



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO: INGENIERÍA ESTRUCTURAL



**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXION
DEL CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, ADICIONANDO
DIFERENTES DOSIFICACIONES DE FIBRA METALICA.**

Trabajo Especial de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Autores: Aguirre O. Alfredo A.
Briceño G. Pedro J.

Tutor: Ing. Alvarez B. Javier A.

Valencia, Noviembre 2012

AGRADECIMIENTOS

A dios por permitirnos llevar este camino, realizando todas nuestras metas y darnos una vida llena de salud y felicidad con nuestras familias.

A la facultad de ingeniería de la universidad de Carabobo que es una excelente casa de estudio, llena de conocimientos y gente dispuesta a enseñar en pro de un futuro mejor para nuestro país.

Al personal técnico del laboratorio de materiales y ensayos que nos brindo apoyo y herramientas para poder llevar a cabo esta tesis.

A nuestro tutor, el ingeniero Javier Álvarez por tener la inquietud, ofrecernos el tema de tesis y brindarnos todo el material necesario para llevarla a cabo.

A la empresa Valencia Concretera, C.A. Por patrocinarnos los agregados.

A todas aquellas personas que nos rodean y componen nuestro entorno, que independiente de no formar parte directamente de esta investigación, nos apoyan en todos los ámbitos de la vida.

DEDICATORIAS

A mi mamá, mi papá y hermana, por todo el apoyo que me han dado y que se han preocupado en que la educación y el ser una buena persona sea lo primordial en mi vida.

Al resto de mi familia por quererme tanto y por demostrar que las distancias no nos han alejado.

A mi novia Andrea que ha estado en las buenas y en las malas, permitiendo levantarme cuando me caigo y ser mi inspiración para siempre querer ser mejor, TE AMO.

A los padres, hermanas y cuñados de mi novia Andrea, por ser una familia tan especial y que me han aceptado como uno de ellos.

A la universidad de Carabobo, todos los profesores que me dieron clases, que son un ejemplo a seguir y a mi excelente compañero de tesis Pedro por su gran aporte y apoyo en este gran proyecto.

Alfredo Alejandro Aguirre Ojeda

En primer lugar a dios todopoderoso, a la virgen y todos los santos, por ser la FE la que me impulsa a hacer frente a todos los obstáculos y ser mejor persona día a día. A los que le dejo en sus manos mi salud y la de las personas que me rodean.

A mis padres, por ser mi ejemplo de superación y que con su apoyo incondicional me han encaminado a ser un hombre de bien, teniendo como ejemplo los valores de la familia, siendo este la base sólida para tener éxito en todos los ámbitos de la vida.

A mis hermanos, en los que me veo reflejado día a día, mis compañeros de toda la vida.

A mi novia, por brindarme su cariño y amor e inculcarme valores que me han ayudado a ser mejor persona, por ser mi alma gemela que con su carisma y felicidad alegra todos mis días.

A la familia Duran, ejemplos de vida, constancia, lucha y dedicación, que mantiene viva sus tradiciones familiares llenos de alegría, unión y amor.

A mi compañero de tesis, por su gran aporte realizado a nuestro trabajo de investigación, llevándolo hasta el éxito, siendo una persona responsable, dedicada y con un gran futuro tanto personal como profesional.

A mis amistades, en las que hicieron este gran camino a ser profesional mucho más llevadero, y a los que valoro y doy gracias a dios por colocar personas en mi camino en las que obtengo grandes enseñanzas de compañerismo.

A todos los profesores, que con voluntad y pasión imparten todos sus conocimientos, velando por el futuro de cada uno de los estudiantes, encaminándonos a ser grandes profesionales e íntegros.

A la ilustre universidad de Carabobo, que haciendo frente a todas las problemáticas y a todas las dificultades, nunca baja su calidad y mantiene su autonomía en alto.

Pedro José Briceño Guanipa

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	12
CAPITULO I.....	13
1. EL PROBLEMA.....	13
1.1. Planteamiento del problema.....	13
1.2. Objetivos del trabajo	14
1.2.1. Objetivo general.....	14
1.2.2. Objetivos específicos.....	14
1.3. Justificación	15
1.4. Alcance y limitaciones.....	15
CAPITULO II.....	16
2. MARCO TEORICO.....	16
2.1. Antecedentes de la investigación.....	16
2.2. Bases teóricas.....	17
2.2.1. El cemento.....	17
2.2.1.1. Breve historia del cemento.....	17
2.2.1.2. Definiciones	18
2.2.1.2.1. Cemento hidráulico.	18
2.2.1.2.2. Cemento portland.	18
2.2.1.3. Producción	18
2.2.1.4. Hidratación del cemento	19
2.2.1.5. Propiedades físicas y químicas del cemento	19
2.2.1.5.1. Fraguado.	19
2.2.1.5.2. Finura.	19
2.2.1.5.3. Resistencia mecánica.....	20
2.2.1.5.4. Retracción y fisuras.....	20
2.2.2. Agregados.....	20
2.2.2.1. Agregado grueso	20
2.2.2.2. Agregado fino.....	21

2.2.3. Concreto	21
2.2.3.1. Características del concreto.....	22
2.2.3.1.1. Trabajabilidad.....	22
2.2.3.1.2. Resistencia.	22
2.2.3.1.3. Durabilidad.....	23
2.2.3.1.4. Permeabilidad y absorción.....	23
2.2.3.2. Nociones básicas para el diseño de la mezcla de concreto	24
2.2.4. Pavimentos	24
2.2.4.1. Pavimento rígido	25
2.2.4.2. Estructura de un pavimento rígido	26
2.2.4.2.1. Subrasante.	26
2.2.4.2.2. Sub-base.....	27
2.2.4.2.3. Base o superficie de rodadura (losa de concreto).....	27
2.2.4.3. Tipos de pavimentos rígidos	28
2.2.4.3.1. Concreto simple.....	28
2.2.4.3.2. Concreto reforzado.....	28
2.2.4.3.3. Concreto reforzado continuo.	28
2.2.4.4. Proceso constructivo de los pavimentos rígidos.....	28
2.2.4.4.1. Preparación y perfilado de la sub-rasante.	28
2.2.4.4.2. Construcción de la sub-base.	29
2.2.4.4.3. Construcción de la base.	30
2.2.4.4.4. Compactación.....	30
2.2.4.4.5. Colocación del encofrado.....	31
2.2.4.4.6. Instalación de barras de transferencia de carga.	32
2.2.4.4.7. Elaboración, transporte y vaciado del concreto.....	33
2.2.4.4.8. Distribución, enrasado y consolidación.	34
2.2.4.4.9. Vibrado y nivelación del concreto.	34
2.2.4.4.10. Control del perfil y espesores.....	35
2.2.4.4.11. Alisado.....	35
2.2.4.4.12. Micro texturizado longitudinal.	35

2.2.4.4.13. Construcción de juntas.	35
2.2.4.4.14. Curado.....	37
2.2.4.4.15. Protección del pavimento.	37
2.2.4.5. Mecanismos de fallas	37
2.2.4.5.1. Fisuración transversal o longitudinal.....	37
2.2.4.5.2. Erosión por bombeos y escalonamientos.	38
2.2.4.5.3. Roturas de esquinas de la losa	39
2.2.4.5.4. Levantamiento de losas.	39
2.2.4.5.5. Despostillamientos.	40
2.2.5. Fibras de acero.....	41
2.2.5.1. Características de la fibra	41
2.2.5.2. Concreto reforzado con fibras metálicas.....	42
2.2.5.3. Componentes, dosificación, mezclado y puesta en obra	43
2.2.5.3.1. Mezclado.....	43
2.2.5.3.2. Colocación en obra.	44
2.2.5.3.3. Curado.....	44
2.2.5.4. Aplicaciones de la fibra metálica.....	44
2.2.5.4.1. Pavimentos.....	45
2.2.5.4.2. Túneles.....	45
2.2.5.4.3. Concreto proyectado.	45
2.2.5.4.4. Elementos prefabricados.	46
2.2.5.5. Ventajas de la fibra de acero	46
2.2.5.6. Comportamiento del concreto con fibras metálicas.....	47
2.2.5.6.1. Comportamiento mecánico del concreto con fibras.	48
2.2.5.6.2. Comportamiento a compresión.	49
2.2.5.6.3. Comportamiento a tracción.	50
2.2.5.6.4. Comportamiento a flexión.	50
2.2.5.6.5. Comportamiento dúctil.....	51
CAPITULO III.....	52
3. MARCO METODOLOGICO	52

3.1. Tipo de investigación	52
3.2. Diseño de la investigación.....	53
3.3. Nivel de la investigación.....	54
3.4. Población y muestra	54
3.5. Descripción de la metodología	55
3.5.1. Concepción de la idea	55
3.5.2. Formulación de objetivos.....	56
3.5.3. Revisión bibliográfica	56
3.5.4. Selección y obtención de los agregados del concreto.	56
3.5.5. Fibra metálica.	57
3.5.6. Determinación de la calidad de los agregados.	57
3.5.7. Diseño de mezclas.....	58
3.5.8. Mezclado	58
3.5.9. Medición de asentamientos	59
3.5.10. Curado y elaboración de probetas.....	59
3.5.11. Ensayo de flexión con carga al centro del tramo	59
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	60
3.7. Análisis de datos.	60
CAPITULO IV.....	61
4.1. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	61
CONCLUSIONES.....	70
RECOMENDACIONES.....	72
REFERENCIAS	73
ANEXOS	74
FOTOS.....	74
Ficha técnica fibra Dramix®	79

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1. Granulometría del agregado grueso (piedra gavilán).....	61
TABLA N° 2. Granulometría del agregado fino (arena agrica).....	62
TABLA N° 3. Resultado de los ensayos obtenidos en el laboratorio de materiales y ensayos facultad de ingeniería UC.	63
TABLA N° 4. Diseño de mezcla.....	65
TABLA N° 5. Asentamientos y adiciones de agua en las mezcla de concreto obtenidas en el laboratorio.....	66
TABLA N° 6. Modulo de rotura.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de pavimento de concreto.	28
Figura 2. Preparación del suelo de soporte.	29
Figura 3. Colocación de moldes metálicos.	32
Figura 4. Instalación de barras lisas por medio de canastas.	32
Figura 5. Las barras deben colocarse en correspondencia con la junta transversal del pavimento vecino.	33
Figura 6. Colocación de lámina impermeable.	33
Figura 7. Vaciado de concreto.	34
Figura 8. Estructura del pavimento y disposición de juntas.	36
Figura 9. Fallas transversales o longitudinales.	38
Figura 10. Fallas por erosión.	38
Figura 11. Rotura de placa.	39
Figura 12. Rotura de placa por levantamiento.	40
Figura 13. Despotillamiento de placa.	40
Figura 14. Grafica de comportamiento de elementos sometidos a flexión.	47
Figura 15. Diagrama de esfuerzos compresión vs deformación.	49
Figura 16. Diagrama de esfuerzos de tracción vs deformación.	50
Figura 17. Diagrama de esfuerzos de Flexión – Deformación	51
Figura 18. Fibra metálica Dramix® RC-80/60-BN	57
Figura 19. Grafico de la granulometría del agregado grueso.	61
Figura 20. Grafica de la granulometría del agregado fino.	62
Figura 21. Relación arena-agregados a través de la grafica del porcentaje del Beta.	64
Figura 22. Grafico que muestra la variación de agua/cemento para las mezclas con $M_r=40$ kg/cm ²	66
Figura 23. Grafico que muestra la variación de agua/cemento para las mezclas con $M_r=50$ kg/cm ²	67
Figura 24. Grafico comparativo para mezclas con modulo de rotura estimado de 40 kg/cm ² , con la dosificación de fibra.	69
Figura 25. Grafico comparativo para mezclas con modulo de rotura estimado de 50 kg/cm ² , con la dosificación de fibra.	69

INTRODUCCIÓN

El concreto reforzado con fibras ha experimentado durante el transcurso del tiempo una gran evolución debido a investigaciones realizadas a nivel mundial. Sin embargo, existen todavía muchas incógnitas por revelar o a ser ratificadas en diferentes condiciones en cuanto al comportamiento de dicho material. Se sabe que el concreto ha sufrido múltiples cambios y sometido a una profunda evolución.

Anteriormente, el uso de la fibra era destinado a la construcción de pavimentos de tableros de puentes, pavimentaciones industriales, contenedores de puertos, revestimientos de túneles, prefabricados. Ha sido tan beneficiosa su implementación en otros que sus aplicaciones se han mantenido en la actualidad e incluso se han promovido muchos experimentos para promover sus mejoras.

El concreto armado con fibras, es el concreto formado por un conglomerado hidráulico, generalmente cemento Portland, áridos finos y gruesos, agua y fibras. La incorporación de fibras de acero, plásticas, cerámicas, naturales, en fin de diferentes materiales, ha demostrado ser un medio eficaz para mejorar la tenacidad del material, aumentar su resistencia y su capacidad de deformación y controlar el desarrollo y la propagación de fisuras. La proporción adecuada de esta fibra en mezclas de concreto, aporta un grado de refuerzo mayor o menor que se traduce en mejoras de su capacidad y características la cual depende de la cantidad de fibras incorporadas a la matriz.

La influencia de la fibra metálica en el mercado ha sido de gran influencia debido al ahorro que se genera en los costos operativos, tanto constructivos como de tiempos de ejecución, ya que estudios han demostrado que es capaz de sustituir la malla electrosoldada y generar reducción de los espesores de las losas, lo cual sería considerable económicamente al contar con grandes superficies de vaciado de concreto. Además asegura la reducción en la aparición de grietas debido a las variaciones de temperatura y condiciones medioambientales.

El siguiente trabajo resulto de la inquietud generada por las imprecisiones que resultan al momento de dosificar la fibra metálica y cómo afectaría la calidad del concreto frente a las acciones que vean afectada su vida útil en función al uso al que fue destinado. Por lo tanto se desarrollaron un conjunto de ensayos de laboratorio con la finalidad de estudiar el comportamiento de mezclas de concreto con fibras metálicas sometido a ensayos a flexión con un periodo de curado de 28 días. Inicialmente se elaboro una mezcla de concreto patrón, sin dosificación de fibra y luego manteniendo las mismas condiciones de diseño, se elaboraron probetas variando las cantidades de fibra partiendo de la dosificación recomendada.

Posteriormente al obtener los resultados, se analizaran y procesaran con el fin de determinar las ventajas generadas por las condiciones anteriormente planteadas, se desarrollaran con la finalidad de determinar las conclusiones al respecto, referentes al incremento del modulo de rotura, como afecta la trabajabilidad de la mezcla y los factores que intervienen en el proceso de mezclado.

En el capítulo I, se describe el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos del trabajo, justificación, alcances y limitaciones.

En el capítulo II, se desarrolla el marco teórico que se sustenta con los antecedentes descritos.

En el capítulo III, se desarrolla el marco metodológico el cual indica el nivel de la investigación, diseño de la investigación, técnicas de recolección de datos, los instrumentos de recolección de datos desarrollo experimental o procedimiento.

En el capítulo IV, muestra y explica los resultados obtenidos, analizando los ensayos de laboratorio, mostrando así como estos influyen en los planteamientos expuestos en los capítulos anteriores.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO: INGENIERÍA ESTRUCTURAL



EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN DEL CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, ADICIONANDO DIFERENTES DOSIFICACIONES DE FIBRA METÁLICA.

Elaborado por: Aguirre O. Alfredo A.
Briceño G. Pedro J.
Tutor: Ing. Alvarez B. Javier A.
Valencia, Noviembre 2012

RESUMEN

La presente investigación se basa en el estudio de cómo incide las variaciones en la dosificación de fibra metálica Dramix® en mezclas de concreto para pavimentos elaborados con agregados comunes de la región del estado Carabobo. Se define la investigación como del tipo descriptiva, pues da a conocer la variabilidad que presenta una mezcla de concreto de acuerdo a las cantidades de dosis de fibra que se utiliza en tal diseño. Lo cual indirectamente no se alteran las variables que intervienen en el, sino en su proceso de realización, en este caso se mantuvieron constantes los parámetros de diseño y calidad de los agregados, modificando las dosificaciones de fibra para luego evaluar los resultados. Para ello se procedió a realizar mezclas de concreto variando las dosificaciones de fibra metálica partiendo de una mezcla patrón sin contenido de fibra, para dos diseños de mezclas, ensayadas a través de la máquina a flexión a una edad de 28 días. En cuanto a dosificaciones extremas de fibra ya sea por imprecisiones, errores de dosificación, etc. No disminuye la resistencia a tracción por flexión del concreto endurecido, pero se ve afectado su trabajabilidad y la posibilidad de crearse “erizos” que permitirían durante el proceso de vaciado y fraguado del concreto la creación de espacios vacíos que generarían una sección crítica a fallar durante la acción de cargas lo cual se vería afectado la vida útil del concreto para los fines a que fue diseñada.

Palabras claves: Modulo de rotura, fibra metálica, pavimentos, mezclas de concreto.

CAPITULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En diferentes campos de la ingeniería civil a medida que transcurre el tiempo en combinación con los avances de la tecnología, se van incorporando distintos tipos de materiales y se genera la necesidad de evaluarlos simulando y dando resultados representativos a las condiciones que puedan encontrar en una obra. Como con el concreto, donde se ha creado la inquietud de incorporar estos diferentes materiales, con el fin de seguir mejorando su desempeño para el uso que sea destinado.

En Venezuela la mayoría de estos nuevos materiales provienen de otros países, que han sido evaluados en condiciones y con agregados que pudieran no ser similares a los que aquí se tienen, siendo necesaria la evaluación del concreto dosificado con estos materiales y poder asegurar el comportamiento que se tendrá ya en condiciones locales.

Según la empresa VICSON DRAMIX, La inclusión de fibras metálicas como refuerzo en el concreto permite un mejor comportamiento en cuanto a la ductilidad y absorber las tensiones internas que se puedan generar. La fibra metálica permite traer beneficios económicos, reduciendo el espesor del pavimento y siendo una alternativa de armado a la malla electro soldada evitando el margen de error que se ocasiona en su colocación, aumentando el rendimiento en vaciados con grandes áreas, como por ejemplo en los pisos industriales.

En el concreto para pavimentos con fibras metálicas, existe una incertidumbre generada respecto a la dosificación de la fibra debido a que es muy difícil controlarla en campo, ya que por general en sitio no se cuenta con los equipos de medición que garanticen que la dosis aplicada de fibras sea la correcta según los fabricantes, desconociéndose el comportamiento que se pueda tener antes y durante el proceso de colocación del concreto en obra y en el desarrollo de su resistencia.

A partir de lo expuesto anteriormente, surge la siguiente interrogante:

- ¿Cómo se verá afectada la resistencia a la tracción del concreto al dosificar la fibra metálica en proporciones distintas a la dosis recomendada por los fabricantes?

Para dar respuesta a esta interrogante, se plantea el desarrollo del trabajo de investigación: “EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXION DEL CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, ADICIONANDO DIFERENTES DOSIFICACIONES DE FIBRA METALICA”.

1.2. Objetivos del trabajo

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la resistencia a la tracción por flexión del concreto para pavimentos rígidos, incorporando diferentes dosificaciones de fibra metálica.

1.2.2. Objetivos específicos

- Seleccionar las edades de estudio normativas de las mezclas de concreto.
- Establecer las dosificaciones de fibras metálicas.
- Determinar la calidad de los agregados del concreto.
- Diseñar mezclas de concreto variando la dosificación de fibra metálica.
- Comparar los módulos de rotura de mezclas modificadas con fibras metálicas respecto a mezclas patrón sin fibra metálica.

1.3. Justificación

En esta investigación se pretende aplicar los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la carrera de ingeniería civil relacionado con la elaboración del concreto, dosificación, control de calidad en pavimentos y todo a lo que respecta al diseño de mezclas.

A través de la comparación de los resultados de la investigación se desea reconocer si la inclusión de la fibra en el mercado y sector constructivo regional cumple con las especificaciones normativas a nivel de diseño, con respecto a las condiciones naturales en obra y materiales empleados.

Así mismo se pretende cumplir con los requerimientos normativos para aspirar al título de ingeniero civil a través del diseño de una investigación científica que cumpla los requisitos exigidos por la universidad de Carabobo.

1.4. Alcance y limitaciones

Esta investigación se desarrollo hasta la obtención del modulo de rotura por medio de la norma COVENIN 343-79.

La investigación se desarrollo con el uso de agregados que tienen por origen región del estado Carabobo, que cumplieran con los requerimientos para la realización de concreto para pavimentos.

Se estableció para el diseño de mezclas una resistencia a la compresión requerida de 40 kg/cm² y 50 kg/cm² a ser ensayado a los 28 días y que cumplieran con la trabajabilidad establecida por la norma NTF 2000-09.

Se definieron dosificaciones de fibra de 10kg/m³, 20 kg/m³ y 30 kg/m³ utilizando la fibra Dramix RC-80/60-BN, de la empresa VICSON.

Entre las principales limitaciones se encontraron la disponibilidad del laboratorio de materiales y ensayos, la obtención y almacenamiento de los agregados y del cemento.

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Patricia C Mármol S. (2010). “**Hormigones con fibras de acero. Características mecánicas**”. Aporte técnico realizado en la universidad Politécnica de Madrid elaborado con la finalidad de comparar en función a diferentes investigaciones realizados por diversos autores, las características mecánicas del hormigón con fibras de acero. Con una breve introducción de cómo trabajan las diferentes tipos de fibras y haciendo énfasis en las cuatro características mecánicas más importantes que presenta este tipo de concretos. Concluyendo que, en función al tipo de fibra se obtienen diferentes características mecánicas, diferencias de costos, formas de dosificación particulares, determinó para cual tipo de fibra es recomendable para ciertos elementos estructurales y algunas recomendaciones respecto a la fibra metálica en cuanto a su forma, adherencia, afección a la temperatura y a otros efectos como corrosión, carbonatación. Finalmente describiendo su comportamiento estructural donde la ductilidad y tenacidad destaca entre las beneficios que proporciona la fibra metálica.

Ana Blanco Álvarez. (No especifica).”**Durabilidad del hormigón con fibras de acero**”. Las fibras no son un material nuevo, ya hace 4000 años se

empleaban fibras adicionadas a otros materiales para mejorar su desempeño. La primera patente de elementos de concreto reforzado con fibras fue en california en 1874 por A. Berard. Y luego vinieron numerosas patentes, las cuales cabe destacar la de G. Martin en 1927 california que describe la adición de alambres rizados en tuberías de concreto. Describe los numerosos tipos de fibra, aplicaciones, propiedades mecánicas y distintos comportamientos a esfuerzos estáticos y dinámicos.

Javier A Alvares B, Samantha Moreno M. (2011). “Análisis del comportamiento del concreto al adicionarle como material de refuerzo la fibra de acero DRAMIX, fabricada por la empresa VICSON S.A” Trabajo especial de grado para optar al título de ingeniero civil elaborado en la universidad de Carabobo, con la finalidad de analizar el comportamiento del concreto utilizando como agregado adicional la fibra metálica, estudiando cómo afecta la trabajabilidad en el tiempo al haber variaciones en la dosificación de fibras. Se evidencio una relación entre la cantidad de fibras dosificadas respecto a cómo reduce la trabajabilidad y el tiempo de fraguado de la misma. Se determinaron valores de modulo de rotura a los 7 días de edad.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El cemento

2.2.1.1. Breve historia del cemento

En la época de la antigua Grecia y roma, hasta mediados del siglo xviii el uso de la cal era muy importante como un aglomerante para las construcciones, pero la cal no tiene la cualidad de fraguar bajo el agua al ser hidratada, por lo cual a estos morteros algunas veces se les adicionaba materiales de origen volcánico o de alfarería triturados que experimentalmente daba mejor resistencia química frente al agua

natural y del mar. En 1824 fue patentado en Inglaterra el cemento portland, el cual se emplea en la mayoría de las estructuras de hormigón.

2.2.1.2. Definiciones

2.2.1.2.1. Cemento hidráulico. Cemento que fragua y endurece por la interacción química con el agua, tanto al aire como bajo agua, a causa de las reacciones de hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables.

2.2.1.2.2. Cemento portland. Un cemento hidráulico producido por la pulverización del clinker portland, usualmente en combinación con sulfato de calcio.

2.2.1.3. Producción

La fabricación del cemento comienza con la obtención de materias primas necesarias para producir el clinker, como son:

- El óxido de calcio (CaO) que se obtiene de materiales ricos en cal, margas y productos arcillosos.
- El óxido de silicio y de aluminio (SiO_2 y Al_2O_3) obtenidos de arcilla, pizarra, ceniza muy fina o arena.
- El óxido de hierro (Fe_2O_3) que se obtiene del mineral de hierro o costras de laminado.

Para la producción del cemento portland blanco se hace uso del óxido de calcio, óxido de silicio y óxido de aluminio, el óxido de hierro es usado para reducir la temperatura de calcinación, lo que genera una economía en su fabricación en relación al cemento blanco, aunque ambos tienen las mismas propiedades aglomerantes.

La extracción de estas materias primas son realizadas en canteras a cielo abierto mediante perforaciones y explosiones controladas que luego es transportada a

una trituradora y posteriormente a una molienda, a fin de reducir el tamaño de las partículas de la materia prima, para que las reacciones químicas de cocción en el horno se realicen de forma adecuada.

2.2.1.4. Hidratación del cemento

El agua en el cemento hidratado se encuentra en las siguientes formas:

- Químicamente combinada, es el agua de hidratación de los compuestos.
- El agua que se encuentra en los poros.
- Agua absorbida.

El proceso de hidratación del agua es un proceso exotérmico que hace que al fraguar y endurecer la pasta del cemento aumente su temperatura.

2.2.1.5. Propiedades físicas y químicas del cemento

2.2.1.5.1. Fraguado. El fraguado es la pérdida de plasticidad que sufre el cemento al ser mezclado con agua, el cual es constante durante un tiempo hasta que sufre un atiesamiento el cual se irá pronunciando.

Factores que influyen en el tiempo de fraguado:

- Finura del cemento, a mayor finura, menor tiempo de fraguado.
- Temperatura, a mayor temperatura menor tiempo de fraguado.
- Meteorización, causado por el almacenamiento prolongado, aumenta la duración del tiempo de fraguado.
- Materia orgánica, proveniente del agua o la arena, retrasa el fraguado.
- Agua de la mezcla, menor cantidad corresponde un fraguado más corto.
- Humedad de ambiente, menor humedad menor tiempo de fraguado.

2.2.1.5.2. Finura. Esta propiedad está directamente relacionada con la hidratación del cemento. La hidratación ocurre del exterior al interior, luego el área superficial de la partícula de cemento es el material de hidratación y el tamaño de los

granos influye en la velocidad de hidratación, desarrollo del calor, la retracción y el aumento de la resistencia.

Si el cemento es muy fino se endurece a mayor velocidad desarrollando resistencias en menor tiempo pero libera gran cantidad de calor, lo que puede ocasionar la retracción y la susceptibilidad a la figuración.

2.2.1.5.3. Resistencia mecánica. Esta es la propiedad que tiene mayor influencia en los fines estructurales para los cuales se emplea, siendo la relación agua/cemento lo que influye en el valor de la resistencia última, a mayor esta relación se obtienen bajas resistencias.

2.2.1.5.4. Retracción y fisuras. En condiciones normales la pasta del cemento se contrae al endurecer; la mayor retracción ocurre en los primeros dos o tres meses de hidratación del cemento. Estas retracciones pueden ser debidas a condiciones hidráulicas o térmicas y se originan por que se producen esfuerzos y tensiones internas en el proceso de fraguado de la pasta de cemento que son superiores a la resistencia de la propia masa.

2.2.2. Agregados

Es el material granular, generalmente inerte que resulta de la desintegración natural y desgaste de las rocas o de la trituración de estas, escorias siderúrgicas o de otros materiales suficientemente duros que permitan obtener partículas de forma y tamaño estables. Los agregados ocupan del 70% al 80% del volumen del concreto, lo que ocasiona que las características del concreto dependan de estos.

2.2.2.1. Agregado grueso

Es la materia prima para la elaboración del concreto, en consecuencia se debe usar la mayor cantidad posible y del tamaño mayor tomándose en cuenta los requisitos de colocación y resistencia. La eficiencia del cemento es la relación entre la resistencia del concreto y el contenido de cemento, en concreto de alta resistencia

menor deberá ser el tamaño máximo del agregado para que la eficiencia sea máxima, caso contrario en concretos de baja y mediana resistencia donde a mayor tamaño de los agregados mayor es la eficiencia.

Un buen agregado grueso debe poseer las siguientes características:

- Buena gradación con tamaños intermedios.
- Tamaño máximo adecuado a las condiciones de la estructura.
- Evitar agregados planos o alargados.
- Superficie rugosa.
- No debe contener terrones de arcilla ni partículas desmenuzables.
- Una buena resistencia al desgaste.

2.2.2.2. Agregado fino

Es usado como llenante y actúa como lubricante en los que ruedan los agregados gruesos lo que le da trabajabilidad al concreto. El exceso de arena demanda mayor cantidad de agua en el concreto para producir asentamientos adecuados y falta de esta refleja aspereza en la mezcla.

Un buen agregado fino debería contar con lo siguiente:

- Buena gradación para llenar todos los espacios.
- Pocas partículas menores a 0,3 mm.
- Un modulo de finura balanceado.
- Tener la menor cantidad de materia orgánica.

2.2.3. Concreto

Es un producto pastoso y moldeable que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo y proviene de la mezcla entre agua, cemento y agregados.

2.2.3.1. Características del concreto

2.2.3.1.1. Trabajabilidad. Es una propiedad del concreto fresco que se define como su capacidad de ser colocado, compactado y terminado sin segregación ni exudación, la trabajabilidad está asociada a la plasticidad.

- Factores que influyen en la trabajabilidad
- El contenido de agua en la mezcla.
- La fluidez de la pasta.
- El contenido de aire.
- La buena gradación de los agregados.
- La forma de los agregados.
- La cantidad de arena.
- Algunas condiciones del clima y la temperatura.
- Algunas condiciones en la producción y colocación del concreto.

2.2.3.1.2. Resistencia. Al ser usado el concreto como material estructural este se diseña para que tenga una determinada resistencia, siendo la resistencia a la compresión simple una característica importante y que sirve para juzgar su calidad. Sin embargo en el diseño de pavimentos rígidos el concreto se diseña para que resista esfuerzos a tracción por flexión.

La resistencia del concreto se ve afectada tanto por la calidad de los elementos que la constituyen (agua, cemento y agregados) como por la calidad en el proceso constructivo (mezclado, transporte, colocación, compactación y curado).

Las características del cemento que se use en la mezcla de concreto incide directamente en su resistencia, al tener mayor cemento la resistencia aumenta aunque altos contenidos de cemento presentan retroceso en la resistencia y contracciones en la pasta del cemento al fraguar.

La relación agua/cemento permite variar las resistencias en el concreto, de acuerdo a las características del agregado y del cemento.

Las propiedades de los agregados que más influyen en la resistencia del concreto son:

- Tamaño máximo del agregado grueso.
- La granulometría.
- Forma y textura de los agregados.
- La resistencia y la rigidez de las partículas del agregado.

La resistencia a la compresión es la característica mecánica más importante del concreto, para medirse se elaboran cilindros de las mezclas, cuyas dimensiones generalmente son de 30 cms de altura y 15 cms de diámetro, se elaboran en tres capas y a cada capa se le dan 25 golpes con una varilla estándar.

Normalmente no es requerido que el concreto resista fuerzas directas de tracción, sin embargo esta resistencia es importante con respecto al agrietamiento, debido a la limitación de contracciones. La formación y propagación de grietas, en el lado de tracción de elementos de concreto armado sometidos a flexión, dependen principalmente de la resistencia a la tracción.

2.2.3.1.3. Durabilidad. La durabilidad de un concreto permite que este mantenga su forma original, calidad y sus propiedades de servicio a través del tiempo. La durabilidad puede verse afectada por causas internas, como su permeabilidad, los materiales constituyentes o cambios de volumen debido a diferentes propiedades térmicas. La durabilidad de un concreto también se ve comprometida por condiciones de exposición al medio ambiente, causando deterioro por causas físicas, químicas o mecánicas.

2.2.3.1.4. Permeabilidad y absorción. Estas características son importantes debido a la relación que tienen con varias acciones que dañan el concreto. La absorción es el proceso en que el concreto ejerce una atracción sobre algún fluido que este en contacto de forma que este llena sus poros. La permeabilidad es una propiedad que permite el paso del fluido a través del concreto.

2.2.3.2. Nociones básicas para el diseño de la mezcla de concreto

- Determinación de todas las características de los agregados.
- Determinación de la resistencia de diseño (f_c) y que por la variabilidad del concreto por la cantidad de parámetros involucrados en su fabricación es necesario que se dosifique para una resistencia mayor (f_{cr}).
- Selección del asentamiento de la mezcla que dependerá las condiciones de colocación y del tipo de estructura.
- Se estima la cantidad de agua que se requiera para lograr un asentamiento requerido y depende del tamaño máximo del agregado, forma de las partículas y de la gradación del agregado.
- Determinación de la relación agua/cemento ya sea por criterios de resistencia, durabilidad o propiedades del acabado.
- Calculo de la cantidad de cemento requerido.
- Determinación de la cantidad de agregados para la mezcla.
- Ajustes por humedad de los agregados.

2.2.4. Pavimentos

Es una estructura de capas compuestas por diferentes materiales que se apoyan sobre terreno natural o nivelado para aumentar su resistencia y que sirve de apoyo para el tránsito de personas, vehículos, maquinarias, durante un periodo determinado y dentro de un rango de servicio. Dichas capas están compuestas por diferentes materiales encargados de distribuir y transmitir las cargas aplicadas al terraplén o subrasante.

Entre las condiciones que deben cumplir los pavimentos, tenemos:

- Ofrecer una superficie plana sin irregularidades que permitan la libre circulación y sin dificultad.

- Deben ser lo suficientemente resistentes como para soportar a parte de los pesos a las que fue estimado, los cambios climáticos y de temperatura, e impactos repentinos.
- Deberán ser económicos.

Existen dos tipos de pavimentos: rígidos y flexibles. El pavimento de rígido se compone de una losa de concreto hidráulico que en la mayoría de los casos presentan armaduras de acero, inicialmente tienen un costo más elevado que el pavimento flexible pero a la larga debido a las bajas acciones de mantenimiento y largo periodo de vida resultan económicos. El pavimento flexible está conformado por dos capas de material granular denominados base y subbase apoyados uniformemente sobre la subrasante y una superficie final o de contacto compuesto de concreto asfáltico. El pavimento flexible resulta más económico en su etapa de construcción inicial, tiene un periodo de vida más corto respecto al anterior, y tienen como desventaja que se deben aplicar acciones de mantenimiento más seguidos para poder cumplir con su vida útil.

2.2.4.1. Pavimento rígido

Los pavimentos rígidos se componen por una capa uniforme denominada subrasante y una losa de concreto la cual debe poseer una alta resistencia a la tracción por flexión. Además de los esfuerzos a tracción por flexión y de compresión a las que se ve sometido por acción de las cargas directas, debe ser capaz de resistir los efectos de contracción y retracción generados por los cambios de temperatura y condiciones climáticas.

Estos pavimentos no requieren espesores significativos de capas de materiales granulares intermedias entre la losa de concreto - subrasante y el diseño del espesor de la losa se basa en consideraciones sobre su resistencia a la tracción por flexión, capacidad de soporte de la subrasante, resistencia del concreto, condiciones del medio, entre otras.

2.2.4.2. Estructura de un pavimento rígido

2.2.4.2.1. Subrasante. Es la capa del terreno que soporta la estructura del pavimento, puede estar formada en corte o relleno, su profundidad varía en función a una profundidad que no afecte la carga de diseño a la que fue estimada.

La calidad de la subrasante es un factor de gran importancia que afecta el comportamiento y la durabilidad de un pavimento. Cuan peor sea su calidad, es decir cuánto más deformable y blanda sea sobre todo al estar húmeda, más rápidamente degradara el pavimento produciendo fallas que afectan la serviciabilidad del mismo.

La calidad de la subrasante o explanada depende del índice de resistencia del terreno (C.B.R), para ello se somete una muestra representativa del suelo de fundación compactada y saturada de agua a un ensayo de penetración en el laboratorio por medio de un pistón. La mayor o menor penetración experimentado se expresa en porcentaje respecto al de una muestra de muy buena calidad al que se le asigna el 100 % del soporte de la carga.

Para garantizar la calidad en sitio, se hace por medio de un ensayo de carga con placa, aplicada sobre el terreno, en la que se apoya una placa circular de superficie conocida utilizando un camión que actúa como reacción. La mayor o menor deformación del suelo para la carga aplicada indicará de manera aproximada, su calidad.

Es necesario eliminar las capas superficiales que mayormente resultan ser muy blandas, igualmente que la tierra vegetal y luego compactar adecuadamente el suelo de soporte. La calidad del mismo varía en función a la profundidad, a efectos del pavimento se puede considerar que solo influye el primer metro superficial del terreno.

En fin, la calidad de dicho suelo dará un apoyo uniforme a la losa de concreto lo que evitara que se produzcan fallas locales debido a la falta de soporte, para esto se deberá llevar a cabo un estricto control de calidad de los materiales y que se estén

utilizando los niveles de compactación adecuados, la influencia del clima es muy importante, por lo tanto se tomaran medidas de drenaje, además de considerar otros factores muy importantes como el clima, la lluvia, humedad, nivel freático, etc., que puedan modificar algunas propiedades.

2.2.4.2.2. Sub-base. Es la capa de la estructura del pavimento encargada de transmitir con uniformidad las cargas aplicadas al suelo de soporte o subrasante, esta controla los cambios de volumen y elasticidad que serian dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de la ascensión capilar de agua protegiendo así la estructura del pavimento, usualmente se usan materiales granulares.

En algunos casos, sobre todo cuando la calidad de la subrasante sea muy buena la losa de concreto se apoyara directamente sobre ella, eliminando la opción de colocar un material sub-base, lo cual implicaría en ahorros económicos.

Inicialmente los pavimentos rígidos se construían directamente sobre la subrasante, sin embargo el elevado incremento del volumen de transito y las altas repeticiones de carga afectó directamente su vida útil, lo cual indicaba que la durabilidad del pavimento estaba condicionada con la estabilidad de la subrasante. No fue sino hasta 1948 a través de un estudio donde se determinó, el efecto del bombeo que se define como la expulsión de agua y suelo a través de las grietas y juntas a lo largo de los bordes de la losa de concreto causadas por las deflexiones de las mismas debido al paso de vehículos muchos más pesados a los estimados habiendo presencia de agua en la subrasante. Como consecuencia de este bombeo se generan espacios bajos las losas lo cual la subrasante pierde uniformidad de soporte, se incrementan los esfuerzos a tracción por flexión y posteriormente se generan las fallas o roturas de las losas.

2.2.4.2.3. Base o superficie de rodadura (losa de concreto). Es la capa superior de la estructura de pavimento, compuesta por una losa de concreto, y debido a su alta rigidez, su diseño se basa más en su capacidad resistente de la losa que en la capacidad de la subrasante, es decir este apoyo se traduce a un reparto muy grande de

las cargas que circulan sobre el pavimento de tal forma que las tensiones que se originan son menores.

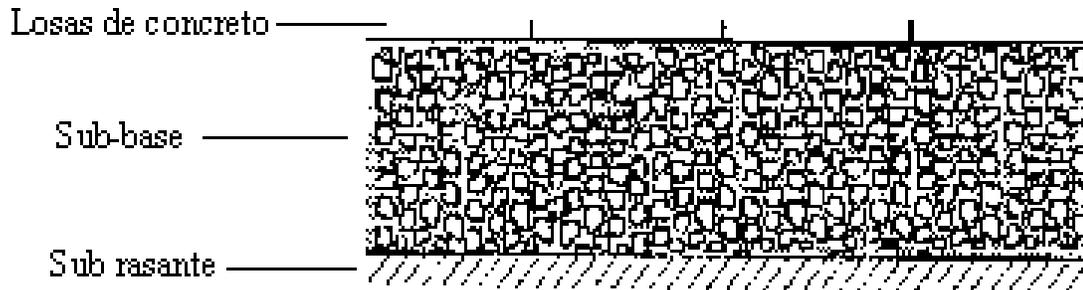


Figura 1. Estructura de pavimento de concreto.

Fuente: [www. danielgiraldog.freeiz.com](http://www.danielgiraldog.freeiz.com)

2.2.4.3. Tipos de pavimentos rígidos

2.2.4.3.1. Concreto simple. No posee refuerzo de acero en la losa, y el espaciamiento entre las juntas es pequeño, entre 2,5 a 4,5 m. Las juntas pueden tener o no dispositivos de transferencias de carga.

2.2.4.3.2. Concreto reforzado. Tiene espaciamientos entre juntas mayores, entre 6 a 36m y llevan armadura distribuida en la losa a fin de contrarrestar los efectos de contracción y retracción por temperatura.

2.2.4.3.3. Concreto reforzado continuo. Tiene armadura longitudinal continua y no posee juntas transversales, excepto las juntas por aspectos constructivos. El objetivo de esta armadura es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que estas permanezcan cerradas.

2.2.4.4. Proceso constructivo de los pavimentos rígidos

2.2.4.4.1. Preparación y perfilado de la sub-rasante. Comprende todas las operaciones necesarias para obtener una superficie de apoyo lisa, compacta y homogénea, que cumpla con los perfiles y cotas de los planos. La capa de soporte se

debe compactar a la densidad especificada y cumplir las tolerancias en cuanto a alineamientos verticales y horizontales.



Figura 2. Preparación del suelo de soporte.

Fuente: construcción de un pavimento rígido. Ing.: Fernando Sánchez Labogal.

Antes de comenzar los trabajos de preparación de la subrasante, se deberá estacar cada 20 metros entre sí, y en los puntos intermedios que sean necesarios, el eje y los bordes de la plataforma a pavimentar. En todo lugar en que después de terminada la conformación de la subrasante ésta se ablande o forme irregularidades o demuestre no estar debidamente compactada, los materiales que forman la misma deberán ser removidos y sustituidos con suelos seleccionados y apropiadamente compactados.

2.2.4.4.2. Construcción de la sub-base. Deberán ejecutarse en plantas procesadoras que aseguren la obtención del material que cumpla con los requisitos técnicos establecidos. Este material debe almacenarse en espacios habilitados para este efecto, de tal manera que no se produzca contaminación ni segregación del mismo. Estos materiales suelen ser granulares, que pueden ser natural o triturados. Se podrá usar partículas limpias, con suelos tipo gravas arenosas, arenas arcillosas, o suelos similares que cumplan los siguientes requisitos:

- Inorgánicos
- Libres de material vegetal.
- Libres de escombros.

- Libres de basuras.
- Sin presencia de terrones.
- Sin presencia de trozos degradables.

A continuación se presentan las especificaciones más comunes utilizadas por organizaciones relacionadas con pavimentos y que se fundamentan en los valores de C.B.R para los materiales a ser empleados como sub-bases y bases granulares.

2.2.4.4.3. Construcción de la base. Los materiales a utilizar en la base deberán estar libres de residuos orgánicos, suelo vegetal, arcillas u otro material perjudicial. Con anterioridad a la construcción de la base, deberá limpiarse y retirarse toda sustancia extraña a la sub-base o sub-rasante previamente aceptada. Los baches o puntos blandos deformables que se presenten en su superficie o cualquier área que tenga una compactación inadecuada o cualquier desviación de la superficie, deberán corregirse.

La base granular debidamente preparada se extenderá sobre la plataforma del camino, debiendo quedar el material listo para ser compactado sin necesidad de mayor manipulación para obtener el espesor, ancho y bombeo especificado. Alternativamente, el material podrá transportarse y depositarse sobre la plataforma del camino, formando pilas que den un volumen adecuado para obtener el espesor, ancho y bombeo especificado. En este último caso, los materiales apilados deberán mezclarse por medios mecánicos hasta obtener la homogeneidad y humedad necesaria, tras lo cual se extenderán uniformemente.

La base granular deberá construirse por capas, de espesor compactado no superior a 30 centímetros ni inferior a 15 centímetros. El material extendido deberá tener la granulometría especificada.

2.2.4.4.4. Compactación. Después que el material haya sido esparcido, se le deberá compactar por medio de apisonado ya sea manual o mecánico y riego. Esta deberá avanzar gradualmente desde los lados hacia el centro de la vía en construcción. El proceso de apisonado deberá continuar hasta lograr la densidad especificada y hasta que no sea visible el deslizamiento del material delante del compactador.

La distribución continuara alternadamente tal como se requiere para lograr una base lisa, pareja y uniformemente compactada. No se deberá compactar cuando la capa subyacente se encuentre blanda o dúctil, o cuando la compactación cause ondulaciones en la capa de la base. Posteriormente se deberá constatar que la base ya compactada cumpla con los requerimientos de densidades y humedad requeridas por parte del proyecto antes de vaciar el concreto.

2.2.4.4.5. Colocación del encofrado. Inicialmente se alinearan, el constructor colocara los moldes para la ejecución de la calzada sobre el suelo ya compactado, conforme a los alineamientos proyectados, niveles y pendientes. Luego, los moldes se apoyaran en sus bases unidos entre si y su fijación al terreno se realizara mediante clavos o estacas que impidan algún desplazamiento del mismo debido al empuje lateral que genera al concreto al momento de su vaciado.

En las curvas el constructor asegurara la firmeza de los moldes, así como su ajuste al radio correspondiente de las mismas. No se permitirá una variación en las juntas de los moldes de más de 2 mm, tanto en pendiente como en el alineamiento.

Los moldes no deben presentar sustancias extrañas que puedan contaminar el concreto, deben estar totalmente limpios, para luego ser aceitados de tal forma para facilitar su desmolde.

Se verificara a lo largo del pavimento que haya un espesor constante de parte de los encofrados, en tal caso de que existiese variaciones y que resultase mayor el concreto, podrá rellenarse con material aprobado para la capa base y que luego debe compactarse adecuadamente. Por el contrario, si resultase menor el espesor por zonas altas en la base, se deberá eliminar el material de forma manual o mecánica y al instante compactar adecuadamente la zona afectada.



Figura 3. Colocación de moldes metálicos.

Fuente: construcción de un pavimento rígido. Ing.: Fernando Sánchez Labogal.

2.2.4.4.6. Instalación de barras de transferencia de carga. En los sitios previstos para las juntas transversales y longitudinales, se fijan en la superficie canastas metálicas con barras lisas de diámetro, longitud y separación según el diseño, colocadas a una altura igual a la mitad del espesor de la losa.



Figura 4. Instalación de barras lisas por medio de canastas.

Fuente: construcción de un pavimento rígido. Ing.: Fernando Sánchez Labogal.



Figura 5. Las barras deben colocarse en correspondencia con la junta transversal del pavimento vecino.

Fuente: construcción de un pavimento rígido. Ing.: Fernando Sánchez Labogal.

Si se desean eliminar los esfuerzos de tracción en el concreto durante la etapa de fraguado, así como las probabilidades de que se produzcan bombeos, se coloca una lamina permeable sobre el suelo de soporte del pavimento. Tal como lo indica la figura 6.



Figura 6. Colocación de lámina impermeable.

Fuente: construcción de un pavimento rígido. Ing.: Fernando Sánchez Labogal.

2.2.4.4.7. Elaboración, transporte y vaciado del concreto. Sobre la base especificada anteriormente, se colocara el concreto inmediatamente elaborado en obra

o recién llegado de la planta transportado en camiones. Cuando el concreto sea elaborado fuera de la obra, durante el vaciado se evitara la segregación y facilitara su distribución uniforme sobre la sub rasante y se colocara de tal forma que requiera el mínimo de manipulación. Se irá vaciando en una sola capa uniforme y en dirección al eje de la calzada.

El concreto se colocara directamente contra los moldes de manera de lograr un contacto total con los mismos compactándolo adecuadamente mediante el vibrado.

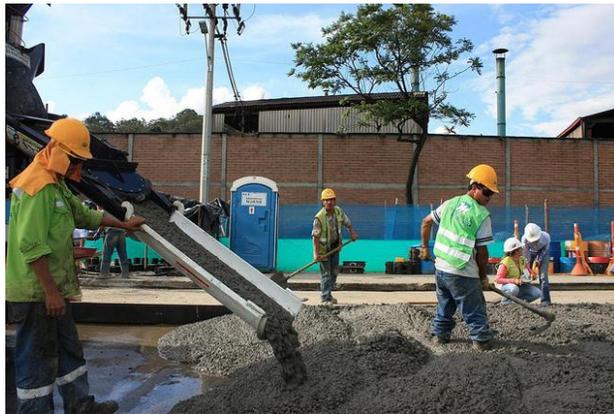


Figura 7. Vaciado de concreto.

Fuente: www.flickr.com

2.2.4.4.8. Distribución, enrasado y consolidación. Inmediatamente después de colocado el hormigón será distribuido, enrasado, y consolidado. Para ello se emplearán los métodos mecánicos especificados. No se permitirá el uso de rastrillos en la distribución del hormigón y la adición del material, en los sitios en que hiciere falta, solo se hará mediante el uso de palas.

2.2.4.4.9. Vibrado y nivelación del concreto. El equipo de vibración -regla o rodillos vibratorios- para la distribución, enrasado y consolidación del hormigón, deberá pasar sobre el material colocado tantas veces como sea necesario para compactarlo y borrar las imperfecciones que aparecieren. Idealmente, con una pasada el hormigón debe quedar bien vibrado y con una superficie de textura uniforme, sin embargo, si existen imperfecciones, para asegurar la compacticidad y terminación requerida se podrá realizar una nueva pasada a mayor velocidad corrigiendo los defectos en el hormigón fresco.

Si el vibrado es manual, luego de ser enrazado, será apisonado con una regla – pisón, a un nivel tal que una vez terminada la losa, la superficie presenta la forma y niveles indicados. Esta avanzara de forma longitudinal y transversal de manera que cubra toda la superficie de la fosa, apoyado siempre sobre los moldes.

2.2.4.4.10. Control del perfil y espesores. El ejecutor controlará, a medida que adelanten los trabajos, el cumplimiento de los perfiles y espesores de proyecto. No se admitirán en este control espesores menores que los especificados, para lo cual el ejecutor procederá a los ajustes respectivos repasando la base granular drenante y eliminando los excedentes de material en aquellas zonas en que provoquen una disminución del espesor del firme. Si se usan moldes, el constructor verificará que no se hayan producido asentamientos y en caso de que ello haya ocurrido, procederá a la reparación inmediata de esa situación.

2.2.4.4.11. Alisado. Tan pronto se termine el enrasado precedentemente indicado, se efectuará el alisado longitudinal. La superficie total de la losa será suavemente alisada con regla metálica. Mientras el hormigón esté todavía plástico, en forma paralela al eje longitudinal del afirmado, se pasará una regla metálica, haciéndola casi "flotar" sobre la superficie y dándole un movimiento de vaivén, al mismo tiempo que se la traslada transversalmente. Los sucesivos avances longitudinales de esta regla se efectuarán en una longitud máxima igual a la mitad del largo de aquella.

2.2.4.4.12. Micro texturizado longitudinal. En algunos casos se lleva a cabo un micro texturizado longitudinal que consiste en el arrastre de una tela húmeda en toda la superficie del pavimento, con el fin de evitar deslizamientos del vehículo cuando la vía se encuentre húmeda. Posteriormente de haber terminado el paso anterior, se llevara a cabo de forma manual y por medio de un rastrillo o cepillo otro texturizado superficial mayormente de forma transversal al eje de la vía, esta se realizara cuando desaparezca el agua superficial o sangrado del concreto.

2.2.4.4.13. Construcción de juntas. El objetivo de las juntas, es el de copiar el patrón de fisuración que se produce naturalmente en el pavimento durante su periodo

de vida o en su estado de servicio. Un adecuado diseño y disposición de las juntas permitirá:

- Proporcionar la transferencia de carga adecuada.
- Permitir el movimiento de las losas contra estructuras fijas.
- Prevenir la formación de fisuras transversales y longitudinales.
- Prevenir la infiltración de agua y materiales compresibles a la estructura del pavimento.

Las juntas se pueden clasificar en transversales y longitudinales, en las transversales se encuentran:

- Contracción: Controla la aparición de fisuras.
- Construcción: juntas que se forman al final de la jornada o por imposibilidad de continuar con el vaciado del concreto.
- Aislación o dilatación: permite movimientos relativos con estructuras fijas u otros pavimentos.

Y en las juntas longitudinales:

- Contracción: controlan la formación de fisuras.
- Construcción: se pavimentan en formas de fajas.

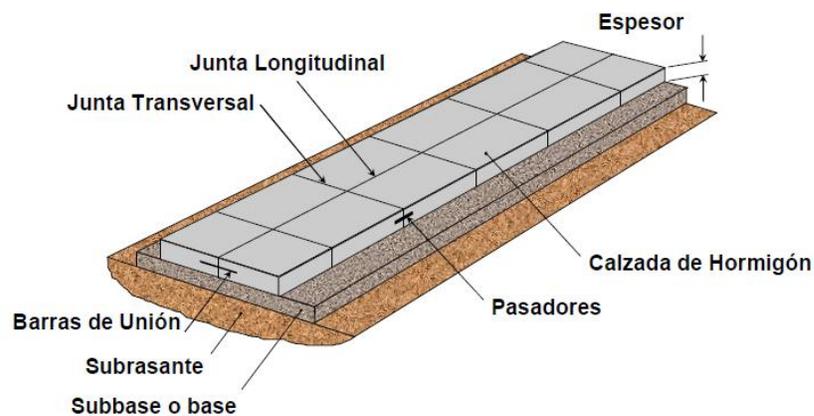


Figura 8. Estructura del pavimento y disposición de juntas.

Fuente: Construcción de pavimentos rígidos – Ing. Diego Calo.

2.2.4.4.14. Curado. Depende de las condiciones ambientales donde se llevo a cabo la construcción del pavimento, sobre todo para definir los plazos mínimos de curado. Una vez selladas las juntas, se puede curar el pavimento mediante los siguientes diferentes métodos:

- Inundación: se realizaran especies de pequeñas represas de tierra las cuales se llenaran de agua, manteniéndolas de esa forma durante un plazo mínimo de 10 días.
- Tierra inundada: se distribuye uniformemente una capa de tierra la cual se saturara con agua, manteniéndola así durante 10 días como mínimo, se prohibirá el paso de vehículos y personas durante ese periodo.
- Otros métodos: se llevaran a cabo otros métodos previa autorización del Ingeniero supervisor.

2.2.4.4.15. Protección del pavimento. Al inicio de la obra se dispondrán de letreros, carteles, señalizaciones, etc. Que restrinjan el paso de vehículos y personas durante el tiempo de ejecución de la obra. En casos de lluvia se protegerá las superficies del pavimento mediante telas impermeables o capas de arena extendidas sobre la misma.

Después de la construcción se colocaran barreras indicadas por el ingeniero constructor que impidan el transito sobre el pavimentos hasta no estar al tanto de la posibilidad de habilitarlo.

2.2.4.5. Mecanismos de fallas

2.2.4.5.1. Fisuración transversal o longitudinal. Agrietamientos perpendiculares o longitudinales al eje del pavimento, causadas por:

- Erosión.
- Asentamientos.
- Fisuración por fatiga, debido a espesores de la losa insuficientes y excesiva separación entre juntas.
- Aserrados tardíos.



Figura 9. Fallas transversales o longitudinales.

Fuente: Construcción de pavimentos rígidos – Ing. Diego Calo.

2.2.4.5.2. Erosión por bombeos y escalonamientos. Generados por el movimiento del agua infiltrada o proveniente del subsuelo, que se ubican por debajo de la losa sobresaliendo hacia la superficie debido a las presiones generadas por las cargas. Generalmente causadas por:

- Material como arenas finas y suelos finos.
- Acceso del agua a las capas inferiores del pavimento.
- Excesivas deflexiones del pavimento.

Para evitar este tipo de fallas se recomienda el uso de geotextiles impermeabilizantes ubicadas en capas inferiores al pavimento, provisionando una capa de subbase lo suficientemente fuerte como para resistir las cargas generadas por el trafico lo cual evita posibles asentamientos y ocurrencias de espacios por donde pueda ingresar el agua y finalmente mejorando la transferencia de cargas.



Figura 10. Fallas por erosión.

Fuente: Construcción de pavimentos rígidos – Ing. Diego Calo.

2.2.4.5.3. Roturas de esquinas de la losa. Mayormente son caracterizados por roturas del pavimento en las esquinas a 45 grados respecto al eje del pavimento. Son causadas por:

- Insuficiente transferencia de carga.
- Perdida de soporte por erosión.
- Losas con ángulos agudos.

Para evitar este tipo de fallas es necesario proporcionar al pavimento una transferencia de carga adecuado al tránsito a la que fue estimado, proporcionándole una subbase resistente a la erosión bajo grandes cargas de transito y un diseño adecuado de juntas.



Figura 11. Rotura de placa.

Fuente: Construcción de pavimentos rígidos – Ing. Diego Calo.

2.2.4.5.4. Levantamiento de losas. Consiste en desplazamiento de la losa hacia arriba provocando fractura del mismo mayormente en zonas donde se encuentran ubicadas las juntas o fisuras. Entre sus posibles causas se encuentra:

- Entrada de materiales incompresibles en las zonas de juntas.
- Inadecuado diseño de juntas.
- Expansiones térmicas excesivas.
- Raíces de arboles.

Para evitarlas es necesario contar con un buen diseño de juntas sobretodo en intersecciones e incluyendo materiales de sellado de buena calidad que impidan la entrada de materiales compresibles y agua.



Figura 12. Rotura de placa por levantamiento.

Fuente: Construcción de pavimentos rígidos – Ing. Diego Calo.

2.2.4.5.5. Despotillamientos. Desfragmentación de los bordes en juntas o fisuras, generados por la entrada de material compresible y hormigón afectado por la falta de compactación, extracción del encofrado muy pronto en juntas de construcción, por aserrado prematuro.

Para evitarlas es necesario contar con materiales de sellado de buena calidad y aplicada de forma correcta que impidan el paso del agua, mantener los sellos en buen estado y un diseño adecuado de juntas.



Figura 13. Despotillamiento de placa.

Fuente: Construcción de pavimentos rígidos – Ing. Diego Calo.

2.2.5. Fibras de acero

Las fibras de acero están diseñadas para el refuerzo del concreto, estas son fabricadas con alambres de acero que por medio del trefilado en frío se logra que obtenga una alta resistencia a la tensión y están provistas de terminaciones con forma de gancho que le proporcionan buen anclaje.

2.2.5.1. Características de la fibra

En cuanto a las características de la fibra influyen mucho sus dimensiones, forma, esbeltez y volumen de dosificación en la mezcla de concreto afectando directamente su capacidad de carga máxima. Su forma es importante lo cual se obtienen mejores resultados con fibras de extremos conformados y sección circular permitiéndole un buen anclaje en el concreto, y un parámetro que relaciona su longitud con su diámetro equivalente permite diferenciarlas de otros tipos de fibras, además que una relación de esbeltez mayor implica mejor desempeño pero trae consigo, dificultades de mezclado, vaciado y acabado del concreto. Para compensar esta desproporcionalidad se han creado algunos compuestos y técnicas para que las fibras de bajo desempeño se comporten como otras de alto desempeño sin comprometer la facilidad en el manejo del concreto.

Otra característica esencial es su resistencia a tracción la cual depende de la calidad del acero y proporciones de carbono que dependiendo de las cantidades, determinara la variación de su resistencia. Por ejemplo para aceros con carbonos bajo a medio, la resistencia a tracción oscila entre 400 y 1500 MPa (Tabla según Fernández Cánovas, 2003), incrementado las cantidades de carbono se pueden llegar a resistencias de 2000 MPa, siendo estas últimas las ideales para concretos de altas resistencias.

2.2.5.2. Concreto reforzado con fibras metálicas

El concreto reforzado con fibras es un concreto que incluye en su mezcla fibras de cierto tamaño, distribuidas homogéneamente y de forma aleatoria en dicha masa.

Las fibras metálicas surgieron por la necesidad de contar con un material que en combinación con el resto de los agregados del concreto permita reforzar y mejorar su comportamiento mecánico respecto al que brinda el refuerzo tradicional compuesto por malla electro soldada, incorporándola hasta garantizar una sección con distribución homogénea que pueda reducir la fragilidad del elemento estructural. Una de las diferencias relevantes de la fibra con respecto a la malla electro soldada, es su colocación; simplemente la fibra se vierte dentro del camión de premezclado con tiempos recomendados de no más de 10 minutos, de esta forma se garantiza la distribución correcta y eficiente del mismo orientando la fibra en todas las direcciones, hasta su proceso de vaciado. Con respecto a la malla electro soldada se coloca únicamente en una parte de la sección y en un solo plano, siempre y cuando sea adecuadamente, lo cual en muchas ocasiones no resulta de la mejor manera.

La distribución de las fibras de acero permite de cierta forma garantizar la absorción de los esfuerzos de tracción que se generan en el concreto producto del proceso de fraguado, donde también interviene el factor temperatura produciendo esfuerzos que causan agrietamientos sobre todo en elementos de grandes áreas con respecto a su sección transversal.

Por otro lado, por medio de su uso, se logra reducir considerablemente los costos de mano de obra, supervisión y desperdicio de material en comparación con el uso del acero de refuerzo tradicional donde se requiere gran cantidad de personal, buena supervisión e inversión de tiempo. Es así, que en la construcción de elementos de concreto con fibras metálicas, llega a reducirse de cierta forma los tiempos de ejecución como para considerarlo una alternativa eficiente.

2.2.5.3. Componentes, dosificación, mezclado y puesta en obra

Los componentes del concreto son el agua, cemento, agregados finos y gruesos, aditivos y las fibras de acero. La particularidad que presenta la adición de las fibras metálicas a la mezcla de concreto, es que por ser elementos rígidos y con formas muy distinta al de los agregados afectan de cierta forma la docilidad, en estos casos las fibras se logran adaptar y no condiciona la naturaleza de los componentes del hormigón.

Los agregados deben cumplir con los requerimientos normativos, en función del uso que se le vaya a dar al concreto. En cuanto a la integración de aditivos a las mezclas de concreto con fibras, suelen ser en su mayoría superplastificantes con la finalidad de compensar la docilidad que generan las fibras, en ningún caso debe compensarse mediante un incremento del agua en el mezclado.

El método de dosificación a emplearse es el común, solo debe garantizarse la dispersión de la fibra en la mezcla de concreto de manera de garantizar la uniformidad del mismo, evitar segregaciones y formación de bolas de fibras. Esta uniformidad se garantiza dependiendo de la relación de forma o esbeltez de la fibra, la cantidad a dosificar, la relación de agua cemento y duración del mezclado.

2.2.5.3.1. Mezclado. El mezclado de la fibra se puede realizar tanto en la planta concretera o en sitio. En el primer caso simplemente se le añaden las fibras a los componentes y se mezcla durante un minuto o minuto y medio hasta obtener la dispersión de las fibras requeridas. En cambio en sitio se dosifica directamente sobre el camión de concreto y se mezcla durante 10min. La diferencia entre ambas es que en la planta se obtienen las características requeridas y en obra es más impreciso saber de las características del concreto actual debido a que de repente es necesario realizar correcciones de agua en la mezcla.

Mayormente se recomienda adicionarlas a una mezcla ya fluida, incorporar suficiente agregado fino, no emplear fibras muy esbeltas y tiempos de transporte muy largos, si es muy largo se opta por colocarla en obra.

Se ha demostrado que es necesario antes de adicionarles fibras a la mezcla contar con un asentamiento medido en el cono de abrams superior al esperado, aproximadamente de 180mm, con la mezcladora a su máxima velocidad, se le adicionan las fibras haciéndolas pasar por una malla de 100mm para que logren dispersarse al momento de ingresar a la mezcla de concreto. Después de haber colocado la dosificación ideal, se coloca a la mezcladora a su velocidad habitual.

2.2.5.3.2. Colocación en obra. Se realiza mediante los sistemas convencionales de vaciado y vibrado, siguiendo los mismos requerimientos para cada uno de los casos. Generalmente requiere mayor energía de vibrado que el concreto convencional. Se recomienda utilizar vibradores externos principalmente cuando son piezas pequeñas, cuando se usan vibradores internos las fibras suelen agruparse alrededor del vibrador lo cual puede alterar la distribución homogénea de la fibra en la mezcla.

2.2.5.3.3. Curado. El procedimiento de curado es igualmente como la del concreto convencional, a diferencia de que al concreto con fibras adquiere propiedades de incremento de la tenacidad.

2.2.5.4. Aplicaciones de la fibra metálica.

El conocimiento de las fibras metálicas como refuerzo para el concreto ha permitido que a nivel mundial se vayan introduciendo al mercado constructivo, y por medio de pruebas y ensayos ha ido creciendo el nivel de aceptación entre diseñadores y constructores, por ende incrementando su aplicación a diferentes obras de ingeniería, por ejemplo:

- Aeropuertos.
- Concreto proyectado
- Centros comerciales.
- Elementos prefabricados.
- Estructuras hidráulicas.
- Pavimentos de concreto industrial y residencial.

- Estabilización de taludes.
- Estructuras resistentes a explosiones.
- Túneles.

A continuación se describen algunas aplicaciones:

2.2.5.4.1. Pavimentos. El pavimento de concreto en función de su uso, es el de transmitir las cargas entre muchas otras las de tráfico, a la base del terreno, es decir es sometido a esfuerzos de flexo tracción a niveles altos por lo tanto surge la necesidad de resistirlos. Debido a las repeticiones de carga generada por las acciones de los vehículos, dicho pavimento se ve sometido a efectos de fatiga, lo cual la fibra metálica influye en reducir este efecto.

En cuanto a la colocación del concreto para pavimento debe ser trabajable con los equipos de construcción y que posean gran cohesión, el cual la fibra cumple con estas exigencias. Reduce la retracción al secado que predomina en las superficies del pavimento, provocando grietas inesperadas.

Entre los campos de uso de la pavimentación reforzado con fibra metálica, encontramos:

- Pavimentación industrial.
- Pavimentación de avenidas.
- Pavimentación de urbanizaciones.
- Pavimentación de aeropuertos.
- Reparación de superficies.
- Tanques de agua.

2.2.5.4.2. Túneles. Se ha demostrado en este tipo de obra que el concreto reforzado con fibra metálica en revestimientos de túneles, reduce los tiempos de puesta en obra eliminando el uso de malla electro soldada, se alcanzan grandes resistencias luego de llevar a cabo su colocación y su intervención en la construcción de elementos prefabricados como dovelas.

2.2.5.4.3. Concreto proyectado. Incrementa el rendimiento de avance en un 40% aproximadamente, debido a que no es necesario la colocación de la malla electro soldada antes de proyectar el concreto, distribuyéndose para generar el

espesor requerido independiente de la superficie del estrato, mayor adherencia e indirectamente más ahorro debido a no haber rebote del concreto al momento de ser proyectado. Debido a la ductilidad que le aporta la fibra al concreto permite que el mismo absorba los esfuerzos de manera efectiva.

Entre otros usos:

- Construcción de túneles.
- Estabilización de taludes.
- Estabilización de excavación para fundaciones.
- Revestimiento de túneles.

2.2.5.4.4. Elementos prefabricados. Para la construcción de viviendas donde no se opta por el método de construcción convencional, y se requieran grandes cantidades, se optan por viviendas prefabricadas, donde se pueden construir paredes, fundaciones tipo zapatas, tanques de agua, sumideros, entre otros donde la fibra metálica se pueda adaptar a las diferentes exigencias.

En cuanto a sistemas de túneles, dicho anteriormente, las dovelas como elemento prefabricado se pueden obtener excelentes propiedades al incorporarle en su proceso de construcción, las fibras metálicas.

2.2.5.5. Ventajas de la fibra de acero

- Durabilidad en estructuras.
- Provee al concreto de resistencia al impacto.
- Controla agrietamientos resultantes de esfuerzos internos.
- Economía.
- Fácil y rápida colocación.
- Resistencias a la fatiga.
- Hace del concreto un material más dúctil.
- Incrementa el tiempo de vida del concreto.

2.2.5.6. Comportamiento del concreto con fibras metálicas

Teniendo como principios básicos el uso que se le da al acero principalmente el estructural, su principal función es la de resistir los esfuerzos a tensión y en combinación con otros materiales como el concreto, es capaz de generar ciertas propiedades favorables para garantizar un buen comportamiento en elementos estructurales principalmente a flexión, en este caso las fibras metálicas incorporadas al concreto fresco no es la excepción. El principal efecto generado frente a diversas acciones en elementos vigas, es la flexión, por ende es conveniente comprender dicho fenómeno físico para luego aplicar ciertos criterios de diseño y además analizar en qué contexto dicho elemento deberá servir sus propósitos.

Partiendo del análisis de un elemento simplemente apoyado sometido a carga gravitatoria y se grafica de cierto modo su respuesta desde carga cero hasta el incremento progresivo de la misma que provoca la falla total de la pieza, se comparan dos graficas referentes a respuestas frágiles y dúctiles:

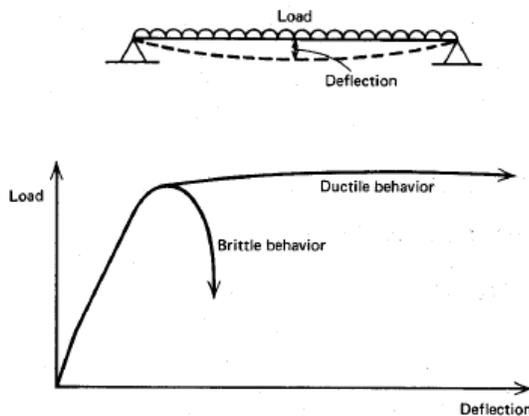


Figura 14. Grafica de comportamiento de elementos sometidos a flexión.

Fuente: www.flickr.com

Dicho efecto genera en ambas condiciones, para elementos con refuerzo y sin refuerzo de acero, una línea que describe la proporcionalidad que hay entre el esfuerzo y la deformación por medio de incremento sucesivo de carga, hasta llegar al punto "A" denominado "tensión de primera fisura" o "límite elástico". Manteniendo

de forma constante la aplicación de la carga nos encontramos con el punto “B” llamada “tensión de rotura”, dicha grafica deja de ser lineal debido a que a medida que se desarrolla la carga se produce una caída de tensión, al mismo tiempo, una prolongación de la deformación hasta finalmente llegar a la rotura de la pieza.

Para concretos convencionales al llegar al punto “A” o fisurada la zona a tracción, se produce la rotura completa de la pieza.

En el caso de concretos con fibra metálica la falla se produce por arrancamiento de las mismas sin llegar a su límite de rotura, salvo en que algunas puedan desarrollar o mejorar su adherencia. Por lo tanto al haber un incremento en la deformación de parte del concreto con fibras respecto al convencional, se traduce a la capacidad del elemento a absorber energía, dependiendo del volumen de fibras que se le adicione a la mezcla.

En cierta forma es impredecible garantizar la carga de rotura del elemento con fibras frente a dichos esfuerzos, debido a que al quedar distribuidas las fibras dentro de la mezcla de concreto, no se sabrá su posicionamiento, lo cual puede traducirse en deslizamientos parciales de la fibra metálica, en función a la adherencia. Según estudios y resultados empíricos, una dosificación de fibras adecuada permitirá el comportamiento ideal del concreto respecto a su función a lo que fue destinada.

2.2.5.6.1. Comportamiento mecánico del concreto con fibras. Básicamente lo que rige el comportamiento del concreto con fibras frente a acciones de cargas parte de la longitud de anclaje y su capacidad que el mismo logra al momento de someterse a diferentes tipos de esfuerzos.

En el caso del concreto armado convencionalmente las barras están ancladas de tal forma que cuando el elemento se ve solicitado la armadura alcanza el límite elástico y su capacidad la adquiere cuando el acero alcanza el límite de rotura. A diferencia del concreto reforzado con fibras, estas se diseñan para que no alcancen su límite elástico, sino que inicialmente deslicen y luego sean capaces de alcanzar su capacidad, pero la forma dispersa con la que quedan distribuidos en la mezcla de concreto hacen que no todas al mismo tiempo logren deslizar, es decir, por su

orientación y forma no todas logran la misma deformación, por lo tanto existiendo la posibilidad de que unas rompan y otras no o teniendo poca deformación.

La resistencia a tracción de la fibra cobra importancia al momento de que logran anclarse internamente en el elemento estructural, lo cual en conjunto permiten darle la propiedad de ductilidad al concreto. Finalmente se deduce que las fibras deben poseer la longitud de anclaje suficiente para garantizar cierta adherencia y al mismo tiempo ser muy pequeña para permitir su deslizamiento, e allí el porqué actualmente las fibras poseen cierta forma característica.

2.2.5.6.2. Comportamiento a compresión. Se ha demostrado mediante ensayos que la resistencia a compresión no se ve modificada de manera considerable al adicionar fibra metálica a mezclas de concreto, esto debido a la dirección de agrietamiento característico de elementos sometidos a compresión en el sentido en que se producen los esfuerzos, por lo tanto se puede despreciar el aporte que le pueda generar las fibras frente a este tipo de esfuerzos.

Ahora independientemente del tipo de esfuerzos, en este caso a compresión, la fibra metálica siempre va a garantizar la característica de ductilidad, cuando se produce el esfuerzo último de rotura a compresión del concreto influenciado por el contenido de fibras (Ver figura 15).

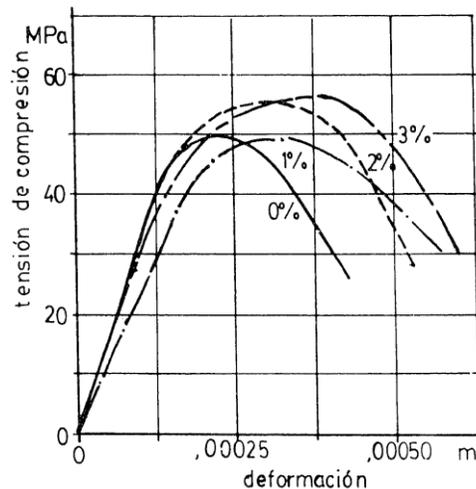


Figura 15. Diagrama de esfuerzos compresión vs deformación.

Fuente: Rodríguez López et. al. 1984

2.2.5.6.3. Comportamiento a tracción. Dicho anteriormente, la dirección en que se producen los esfuerzos y las características del material de las fibras metálicas, garantizan un incremento en la resistencia a tracción, lo cual aumenta a medida que se incrementa la dosificación de fibra en mezclas de concreto, gracias al efecto de costura que se genera. Luego de haber alcanzado el esfuerzo de rotura se denota un incremento constante de la deformación, lo cual permite la transmisión de esfuerzos (Ver Figura 16).

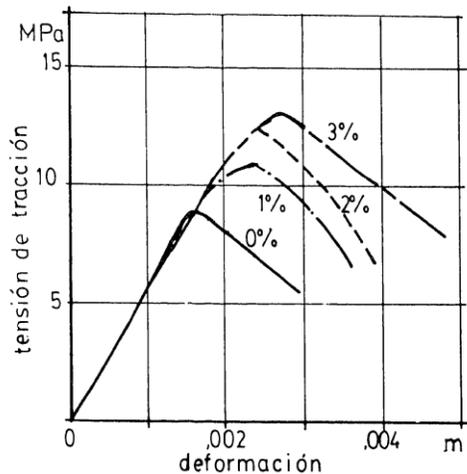


Figura 16. Diagrama de esfuerzos de tracción vs deformación

Fuente: Rodríguez López et. al. 1984.

Las fibras por restringir la aparición de fisuras internas en el concreto, evitan su propagación al resto de las zonas del concreto, pero esto dependiendo a parte de cómo se encuentran uniformemente distribuidas sino también de cuanto espaciamiento hay entre una fibra u otra.

2.2.5.6.4. Comportamiento a flexión. Garantizar la distribución homogénea de las fibras metálicas en mezclas de concreto cobra relevancia al momento de obtener un buen comportamiento a flexión del elemento estructural, siendo esta mayor que la resistencia a tracción y compresión.

Mediante el ensayo a flexión se determinan dos valores característicos, el esfuerzo de figuración y esfuerzo de rotura, el primero surge al momento en que la carga genera la primera fisura en el elemento de concreto y hace que la curva (esfuerzo – deformación) abandone su estado lineal, mientras que el otro corresponde a la carga máxima que se registra al momento de la rotura de la pieza.

Se garantiza por medio del incremento en la dosificación de la fibra, un incremento en el esfuerzo ultimo (ver figura 17).

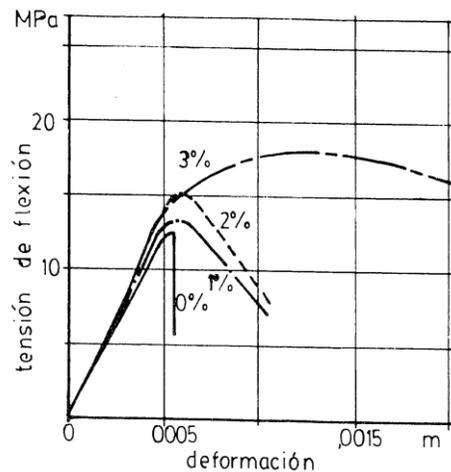


Figura 17. Diagrama de esfuerzos de Flexión – Deformación

Fuente: Rodríguez López et. al. 1984.

Como se denota en la grafica, no existe un incremento notable del esfuerzo a la primera fisura variando la dosificación de fibra, lo cual indica que esta propiedad depende básicamente de las dimensiones del elemento. A parte del volumen de fibras interviene el factor esbeltez de estas, donde aumentando su factor de forma produce aumentos considerables de la resistencia respecto al del elemento matriz.

2.2.5.6.5. Comportamiento dúctil. Haciendo referencia frente a elementos estructurales sometidos a grandes deformaciones, la respuesta frágil es inaceptable, se debe proveer a dichos elementos la capacidad de someterse a grandes desplazamientos sin afectar su capacidad de carga una vez excedido su resistencia máxima.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLOGICO

3.1. Tipo de investigación

Por tener como objeto la medición precisa de cada variable, se define la investigación como del tipo descriptiva, pues da a conocer la variabilidad que presenta una mezcla de concreto de acuerdo a las cantidades de dosis de fibra que se utiliza en tal diseño. Lo cual indirectamente no se alteran las variables que intervienen en el, sino en su proceso de realización, en este caso se mantuvieron constantes los parámetros de diseño y calidad de los agregados, modificando las dosificaciones de fibra para luego evaluar los resultados.

Describe la problemática existente respecto a la incertidumbre que se generaría si surgieran errores al momento de dosificar la fibra, especificando que factores intervienen, tal como el papel que juega la mano de obra calificada, y que en consecuencia pueda generar afecciones en la trabajabilidad de la mezcla.

En lo que respecta a sus fuentes, el trabajo se agrupa dentro de una investigación mixta, comprendida por tipos de datos primarios y secundarios. Los de tipo primario son aquellos cuyos datos o fuente de información vienen de primera mano, proporcionados por investigaciones que forman parte de los antecedentes, dichos datos son recogidos para tal fin y por aquellos que la efectúan. Los datos de

tipo secundario son recogidas por personas distintas al trabajo de investigación y que operan con datos.

Muñoz – Razo (1998) citado por R. Alberto, define la investigación de campo o practica, “se basa en información primaria o que será colectada directamente de la fuente y que requiere en esencia de un instrumento para ello... el trabajo se efectúa principalmente en el campo y se soporta con resultados de otros autores en menor grado”.

Finalmente el presente trabajo se agrupa en una investigación de campo o práctica, donde los resultados obtenidos surgen de ensayos de laboratorio, inicialmente para obtener la calidad de los agregados, luego diseñando la mezcla para posteriormente ejecutarla en función de la variabilidad de fibra, hasta llegar a los ensayos de flexión necesario para la obtención del modulo de rotura.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación no es más que la estrategia que adopta el investigador para responder a los problemas planteados. La investigación corresponde a uno de tipo experimental, ya que se basa en el manejo intencional de ciertas variables para luego comprobar por medio de ensayos los resultados. Se evalúa la derivación y la eficacia interna del contexto experimental, es decir, se debe conocer la relación entre las variables para estar al tanto de lo que ocurre. (Sabino, S (1986), El proceso de investigación, P 21).

“Permite establecer causación o relación de causa y efecto de un fenómeno a través de procedimientos controlados donde manipulan y controlan las variables que ejercen incidencias sobre el fenómeno. Por tanto, se tiene control sobre el tratamiento en estudio” (Ramírez, A, metodología de la investigación científica, P 47).

Se realizaron muestras con alcances estadísticos, inicialmente se realizó una revisión bibliográfica orientada a refrescar los conocimientos referentes al diseño de mezclas de concreto y su logística en el laboratorio, evaluación de la calidad de los agregados, ejecución del diseño de mezcla para luego ensayar a flexión. Donde la

finalidad de la investigación es evaluar el comportamiento de la mezcla de concreto al incorporar diferentes dosificaciones de fibra metálica. Se partió de una muestra de concreto patrón para una resistencia estimada de modulo de rotura 40 kg/cm², posteriormente manteniendo los mismos parámetros se decide variar la dosificación de fibra en cantidades de 10, 20 y 30 kg/cm², hasta finalmente ser ensayada a flexión por medio de la carga aplicada al centro del tramo luego comparándolas con la muestra patrón. De la misma metodología se realizó para un modulo de rotura estimado de 50 kg/cm².

3.3. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es el grado de dificultad con la que se aborda un objeto o fenómeno. Hernández Sampieri (2003). En su libro “metodología de la investigación” define cuatro niveles: exploratoria, descriptiva, correlacionar y explicativa.

A su vez Fidias G. Arias (1997), el proyecto de investigación, P 47, define la investigación de nivel explicativa como: “El nivel explicativo, es donde se busca indagar en los hechos para establecer su causa y efecto “.

Esta investigación se caracteriza inicialmente debido a la incertidumbre generada por la posible imprecisión en la dosificación de la fibra, donde lo fundamental es establecer porque sucede o acontece este tipo de hecho y las condiciones que se generan para luego identificar la problemática que esta generaría.

3.4. Población y muestra

Apoyado en Balestrini (2006) citado por Mariela Aular en su trabajo: instructivo para la transcripción de proyectos de investigación I, se entiende por población, “... cualquier conjunto de elementos de los que se quiere conocer o investigar, alguna o algunas de sus características (P 122).

“...la muestra es en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población” (P 141).

Se desea conocer como varían las condiciones del concreto en sus diferentes estados en función de diferentes dosificaciones de fibra, tratando de simular las imprecisiones que se generen al momento de su dosificación. Por lo tanto se asume una población de dos mezclas de concreto con diferentes grados de resistencias estimadas a tracción por flexión de 40 kg/cm² y 50 kg/cm². . Un muestreo asociado a la variación de la fibra metálica de, 0, 10, 20 y 30 Kg/cm² correspondiente a cada mezcla de concreto, donde los valores obtenidos de modulo de rotura resultaron del promedio de tres viguetas para una edad de ensayo de 28 días, teniendo un total de 8 muestras.

3.5. Descripción de la metodología

La investigación está encaminada en las siguientes fases: Concepción de la idea, formulación de objetivos, revisión bibliográfica, selección y obtención de los agregados del concreto, diseño de mezclas, mezclado, medición de asentamientos, curado y elaboración de probetas, ensayo de flexión con carga al centro del tramo y comparación de resultados.

3.5.1. Concepción de la idea

El desarrollo de esta investigación se originó por la inquietud presentada debido a la incertidumbre que se genera al cometer errores de dosificación de fibra en mezclas de concreto para pavimento. De esta manera surge la necesidad de comprobar por medio de ensayos de laboratorios normativos la dispersión que podría generar dicha variabilidad y como afecta al concreto en sus diferentes estados.

3.5.2. Formulación de objetivos

Luego de concebida la idea principal del presente trabajo de investigación, se procede a definir y formular los objetivos, dividiéndolos en primarios y secundarios.

3.5.3. Revisión bibliográfica

Con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados, se vio la necesidad de consultar con bibliografía referente a los ensayos de la norma COVENIN y la norma técnica fondonorma (NTF) para determinar la calidad y características de los agregados para el concreto de pavimentos. De igual forma fue necesario recaudar información respecto al ensayo de flexión con cargas al centro del tramo, fibra metálica, empresas que lo producen, dosificación ideal, usos, tipologías, distintos comportamientos. Dicha información fue recopilada a través de diversos medios como material proporcionado por el tutor y páginas de internet.

3.5.4. Selección y obtención de los agregados del concreto.

Partiendo de la información proporcionada por la NTF 2000-09 en su sección V capítulo 13 “pavimentos de concreto hidráulico” corresponde a las especificaciones técnicas y requisitos que debe contemplar una mezcla de concreto destinado a pavimento, donde en su apartado 13.0.05, especifica las características y condiciones que deben presentar los agregados.

El material de piedra picada tiene origen de la cantera natural proveniente de tinaquillo, denominada piedra “gavilán” triturada, resultado por medio de asesoría el agregado grueso más indicado y usual en la zona de la región central para uso de concretos para pavimentos. Proporcionada por la planta de San Diego – La Cumaca.

El agregado fino empleado para el diseño de mezcla de concreto tiene origen proveniente de Acarigua denominada “Agrica”. Suministrada por la empresa VALENCIA CONCRETERA C.A.

Se empleo cemento portland tipo I para la elaboración de la mezcla de concreto. Obteniéndose de ferreterías comerciales donde se mantuvo en sus empaques originales y en condiciones ideales para garantizar su contenido de humedad.

3.5.5. Fibra metálica.

La empresa VICSON, C.A recomienda el empleo de la fibra metálica Dramix® RC-80/60-BN como agregado para el concreto de pavimentos debido al buen desempeño que la misma aporta.

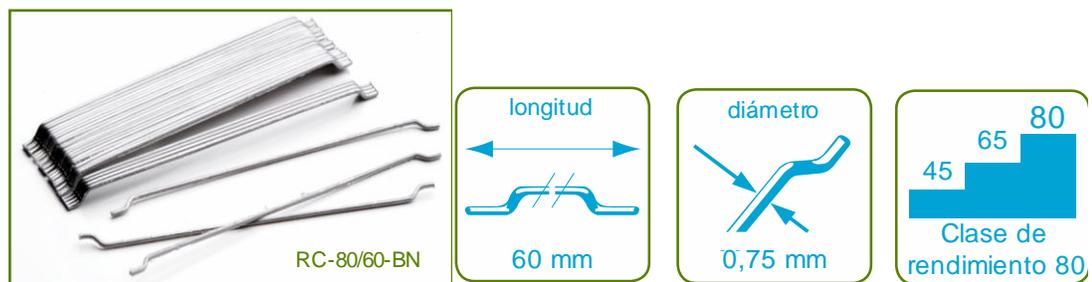


Figura 18. Fibra metálica Dramix® RC-80/60-BN

Fuente: Dramix® Club.

3.5.6. Determinación de la calidad de los agregados.

Posterior a la selección de los agregados, se realizaron los ensayos necesarios para determinar su calidad y características útiles para el diseño de mezcla, el cual intervinieron las siguientes normativas:

- Método de ensayo para determinar la composición granulométrica de agregados finos y gruesos (COVENIN 255:77 – C.C.C.A.Ag 2).
- Método de ensayo para la determinación cualitativa de impurezas orgánicas en arenas para concreto. Colorimetría (COVENIN 256:77 – C.C.C.A. Ag 3).

- Método de ensayo para la determinación cualitativa de la presencia de cloruros y sulfatos en arenas (COVENIN 261:77 – C.C.C.A. Ag 8).
- Método de ensayo para determinar por lavado el contenido de materiales más finos que el cedazo #200 en agregados (COVENIN 258:77 Ag 5).
- Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado (COVENIN 263:78 – ASTM C29 – C.C.C.A. Ag10)
- Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino (COVENIN 268 – ASTM C128 y C.C.C.A. Ag 15).
- Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso (COVENIN 269 – ASTM C127 – C.C.C.A. Ag 16).
- Método de ensayo para determinar la humedad superficial en el agregado fino, y método de ensayo para determinar vacíos en agregados para concreto (C.C.C.A. Ag 19 y Ag 21).

3.5.7. Diseño de mezclas

Se partió de la metodología del comité conjunto del concreto armado C.C.C.A, aplicada por el ingeniero Joaquín Porrero en su texto “Manual del concreto estructural - SIDETUR” conforme a la norma COVENIN 1753-2003.

Se plantearon 2 diseños de mezclas de concreto para una resistencia a la tracción por flexión de 40 y 50 kg/cm², la cual para cada uno se dividió en 4 mezclas donde se variaron las cantidades de fibra en 10, 20, 30 kg/m³.

3.5.8. Mezclado

Se procedió al pesado de los materiales en base a las cantidades arrojadas por el diseño de mezclas, colocados en una mezcladora proporcionada por el laboratorio de materiales y ensayos de la universidad de Carabobo, de capacidad aproximada 27L, para ser mezclados durante un tiempo total de 3 minutos dosificando la fibra de

manera progresiva a mano en los diseño de mezclas donde se requerían. Posteriormente se dejo reposar durante un transcurso de 3 minutos para luego proceder a la medición de los asentamientos.

3.5.9. Medición de asentamientos

La toma del asentamiento se realizó por medio del ensayo del cono Abrams, reflejado en la norma COVENIN 339 y basándose en las especificaciones técnicas de la norma COVENIN 2000-09, donde el concreto para pavimentos debe contar con un asentamiento entre 6 a 15 cm al momento de la entrega.

3.5.10. Curado y elaboración de probetas

Se llevó a cabo a través de las especificaciones técnicas planteadas en la norma COVENIN 340 – 79 “método para la elaboración y curado en el laboratorio de probetas de concreto para ensayos a flexión”. Lo cual a diferencia del método aplicado para la elaboración de probetas para ensayos a compresión, se realizaron probetas prismáticas de dimensión 7,5 x 10 x 30 cm, se dosifica y se compacta el concreto a cada 3 capas.

El curado se llevo a cabo a través de la cámara de curado del laboratorio de materiales y ensayos de la facultad de ingeniería manteniendo las condiciones de humedad respectivas, los moldes se retiraron a partir de las primeras 20 horas sin sobrepasar 48 horas después de su elaboración, para luego almacenarlas directamente bajo agua. Cuando finaliza el periodo de curado respectivo, se deben proteger contra la perdida de humedad hasta el momento del ensayo a fin de evitar posibles agrietamientos que podrían afectar la resistencia a la tracción por flexión.

3.5.11. Ensayo de flexión con carga al centro del tramo

Se realizaron ensayos en base a la norma COVENIN 343-79 “método de ensayo para la determinación de la resistencia a la tracción por flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas, con carga en el centro del tramo”. Donde la obtención del modulo de rotura parte de una expresión dependiente de la carga aplicada a velocidad uniforme, luz, ancho promedio de la probeta y altura promedio de la probeta.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica a utilizar para la recolección de la información y datos se fundamenta en el estudio de material bibliográfico de tesis, libros y material técnico proporcionado por el tutor relacionado con el estudio del concreto con fibras metálicas. Y la observación, “consiste en que el investigador vigila y registra directamente las características de los elementos del objeto en estudio. No se refiere únicamente al sentido de la vista, sino que incluye todos los medios de percepción” (Ramírez Alberto, P. 44).

Se recurre a la técnica de observación porque parte de los datos que luego son procesados, se convierten en información para fundamentar el diseño de mezcla. Es necesaria realizar una inspección breve que garantiza la calidad de los agregados, y de igual forma para visualizar las condiciones de la mezcla durante el proceso de vaciado y mezclado.

3.7. Análisis de datos.

Para evaluar los datos se diseñaron 2 mezclas, donde se especifico como variable el modulo de rotura y para cada mezcla se hicieron varias muestras donde se variaba la dosificación de fibra metálica, al ser ensayadas todas las muestras se correlaciono el modulo de rotura con esta variación de fibra, analizándose estos valores para poder obtener las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO IV

4.1. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

Se realizaron los ensayos para determinar las características físicas de los materiales obteniéndose los siguientes resultados:

TABLA N° 1. Granulometría del agregado grueso (piedra gavilán).

# CEDAZO	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE	% PASANTE MINIMO	% PASANTE MAXIMO
1 1/2	38,10	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1	25,40	327	2,98	2,98	97,02	90,00	100,00
3/4	19,05	4019	36,59	39,56	60,44	50,00	90,00
1/2	12,70	4710	42,88	82,44	17,56	15,00	45,00
3/8	9,53	1423	12,95	95,39	4,61	0,00	20,00
PLATO		506	4,61	100,00	0,00		
	Σ	10985					

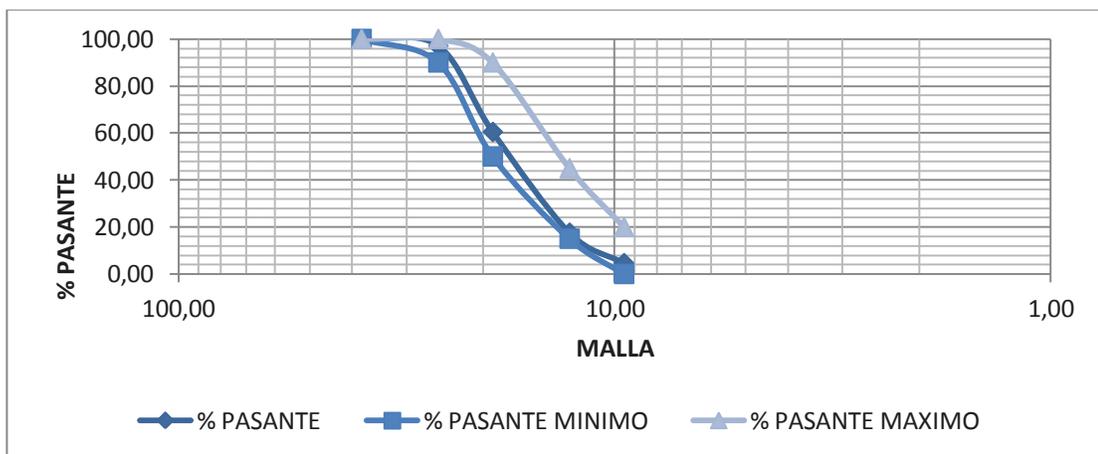


Figura 19. Grafico de la granulometría del agregado grueso.

Fuente: propia.

TABLA N° 2. Granulometría del agregado fino (arena agrica).

# CEDAZO	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE	% PASANTE MINIMO	% PASANTE MAXIMO
4	4,76	52,87	10,60	10,60	89,40	85,00	100,00
8	2,36	102,06	20,46	31,05	68,95	60,00	95,00
16	1,18	90,23	18,09	49,14	50,86	40,00	80,00
30	0,60	62,42	12,51	61,65	38,35	20,00	60,00
50	0,30	84,78	16,99	78,65	21,35	8,00	30,00
100	0,15	58,82	11,79	90,43	9,57	2,00	10,00
PLATO	0,08	47,72	9,57	100,00			
	Σ	498,90					

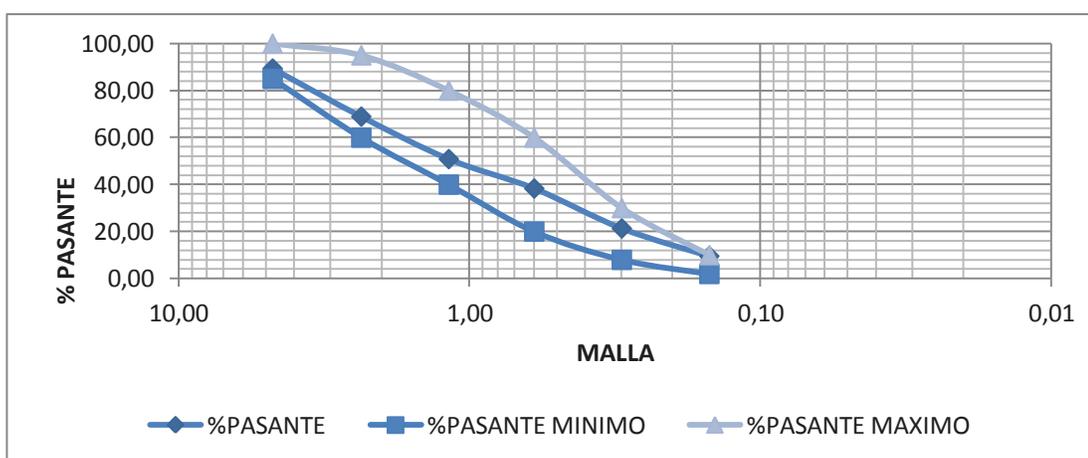


Figura 20. Grafica de la granulometría del agregado fino.

Fuente: propia.

TABLA N° 3. Resultado de los ensayos obtenidos en el laboratorio de materiales y ensayos facultad de ingeniería UC.

TABLA DE RESULTADOS					
ENSAYO	VALORES OBTENIDOS			VALOR NORMATIVO	
	Piedra Gavilan	Piedra Coyserca	Arena Acarigua	Grueso	Fino
Modulo de finura					Cercano a 3
% Pas. Ttamiz N° 200				COVENIN 258/77 = 1,0 %	Pmax 3-5%
% Desgaste	22,93	24,42		COVENIN 266-77	
Peso unitario Suelto (Kg/m3)	1,43	1,34	1,54	COVENIN 263	
Peso unitario Compacto (Kg/m3)	1,56	1,52	1,64		
Peso Especifico Aparente	2,67	2,66	2,65	COVENIN 269	COVENIN 268
Peso Especifico	2,65	2,58	2,52		
% Absorcion	0,31	1,20	1,87		
Presencia Cloruros			no		COVENIN 261/77 0,1% (max)
Presencia Sulfatos			no		COVENIN 261/77 1,0 % (max)
%Humedad Superficial			0,00		COVENIN 272

Además de graficar la curva granulométrica de cada material se realizó la determinación de la relación arenas y agregados a través de la grafica del porcentaje del “ β ” calculado mediante lo establecido en el manual de concreto estructural – Joaquín porrero.

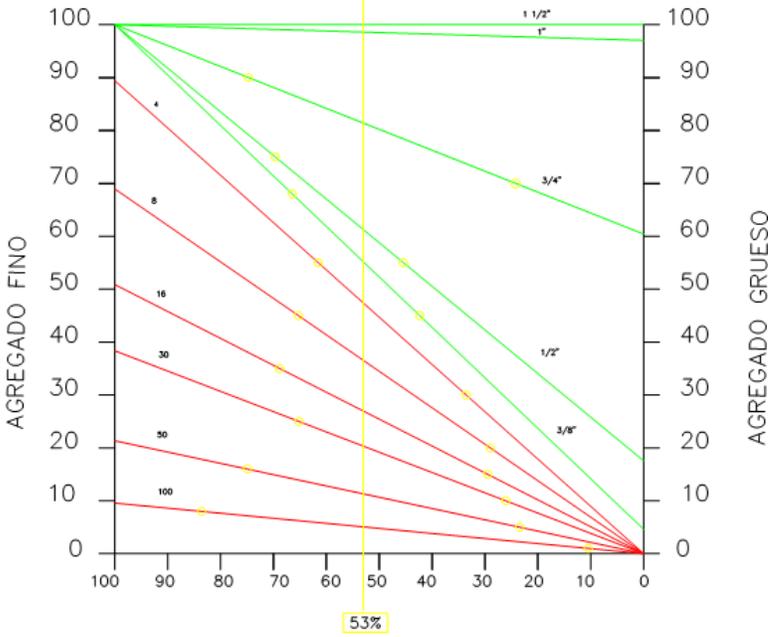


Figura 21. Relación arena-agregados a través de la grafica del porcentaje del Beta.

Fuente: propia.

Para un mismo diseño de mezcla se variaron las cantidades de fibra, lo cual se sigue los mismos pasos de mezclado para un concreto normal y como agregado se adiciona la fibra según la dosificación de acuerdo al diseño.

TABLA N° 4. Diseño de mezcla.

Modulo de rotura (kg/cm ²)	Fibra (kg/m ³)	Arena (g)	Piedra (g)	Agua (L)	Cemento (g)	Fibra (g)
40,00	0	6521	5587	1,96	6828	0
40,00	10	6521	5587	1,96	6828	90
40,00	20	6521	5587	1,96	6828	180
40,00	30	6521	5587	1,96	6828	270
50,00	0	4307	3690	2,21	10821	0
50,00	10	4307	3690	2,21	10821	90
50,00	20	4307	3690	2,21	10821	180
50,00	30	4307	3690	2,21	10821	270
	Σ	43313	37109	17	70596	1080

Durante el vaciado se midieron los asentamientos correspondientes, a fin de que cumplieran con los mínimos requeridos para el concreto de pavimentos, de no cumplir se procedió a añadir agua a la mezcla para obtener un asentamiento mayor. En la tabla 5 se reflejan los asentamientos obtenidos y la variación de agua necesaria para garantizar la trabajabilidad suficiente y poder manejar la mezcla, variación que afecta la relación agua/cemento (figura 22 y 23) aumentándola y esta influye en una pérdida de resistencia en el concreto.

TABLA N° 5. Asentamientos y adiciones de agua en las mezcla de concreto obtenidas en el laboratorio.

Modulo de rotura (kg/cm ²)	Fibra (kg/m ³)	Asentamiento de laboratorio (")	adicion de agua (L)
40,00	0	9,00	0,00
40,00	10	6,00	0,00
40,00	20	2,00	0,40
40,00	30	2,30	0,50
50,00	0	5,50	0,00
50,00	10	3,50	1,50
50,00	20	1,50	0,50
50,00	30	6,00	0,80

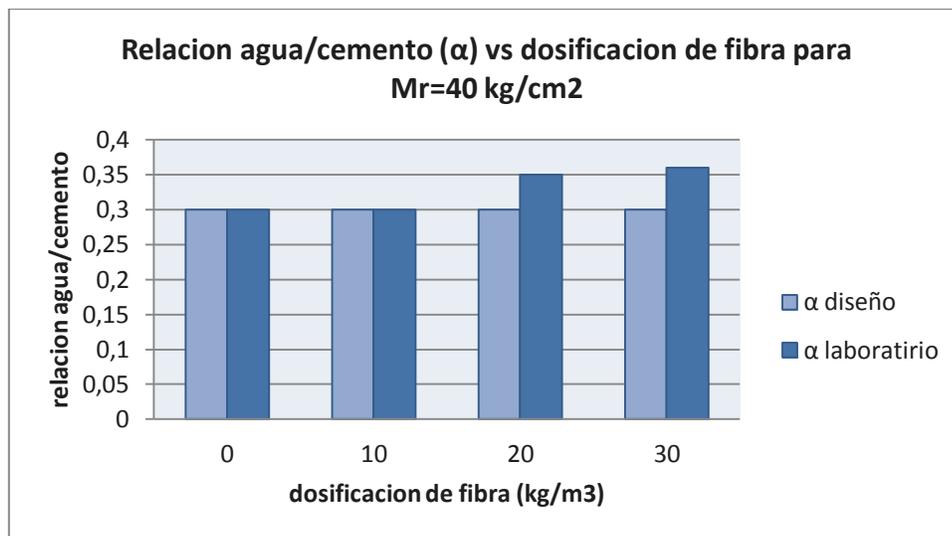


Figura 22. Grafico que muestra la variación de agua/cemento para las mezclas con Mr=40 kg/cm².

Fuente: propia.

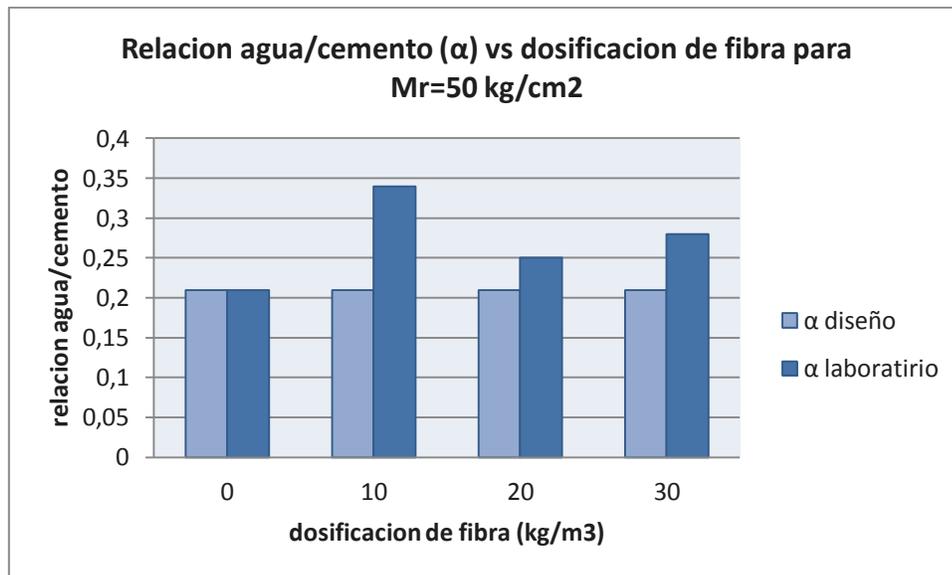


Figura 23. Grafico que muestra la variación de agua/cemento para las mezclas con Mr=50 kg/cm².

Fuente: propia.

Luego de cumplido el periodo de curado de 28 días de las probetas de concreto, se determinaron las cargas máximas a la primera rotura, a través del ensayo de la norma COVENIN 343-79 “método de ensayo para la determinación de la resistencia a la tracción por flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas, con carga en el centro del tramo”. Posteriormente se determino la resistencia a la tracción por flexión por de cada uno de los especímenes a través de la expresión definida en dicha normativa. Los esfuerzos resultantes se expresan en la tabla 6.

TABLA N° 6. Modulo de rotura.

fecha de ensayo	vigeta	dimensiones vigeta			Carga maxima kg	Mr calculado kg/cm2	promedio	desviacion estandar
		largo cm	ancho cm	alto cm				
10/08/2012	40-0-1	31	8	10,2	800	37,49	51,82	13,07
10/08/2012	40-0-2	30,5	7,9	10,2	1180	54,91		
10/08/2012	40-0-3	32	7,9	10,2	1280	63,07		
10/08/2012	40-10-1	30,5	7,8	10,1	1340	64,42	71,80	9,67
10/08/2012	40-10-2	30,9	7,9	10,4	1820	82,75		
10/08/2012	40-10-3	30,4	7,8	10,5	1540	68,23		
17/08/2012	40-20-1	30,8	8,1	10,4	1320	58,31	67,35	8,78
17/08/2012	40-20-2	30,5	7,7	10,3	1620	75,85		
17/08/2012	40-20-3	30,5	7,8	10,2	1440	67,87		
23/08/2012	40-30-1	30,8	7,8	10,3	1700	79,50	68,51	11,55
23/08/2012	40-30-2	30,8	7,7	10,2	1440	69,56		
23/08/2012	40-30-3	30,7	7,7	10,4	1220	56,47		
30/08/2012	50-0-1	30,5	7,8	10,3	900	41,60	51,90	9,22
30/08/2012	50-0-2	30,4	7,9	10,2	1180	54,70		
30/08/2012	50-0-3	30,2	7,7	10	1210	59,40		
01/10/2012	50-10-1	30,5	7,7	10,5	1080	48,66	56,30	8,84
01/10/2012	50-10-2	30,8	7,8	10,3	1160	54,25		
01/10/2012	50-10-3	30,5	7,8	10,2	1400	65,99		
16/10/2012	50-20-1	30,8	7,8	10,4	1520	69,73	67,45	11,17
16/10/2012	50-20-2	30,5	7,8	10,2	1640	77,30		
16/10/2012	50-20-3	30,5	7,8	10,4	1220	55,31		
16/10/2012	50-30-1	30,5	7,7	10	1340	66,56	61,82	7,87
16/10/2012	50-30-2	30,8	7,8	10,1	1360	66,15		
16/10/2012	50-30-3	30,4	7,9	10,3	1160	52,73		

Con los valores obtenidos en la tabla N° 6, se generaron gráficos (figura 24 y 25) donde se relaciona la resistencia obtenida en cada ensayo respecto a la dosificación de fibras en las muestras, de manera de ilustrar la variabilidad de los resultados y donde se observa un crecimiento de la resistencia a la tracción por flexión en base al incremento de la dosificación de fibra en la mezcla de concreto.

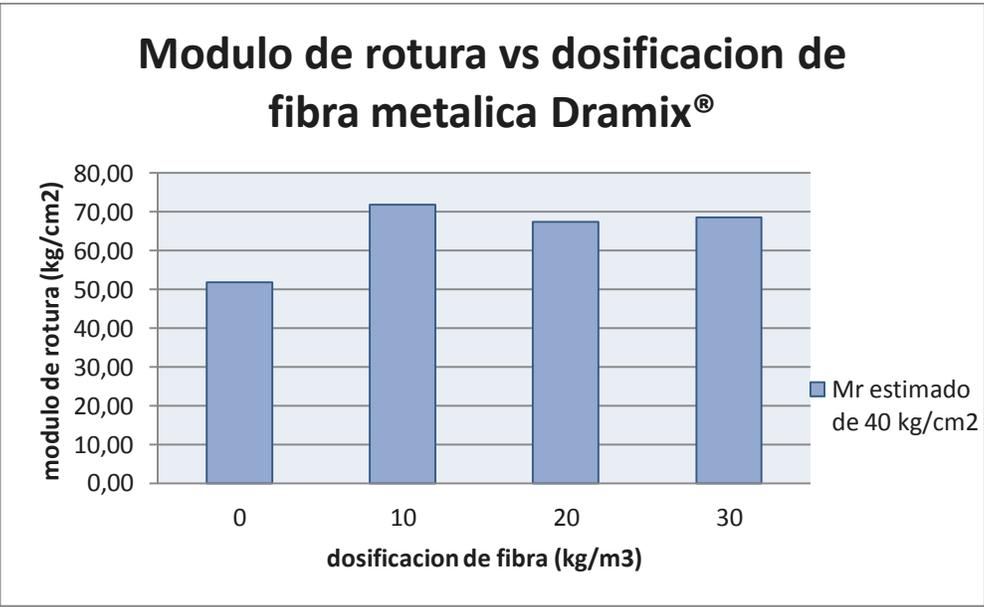


Figura 24. Grafico comparativo para mezclas con modulo de rotura estimado de 40 kg/cm², con la dosificación de fibra.

Fuente: propia.

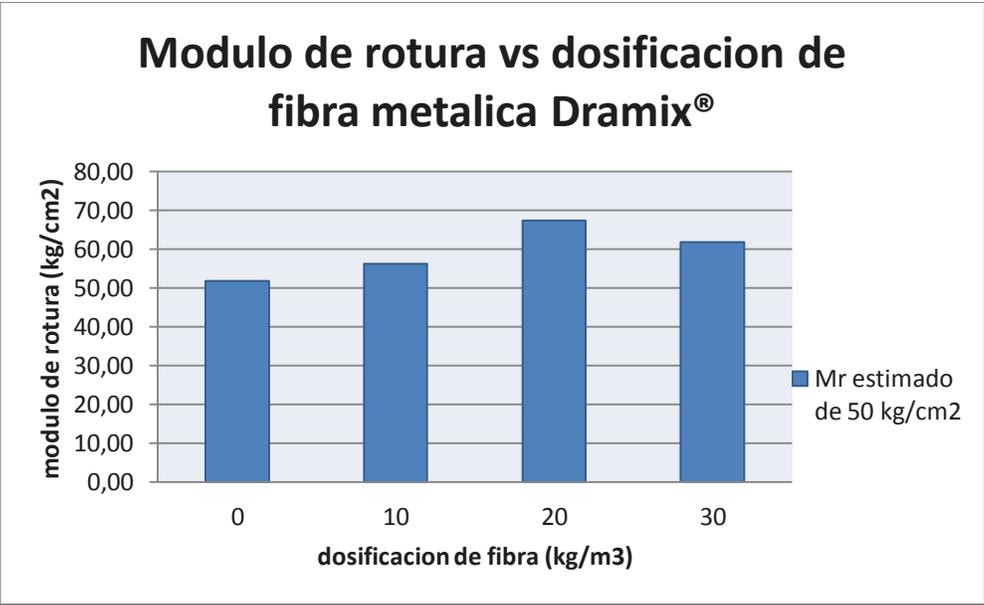


Figura 25. Grafico comparativo para mezclas con modulo de rotura estimado de 50 kg/cm², con la dosificación de fibra.

Fuente: propia.

CONCLUSIONES

Al ensayarse las viguetas a los 28 días se cumple con los requerimientos exigidos en la norma COVENIN 340-79 “método para la elaboración y curado en el laboratorio de probetas de concreto para ensayos a flexión”, donde se garantiza que gran parte de su resistencia está desarrollada en gran proporción.

La adición de fibra durante el proceso de mezclado del concreto, incrementa dichos tiempos por la necesidad de garantizar una distribución homogénea de las fibras en la mezcla que asegure su buen comportamiento, lo que causa una pérdida de agua debido a la fricción generada por las fibras con el resto de agregados de la mezcla.

El agregado grueso cumple con lo establecido en la NTF 2000-1-2009 en las siguientes pautas: %de desgaste mecánico, relación máxima de agua cementante, modulo de rotura mínimo, proporción del agregado fino sobre el agregado total, a excepción del tamaño máximo del agregado. En cuanto al agregado fino cumple con lo pautado en dicha norma.

Los módulos de rotura resultantes del ensayo a tracción por flexión cumplieron con el mínimo establecido en la NTF 2000-1-2009.

En cuanto a la variación de las dosificaciones de fibra a mayor cantidad hay un incremento no muy significativo de la resistencia a la tracción por flexión, pero debido a estas altas dosificaciones de fibra se reduce significativamente la trabajabilidad de la mezcla pudiendo hacer necesario el uso de aditivos plastificantes para compensar estas pérdidas.

En el desarrollo de la investigación no se decidió contar con el uso de un aditivo plastificante y se prefirió variar las cantidades de agua para lograr un asentamiento deseable, con el fin de determinar que tanto podía afectar esa variación en la resistencia a la tracción por flexión. A pesar de que el concreto es excelente frente a esfuerzos a compresión, al variar el contenido de agua es apreciable la disminución de su resistencia, frente a esfuerzos a tracción por flexión se pudo

manejar cierto rango en cuanto a la dosificación de agua afectando su capacidad a la tracción por flexión pero compensándola con las propiedades que aporta la fibra.

Como consecuencia del análisis de resultados y consultas bibliográficas, se puede señalar que la fibra metálica entre sus aplicaciones cumple con las condiciones estructurales para elementos de grandes áreas respecto a su espesor, comprobando su utilidad en los pavimentos rígidos, garantizando un aumento en la capacidad de carga y por ende una mejor distribución de las tensiones.

Evaluando la forma de la fibra y manera de distribuirse en la mezcla, brindan cierto refuerzo en todas direcciones permitiendo un mejor control del agrietamiento causado por las variaciones de la temperatura, siendo útil para las losas de pavimento de concreto.

En cuanto a dosificaciones extremas de fibra ya sea por imprecisiones, errores de dosificación, etc. No disminuye la resistencia a la tracción por flexión del concreto endurecido, pero se ve afectado su trabajabilidad y la posibilidad de crearse “erizos” que permitirían durante el proceso de vaciado y fraguado del concreto la creación de espacios vacíos que generarían en una sección crítica a fallar durante la acción de cargas lo cual se vería afectado la vida útil del concreto para los fines a que fue diseñada.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios dirigidos a diseños de mezclas con contenido de fibra evaluando la resistencia a la tracción por flexión, y variando su dosificación sin contar con el uso de aditivos para mejorar su consistencia. Variando las cantidades de agua con el fin de determinar un rango que permita establecer si las propiedades que aporta el uso de fibras metálicas compensarían la pérdida de resistencia a la tracción por flexión producida por efecto del incremento de agua en la mezcla.

Realizar comparaciones de mezclas de concreto reforzado con fibras en función de las condiciones y tipo de mezclado. Con el fin de determinar si el proceso adoptado para el mezclado ya sea en trompo o a través de un camión de premezclado, afecta los tiempos de mezclado y su influencia en la calidad de la mezcla.

Desarrollar un estudio técnico y económico comparativo entre una mezcla de concreto para pavimentos rígidos, empleando el método de refuerzo convencional con respecto al implementado por otras fibras.

Realizar estudios respecto a diseños de mezclas con contenido de fibra evaluando el asentamiento por medio de diferentes métodos comparándolos con los resultados arrojados por el cono de abrams.

REFERENCIAS

Lugo, Sandra: (S.F.): *Manual para la realización de prácticas de laboratorio en la asignatura “Materiales y Ensayos” de la carrera de ingeniería civil en la universidad de Carabobo*. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Font, Jaime: (2007): *Materiales y Ensayos, Guía de Laboratorio*. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Blanco. A. Ana (S.F). *Durabilidad del hormigón con fibras de acero*.

Instituto mexicano del concreto y concreto AC (IMCYC) (2008). *Problemas causas y soluciones – Determinación de la resistencia a flexión del concreto*.

Mora. Q. Samuel (S.F). *Pavimentos de concreto hidráulico*.

Sánchez. S. Fernando (S.F). *Presentación. Construcción de pavimentos rígidos y adoquines*.

Calo. H. Diego (2010). *Diseño y construcción de pavimentos rígidos*.

Altamirano. K. Miguel. F (2007). *Deterioro de pavimentos rígidos – metodología de medición, posibles causas y deterioros*.

Porrero S., Joaquín; Ramos R., Carlos; Grasés G., Jose; Velazco, Gilberto (2004). *Manual del Concreto Estructural conforme con la Norma COVENIN 1753:2003. Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural*. Caracas: Sidetur.

Aular, Mariela: (2010): *Instructivo para la Transcripción de los Proyectos de Investigación*. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Bekaert, S.A. (1999). *Guía Práctica para la Ejecución de Pavimentos de Hormigón con Fibras de Acero Dramix*. Barcelona. España.

Rivas., Benoit (2008). *Dramix el refuerzo seguro para estructuras seguras de concreto lanzado*. México: Bekaert.

ANEXOS
FOTOS



Laboratorio de materiales y ensayos de ingeniería, Universidad de Carabobo.



Carretilla perteneciente el laboratorio.



Moldes para las viguetas de concreto.



Pala perteneciente a laboratorio.



Balanza usada del laboratorio.



Mezcladora de concreto.



Piscina de curado del laboratorio.



Máquina usada para realizar ensayos a flexión a las viguetas.



Vaciado de concreto en los moldes.



Viguetas desencofradas.



Viguetas en el proceso de curado.



Ensayo a flexión de las viguetas.

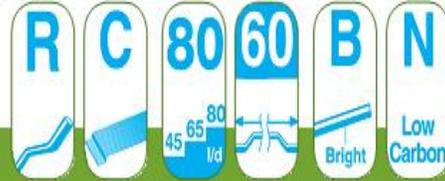


Sección de falla de una vigueta sin dosificación de fibra.



Sección de falla de una vigueta dosificada con fibra.

FICHA TÉCNICA



¿Qué es Dramix®?

Las fibras de acero Dramix® fabricadas por Bekaert, empresa industrial especializada en este campo de aplicación, son una nueva referencia para el refuerzo del hormigón gracias a su exclusiva combinación de flexibilidad y rentabilidad.

Dramix® es una fibra de acero trefilado en frío y de extremos conformados, que garantizan un anclaje óptimo.

El hormigón reforzado con Dramix® gana ductilidad y una gran capacidad de soporte de carga. Además permite disfrutar de una rápida y fácil aplicación y de una solución eficaz y rentable.

RB-80/60-BN le ofrece:

✓ Dramix® Hi Perform

Las fibras Dramix® Hi Perform ofrecen un alto rendimiento y una elevada resistencia a la fisuración. Ideales para obtener una óptima ductilidad. Dramix® Hi Perform se utiliza en aplicaciones estructurales in situ, con hormigón prefabricado o proyectado.

GEOMETRÍA Y RENDIMIENTO



4600 fibras/kg

dosificación mínima: 10 kg por m³ (según la CE)
red mínima de fibra: 2,8 km por m³ (para 10 kg/m³)

PROPIEDADES DEL MATERIAL

Resistencia a la tracción: R_m nom: 1225 N/mm²
Tolerancias: ± 7,5% Promedio

Módulo de Young (E_{mod}): ± 210000 N/mm²

EMBALAJE



60 Sacos (20kg)
1200 kg

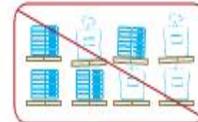


Big-bag
1100 kg

ALMACENAJE



Mantener
en un lugar
seco



No apilar

CERTIFICADOS DE PRODUCTO



CE



ASTM A820



ROM 4.1-94

CERTIFICADOS DE PLANTAS DE FABRICACIÓN



ISO 9001



ISO 14001

• **SELLO CE:** Dramix® tiene el certificado del marcado CE, clase 1: fibras de acero para uso estructural.

Para información detallada: la hoja informativa CE está disponible bajo solicitud.

• **ISO 9001:** Todas las plantas de Dramix® tienen el certificado ISO 9001. Se aplican las mismas normativas de calidad.

• **ISO 14001:** Algunas plantas ya tienen el certificado ISO 14001. Todas las plantas tendrán el certificado ISO 14001 antes de finales del 2011.