2	226

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO



C16-0046

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezanine, Ofic. M15 email: laboratoriocivlepn@yahoo.com / Telf.: (02) 2976 300 ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN


INF. No.16 - 0111
Hoja 03 de 03

Quito, 18 de febrero de 2016

SOLICITA: ING. GERMÁN LUNA, FRANCISCO XAVIER RAMIREZ Y JOSÉ ANTONIO SAMANIEGO
Atención: José Antonio Samaniego
Dirección: El Nacional N39-42 Y El Telégrafo
PROYECTO: TESIS DE GRADO, "ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS EFECTOS SOBRE EL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS (HRF) USANDO MACRO FIBRAS; DE ACERO DRAMIX RC-6535-BN Y DE POLIPROPILENO/POLIETILENO TUF-STRAND SF" FRANCISCO XAVIER RAMIREZ Y JOSÉ ANTONIO SAMANIEGO
CONTRATISTA: ****
FISCALIZADOR: ****
ELEMENTO: INDICADOS
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	29-sep-15	HRF TUF STRAND SF 6 kg/m ³	27-oct-15	28	100	7854	2233	181.85	18.54	23.2	236
2	29-sep-15	HRF TUF STRAND SF 6 kg/m ³	27-oct-15	28	101	8012	2200	180.35	18.39	22.5	230
3	29-sep-15	HRF TUF STRAND SF 6 kg/m ³	27-oct-15	28	101	8012	2181	182.60	18.62	22.8	232
4	29-sep-15	HRF TUF STRAND SF 6 kg/m ³	27-oct-15	28	100	7854	2243	189.90	19.36	24.2	247
5	30-sep-15	HRF TUF STRAND SF 6 kg/m ³	28-oct-15	28	101	8012	2176	165.79	16.91	20.7	211
6	30-sep-15	HRF TUF STRAND SF 6 kg/m ³	28-oct-15	28	102	8171	2098	200.86	20.48	24.6	251
7	30-sep-15	HRF TUF STRAND SF 6 kg/m ³	28-oct-15	28	101	8012	2271	193.48	19.73	24.1	246
8	30-sep-15	HRF TUF STRAND SF 6 kg/m ³	28-oct-15	28	101	8012	2234	185.02	18.87	23.1	235
9	01-oct-15	HRF TUF STRAND SF 4 kg/m ³	29-oct-15	28	100	7854	2229	196.86	20.07	25.1	256
10	01-oct-15	HRF TUF STRAND SF 4 kg/m ³	29-oct-15	28	100	7854	2250	185.20	18.89	23.6	240
11	01-oct-15	HRF TUF STRAND SF 4 kg/m ³	29-oct-15	28	101	8012	2262	189.15	19.29	23.6	241
12	01-oct-15	HRF TUF STRAND SF 4 kg/m ³	29-oct-15	28	100	7854	2295	192.34	19.61	24.5	250
13	02-oct-15	HRF TUF STRAND SF 4 kg/m ³	30-oct-15	28	99	7698	2235	203.78	20.78	26.5	270
14	02-oct-15	HRF TUF STRAND SF 4 kg/m ³	30-oct-15	28	100	7854	2264	195.18	19.90	24.9	253
15	02-oct-15	HRF TUF STRAND SF 4 kg/m ³	30-oct-15	28	101	8012	2226	191.92	19.57	24.0	244
16	02-oct-15	HRF TUF STRAND SF 4 kg/m ³	30-oct-15	28	101	8012	2213	191.14	19.49	23.9	243

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO



Anexo No. 4

Ensayos de vigas a flexotracción

**TABLA A. 20 RESULTADOS ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN VIGAS PATRÓN
10/09/15**

PATRÓN					
Fecha de Fábrica: 10/09/15					
1		2		3	
Carga (kN)	Deflexión (mm)	Carga (kN)	Deflexión (mm)	Carga (kN)	Deflexión (mm)
0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000
0,02	0,000	0,02	0,000	0,02	0,000
0,05	-0,001	0,05	-0,001	0,05	-0,001
0,07	0,000	0,07	0,000	0,07	0,000
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,10	-0,001	0,10	-0,001	0,10	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,09	-0,001	0,10	-0,001	0,10	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,05	0,000	0,05	0,000	0,05	0,000
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,05	-0,001	0,05	-0,001	0,05	-0,001
0,05	-0,001	0,05	-0,001	0,05	-0,001
0,05	-0,001	0,05	-0,001	0,05	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,05	-0,001	0,05	-0,001	0,05	-0,001
0,05	-0,001	0,05	-0,001	0,05	-0,001
0,05	-0,001	0,05	-0,001	0,05	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,14	-0,001	0,14	-0,001	0,14	-0,001
0,21	-0,001	0,22	-0,001	0,21	-0,001
0,26	-0,001	0,25	-0,001	0,27	-0,001
0,39	0,001	0,39	0,001	0,39	0,001
0,54	0,004	0,55	0,004	0,54	0,004
0,76	0,006	0,73	0,006	0,74	0,006
0,89	0,008	0,91	0,008	0,89	0,008
1,07	0,010	1,03	0,009	1,04	0,010
1,25	0,012	1,30	0,012	1,25	0,012
1,40	0,014	1,44	0,014	1,44	0,014
1,64	0,016	1,58	0,016	1,64	0,016
1,83	0,017	1,83	0,017	1,80	0,018
2,01	0,019	1,99	0,019	2,07	0,020
2,16	0,021	2,20	0,022	2,22	0,021
2,46	0,023	2,41	0,022	2,48	0,022
2,60	0,024	2,55	0,025	2,65	0,025
2,86	0,026	2,86	0,026	2,94	0,026
3,02	0,027	2,96	0,027	3,08	0,028
3,25	0,029	3,19	0,029	3,25	0,029
3,65	0,029	3,51	0,029	3,62	0,029
3,85	0,030	3,88	0,030	3,85	0,031
4,17	0,032	4,17	0,033	4,00	0,033
4,41	0,035	4,20	0,034	4,33	0,035
4,52	0,035	4,57	0,036	4,57	0,036
5,02	0,036	4,97	0,036	5,02	0,037
5,13	0,039	5,29	0,038	5,13	0,038
5,28	0,039	5,49	0,041	5,49	0,040
5,75	0,041	5,69	0,042	5,80	0,041
6,01	0,043	6,13	0,043	6,13	0,044
6,42	0,045	6,10	0,046	6,29	0,044
6,47	0,047	6,53	0,048	6,66	0,048
6,88	0,047	6,81	0,050	6,81	0,050
7,26	0,050	6,98	0,050	7,33	0,050
7,70	0,051	7,25	0,051	7,40	0,051
7,99	0,053	7,60	0,053	7,99	0,054
8,20	0,054	7,88	0,055	8,04	0,057
8,65	0,059	8,65	0,059	8,40	0,059
9,05	0,060	8,98	0,059	8,68	0,059

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

**TABLA A. 21 RESULTADOS ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN VIGAS PATRÓN
11/09/15**

PATRÓN					
Fecha de Fábrica: 11/09/15					
4		5		6	
Carga (kN)	Deflexión (mm)	Carga (kN)	Deflexión (mm)	Carga (kN)	Deflexión (mm)
0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000
0,02	-0,001	0,02	0,000	0,02	0,000
0,05	-0,001	0,05	0,000	0,05	-0,001
0,07	0,000	0,07	0,000	0,07	0,000
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,10	-0,001	0,09	-0,001	0,10	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,10	-0,001	0,10	-0,001	0,10	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,05	0,000	0,05	0,000	0,05	0,000
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,05	-0,001	0,05	-0,001	0,05	-0,001
0,05	-0,001	0,05	-0,001	0,05	-0,001
0,05	-0,001	0,05	-0,001	0,05	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,05	-0,001	0,05	-0,001	0,05	-0,001
0,05	-0,001	0,05	-0,001	0,05	-0,001
0,05	-0,001	0,05	-0,001	0,05	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,07	-0,001	0,07	-0,001	0,07	-0,001
0,14	-0,001	0,14	-0,001	0,14	-0,001
0,21	-0,001	0,21	-0,001	0,21	-0,001
0,26	-0,001	0,25	-0,001	0,26	-0,001
0,40	0,001	0,41	0,001	0,40	0,001
0,55	0,004	0,54	0,004	0,55	0,004
0,76	0,006	0,71	0,006	0,73	0,006
0,90	0,008	0,91	0,008	0,91	0,008
1,06	0,010	1,06	0,010	1,05	0,009
1,28	0,012	1,26	0,011	1,26	0,012
1,46	0,014	1,41	0,013	1,40	0,014
1,66	0,015	1,58	0,015	1,58	0,015
1,87	0,018	1,80	0,017	1,78	0,018
2,07	0,020	2,01	0,019	2,03	0,019
2,22	0,021	2,22	0,020	2,16	0,020
2,46	0,023	2,41	0,023	2,44	0,023
2,60	0,024	2,65	0,024	2,65	0,024
2,97	0,026	2,80	0,025	2,80	0,025
3,17	0,028	3,08	0,027	2,96	0,027
3,29	0,028	3,25	0,028	3,19	0,028
3,51	0,030	3,48	0,029	3,48	0,029
3,85	0,032	3,85	0,031	3,81	0,031
4,17	0,032	3,96	0,032	3,92	0,032
4,46	0,033	4,28	0,033	4,20	0,033
4,57	0,036	4,61	0,036	4,66	0,036
4,97	0,036	4,73	0,036	4,73	0,037
5,34	0,039	5,18	0,037	5,03	0,037
5,44	0,040	5,28	0,040	5,44	0,040
5,98	0,043	5,63	0,041	5,75	0,040
5,95	0,044	6,07	0,042	6,07	0,043
6,42	0,045	6,35	0,045	6,35	0,045
6,53	0,047	6,66	0,047	6,53	0,047
6,95	0,050	6,68	0,047	6,74	0,049
7,26	0,051	7,19	0,050	7,12	0,049
7,62	0,053	7,25	0,052	7,55	0,052
7,84	0,054	7,84	0,055	7,68	0,053
8,04	0,058	8,12	0,054	8,12	0,054
8,31	0,059	8,40	0,058	8,14	0,056
8,59	0,059	8,74	0,060	8,56	0,056

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

**TABLA A. 22 RESULTADOS ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN VIGAS HRF
DRAMIX RC-65/35-BN 15KG/M³**

HRF DRAMIX RC-65/35-BN 15 kg/m ³												
Fecha de Fábrica	21/09/15						23/09/15					
No. Probeta	1		2		3		4		5		6	
CMOD (mm)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,01	329,5	3,8	435,0	8,8	328,3	10,0	315,6	4,3	389,0	5,5	473,2	10,4
0,02	458,0	7,8	448,3	9,6	341,9	11,3	395,3	8,0	492,6	9,7	497,1	10,9
0,03	511,2	9,3	450,8	9,7	345,4	11,6	443,7	9,8	534,8	11,2	503,4	8,8
0,04	533,2	9,9	452,4	8,9	347,4	11,7	464,2	10,5	542,4	11,4	505,9	6,9
0,05	535,6	9,9	452,8	8,7	349,0	11,8	472,0	10,7	545,2	11,5	507,5	5,6
0,5	548,6	3,8	459,4	4,3	360,0	3,2	490,8	4,0	561,3	4,4	510,1	3,5
0,6	566,6	3,3	470,5	2,8	361,0	2,2	497,2	4,0	580,9	4,3	513,9	3,0
0,7	587,4	3,3	484,0	2,8	363,0	2,0	504,2	3,9	601,0	4,4	527,1	3,0
0,8	608,9	3,3	493,8	2,8	365,0	2,0	511,3	3,8	608,4	4,4	540,0	3,3
0,9	629,1	3,3	497,0	2,8	367,0	1,9	518,7	3,8	610,4	4,4	543,2	3,4
1,0	640,7	3,4	501,2	2,9	368,1	1,9	525,6	3,7	612,3	4,5	545,3	3,4
1,1	644,7	3,5	506,6	2,9	370,8	1,9	533,2	3,7	614,5	4,6	546,9	3,4
1,2	647,7	3,5	511,0	2,9	377,0	1,9	540,3	3,6	616,3	4,7	548,0	3,5
1,3	653,3	3,6	515,9	2,9	382,1	1,9	547,9	3,7	618,7	4,8	549,0	3,5
1,4	657,1	3,6	520,7	3,0	384,8	1,9	555,4	3,7	620,7	4,8	550,0	3,5
1,5	661,9	3,6	525,1	3,0	387,8	1,9	562,9	3,7	622,6	4,9	551,0	3,5
1,6	666,2	3,7	530,1	3,0	391,4	1,9	570,1	3,7	624,5	4,9	552,0	3,5
1,7	670,3	3,8	534,3	3,0	393,1	1,9	577,8	3,6	626,4	5,0	553,0	3,5
1,8	674,6	3,8	539,3	3,0	395,7	1,9	585,4	3,6	628,6	5,1	554,2	3,5
1,9	678,6	3,8	544,1	3,0	398,3	1,9	593,0	3,6	630,3	5,1	555,5	3,4
2,0	683,3	3,9	548,3	3,0	400,9	1,9	600,1	3,6	631,9	5,1	557,3	3,4
2,2	692,1	3,9	558,6	3,0	406,2	1,9	615,9	3,5	635,8	5,1	559,9	3,4
2,5	704,1	3,9	571,8	3,0	412,4	1,8	638,8	3,4	640,7	5,1	563,4	3,3
3,0	724,9	3,8	588,2	2,9	423,4	1,8	677,2	3,2	649,3	4,9	569,1	3,1
3,5	745,4	3,7	599,3	2,8	434,1	1,7	715,4	3,0	657,4	4,5	575,7	3,0
4,0	765,2	3,5	609,6	2,8	445,1	1,6	731,9	2,9	666,3	4,2	581,1	2,9

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

**TABLA A. 23 RESULTADOS ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN VIGAS HRF
DRAMIX RC-65/35-BN 20KG/M³**

HRF DRAMIX RC-65/35-BN 20 kg/m ³												
Fecha de Fábrica	14/09/15						15/09/15					
No. Probeta	1		2		3		4		5		6	
CMOD (mm)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,01	312,5	6,0	235,0	10,1	449,0	10,5	622,1	9,1	623,6	10,4	413,6	5,5
0,02	316,5	7,7	250,0	11,0	459,0	10,9	639,8	9,4	641,3	10,8	446,3	6,9
0,03	319,3	9,0	260,0	11,5	473,0	11,3	662,1	9,9	663,6	11,2	528,7	9,9
0,04	323,5	10,8	270,0	12,0	477,0	11,4	679,9	10,2	681,4	11,6	577,3	11,4
0,05	328,0	12,7	285,0	12,5	480,0	10,3	697,6	10,7	699,1	11,8	597,3	10,5
0,5	338,6	5,0	299,5	5,2	487,0	5,3	708,5	5,3	710,0	5,5	605,5	5,1
0,6	340,0	4,6	305,0	4,7	493,3	4,3	709,7	5,0	711,2	5,5	623,9	4,7
0,7	341,5	4,6	320,0	4,5	511,4	4,3	740,4	4,8	741,9	5,5	644,8	4,8
0,8	343,0	4,7	360,0	4,3	533,0	4,3	758,6	4,9	760,1	5,5	665,6	4,8
0,9	345,5	4,7	400,0	4,2	554,0	4,4	784,5	5,0	786,0	5,6	688,8	4,8
1,0	346,0	4,7	585,0	4,3	575,4	4,5	865,3	5,0	866,8	5,7	711,2	4,9
1,1	347,5	4,8	600,0	4,4	597,7	4,6	836,7	5,0	838,2	5,7	736,1	4,9
1,2	349,0	4,8	640,0	4,5	620,2	4,6	856,1	5,0	857,6	5,7	760,9	4,9
1,3	350,5	4,8	675,0	4,6	638,6	4,7	881,4	5,0	882,9	5,7	786,2	4,9
1,4	352,0	4,8	720,0	4,6	659,5	4,7	902,8	5,0	904,3	5,7	812,5	5,0
1,5	354,0	4,8	760,0	4,8	680,4	4,8	931,6	5,1	933,1	5,7	840,5	5,0
1,6	356,0	4,8	795,0	5,0	723,6	4,9	951,6	5,0	953,1	5,7	868,4	5,0
1,7	358,0	4,8	820,0	5,2	734,3	4,9	972,9	5,0	974,4	5,7	895,8	5,0
1,8	360,0	4,8	845,0	5,2	743,2	4,9	996,7	5,0	998,2	5,6	916,8	5,0
1,9	362,0	4,8	870,0	5,1	751,6	4,9	1013,4	4,9	1014,9	5,6	928,9	5,1
2,0	364,0	4,8	900,0	5,1	771,2	4,9	1037,6	4,9	1039,1	5,6	937,8	5,1
2,2	366,0	4,7	935,0	5,0	778,8	4,9	1059,4	4,9	1060,9	5,6	956,9	5,0
2,5	369,0	4,7	965,0	4,8	789,0	4,9	1140,3	4,8	1141,8	5,6	984,9	5,0
3,0	373,0	4,6	960,0	4,9	829,0	4,8	1184,6	4,7	1186,1	5,3	1026,8	4,8
3,5	379,0	4,5	975,0	4,7	876,5	4,6	1227,1	4,3	1228,6	4,9	1067,0	4,7
4,0	395,0	4,4	1000,0	4,4	918,1	4,5	1270,3	4,1	1271,8	4,7	1105,5	4,5

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

**TABLA A. 24 RESULTADOS ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN VIGAS HRF
DRAMIX RC-65/35-BN 25KG/M³**

HRF DRAMIX RC-65/35-BN 25 kg/m ³												
Fecha de Fábrica	16/09/15						18/09/15					
No, Probeta	1		2		3		4		5		6	
CMOD (mm)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,01	677,1	5,5	353,3	4,4	589,6	5,7	601,5	4,3	536,7	5,5	537,0	5,1
0,02	784,7	9,3	402,2	5,8	675,5	10,2	717,0	7,5	602,4	9,3	675,0	8,6
0,03	810,4	10,2	494,6	8,7	719,2	11,8	768,3	9,2	629,0	10,9	741,2	10,2
0,04	824,0	10,6	525,3	9,6	732,5	12,2	796,0	10,2	639,5	11,4	765,4	10,7
0,05	829,1	10,8	550,5	10,3	737,0	9,2	810,4	10,6	642,3	11,5	776,9	10,8
0,5	851,2	4,4	581,1	4,1	742,3	4,8	860,9	5,5	655,1	5,4	789,7	4,5
0,6	868,7	4,0	604,3	3,8	751,7	3,9	879,6	5,5	667,7	5,2	803,8	4,2
0,7	890,1	3,9	630,2	3,9	764,7	3,8	897,8	5,6	680,9	5,2	823,1	4,2
0,8	909,7	3,9	656,0	3,9	778,4	3,8	910,9	5,6	694,5	5,2	836,8	4,2
0,9	929,5	3,9	680,3	4,0	787,0	3,8	921,5	5,7	706,3	5,2	850,3	4,2
1,0	950,4	3,9	692,1	4,1	796,0	3,9	933,3	5,8	714,7	5,3	864,9	4,2
1,1	969,9	4,0	704,4	4,3	805,5	4,0	944,5	5,8	723,6	5,4	879,2	4,3
1,2	989,7	4,0	716,9	4,4	815,1	4,0	956,0	5,9	731,6	5,4	894,2	4,3
1,3	1043,4	4,0	727,9	4,4	824,5	4,1	967,7	5,9	740,3	5,4	908,2	4,3
1,4	1031,0	4,0	740,0	4,5	834,1	4,1	978,8	6,0	748,8	5,4	922,9	4,4
1,5	1052,2	4,1	751,3	4,5	842,6	4,1	989,7	6,0	757,0	5,5	936,6	4,4
1,6	1072,9	4,1	762,5	4,6	852,6	4,2	1000,2	6,1	765,1	5,5	950,8	4,4
1,7	1091,9	4,1	773,9	4,6	861,6	4,2	1011,0	6,1	773,6	5,4	965,7	4,4
1,8	1106,1	4,1	786,6	4,6	871,0	4,2	1020,8	6,1	781,6	5,4	980,7	4,5
1,9	1116,1	4,1	798,1	4,7	880,1	4,2	1024,9	6,1	789,3	5,4	990,5	4,5
2,0	1126,6	4,0	809,2	4,8	889,3	4,2	1031,9	6,0	797,4	5,3	1000,8	4,5
2,2	1147,5	4,0	832,7	4,9	907,8	4,2	1040,2	5,9	813,2	5,2	1021,3	4,5
2,5	1177,5	3,9	866,7	4,9	934,8	4,0	1054,6	5,7	836,5	5,0	1052,2	4,5
3,0	1226,5	3,7	893,4	4,9	979,3	3,9	1077,4	5,3	875,7	4,7	1102,5	4,3
3,5	1276,7	3,5	912,8	4,8	1024,0	3,7	1099,6	5,0	912,2	4,5	1151,1	4,0
4,0	1325,3	3,4	931,0	4,7	1068,6	3,5	1110,0	4,9	948,1	4,3	1200,5	3,8

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

TABLA A. 25 RESULTADOS ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN VIGAS HRF TUF STRAND SF 4KG/M³

HRF TUF STRAND SF 4 kg/m ³												
Fecha de Fábrica	01/10/15						02/10/15					
No, Probeta	1		2		3		4		5		6	
CMOD (mm)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,01	366,5	3,7	420,3	4,9	477,3	8,6	277,5	3,3	1130,0	6,5	800,6	9,1
0,02	375,9	4,1	516,7	7,7	480,2	8,6	358,3	6,5	1140,0	6,9	802,0	9,0
0,03	614,7	9,6	561,8	8,9	481,5	7,8	389,3	7,9	1155,0	7,5	803,0	9,0
0,04	627,6	8,5	582,3	9,5	483,2	6,7	400,0	8,4	1170,0	7,8	804,0	9,0
0,05	631,4	5,4	592,5	9,7	483,5	6,4	405,4	6,9	1176,0	7,6	805,0	9,0
0,5	635,3	2,3	603,5	2,2	489,6	2,2	420,2	2,7	1191,9	2,3	819,5	2,7
0,6	638,7	1,9	603,9	2,0	490,2	1,8	429,6	2,4	1205,0	2,2	836,9	1,9
0,7	643,5	1,8	603,9	1,9	490,4	1,6	439,0	2,2	1218,7	2,0	842,0	1,8
0,8	653,6	1,7	604,0	1,8	497,7	1,5	449,5	2,0	1234,2	1,9	846,8	1,7
0,9	664,9	1,6	606,3	1,7	506,2	1,4	461,0	1,8	1249,8	1,9	857,1	1,7
1,0	678,0	1,6	620,8	1,5	514,6	1,4	472,4	1,7	1264,9	1,8	867,4	1,6
1,1	689,8	1,5	638,9	1,4	523,8	1,3	484,6	1,7	1279,7	1,7	878,2	1,5
1,2	703,8	1,4	656,1	1,4	533,3	1,3	496,9	1,6	1295,3	1,7	888,7	1,5
1,3	717,3	1,4	663,6	1,4	542,7	1,2	509,7	1,5	1310,2	1,6	899,9	1,5
1,4	731,3	1,4	666,1	1,4	552,5	1,2	522,6	1,5	1325,3	1,6	910,8	1,5
1,5	746,1	1,4	668,6	1,4	562,4	1,2	535,6	1,5	1341,7	1,6	921,5	1,4
1,6	758,2	1,3	671,4	1,5	572,1	1,2	548,6	1,5	1357,6	1,6	933,3	1,4
1,7	765,2	1,3	674,1	1,5	580,7	1,2	562,1	1,4	1370,8	1,6	946,7	1,4
1,8	773,2	1,3	676,7	1,5	587,3	1,1	575,0	1,4	1386,2	1,6	956,6	1,4
1,9	779,6	1,3	679,0	1,5	593,4	1,1	589,2	1,4	1401,0	1,5	960,6	1,4
2,0	786,5	1,3	680,9	1,5	599,6	1,1	602,9	1,4	1416,3	1,5	964,1	1,4
2,2	800,8	1,2	685,2	1,5	612,0	1,1	630,6	1,4	1447,1	1,5	972,2	1,4
2,5	820,6	1,2	690,9	1,5	629,7	1,1	673,0	1,3	1491,9	1,4	982,8	1,4
3,0	838,3	1,2	701,1	1,4	648,4	1,1	744,1	1,3	1568,2	1,4	1000,9	1,3
3,5	850,9	1,2	711,3	1,4	660,3	1,1	815,1	1,3	1644,5	1,3	1018,4	1,3
4,0	862,6	1,1	720,8	1,3	671,7	1,1	886,7	1,2	1721,2	1,3	1036,1	1,3

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

TABLA A. 26 RESULTADOS ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN VIGAS HRF TUF STRAND SF 6KG/M³

HRF TUF STRAND SF 6 kg/m ³												
Fecha de Fábrica	29/09/15						30/09/15					
No, Probeta	1		2		3		4		5		6	
CMOD (mm)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,01	483,0	7,0	353,0	3,4	502,9	6,8	596,2	7,3	326,1	5,2	712,0	2,2
0,02	493,0	7,7	391,0	5,7	554,9	9,2	604,0	7,7	391,2	7,8	850,3	5,6
0,03	518,0	8,5	450,5	7,1	570,4	9,8	617,0	8,2	415,9	8,8	934,1	8,0
0,04	528,0	8,8	467,9	7,4	577,1	8,7	619,6	8,1	427,6	9,1	967,8	9,0
0,05	543,0	9,2	471,4	7,5	580,1	6,6	621,3	7,5	433,7	9,2	981,9	9,3
0,5	558,3	3,2	496,0	2,4	584,7	3,3	640,1	3,1	447,3	2,8	995,3	3,1
0,6	569,1	2,6	513,6	2,2	589,0	2,8	652,3	2,8	455,7	2,6	1004,9	2,9
0,7	575,9	2,5	532,7	2,0	599,5	2,6	665,3	2,5	463,4	2,4	1010,3	2,8
0,8	583,2	2,5	553,7	2,0	611,7	2,6	679,0	2,4	470,9	2,3	1015,4	2,7
0,9	590,2	2,5	573,7	1,9	624,2	2,4	686,8	2,4	478,1	2,3	1020,8	2,7
1,0	597,2	2,5	595,4	1,8	637,0	2,5	694,3	2,3	485,7	2,2	1026,4	2,6
1,1	604,4	2,4	616,1	1,8	641,9	2,5	701,9	2,2	493,3	2,1	1032,3	2,6
1,2	611,3	2,4	637,8	1,7	646,1	2,5	709,8	2,2	501,3	2,1	1037,8	2,6
1,3	618,5	2,4	659,9	1,6	651,0	2,5	717,9	2,1	508,8	2,1	1047,3	2,6
1,4	625,6	2,4	681,9	1,7	655,5	2,5	725,9	2,1	516,8	2,1	1049,5	2,6
1,5	632,9	2,3	704,3	1,7	659,8	2,4	733,9	2,0	524,3	2,0	1054,1	2,6
1,6	639,5	2,3	713,9	1,7	664,8	2,4	742,2	2,0	532,4	2,0	1059,5	2,6
1,7	646,8	2,3	717,6	1,7	668,9	2,4	750,3	2,0	540,2	2,0	1065,0	2,6
1,8	653,8	2,3	720,9	1,8	673,3	2,5	758,3	2,0	548,8	2,0	1070,8	2,5
1,9	661,0	2,3	724,4	1,8	677,5	2,5	766,4	2,0	557,3	2,0	1076,1	2,5
2,0	668,9	2,3	727,1	1,8	681,8	2,5	774,8	2,0	565,7	1,9	1081,7	2,5
2,2	682,4	2,3	733,0	1,8	690,6	2,4	791,1	1,9	583,0	1,9	1092,6	2,5
2,5	703,4	2,2	741,5	1,6	703,2	2,4	815,5	1,9	607,3	1,9	1109,2	2,4
3,0	738,7	2,2	755,1	1,7	724,9	2,4	855,9	1,9	649,7	1,8	1136,7	2,4
3,5	775,0	2,2	769,5	1,7	746,5	2,3	880,5	1,9	689,7	1,8	1163,4	2,4
4,0	809,8	2,2	783,2	1,7	768,4	2,3	899,2	1,9	731,0	1,7	1189,9	2,3

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.

TABLA A. 27 RESULTADOS ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN VIGAS HRF TUF STRAND SF 8KG/M³

HRF TUF STRAND SF 8 kg/m ³												
Fecha de Fábrica	25/09/15						28/09/15					
No. Probeta	1		2		3		4		5		6	
CMOD (mm)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Tiempo (s)	Carga (kN)
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,01	593,1	7,6	378,7	6,8	430,7	9,3	632,8	9,2	281,6	4,9	141,7	9,0
0,02	677,1	9,8	434,5	9,1	431,0	9,3	638,1	9,3	353,1	8,1	146,2	9,1
0,03	702,6	10,7	461,7	10,0	432,0	9,4	642,6	9,3	395,6	9,0	148,4	9,1
0,04	721,4	11,3	475,1	10,4	436,0	9,5	643,8	9,3	411,6	9,3	150,0	9,2
0,05	728,4	11,3	481,4	10,5	439,0	9,6	645,7	9,3	415,1	9,3	165,0	9,3
0,5	739,9	4,3	506,4	3,4	454,4	3,6	692,0	3,9	451,6	3,6	182,7	4,0
0,6	752,1	4,0	523,0	3,2	466,0	3,3	706,0	3,8	470,1	3,4	207,6	3,4
0,7	766,5	3,9	534,4	3,3	477,5	3,1	720,8	3,6	480,3	3,4	233,7	3,2
0,8	782,4	3,7	541,4	3,2	490,2	3,0	735,4	3,5	490,4	3,3	259,2	3,1
0,9	798,4	3,7	548,6	3,2	502,7	2,9	751,7	3,4	500,6	3,3	282,3	3,0
1,0	815,5	3,6	555,8	3,1	514,7	2,8	764,9	3,3	510,8	3,3	289,4	3,0
1,1	832,2	3,6	563,2	3,1	528,2	2,8	778,4	3,3	522,2	3,3	296,8	3,0
1,2	849,2	3,5	570,5	3,1	541,3	2,7	781,3	3,3	531,6	3,3	304,0	3,0
1,3	866,4	3,5	578,1	3,1	554,2	2,7	789,0	3,2	539,0	3,3	311,2	3,1
1,4	883,2	3,4	585,5	3,0	562,5	2,7	797,4	3,2	542,4	3,3	318,6	3,1
1,5	900,5	3,4	592,7	3,0	567,4	2,8	805,8	3,1	545,9	3,4	326,0	3,0
1,6	918,1	3,4	600,1	3,0	572,4	2,8	813,9	3,1	549,2	3,4	333,8	3,0
1,7	935,9	3,4	607,5	3,0	577,6	2,8	821,8	3,1	553,0	3,4	340,8	3,0
1,8	954,1	3,3	614,9	3,0	582,6	2,8	830,1	3,0	556,3	3,4	348,5	3,0
1,9	971,9	3,3	622,1	3,0	587,7	2,8	838,1	3,0	559,9	3,4	355,3	3,0
2,0	989,5	3,3	629,5	3,0	592,6	2,8	846,9	2,9	563,3	3,4	362,7	2,9
2,2	1015,0	3,3	640,8	3,0	602,5	2,8	861,6	2,9	570,2	3,3	377,6	2,9
2,5	1044,2	3,3	657,3	3,0	617,5	2,7	879,3	2,9	580,2	3,3	399,4	2,9
3,0	1092,1	3,2	685,3	2,9	641,5	2,7	909,1	2,9	596,9	3,3	435,6	2,7
3,5	1131,4	3,2	712,8	2,8	666,0	2,6	938,6	2,8	613,9	3,3	458,9	2,8
4,0	1167,7	3,1	729,1	2,9	690,4	2,6	968,1	2,8	630,3	3,2	468,6	2,7

ELABORADO POR: Francisco Ramírez y José Antonio Samaniego.