



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS
CON FIBRAS DE ACERO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

VALENTIN VENCES LANDEROS

DIRECTOR DE TESIS

M. EN I. HUGO HAAZ MORA



MÉXICO, D. F.

2008

"Si quieres ver las cosas q nunca has visto, haz cosas q nunca has hecho."

ANONIMO

"Hoy es el mañana por el q te preocupabas ayer."

ANONIMO

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO

Este trabajo representa el fin y el inicio de un gran objetivo, a todas las personas que han estado involucradas en mi desarrollo les agradezco y deseo lo mejor de la vida para que sus objetivos se cumplan:

- A ti amada esposa y toda tu familia por su apoyo y confianza. Tú eres y haz sido una pieza muy importante para cerrar este capítulo de mi vida. Gracias muchas gracias.
- A mis padres por el apoyo que me han dado, esto es por ustedes y para ustedes; a ustedes debo lo que soy, gracias.
- A mis hermanos (Victoria, Lorena, Clara y Juan), por su cariño. échenle ganas....
- A mi tío Antelmo Vences gran promotor y ejemplo de dedicación.
- A todos mis compañeros y amigos.
- A mis profesores, especialmente al Ing Hugo Haaz, director de mi tesis por su confianza y espera.
- A las empresas
MACAFERRI DE MÉXICO S.A. de C.V. (Querétaro, Qro.)
INCAL S.A. de C.V. (Torreón, Coah.)
por la confianza y la oportunidad de adquirir conocimientos y experiencias necesarias para elaborar este trabajo.


ATENTAMENTE
VALENTIN VENCES LANDEROS

† Valentina. Gracias....

ÍNDICE

INTRODUCCION	1
1. PISOS INDUSTRIALES	3
1.1 PISOS INDUSTRIALES.	
1.2 CARACTERÍSTICAS.	
1.3 ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTOS.	
2. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO	11
2.1 INTRODUCCIÓN	
2.2 DEFINICION.	
2.3 COMPONENTES DEL CONCRETO.	
2.3.1 CEMENTO.	
2.3.2 AGUA.	
2.3.3 AGREGADOS.	
2.3.4 ADITIVOS.	
2.4 DISEÑO DE MEZCLAS.	
2.5 CARACTERÍSTICAS CONCRETO FRESCO.	
2.5.1 MEZCLADO.	
2.5.2 TRABAJABILIDAD.	
2.5.3 CONSOLIDACIÓN.	
2.6 HIDRATACIÓN, TIEMPO DE FRAGUADO, ENDURECIMIENTO.	
3. REFUERZO DEL CONCRETO	24
3.1 INTRODUCCION	
3.2 CONTROL DE AGRIETAMIENTO.	
3.3 JUNTAS	
3.4 CALCULO DEL ACERO DE REFUERZO.	
3.4.1 REFUERZO POR TEMPERATURA Y CONTRACCIÓN.	
3.4.2 CAPACIDAD DE MOMENTO.	
3.5 APLICACIONES DEL REFUERZO.	
3.6 FIBRAS DE POLIPROPILENO.	
4. CONCRETO FIBROREFORZADO	32
4.1 INTRODUCCIÓN	
4.2 FIBRAS.	
4.3 FIBRAS DE ACERO.	
4.3.1 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS	
4.3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS.	
4.4 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	
4.5 CONCEPTO DE ESPACIAMIENTO.	
4.6 ADHERENCIA ENTRE FIBRA Y MATRIZ.	
4.7 CONCEPTO DE MATERIALES COMPUESTOS.	
4.8 RESISTENCIA ÚLTIMA Y TENACIDAD DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.	
4.8.1 RESISTENCIA A LA FATIGA.	
4.8.2 CORROSIÓN DE LAS FIBRAS DE ACERO.	
4.9 SISTEMAS MIXTOS DE FIBRAS.	

5. ESTUDIO EXPERIMENTAL.	50
5.1 INTRODUCCION.	
5.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.	
5.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS Y ANÁLISIS.	
6. METODOLOGÍA DE DISEÑO.	62
6.1 INTRODUCCION	
6.2 ESFUERZOS DE FLEXIÓN Y FACTORES DE SEGURIDAD.	
6.3 METODOS DE DISEÑO.	
6.4 COMPORTAMIENTO TEÓRICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO.	
6.5 COMPORTAMIENTO MECANICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	
6.6 MEDICION DE PROPIEDADES DE FRACTURA EN CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.	
6.7 MARCO TEÓRICO: MODELO DE FISURA COHESIVA	
7. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.	75
7.1 INTRODUCCIÓN	
7.2 DISEÑO Y MEZCLADO.	
7.3 COLOCACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON FIBRAS.	
7.4 PREPARACIÓN DE LA BASE.	
7.5 FABRICACION.	
7.6 TRANSPORTE Y PUESTA EN OBRA	
7.6.1. TRANSPORTE	
7.6.2 VERTIDO Y COLOCACIÓN	
7.6.3. COMPACTACIÓN	
7.7 ACABADO DE LAS SUPERFICIES.	
7.8 CURADO.	
7.9 COLOCACIÓN DE LAS JUNTAS.	
8. USO DE CONCRETO FIBROREFORZADO.	90
8.1 INTRODUCCION.	
8.2 APLICACIONES.	
8.3 PAVIMENTACIÓN DEL PUERTO DE ALGECIRAS.	
8.3.1 INTRODUCCION.	
8.3.2 LAS ANTIGUAS TERMINALES DE CONTENEDORES.	
8.3.3 VARIABLES OPERATIVAS.	
8.3.4 ADICIÓN DE LAS FIBRAS DE ACERO AL CONCRETO.	
8.3.5 MECANISMO DEL REFUERZO.	
8.3.6 PAVIMENTACIÓN DE LA MAERSK.	
8.3.7 OTROS PUERTOS DE ESPAÑA.	
CONCLUSIONES	100
ANEXOS	103
BIBLIOGRAFIA	120

INTRODUCCION



INTRODUCCIÓN.

Los materiales fabricados a partir de morteros y concretos de cemento Portland son atractivos para usarlos como material de construcción porque resultan baratos, durables y tienen resistencia y rigidez adecuadas para usos estructurales. Adicionalmente en estado fresco, son fácilmente moldeables, de manera que pueden adoptar formas tan complejas como se quiera. Su deficiencia estriba en su fragilidad (baja resistencia a tensión e impacto) y su permeabilidad.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Los pisos de concreto de cemento Pórtland están sujetos a una diversidad de esfuerzos causados por la naturaleza misma del concreto como material. El concreto tiene una alta resistencia a la compresión y una baja resistencia a la tensión, de donde resulta una baja resistencia a la flexión. El concreto se expande o se contrae según esté húmedo o seco; de manera que durante el fraguado se produce la contracción. Se expande a medida que aumenta la temperatura y se contrae cuando disminuye.

El refuerzo con fibras puede constituir un método conveniente, práctico y económico de superar estas deficiencias, particularmente en aplicaciones donde el refuerzo convencional con barras de acero, colocadas cuidadosamente en los lugares donde se puede obtener máximo beneficio de ellas, resulta inapropiado. Más aún, disponer de refuerzo de pequeñas dimensiones como parte integral del concreto puede tener ventajas adicionales en la fabricación de productos y componentes con este material.

En este trabajo se ejemplifican las ventajas que tiene el uso de fibras metálicas en la conformación de pisos industriales con las consecuentes ventajas que esto incluye:

- disminución de costos de mano de obra para habilitado de acero de refuerzo,
- reducción de tiempos y
- un refuerzo tridimensional que confiere un mejor desempeño a las losas desplantadas sobre el terreno natural.

El concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) es una metodología relativamente nueva en nuestro país y que viene a sustituir la forma tradicional de reforzar un piso industrial. El presente trabajo de tesis busca ser el medio por el cual muchas más personas e instituciones conozcan los conceptos y los avances que al respecto del tema se tienen hoy en día.

Los pisos de concreto, industriales, comerciales o de tráfico ligero, deben ser diseñados y construidos sin olvidarnos de los aspectos económicos a los que van ligados. En términos de economía no se habla exclusivamente de construcción o inversión inicial, más bien incluyendo además los costos asociados con el mantenimiento y reparaciones necesarias en el piso, así como el mantenimiento y reparaciones de los equipos que transiten sobre él, etc.

Los pisos de concreto, especialmente aquellos utilizados en instalaciones industriales, son elementos estructurales que requieren cuidadosos y detallados procesos de diseño y construcción. En todos los casos los criterios y requisitos van dirigidos a reducir al máximo las deformaciones, lo que, a su vez, contribuye a disminuir, entre otros factores, el número y tamaño de grietas.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

El comportamiento deficiente de pisos industriales se ha señalado repetidamente en la práctica de la ingeniería y en la bibliografía mundial. Así, se ha dado cuenta de agrietamientos importantes y de desniveles entre tramos de piso separados por juntas. Resulta evidente la razón de los daños que ocasiona un montacargas, sea de ruedas de hule o metal, al pasar sobre las juntas de un piso más bajo a otro tramo más alto. Este problema es frecuente en pisos industriales hechos con concretos a base de cementos Pórtland ordinarios que, sin el cuidado adecuado, se alabea, dando lugar a topes en la junta.

En los primeros 3 capítulos de este trabajo hacemos una revisión de los conceptos básicos; en el primer capítulo hablo sobre los pisos industriales de concreto: su definición, usos y clasificación. En el segundo sobre el concreto; sus componentes y características específicas. Y en el tercero profundizo sobre los conceptos que definen el concreto reforzado, control del agrietamiento y los tipos de refuerzo.

En el capítulo 4 se hace una breve reseña sobre los antecedentes del concreto fibroreforzado, su historia y algunos conceptos que han servido para desarrollar este tema como una área de estudio. Características de las fibras metálicas. Propiedades físicas y mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero, etc.

En el capítulo 5 hago mención de un estudio experimental llevado a cabo en la UACH (Universidad Autónoma de Chihuahua) en donde se hicieron pruebas para determinar la influencia que tiene la geometría de las fibras metálicas (onduladas y lisas) en el comportamiento mecánico del concreto. Los resultados de estas pruebas resultan muy interesantes ya que involucran diferentes dosificaciones y el contraste con un concreto simple (sin fibras adicionadas).

En el capítulo 6 se detallan los principios sobre la metodología de diseño, el comportamiento y el marco teórico que han servido para la aplicación de los métodos de diseño actuales.

En el capítulo 7 se hace un resumen sobre el procedimiento constructivo de los pisos industriales de concreto reforzados con fibra de acero, el cual no difiere en nada con los procedimientos tradicionales. En este capítulo se hará un análisis en los diversos procesos que deben ser considerados en la colocación, acabado y juntas en una losa de concreto. Así mismo, se darán alternativas al acabado según al tipo de servicio que prestará el elemento.

En el capítulo 8 se listan las principales aplicaciones de este material y algunos ejemplos de obras en diferentes países que se han ejecutado con esta metodología.

CAPITULO 1

PISOS INDUSTRIALES



PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

1.1 PISOS INDUSTRIALES.

El comité ACI 360 define a un piso industrial como: una losa continuamente soportada en el terreno, en el cual la carga total se distribuye uniformemente a razón del 50% de la capacidad de carga del terreno. Esta losa se considerara como isotropica, de espesor uniforme, plana y nivelada.

Sin importar lo elemental o lo complejo a que se refiere el ámbito ingenieril, el método constructivo de los pisos de concreto es similar: se prepara el terreno de soporte y posteriormente el concreto es colocado. Un piso industrial de concreto, es una superficie de rodamiento que incluye los elementos de soporte como son: la base y sub-base. Esto se refiere que para su diseño se basa de las consideraciones que sobre las capas inferiores se hacen; espesores, propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos, etc.

El uso de un piso industrial se basa principalmente en la disposición, transportación y manejo de productos industriales o comestibles que requieren la rapidez en los servicios de acomodo y entrega a diversos proveedores o clientes.

El ACI hace una clasificación de los pisos de concreto de acuerdo al uso específico para el que esta destinado y las calidades de acabado. (Tabla 1).



Figura 1.1-1 Gráficas de diversos usos de pisos de concreto, industriales, comerciales, exteriores, interiores, etc

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

En este trabajo se hará una revisión exhaustiva de todos los parámetros que nos permitan evaluar un piso de concreto y con esto ayudar a los diseñadores y constructores a adquirir el conocimiento que permita pisos duraderos que cumplan las expectativas para las que fueron diseñados. Sin embargo, se dará mayor énfasis a los pisos que de ahora en adelante llamaremos pisos industriales, es decir, aquellos pisos interiores que estén sometidos a cualquiera de las siguientes aplicaciones de carga:

* Cargas móviles (entre los que podemos citar vehículos pesados, montacargas y cualquier vehículo con ruedas en contacto con la superficie de la losa).

* Cargas puntuales a través de los soportes de maquinarias o estructuras de almacenamiento, como racks o anaqueles.

* Cargas uniformemente distribuidas, aplicadas directamente sobre la superficie de la losa de concreto.

Los pisos industriales son a menudo relacionados con pesadas cargas, tráfico de llantas y largos racks de almacenamiento. Donde la losa de concreto es diseñada para soportar cargas concentradas de más de 25 ton en cada pata del rack.

Las cargas consideradas críticas son las cargas puntuales, pues se ha mencionado que ejercen un esfuerzo cortante de hasta 25 ton sobre un área muy pequeña.

1.2 CARACTERÍSTICAS.

Generalmente los pisos siempre han sido vistos como estructuras muy simples y por lo tanto se ejecutan con poca o nula atención en los detalles; aunado a esto tenemos que una gran cantidad de ideas incorrectas siguen aplicándose en su construcción.

Se deberán tomar las medidas adecuadas para asegurar que el producto construido satisfaga o sobrepase los requerimientos del proyecto. Con este fin, los procedimientos de control de calidad deben establecerse y mantenerse durante todo el proceso de construcción.

Un piso de concreto aceptable es el resultado de varios factores:

- Planeación adecuada.
- Diseño detallado
- Selección de materiales
- Especificaciones claras
- Supervisión calificada
- Mano de obra experimentada

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Tabla 1. Clasificación de pisos.

Clase	Tipo	Uso	Consideraciones especiales	Acabado final
1 Una capa sencilla	Superficie expuesta-transito peatonal	Oficinas, iglesias, comercial, institucional, residencial de multiunidades. Decorativo	Acabado uniforme, agregado antideslizante en áreas específicas, curado. Agregado mineral con color. Agregado con pigmento de color o expuesto patrones estampados o taraceados, disposición artística de juntas, curado.	Allanado normal y acabado antiderrapante donde sea requerido.
2 Una capa sencilla	Superficie cubierta-transito peatonal	Oficinas, iglesias, comercial, institucional con cubiertas de piso, gimnasios, residencial de multiunidades	Losas planas y a nivel adecuadas para cubiertas adaptadas, curado.	Acabado ligero alisado con llana de acero.
3 Dos capas	Superficie expuesta o cubierta-transito peatonal	Capa superior desligada o ligada sobre losa base de edificaciones no industriales o comerciales donde rige tipo de construcción de programa	Losa base: superficie uniforme, a nivel, curado. Capa superior desligada: capa separadora sobre losa base, espesor mínimo 75 mm, refuerzo, curado. Capa superior ligada; agregado con clasificación apropiado de tamaño espesor mínimo 19 mm, curado.	Losa base: allanado normal para capas no adheridas y acabado limpio y rugoso para capas adheridas. Sobrelosa: para superficie expuesta, allanado normal y para superficie cubierta, allanado ligero.
4 Una capa sencilla	Superficie expuesta o cubierta-transito peatonal y vehicular ligero	Institucional y comercial	Planicidad y nivelación adecuadas, superficie antiderrapante en algunas áreas. Coordinación de juntas con el recubrimiento.	Allanado normal.
5 Una capa sencilla	Superficie expuesta-transito industrial vehicular	Pisos industriales para fabricación, procesamiento y bodegas.	Subrasantes uniformes y de buena calidad, sistema de juntas, resistencia a la abrasión.	Allanado intenso.
6 Una capa sencilla	Superficie expuesta-transito industrial vehicular de servicio pesado	Pisos industriales sujetos a transito pesado; pueden estar sujetas a cargas de impacto.	Subrasantes uniformes y de buena calidad, sistema de juntas, resistencia a la abrasión.	Endurecimiento superficial mineral o metálico, allanado intenso repetitivo.
7 Dos capas	Superficie expuesta-transito industrial vehicular de servicio pesado	Pisos ligados de dos capas sujetos a fuerte transito e impacto.	Losa base: subrasante uniformes y de buena calidad, refuerzo, sistema de juntas, nivelación de la superficie. Capa externa: agregado mineral o metálico. Espesor mínimo de 19 mm, endurecedor superficial.	Superficie de base de losa limpia con textura adecuada para capa superior ligada. Las llanas mecánicas especiales para capa superior son opcionales, acabado alisado intenso con llana de acero.
8 Dos capas	Como en clase 4,5 o 6	Capa superior desligada sobre pisos nuevos o antiguos o donde rige secuencia de construcción o programa.	Capa separadora sobre losa base, espesor mínimo 100 mm, resistencia a la abrasión.	Igual al de los pisos tipo 4,5 o 6.
9 Capa sencilla o capa superior	Superficie expuesta-requeridas las tolerancias de superficie superplana o críticas	Bodegas de naves altas, de pasillos angostos; estudios de televisión, pistas de hielo.	Concreto de alta calidad. Los endurecedores superficiales no se deben utilizar a menos que se haga una aplicación especial y se tenga mucho cuidado. Ff 50 a Ff125 (pisos superplanos).	Operaciones estrictas de acabado.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

La losa base deberá tener una superficie rugosa y de poro abierto, además deberá estar libre de sustancias que pudieran impedir la adherencia entre la sobrelosa y la losa base. La sobrelosa podrá aplicarse el mismo día (antes del fraguado de la losa base) o de aplicación diferida (después del fraguado de la losa).

Las sobrelosas de los pisos clase 3, utilizarán concretos similares a los utilizados en los pisos clase 1 ó 2. En los pisos clase 7, la sobrelosa generalmente requiere de un concreto de mayor resistencia que el utilizado en la losa base, además requiere de un múltiple allanado intenso. Podrá además ser necesario utilizar en la sobrelosa, un endurecedor superficial mineral o metálico.

Las sobrelosas ligadas deberán tener un espesor de al menos 19 mm (3/4"). Deberá coordinarse la separación de juntas en la sobrelosa, con el sistema de juntas en la losa base.

▪ Pisos planos y superplanos: Clase 9

En algunos complejos, donde el manejo de los materiales requiere de características muy estrictas de nivelación y planicidad, es necesaria la construcción de pisos planos y/o superplanos. Estos pisos podrán construirse en una capa; o en dos capas, ligadas (similar a los pisos clase 7) o no ligadas (similar a los pisos clase 8).

▪ Pisos especiales

En esta categoría se incluyen los pisos con acabados decorativos, con requerimientos antiderrapantes o con características especiales de conductividad eléctrica. También los pisos expuestos a ácidos suaves, sulfatos y otros químicos necesitan de una preparación y una protección especial. Cuando el ataque químico sea severo, se deberá emplear una protección al desgaste adecuada al tipo de exposición.

En algunas plantas donde se procesan químicos o alimentos, tales como rastros, los pisos de concretos expuestos, estarán sujetos a un proceso lento de desintegración, debido al ataque de ácidos orgánicos. En muchos casos, puede ser preferible proteger al piso con otros materiales, tales como losetas resistentes a ácidos y/o resinas.

Para ayudar a asegurar un producto terminado de alta calidad, el autor de las especificaciones o el propietario deberán considerar la exigencia de emplear contratistas de concreto precalificados, laboratorios de control de calidad y personal para acabado de concreto cuya pericia y experiencia hayan sido evaluadas mediante un programa de certificación previa.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

“ UN PISO INDUSTRIAL DE CONCRETO HIDRAULICO, ES UNA SUPERFICIE DE RODAMIENTO VITAL EN EL DESARROLLO DE ACTIVIDADES PARA CUALQUIER EMPRESA ”

La calidad de un piso o losa de concreto depende en gran medida del logro de una superficie plana, resistente y durable, relativamente libre de grietas, y con la pendiente y elevación apropiadas. Las propiedades de la superficie están determinadas por el proporcionamiento de mezclas, la calidad de las operaciones para la fabricación, el colado del concreto y localización de las juntas.

En general, las características de la superficie de las losas de concreto y el desempeño de las juntas tienen un fuerte impacto en la calidad del servicio de los pisos y otras losas. El éxito o fracaso de un piso de concreto es en gran medida el resultado de las proporciones de la mezcla y de las técnicas de acabado de piso empleadas; en este trabajo se hace hincapié en estos aspectos y la forma en que se puede llegar a un mejor producto final.

1.3 ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTOS.

La construcción de un piso de concreto requiere el involucramiento de diversas especialidades, asimismo la supervisión de todos y cada uno de estos nos llevara a mejores resultados.

Previo al inicio del colado de los pisos, es necesario definir una serie de especificaciones y procedimientos. Lo que sigue es una lista tentativa de asuntos que deben ser definidos y estudiados por parte del constructor.

1. Preparación del sitio.
2. Pendientes para drenaje si las hay.
3. Trabajo asociado con la instalación de materiales auxiliares tales como barreras de vapor, aislamiento de bordes, tubos de conducción eléctrica, conductos mecánicos, drenes y placas empotradas.
4. Clase de piso
5. Espesor del piso.
6. Refuerzo, detalle estructural, tipo y justificación. (cargas de diseño).
7. Tolerancias de construcción: base (granulometría gruesa y fina), cimbras, espesor de losa, configuración de la superficie, y requerimientos de planicidad y niveles (que incluye como y cuando se miden).
8. Juntas y mecanismos de transferencia de carga. Diseño de juntas.
9. Materiales: cementos, agregados, agua, aditivos.
10. Especificaciones de concreto, los cuales incluyan:
 - Resistencia a la compresión y/o flexión según sea el caso.
 - Contenido mínimo de material cementante.
 - Tamaño máximo, granulometría y tipo de agregado grueso.
 - Revenimiento del concreto.
 - Relación agua / cemento.
 - Requerimientos de saturación en el caso de agregados ligeros.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

11. Procedimiento de medición, mezclado y colocación (con referencia a especificaciones prácticas recomendadas).
12. Método de extendido y enrasado.
13. Métodos y herramientas recomendados para acabado, donde sea requerido.
14. Procedimiento de curado, que incluyen longitud del curado y tiempo para abrir la superficie al tránsito.
15. Criterios de aceptación y medidas de reparación que se van a emplear, si es preciso.

Para definir responsabilidades de cada uno de los que participan en la elaboración del proyecto, en la etapa de anteproyecto y en las juntas previas a la construcción es necesario un entendimiento generalizado. En la etapa de anteproyecto el propietario y el usuario deberán contestar varios cuestionamientos como:

- ¿Cuál será el uso del piso?
- ¿De qué magnitud y qué tipo de cargas estará sometido el piso?
- ¿Cuáles son los requerimientos estéticos?, incluyendo el criterio de aceptación o rechazo de posible agrietamiento aleatorio.

Todos estos factores son mencionados a detalle más adelante. La tecnología y detalles aplicados a pisos de todos los tamaños, abarca una gran variedad de usos. Desde pequeñas áreas de pisos en residencias o industrias ligeras, pisos de tamaño medio en almacenes a pesadas plantas industriales que cubren grandes áreas, todos ellos cuentan con una tecnología similar.

CAPITULO 2

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

2. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

2.1 INTRODUCCIÓN

En todo el mundo se recurre al concreto como un material de construcción seguro, resistente y sencillo. Se usa en todo tipo de construcciones, desde vivienda hasta conjuntos de edificios para oficinas y complejos comerciales.

Con una tasa de avance rápido en el desarrollo de la infraestructura, la demanda del concreto aumentó explosivamente. En términos del consumo mundial de cemento Pórtland, la demanda creció 650 veces, de tan sólo dos millones de toneladas (ton) en 1890, a 1.3 miles de millones de ton en 1990. Así mismo, para el 2010 se prevé alcanzar 1.95 miles de millones de ton. Por tanto, es razonable esperar un notorio auge en el consumo del concreto.

Desde que se fabricó el primer concreto hecho con cemento Pórtland, en 1824, han habido muchos adelantos técnicos. Hemos sido testigos del aumento constante de la resistencia a la compresión del concreto, desde 14 MPa (140 kgf/cm²) hasta llegar a 100 MPa (1000 kgf/cm²). El desarrollo de concreto fluido eliminó el uso de vibradores para la consolidación de este material, mientras el bombeo de concreto a través de tuberías a tasas de 200 m³/h permitió su entrega en volúmenes altos para acortar la duración de la construcción.

Estos avances permitieron construir de manera económica con concreto desde rascacielos a puentes de claros largos o grandes estructuras marítimas.

El desarrollo del cemento Pórtland es el resultado de la investigación persistente de la ciencia y la industria para producir un cemento natural de calidad superior. La invención del Cemento Pórtland se atribuye normalmente a Joseph Aspdin, un albañil inglés. En 1824, obtuvo la patente para este producto, al cual lo denominó cemento Pórtland pues producía un concreto con color semejante a la caliza natural que se explotaba en la isla de Pórtland en el Canal de la Mancha. Este nombre permanece hasta hoy y se usa en todo el mundo, con la adición de las marcas y nombres comerciales de sus productores.

2.2 DEFINICION

El concreto es básicamente una mezcla de 2 componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento Pórtland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava, creando una masa similar a una roca. La palabra concreto es derivada del latín "concretus", que significa crecido junto o compuesto.

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los 2. En un concreto adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

La durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables.

En respuesta a los problemas de durabilidad de estructuras de concreto, esta industria empezó a abordar el desarrollo de un nuevo tipo de concreto, de alto comportamiento, capaz de responder a los requisitos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad. Se reconoció que la extrapolación del conocimiento acerca del concreto convencional no resulta adecuada para manejar el desarrollo del de alto comportamiento.

Aunque no existe una definición generalizada de “concreto de alto comportamiento”, una de las aceptadas por el American Concrete Institute ACI es la siguiente: “Concreto que satisface requisitos especiales de comportamiento y uniformidad que no siempre se pueden lograr de manera rutinaria con el solo uso de componentes convencionales y de procedimientos normales de mezclado, colocación y curado”. Estos requisitos pueden implicar el mejoramiento de los siguientes aspectos:

- Facilidad de colocación y de compactación sin segregación.
- Propiedades mecánicas a largo plazo.
- Resistencia a edades tempranas.
- Tenacidad.
- Estabilidad volumétrica.
- Impermeabilidad.
- Larga vida en ambientes extremos.

Estas propiedades se pueden usar individualmente o en combinación para describir al concreto de alto comportamiento. En esta acepción se reconoce que el comportamiento debería definirse en función no sólo de la resistencia, sino de otros atributos importantes para una aplicación dada. No es necesario que el concreto de alto comportamiento sea de alta resistencia. Sin embargo, y en términos generales, el concreto de alto comportamiento se percibe como uno que posee una alta resistencia, gran durabilidad y/o una buena trabajabilidad.

A pesar del uso común del concreto, pocas personas están conscientes de las consideraciones involucradas en el diseño de un concreto resistente, durable y de alta calidad.

2.3 COMPONENTES DEL CONCRETO.

El concreto es básicamente una mezcla de 4 componentes:

CEMENTO.
AGUA.
AGREGADOS.
ADITIVOS.

El objetivo es el de mezclar estos materiales en cantidades medidas para hacer que el concreto sea fácil de:

TRANSPORTAR
COLOCAR
COMPACTAR
DAR UN ACABADO

Y que fragüe y se endurezca, para proporcionar un producto resistente y durable. La cantidad de cada material (es decir, cemento, agua, agregados y aditivos) afecta las propiedades del concreto fresco y/o endurecido.

2.3.1 CEMENTO.

Los Pórtland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua.

Durante esta reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con agua para formar una pasta de aspecto similar a una roca. Cuando la pasta (cemento y agua) se agrega a los agregados (arena y grava, piedra triturada u otro material granular) actúa como adhesivo y une a todas las partículas de agregado para formar así al concreto, el material de construcción más versátil y de mayor uso en el mundo.

La norma NMX C 414 establece seis tipos de cemento con cuatro características especiales y cinco clases de resistencia.

Tipo CPO Cemento Pórtland Ordinario.
Tipo CPP Cemento Pórtland Puzolánico.
Tipo CPEG Cemento Pórtland con Escoria Granulada de alto horno.
Tipo CPC Cemento Pórtland Compuesto.
Tipo CPS Cemento Pórtland con Humo de Sílice.
Tipo CEG Cemento de Escoria Granulada de alto horno.
RS Resistencia a Sulfatos.
BRA Baja Reactividad Alkali Agregado.
BCH Bajo Calor de Hidratación.
B Blanco.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Clases resistentes:

20, 30, 30R 40 y 40R N/mm² (200,300 y 400 kg/cm²).

El cemento debe ser almacenado sin contacto con el suelo, en un lugar seco, limpio y con buena ventilación. Al cubrir los sacos de cemento con plástico se obtiene una protección adicional. El cemento a granel normalmente se almacena en silos.

La pasta esta compuesta de Cemento Pórtland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 % del volumen total del concreto. El volumen absoluto del Cemento esta comprendido usualmente entre el 7 y el 15 % y el agua entre el 14 y el 21 %. El contenido de aire y concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado esta completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado.

2.3.2 AGUA.

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto.

La importancia de estudiar el agua en el cemento radica en que puede presentar impurezas, como azúcar, ácidos, materia vegetal y aceites que impidan o retardan la hidratación.

La norma oficial NMX C 122 establece las cantidades de impurezas máximas que son tolerables en el agua de mezclado en la elaboración del concreto.

El agua debe ser limpia, potable y estar libre de cualquier basura, de sustancias químicas indeseables o de residuos que puedan afectar el concreto. Verifique siempre el agua de la tubería antes de usarla. No utilice agua de mar, ya que puede corroer el acero en el concreto.

Para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la cantidad de concreto endurecido esta determinada por la cantidad de agua utilizada en la relación con la cantidad de cemento. A continuación se presentan algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

- Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
- Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- Se incrementa la resistencia al intemperismo.
- Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y el esfuerzo.
- Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad de concreto – a condición que se pueda consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezclado resultan en mezclas mas rígidas; pero con vibración, aun las mezclas mas rígidas pueden ser empleadas. Para una calidad dada de concreto, las mezclas mas rígidas son las mas económicas. Por lo tanto, la consolidación del concreto por vibración permite una mejora en la calidad del concreto y en la economía.

2.3.3 AGREGADOS.

La importancia de utilizar el tipo y la calidad adecuados de agregados, no debe ser subestimada pues los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% de peso), de influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado, en estado endurecido, en las proporciones de la mezcla, y en la economía.

Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto.

El agregado influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto. Se considera inerte por no presentar reacciones complejas con el agua o con la pasta de cemento hidráulico.

Los agregados son de dos tipos básicos:

GRUESOS: roca triturada, grava o material cribado.

FINOS: arenas finas y gruesas y piedra fina triturada.

Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.

La arena debe ser arena para concreto y no arena hecha de residuos de tabiques o de pedacería de yeso.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Los agregados deben ser:

RESISTENTES y DUROS. Un agregado resistente y duro dará un concreto final más resistente. Nunca utilice escombros, ni sobrantes, ni residuos de otros materiales.

DURABLES para soportar el desgaste, rompimientos e intemperismo.

QUÍMICAMENTE INACTIVO de modo que los agregados no reaccionen con el cemento.

LIMPIO. La mugre o la arcilla que se pega a los agregados debilitan la adherencia entre la pasta y los agregados.

GRADUADOS. Los agregados deben de variar en tamaño de modo que se acomoden bien todo junto. Esto da un concreto más resistente y más denso.

Los agregados redondos dan una mezcla más trabajable. Los agregados angulosos hacen un concreto más difícil de colocar, de trabajar y de compactar, pero pueden hacer un concreto más resistente.

Los agregados deben ser almacenados en donde permanezcan limpios, separados de otros materiales y estén secos. Si los agregados están muy mojados, utilice menos agua en la mezcla.

2.3.4 ADITIVOS.

Los aditivos se mezclan en el concreto para cambiar o mejorar las propiedades, es decir, el tiempo que el concreto requiere para fraguar y endurecer, o su trabajabilidad, o la obtención de alta resistencia temprana, entre otras.

Las razones para el uso de aditivos están perfiladas en las siguientes funciones que pueden desarrollar:

Incrementan la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua o disminuir el contenido de agua a la misma trabajabilidad.

Retardan o aceleran el tiempo de fraguado inicial.

Modifican la rapidez o la capacidad de sangrado.

Reducen la segregación.

Mejoran la bombeabilidad.

Reducen la proporción de la pérdida de revenimiento.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Modifican las propiedades del concreto endurecido, el mortero, y la lechada para:

- Retardar o reducir la evolución de calor.
- Acelerar la rapidez de desarrollo de resistencia.
- Disminuir la permeabilidad del concreto.
- Incrementar la adherencia entre concreto viejo y nuevo, entre otras.

2.4 DISEÑO DE MEZCLAS

El proceso de determinación de las características requeridas del concreto y que se pueden especificar se llama diseño de mezcla. Las características pueden incluir:

- (1) propiedades del concreto fresco,
- (2) propiedades mecánicas del concreto endurecido y
- (3) la inclusión, exclusión o límites de ingredientes específicos.

El diseño de mezcla lleva al desarrollo de la especificación del concreto. El proporcionamiento (dosificación) de la mezcla se refiere al proceso de determinación de las cantidades de los ingredientes del concreto, usando materiales locales, para que se logren las características especificadas. Un concreto adecuadamente proporcionado debe presentar las siguientes cualidades:

- Trabajabilidad aceptable del concreto fresco
- Durabilidad, resistencia y apariencia uniforme del concreto endurecido
- Economía.

Antes que se pueda determinar las proporciones de la mezcla, se seleccionan sus características considerando el uso que se propone dar al concreto, las condiciones de exposición, tamaño y forma de los elementos y las propiedades físicas del concreto (tales como resistencia a la congelación y resistencia mecánica) requeridas para la estructura.

Después de que se hayan elegido las características, se puede proporcionar (dosificar) la mezcla a partir de datos de campo o laboratorio. Como la mayoría de las propiedades deseadas en el concreto endurecido dependen principalmente de la calidad de la pasta cementante, la primera etapa para el proporcionamiento del concreto es la elección de la relación agua-cemento apropiada para la resistencia y durabilidad necesarias.

La resistencia (compresión o flexión) es el indicador de la calidad del concreto mas universalmente utilizado. A pesar de ser una característica importante, otras propiedades, tales como durabilidad, permeabilidad y resistencia al desgaste se reconocen hoy en día como de igual importancia o, en algunos casos, de mayor importancia, especialmente cuando se considera la vida útil de la estructura.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Dentro del rango normal de resistencias usadas en la construcción de concreto, la resistencia es inversamente proporcional a la relación agua-cemento. Para concretos totalmente compactados, producidos con agregados limpios y sanos, la resistencia y otras propiedades requeridas del concreto, bajo las condiciones de obra, se gobiernan por la cantidad del agua de mezcla usada por unidad de cemento.

El concreto se vuelve mas resistente con el tiempo, siempre que la temperatura y la humedad disponibles sean adecuadas. Por lo tanto, la resistencia en cualquier edad es función tanto de la relación agua-cemento original y del grado de hidratación del material cementante. La importancia del curado temprano y minucioso se reconoce entonces muy importante y vital.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado, y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, resistencia al desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco o nulo mantenimiento.

2.5 CARACTERÍSTICAS CONCRETO FRESCO.

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla muy húmeda de concreto se puede moldear en el sentido de que puede colocarse en una cimbra, pero esto no entra en la definición de "plástico" aquel material que es plegable y capaz de ser moldeado o formado como un terrón de arcilla para moldar.

En una mezcla de concreto plástico todos los granos de arena y las piezas de grava o de piedra que eran encajonados y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no están predispuestos a segregarse durante el transporte; y cuando el concreto endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. El concreto de consistencia plástica no se desmorona si no que fluye como liquido viscoso sin segregarse.

El revenimiento se utiliza como una medida de la consistencia del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura. En la practica de la construcción, los elementos delgados de concreto y los elementos del concreto fuertemente reforzados requieren de mezclas trabajables, pero jamás de mezclas similares a una sopa, para tener facilidad en su colocación. Se necesita una mezcla plástica para tener resistencia y para mantener su homogeneidad durante el manejo y la colocación. Mientras que una mezcla plástica es adecuada para la mayoría con trabajos con concreto, se puede utilizar aditivos superfluidificantes para adicionar fluidez al concreto en miembros de concretos delgados o fuertemente reforzados.

2.5.1 MEZCLADO

Los 5 componentes básicos del concreto se muestran separadamente en la figura " A " para asegurarse que estén combinados en una mezcla homogénea se requiere de esfuerzo y cuidado. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora representa un papel importante en la uniformidad del producto terminado. Sin embargo, se puede variar esa secuencia y aun así producir concreto de calidad. Las diferentes secuencias requieren ajustes en el tiempo de adicionamiento de agua, en el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora, y en la velocidad de revolución.

Otros factores importantes en el mezclado son el tamaño de la revoltura en la relación al tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre la dosificación y el mezclado, el diseño, la configuración y el estado del tambor mezclador y las paletas. Las mezcladoras aprobadas, con operación y mantenimiento correcto, aseguran un intercambio de materiales de extremo a extremo por medio de una acción de rolado, plegado y amasado de la revoltura sobre si misma a medida que se mezcla el concreto.

2.5.2 TRABAJABILIDAD

La facilidad de colocar, consolidar y acabar al concreto recién mezclado. se denomina trabajabilidad.

El concreto debe ser trabajable pero no se debe segregar excesivamente. El sangrado es la migración de el agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales Sólidos – Cemento, arena y piedra dentro de la masa. El asentamiento es consecuencia del efecto combinado del la vibración y de la gravedad.

Un sangrado excesivo aumenta la relación Agua - Cemento cerca de la superficie superior, pudiendo dar como resultado una capa superior débil de baja durabilidad, particularmente si se lleva acabo las operaciones de acabado mientras esta presente el agua de sangrado. Debido a la tendencia del concreto recién mezclado a segregarse y sangrar, es importante transportar y colocar cada carga lo mas cerca posible de su posición final. El aire incluido mejor a la trabajabilidad y reduce la tendencia del concreto fresco de segregarse y sangrar.

2.5.3 CONSOLIDACIÓN

La vibración pone en movimiento a las partículas en el concreto recién mezclado, reduciendo la fricción entre ellas y dándole a la mezcla las cualidades móviles de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de la mezcla dura que contenga una mayor proporción de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino. Empleando un agregado bien graduado, entre mayor sea el tamaño máximo del agregado en el concreto, habrá que llenar pasta un menor volumen y existirá una menor área superficial de agregado por cubrir con pasta, teniendo como consecuencia que una cantidad menor de agua y de cemento es necesaria. con una consolidación adecuada de las mezclas mas duras y ásperas pueden ser empleadas, lo que tiene como resultado una mayor calidad y economía.

Si una mezcla de concreto es lo suficientemente trabajable para ser consolidada de manera adecuada por varillado manual, puede que no exista ninguna ventaja en vibrarla. De hecho, tales mezclas se pueden segregar al vibrarlas. Solo al emplear mezclas mas duras y ásperas se adquieren todos los beneficios del vibrado.

El *vibrado mecánico* tiene muchas ventajas. Los vibradores de alta frecuencia posibilitan la colocación económica de mezclas que no son faciles de consolidar a mano bajo ciertas condiciones.

2.6 HIDRATACIÓN, TIEMPO DE FRAGUADO, ENDURECIMIENTO

La propiedad de liga de las pastas de cemento Pórtland se debe a la reacción química entre el cemento y el agua llamada hidratación.

El cemento Pórtland no es un *compuesto químico* simple, sino que es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos conforman el 90% o más de el peso del cemento Pórtland y son: *el silicato tricalcico, el silicato dicalcico, el aluminato tricalcico y el aluminio ferrito tetracalcico*. Además de estos componentes principales, algunos otros desempeñan papeles importantes en el proceso de hidratación. Los tipos de cemento Pórtland contienen los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes.

Cuando el *Clinker* (el producto del horno que se muele para fabricar el cemento Pórtland) se examina al microscopio, la mayoría de los compuestos individuales del cemento se pueden identificar y se puede determinar sus cantidades. Sin embargo, los granos más pequeños evaden la detección visual. El diámetro promedio de una partícula de cemento típica es de aproximadamente 10 micras, o una centésima de milímetro. Si todas las partículas de cemento fueran las promedio, el cemento Pórtland contendría aproximadamente 298,000 millones de granos por kilogramo, pero de hecho existen unos 15 billones de partículas debido al alto rango de tamaños de partícula. Las partículas en un kilogramo de cemento Pórtland tiene una área superficial aproximada de 400 metros cuadrados.

Los dos *silicatos* de calcio, los cuales constituyen cerca del 75% del peso del cemento Pórtland, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: *el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio*. Este último es con mucho el componente cementante más importante en el concreto. Las propiedades ingenieriles del concreto, - fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional - principalmente dependen del *gel del hidrato de silicato de calcio*. Es la medula del concreto.

La composición química del silicato de calcio hidratado es en cierto modo variable, pero contiene cal (CaO) y sílice (SiO₂), en una proporción sobre el orden de 3 a 2. el área superficial del hidrato de silicato de calcio es de unos 3000 metros cuadrados por gramo. Las partículas son tan diminutas que solamente se ven vistas en microscopio electrónico. En la pasta de cemento ya endurecida, estas partículas forman uniones enlazadas entre las otras fases cristalinas y los granos sobrantes de cemento sin hidratar; también se adhieren a los granos de arena y a piezas de agregado grueso, cementando todo el conjunto. La formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es responsable del fraguado, del endurecimiento y del desarrollo de resistencia.

Cuando el concreto fragua, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, mismos que no tienen resistencia alguna. La resistencia está en la parte sólida de la pasta, en su mayoría en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalinas.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho mas resistente es el concreto. Por lo tanto, cuando se mezcle el concreto no se debe usar una cantidad mayor de agua que la absolutamente necesaria para fabricar un concreto plástico y trabajable. A un entonces, el agua empleada es usualmente mayor que la que se requiere para la completa hidratación del cemento. La relación mínima Agua – Cemento (en peso) para la hidratación total es aproximadamente de 0.22 a 0.25.

El conocimiento de la cantidad de calor liberado a medida de que el cemento se hidrato puede ser útil para planear la construcción. En invierno, el calor de hidratación ayudara a proteger el concreto contra el daño provocado por temperaturas de congelación. Sin embargo, el calor puede ser en estructuras masivas, tales como presas, porque puede producir esfuerzos indeseables al enfriarse luego de endurecer. El cemento Pórtland tipo 1 un poco mas de la mitad de su calor total de hidratación en tres días. El cemento tipo 3, de alta resistencia temprana, libera aproximadamente el mismo porcentaje de su calor en mucho menos de tres días. El cemento tipo 2, un cemento de calor moderado, libera menos calor total que los otros y deben pasar mas de tres días para que se libere únicamente la mitad de ese calor. El uso de cemento tipo 4, cemento Pórtland de bajo calor de hidratación, se debe de tomar en consideración donde sea de importancia fundamental contar con un bajo calor de hidratación.

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua porque la velocidad de terminada el tiempo de fraguado y de endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del concreto. Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido. El yeso, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del Clinker, actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento Pórtland. Otros factores que influyen en la velocidad de hidratación incluyen la finura de molienda, los aditivos, la cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales en el momento del mezclado.

CAPITULO 3

REFUERZO DEL CONCRETO

3. REFUERZO DEL CONCRETO

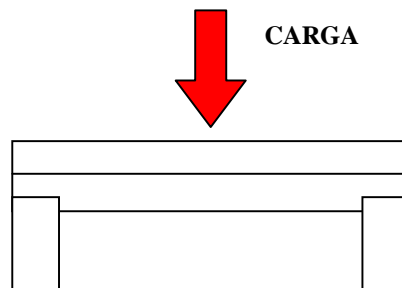
3.1 REFUERZO DEL CONCRETO.

Una desventaja de las matrices de cementos hidráulicos es la naturaleza frágil de falla, la que puede ocurrir bajo un sistema de esfuerzos de tensión o cargas de impacto. Esta desventaja se ha resuelto con el uso de “refuerzo”, constituido por materiales que tienen la capacidad para resistir esfuerzos de tensión como el acero, el cual se emplea desde hace varios años, en forma de barras con diferente diámetro y en función de los requisitos de resistencia.

Cuando se aplica una fuerza en el concreto habrá fuerzas de compresión, de tensión y de cortante actuando sobre el concreto. El concreto resiste naturalmente la compresión (aplastamiento), muy bien pero es relativamente débil en tensión estiramiento.

El refuerzo horizontal y/o vertical se usa en todos los tipos de estructuras de concreto, en donde las fuerzas de tensión y de cortante pueden agrietar o romper el concreto. El refuerzo horizontal ayuda a resistir las fuerzas de tensión; el refuerzo vertical ayuda a resistir las fuerzas de cortante.

En una losa de concreto de entrepiso el refuerzo horizontal resiste la tensión, y el refuerzo vertical (por ejemplo en vigas soportantes) resiste fuerzas de cortante.



En una losa sobre el piso el refuerzo incrementa la resistencia a tensión y ayuda a controlar el ancho de las grietas por contracción.



El refuerzo no evita las grietas pero controla el ancho que las grietas pueden abrirse.

El refuerzo restringe el movimiento que resulta por la contracción de la losa y puede realmente aumentar el número de grietas aleatorias experimentadas, particularmente en el caso de separaciones mayores entre juntas. El refuerzo estructural de losas sobre el terreno se provee principalmente para controlar la abertura de las grietas que eventualmente ocurren.

Este refuerzo se proporciona normalmente en la forma de varillas corrugadas de acero, refuerzo de alambre soldado, fibras de acero, o tendones postensados. Las combinaciones de diferentes formas de refuerzo han resultado exitosas.

3.2 CONTROL DE AGRIETAMIENTO.

Las dos causas básicas por las que se producen grietas en el concreto son:

- (1) esfuerzos debidos a cargas aplicadas y;
- (2) esfuerzos debidos a contracción por secado o a cambios de temperatura en condiciones de restricción.

El concreto endurecido cambia de volumen con los cambios de temperatura, humedad y tensiones, este cambio de volumen o de longitud puede variar del 0.01% al 0.08%. Los cambios de volumen por temperatura en el concreto endurecido son similares a los del acero.

El concreto bajo tensión se deforma elásticamente. Si se mantiene la tensión (esfuerzo), va a ocurrir una deformación adicional llamada fluencia (deformación diferida, flujo plástico). La tasa de la fluencia (deformación por unidad de tiempo) disminuye con el tiempo.

El concreto mantenido continuamente húmedo se expande ligeramente. Pero cuando se permite su secado, el concreto se retrae. El factor que mas influye en la magnitud de la contracción por secado es el contenido de agua en el concreto recién mezclado. La contracción por secado aumenta directamente con el aumento del contenido de agua. La magnitud de la contracción también depende de muchos otros factores, tales como:

- La cantidad de agregado usado;
- Propiedades del agregado;
- El tamaño y la forma del miembro de concreto;
- La humedad relativa y la temperatura del medio ambiente;
- El método de curado;
- El grado de hidratación y
- El tiempo.

3.3 JUNTAS

Las juntas son el método más efectivo para controlar agrietamientos. Si una extensión considerable de concreto (una pared, losa o pavimento) no contiene juntas convenientemente espaciadas que alivien la contracción por secado y por temperatura, el concreto se agrietara de manera aleatoria.

Las juntas le permiten al concreto un ligero movimiento, por lo cual, se reducen los esfuerzos por restricción, así como el alivio de esfuerzos, evitando de esta manera el agrietamiento.

Existen principalmente 3 tipos de juntas dependiendo su función, ubicación y condiciones en obra:

1. Las juntas de control.
2. Las juntas de separación.
3. Las juntas de construcción.

Las juntas de control se ranuran, se forman o se aserran en banquetas, calzadas, pavimentos, pisos y muros de modo que las grietas ocurran en esas juntas y no aleatoriamente. Las juntas de control permiten movimientos en el plano de una losa o de un muro. Se desarrollan aproximadamente a un cuarto del espesor del concreto.

Las juntas de separación aíslan a una losa de otros elementos e otra estructura y le permiten tanto movimientos horizontales como verticales. Se colocan en las uniones de pisos con muros, columnas, bases y otros puntos donde pudieran ocurrir restricciones. Se desarrollan en todo el espesor de la losa e incluyen un relleno premoldeado para la junta.

Las juntas de construcción se colocan en los lugares donde ha concluido la jornada de trabajo; separan áreas de concreto colocado en distintos momentos. En las losas para pavimentos, las juntas de construcción comúnmente se alinean con las juntas de control o de separación, y funcionan también como estas últimas.

3.4 CALCULO DEL ACERO DE REFUERZO.

La presencia del refuerzo en la losa tendrá como consecuencia un mejor desempeño que aquellas losas que no se refuerzan, sin embargo, no debemos olvidar que el refuerzo significa un costo adicional en la losa y para que este costo se justifique, el acero deberá diseñarse de acuerdo a la función de que este se espera, así como colocarse de una manera adecuada.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

En el diseño de losas sobre el terreno, el espesor de la losa esta en función de la resistencia a la flexión del concreto (modulo de ruptura), lo que nos lleva a la evidente conclusión que el concreto no se supone que se debe agrietar y tomando en cuenta que la función del acero se basa en el hecho que el concreto se debe agrietar para que el acero trabaje, luego entonces el diseñador se encuentra con esta paradoja. Por esta razón será necesario definir tanto el propósito del refuerzo en la losa de concreto, como la manera efectiva de lograr ese propósito.

Existen 3 propósitos principales para reforzar las losas de concreto:

1. Control de la contracción
2. Control de temperatura
3. Capacidad de momento.

3.4.1 REFUERZO POR TEMPERATURA Y CONTRACCIÓN.

Las grietas por temperatura y contracción en losas no reforzadas sobre el terreno se originan en la superficie de la losa; son mas anchas en la superficie y se estrechan con la profundidad. Para lograr la máxima efectividad, el refuerzo por temperatura y contracción en losas sobre terreno se deberá poner en el tercio superior del espesor de la losa. La literatura al respecto recomienda que el refuerzo de alambre soldado se ponga a 50 mm debajo de la superficie de la losa o en el tercio superior del espesor de la losa, el que resulte más cercano de la superficie.

Normalmente, la cantidad de refuerzo utilizado en losas no estructurales es demasiado pequeña para tener influencia importante sobre el movimiento de restricción que resulta de los cambios de volumen.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

La contracción por secado es una propiedad inherente e inevitable del concreto, por lo que se utiliza acero de refuerzo colocado en una posición adecuada para reducir los anchos de grieta, o bien juntas que predetermine y controlen la ubicación de las grietas. Los esfuerzos provocados por las fluctuaciones de temperatura pueden causar agrietamientos, especialmente en edades tempranas.

Las grietas por contracción del concreto ocurren debido a restricciones. Si no existe una causa que impida el movimiento del concreto y ocurren contracciones, el concreto no se agrieta. Las restricciones pueden ser provocadas por causas diversas. La contracción por secado siempre es mayor cerca de la superficie del concreto; las porciones húmedas interiores restringen al concreto en las cercanías de la superficie con lo que se pueden producir agrietamientos. Otras causas de restricción son el acero de refuerzo embebido en el concreto, las partes de una estructura interconectadas entre si, y la fricción de la subrasante sobre la cual va colocado el concreto.

3.4.2 CAPACIDAD DE MOMENTO.

Los procedimientos de diseño para losas sobre el terreno generalmente brindan al diseñador un espesor de losa. El espesor encontrado esta en función de las cargas, del modulo de reacción k de la subrasante, del modulo de ruptura del concreto, y de la rigidez de la losa. Dado que el espesor y la rigidez se interrelacionan, se requiere de un proceso iterativo o el uso de nomogramas para determinar el espesor. Una vez que este es determinado, la capacidad de momento de la losa se puede determinar multiplicando el modulo de ruptura (MR) del concreto, por el modulo de sección de la sección dada. Con el dato anterior se puede determinar un área de acero. Cuando el concreto se agrieta para permitir que funcione el acero, la sección llega a ser más flexible.

3.5 APLICACIONES DEL REFUERZO.

Los usos del refuerzo son:

- . Para incrementar el espaciamiento de las juntas de control.
- . Para losas de forma irregular
- . Para esquinas de losas.

El refuerzo debe ser fijado en la posición correcta para resistir mejor las fuerzas de compresión, de tensión y de cortante y ayudar a controlar el agrietamiento.

Cuando se emplee acero corrugado de refuerzo o tendones de postensado, serán apoyados y fijados en forma suficiente para impedir su desplazamiento durante las operaciones de colocación y acabado de concreto. Las silletas con placas de arena o los soportes de concreto prefabricado son generalmente considerados como el método más efectivo para proporcionar el soporte requerido.

El refuerzo de varillas o de alambre soldado deberá discontinuarse en las juntas donde el proyectista desee dejarlas abiertas y reducir la posibilidad de que ocurran grietas de temperatura o con tracción en el tablero adyacente. Cuando el refuerzo es llevado a través de la junta, es probable que ocurran grietas en los tableros adyacentes a causa de restricción en la junta. Cuando se emplee en cantidad suficiente, se mantendrán fuertemente cerradas las grietas fuera de la junta. Algunos ingenieros prefieren la discontinuidad parcial del refuerzo en las juntas de contracción con el objeto de obtener alguna capacidad de transferencia de carga sin el uso de pasajuntas lisos.

En algunos casos, se pueden emplear fibras de acero combinadas o no con refuerzo convencional. Como en el caso de refuerzo convencional, las fibras de acero no impedirán el agrietamiento del concreto. Pero cuando se utilizan en cantidad suficiente, mantendrán las grietas fuertemente cerradas.

El polipropileno, polietileno, nylon, y otras fibras sintéticas pueden ayudar a reducir la segregación de la mezcla de concreto y la formación de grietas de contracción mientras el concreto esta en estado plástico y durante las primeras horas del curado. Sin embargo conforme el modulo de elasticidad del concreto aumenta, la mayor parte de las fibras sintéticas en las proporciones de dosificación típicas que recomiendan los fabricantes de las fibras no proveerán suficiente restricción para mantener las grietas fuertemente cerradas.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

El uso de tendones de acero como refuerzo en vez de refuerzo convencional para temperatura y contracción permite al contratista introducir un esfuerzo de compresión relativamente alto en el concreto por medio de postensado. Este esfuerzo de compresión proporciona un equilibrio para el esfuerzo de tensión que produce el agrietamiento que se desarrolla conforme el concreto se contrae durante el proceso de curado. El preesfuerzo por etapas, o tensado parcial, de la losa al día siguiente de la colocación puede dar por resultado una reducción importante de grietas de contracción.

3.6 FIBRAS DE POLIPROPILENO.

Las fibras sintéticas únicamente ofrecen control de agrietamiento durante el asentamiento plástico del concreto, por lo que su uso se limita a pisos de concreto en las que no habrá cargas considerables. Las fibras metálicas brindan control de agrietamiento durante el asentamiento plástico del concreto y después de que el concreto se ha endurecido, por lo que su uso se extiende a pisos de concreto que estarán sometidos a cargas considerables, como los comerciales e industriales.

El polipropileno, polietileno, nylon, y otras fibras sintéticas pueden ayudar a reducir la segregación de la mezcla de concreto y la formación de grietas de contracción mientras el concreto está en estado plástico y durante las primeras horas del curado. Sin embargo conforme el módulo de elasticidad del concreto aumenta, la mayor parte de las fibras sintéticas en las proporciones de dosificación típicas que recomiendan los fabricantes de las fibras no proveerán suficiente restricción para mantener las grietas fuertemente cerradas.

CAPITULO 4

CONCRETO FIBROREFORZADO

4. CONCRETO FIBROREFORZADO.

4.1 CONCRETO FIBROREFORZADO

Históricamente, la idea de reforzar materiales frágiles mediante el uso de fibras proviene desde hace unos 2000 años y existe evidencia arqueológica de adobes reforzados con paja, así como de estucos y frescos en los que se emplearon crines de caballo para impedir agrietamiento y mejorar su resistencia mecánica.

En las últimas 3 décadas hubo un crecimiento por el interés en el uso de fibras, concreto premezclado, concreto prefabricado y concreto lanzado. Las fibras de acero, plástico, vidrio y materiales naturales (celulosa de madera) están disponibles en una amplia variedad de formas, tamaño y espesor; pueden ser cilíndricas, llanas, onduladas y deformadas con longitud típica de 60 mm a 150 mm y espesor variando de 0.005 mm a 0.75 mm. Las fibras se añaden al concreto durante el mezclado. Los factores principales que controlan el desempeño del material compuesto son:

1. Propiedades físicas de las fibras y de la matriz.
2. resistencia de adherencia entre la fibra y la matriz

A pesar de que los principios básicos gobernantes en los refuerzos convencionales y en los sistemas con fibras son los mismos, hay varias características que los diferencian:

1. Las fibras se distribuyen aleatoriamente por toda la sección transversal, mientras que las barras de refuerzo o armadura se ponen solo donde son necesarias.
2. La mayoría de las fibras son relativamente cortas y poco espaciadas si son comparadas a las barras continuas de refuerzo.

La primera patente de concreto reforzado con elementos de acero fue hecha en 1874 en California por A. Berard. Se trataba de un piedra artificial que empleaba, como refuerzo del concreto, acero granular procedente de desechos.

En 1918 H. Alfsen patentó en Francia un proceso para aumentar la resistencia a tracción del concreto mediante la mezcla uniforme de pequeñas fibras longitudinales de acero, madera u otros materiales. En esta patente se sugirió que las fibras deberían tener superficies rugosas o arqueadas y, si era posible, con extremos doblados a fin de obtener mayor adherencia al concreto.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

En 1912 R. Weafly (U.S.A.) y en 1920 A. Kleinlogel (Alemania) patentaron diferentes métodos de adición de fibras al concreto encaminados a mejorar sus características resistentes. Años después, en 1927, aparecieron dos nuevas patentes en California debidas a G. Martin y a W. Meischke- Smith. La patente de Martin describía el uso de alambres rizados de acero mezclados con el concreto para reforzar tuberías. Por su parte, Meischke-Smith propuso el empleo de alambre retorcido para el refuerzo del concreto.

El perfeccionamiento de la forma de las fibras se ve en sucesivas patentes, entre las que destaca la de G. Constatinesco en 1943 (Inglaterra), patentada también en 1954 en U.S.A. En estas patentes los parámetros que se utilizan para las fibras de acero son muy similares a los actuales.

En 1911 Graham utilizo por primera vez fibras de acero para incrementar la resistencia y estabilidad de un concreto armado convencionalmente. Sin embargo, los primeros estudios de tipo científico sobre el comportamiento de estos materiales se deben a Griffith, en 1920, a los que siguieron en 1963 los de Romualdi y Bastón y Romualdo y Mandel.

Hoy en día son múltiples las aplicaciones que se han hecho de este material en países como Estados Unidos, Rusia, Inglaterra, Francia y España.

Como razones del creciente interés en este material podríamos citar:

- Las ventajas que presentan frente a otras armaduras ligeras convencionales en determinadas usos: requieren menor mano de obra, constituyen una armadura en todas direcciones, mejor comportamiento al impacto, etc.; aunque no pueden sustituir completamente a la armadura principal del concreto reforzado.

- El desarrollo experimentado en los últimos años en el conocimiento y fabricación de nuevos tipos de fibras, industrializándose su obtención.

- La posibilidad de sustituir a otros materiales de mayor coste energético de obtención (fundición, plásticos, productos bituminosos) o de mayor escasez.

Hoy en día el concreto reforzado con fibras es un material plenamente caracterizado y que se podría definir como el concreto formado por un conglomerado hidráulico, generalmente cemento Pórtland, áridos finos y gruesos, agua y fibras discontinuas y discretas.

4.2 FIBRAS.

Se han ensayado fibras de diversos tipos, formas y tamaños:

Por su naturaleza se pueden clasificar en:

- Minerales (por ejemplo, amianto).
- Orgánicas (por ejemplo algodón, rayón, sintéticas).
- Metálicas (por ejemplo, acero).

Por su modulo de elasticidad:

- Aquellas que tienen un modulo de elasticidad mayor que la matriz, siendo el aglomerante de este cemento Pórtland: amianto, vidrio, acero, carbono.

- Las que tienen un modulo inferior al de la matriz: celulosa, nylon, polipropileno. Estas experimentan mayores deformaciones que las anteriores y solo deberán usarse cuando no se prevea agrietamiento de la pieza.

- Por su forma pueden ser lisas o estar conformadas; duoform, anulares, onduladas; pueden ser monofilamentos o formar haces (fibras de vidrio).

Los parámetros físicos de definición de las fibras serán la longitud, el diámetro y la relación longitud / diámetro, denominada relación de aspecto (equivalente al concepto de esbeltez) y que tendrá una importancia preponderante en el comportamiento de las fibras.

Tipo de fibra	Resistencia tracción [kp/cm² x 10³]	Modulo de Young [kp/cm² x 10³]	Peso Especifico [Kg/dm³]	Diámetro [m.]	Alargamiento ultimo [%]
Acrílica	2.1 – 4.2	21.1	1.1	-	25 - 45
Asbestos	5.6 – 9.8	842 - 1406	3.2	0.02 - 20	0.6
Algodón	4.2 – 7.0	49.2	1.5	10 - 20	3 - 10
Acero	2.8 – 42.2	2039	7.8	5 - 500	0.5 – 3.5
Grafito	24 - 26	24 – 28	1.9	9	1.00
Lana de roca	4.9 – 7.7	703 - 1195	2.7	-	0.6
Nylon	7.7 – 8.4	42.19	1.1	-	10.20
Poliéster	7.3 – 8.8	84.37	1.4	-	11 – 13
Polietileno	7.1	1.41 – 4.22	0.95	-	10
Polipropileno	5.6 – 7.7	35.16	0.90	20 – 200	20
Rayón	4.2 – 6.3	70.32	1.5	-	10 – 25
Vidrio	10.5 – 38.7	703.2	2.5	9 - 15	1.5 – 3.5

4.3 FIBRAS DE ACERO.

Alrededor de los años 50 se inicio una serie de estudios con objeto de establecer el comportamiento del concreto de cemento tipo Pórtland reforzado con fibras cortas de acero.

Las fibras de acero cortas son pequeños pedazos discontinuos de acero con un aspecto o esbeltez (relación entre longitud y diámetro) que varia entre 20 y 100 y con muchas secciones transversales. Algunas fibras de acero tienen extremos conformados para mejorar la resistencia al arrancamiento de la matriz a base de cemento.

El acero utilizado es de bajo contenido de carbono. Su modulo de elasticidad es diez veces mayor que el del concreto, su adherencia es bastante buena, su deformación en rotura es elevada y son muy fáciles de mezclar, pudiéndose hacer por los procedimientos convencionales.

En un principio se obtuvieron mediante el corte de cables cilíndricos; hoy en día se utiliza tanto este método como el de corte de chapas de acero. Pueden ser lisas o tener anclajes en sus extremos. En algunos casos se han utilizado fibras con otras formas.

La norma ASTM A 820 clasifica las fibras de acero en cuanto a su manufactura en 4 tipos:

TIPO I – las fibras de alambre conformadas en frío son las mas fácilmente encontradas en el mercado, fabricadas de alambre de acero conformado.

TIPO II – las fibras cortadas de chapas se fabrican como el propio nombre dice: las fibras de acero se cortan de las chapas de acero.

TIPO III – las fibras extraídas de fundición, las cuales se fabrican por técnicas relativamente complicadas donde una rueda en rotación se usa para levantar el metal liquido de una superficie de metal fundido, a través de la acción de capilaridad. El metal fundido extraído se congela rápidamente en forma de fibras y se quita de la rueda por la fuerza centrífuga. Las fibras resultantes tienen una sección transversal en forma de medialuna.

TIPO IV – otras fibras.

“referencias: tolerancias de longitud, diámetro y esbeltez. ASTM A 820 “

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Su diámetro oscila entre 0.25 y 0.75 mm.; siendo muy empleadas las fibras de 0.5 mm. De diámetro y 50 mm. de longitud. Su aspecto varía entre 30 y 150; siendo 100 el valor mas común.

Siendo la adherencia entre las fibras y el hormigón uno de los factores que en mayor medida determina las propiedades del concreto reforzado con fibras de acero, los fabricantes de las fibras han intentado mejorar la misma modificando la forma geométrica de ellas.

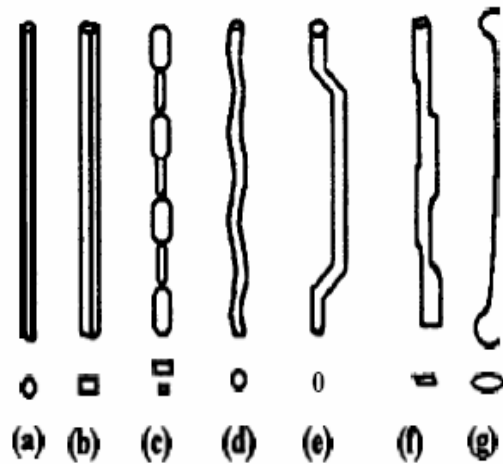
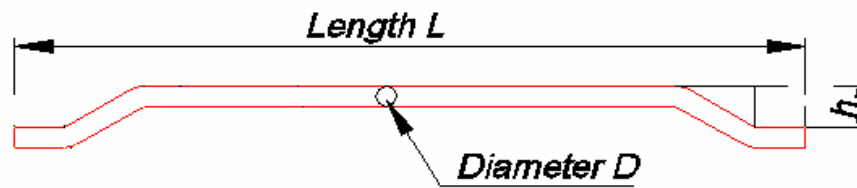


Figura 2.3. Formas de las fibras de acero: a) sección circular; b) sección rectangular; c) dentada; d) ondulada; e) extremos conformados; f) de rascado en caliente; g) extremos ensanchados.

4.3.1 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS.

Las fibras se caracterizan por los parámetros siguientes:

A: Sección transversal.
d: Diámetro.
l: Longitud.
l/d: Esbeltez.

•**Longitud L:** es la distancia entre las dos extremidades ($6 < L < 70$)

•**Diámetro (o diámetro equivalente) De:** es el diámetro del hilo, para las fibras de sección trasversal circular, o es el diámetro del círculo de área igual a la de la sección transversal de la fibra ($0.15 < De < 1.20$)

•**Relación de aspecto $I = L/De$:** es la relación entre la longitud L y el diámetro De (o diámetro equivalente)

•**Forma:** Fibras rectilíneas o fibras amoldadas (longitudinalmente o transversalmente).

Las dimensiones geométricas pueden ser nominales o equivalentes. Se define como dimensión nominal la dada por el fabricante (habitualmente en mm).

El diámetro equivalente se calculará a partir de los valores medios tanto de longitudes como de pesos de una cantidad conocida de fibras, tomando para estos cálculos un peso específico del acero de 7.850 kg/m³.

La longitud de la fibra se determina como la distancia de extremo a extremo de la fibra. En su caso, después de conformada. El diámetro sólo puede medirse directamente en las fibras de Tipo 1. En el resto de fibras se utilizará como referencia el diámetro equivalente.

Para la determinación de la esbeltez se utilizará el diámetro real en el caso de fibras de Tipo I y el equivalente en el resto. La longitud y diámetro o diámetro equivalente de las fibras no debe diferir del valor nominal en f 10 % ni la esbeltez en f 15 %.

4.3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS.

a) Resistencia a tracción:

El valor promedio de la resistencia a tracción de las fibras no debe ser inferior a 345 MPa. La resistencia a tracción de cada fibra no será en ningún caso inferior a 310 MPa.

b) Ductilidad:

Esta propiedad permite valorar la aptitud de la fibra a la deformación que sufre durante su manipulación o mezclado.

Almacenamiento

Debe ponerse especial cuidado en el almacenamiento de las fibras para evitar su deterioro o el contacto con la humedad o materiales extraños perjudiciales que puedan alterar el comportamiento posterior de las fibras o producir corrosión de las mismas. En caso de contaminación o deterioro de las fibras es preceptivo su rechazo.

Los volúmenes de fibras de acero usados en concreto normalmente varían del 0.25% al 2%. Volúmenes mayores generalmente reducen la trabajabilidad y la dispersión de las fibras y requieren un diseño especial de las mezclas o técnicas especiales de colado.

4.4 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

De la tecnología de materiales compuestos se conoce que el comportamiento del compuesto depende esencialmente de las propiedades físicas de las fibras y matriz, así como de los esfuerzos de adherencia que se desarrollen en la interfase. Las fuerzas de adherencia pueden estar en función de reacciones químicas entre la superficie de la fibra y matriz aglomerante o regidas por fricción debida a dobleces y rugosidades propias del tipo de fibra.

Cuando el concreto reforzado con fibras se somete a esfuerzos de tensión por flexión muestra un comportamiento diferente al concreto simple y se pueden identificar en su curva carga-deflexión 2 estados. En el primero existe una relación aproximadamente lineal entre cargas y deflexiones. Después de un punto en el que se alcanza el limite de proporcionalidad, a partir del cual, la curva deja de ser significativamente no lineal hasta que alcanza un punto, generalmente superior al limite de proporcionalidad, en el que el material pierde capacidad para absorber esfuerzo y la curva de comportamiento de flexión muestra un claro descenso.

Las curvas carga-deflexión que se pueden obtener del ensaye de especímenes reforzados con fibras, defieren en geometría y valores de carga y deflexión ya que su comportamiento a tensión por flexión lo determina el tipo, longitud, orientación, y cantidad de fibras por volumen unitario de concreto.

Para una mezcla en particular, el contenido, geometría y distribución de fibras es tan importante para el material compuesto como la relación agua-cemento, contenido de aire, densidad y trabajabilidad lo es para el concreto simple. No debe olvidarse que todas estas variables influyen en el comportamiento del concreto reforzado con fibras ya que cualquier deficiencia altera la adherencia entre matriz y refuerzo.

Desde que se iniciaron los estudios para caracterizar el concreto reforzado con fibras, se han propuesto 2 mecanismos para predecir la resistencia al agrietamiento, o hasta el limite de proporcionalidad. El primero relaciona la primera grieta con el concepto de espaciamiento entre centroides de fibras, el otro, relaciona el limite de proporcionalidad con el volumen, orientación y relación aspecto de las fibras. El concepto de espaciamiento se basa en la capacidad que tienen las fibras para detener el avance de una grieta y en los conceptos de la mecánica elástica de fractura. El otro mecanismo de falla se basa en la ley de las mezclas para materiales compuestos.

Se considera importante mencionar que la mayoría de los autores coinciden en afirmar que la resistencia última del concreto reforzado con fibras es relativamente insensible al espaciamiento entre centroides de fibras y que, depende fundamentalmente del contenido, relación, aspecto y adherencia entre matriz y fibras.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Como se menciono; en los años 50 se hicieron los primeros estudios formales sobre el comportamiento del concreto reforzado con segmentos cortos de alambre, poco espaciados y distribuidos aleatoriamente en la matriz de concreto. Estos estudios produjeron a principios de los años 60 una patente basada en el concepto de espaciamiento de fibras. A fines de los 50 la Pórtland Cement Association PCA; estudio el comportamiento del concreto reforzado con fibras de diámetro y longitud diferentes. Los resultados de sus estudios le permitieron obtener, una patente basada en los conceptos de adherencia y la relación de aspecto. Esta ultima se define como la relación entre la longitud de la fibra y el diámetro de la misma.

A partir de estos primeros estudios se definió el concreto reforzado con fibras como el material compuesto de una matriz heterogénea de concreto o mortero de cemento tipo Pórtland y fibras cortas distribuidas aleatoriamente en su masa.

El objeto de la presencia de estas fibras en la matriz es para mejorar la resistencia a tensión, flexión e impacto, así como para controlar el agrietamiento y modo de falla, impartándole ductilidad post-agrietamiento.

La presencia de las fibras afecta ligeramente la resistencia a compresión. La adición del 1.5% (en volumen) de fibras de acero puede aumentar la resistencia a tracción directa hasta 40% y la resistencia a la flexión hasta 150%.

Las fibras de acero no afectan la contracción libre. Las fibras de acero retardan la fractura del concreto restringido durante la contracción y mejoran la relajación de tensiones por el mecanismo de fluencia (Altoubat y Lange 2001).

La durabilidad del concreto reforzado con fibras de acero depende de los mismos factores que el concreto convencional. No se disminuye la resistencia a la congelación-deshielo con la adición de fibras de acero, siempre que haya incorporación de aire, se consolide correctamente el concreto y haya un ajuste de la mezcla para que se pueda acomodar las fibras. Si se proporciona y coloca el concreto correctamente, va a ocurrir poca o nula corrosión de las fibras. Cualquier corrosión de las fibras en la superficie del concreto es sencillamente un problema de apariencia y no una condición estructural.

Las fibras de acero presentan modulo de elasticidad relativamente alto. Se puede aumentar su adherencia o unión con la matriz de cemento a través del anclaje mecánico o de la rugosidad superficial. Las fibras están protegidas de la corrosión por la alta alcalinidad del ambiente en la matriz del cemento.



**Piso sin juntas.
Aumento considerable del espaciamiento entre juntas (15x15 m)(35kg/m³ fibras de acero).**

4.5 CONCEPTO DE ESPACIAMIENTO.

La resistencia mecánica de materiales como el concreto y mortero de cemento tipo Pórtland, que presentan una microestructura fisurada inherente a su naturaleza química, puede incrementarse mejorando su tenacidad a la fractura al disminuirse el tamaño de fisuras y reducir el factor de intensidad de esfuerzo en la punta de las microgrietas internas.

El enfoque básico de los estudios realizados fue el de incrementar la resistencia de los concretos, disminuyendo el factor de intensidad de esfuerzo mediante el empleo de alambres, poco espaciados entre centroides como inhibidores de la propagación de grietas.

En la figura se muestra la correlación teórica entre los valores calculados del esfuerzo de agrietamiento y el espaciamiento de fibras en la matriz de mortero, para varios contenidos de fibras y valores de intensidad de esfuerzo.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

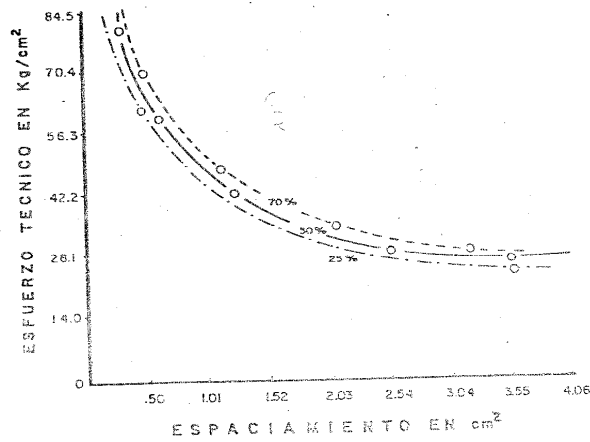


FIG. 3' ESFUERZO TEORICO DE ABRIETAMIENTO
NOTA: CONTINUACION DE LA ANTERIOR

FIGURA 3

Investigaciones posteriores demostraron que los valores teóricos se pueden alcanzar mezclando fibras cortas directamente en el concreto. En la fig 4 se muestran los resultados experimentales comparados con valores teóricos de resistencia a flexión del concreto reforzado con fibras metálicas, en función del espaciamiento entre fibras.

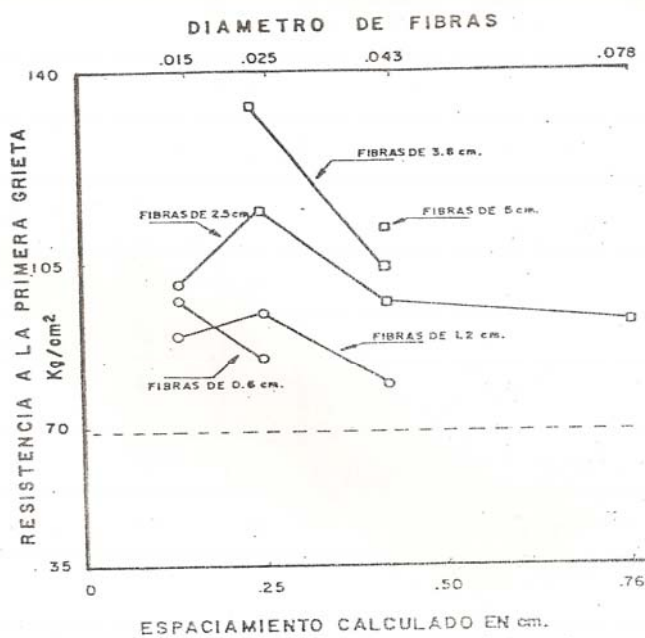


FIG. 5 EFECTO DE ESPACIAMIENTO DE FIBRAS SOBRE LA RESISTENCIA A FLEXION.

FIGURA 4

En la figura 5 se ilustra el comportamiento a flexión, en función del espaciamiento.

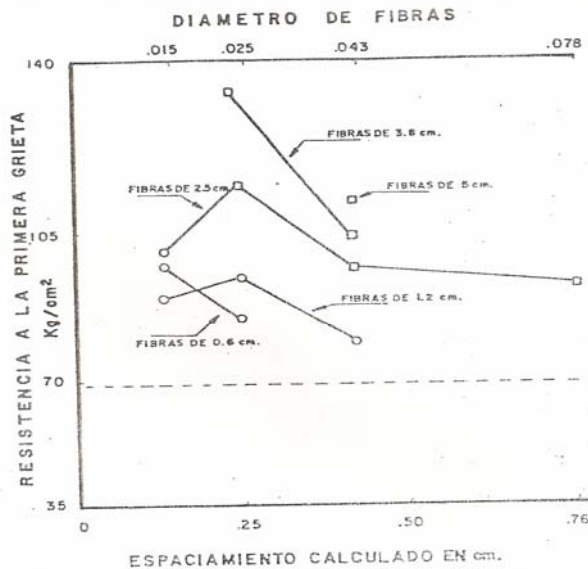


FIG. 5 EFECTO DE ESPACIAMIENTO DE FIBRAS SOBRE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN.

FIGURA 5

Si se hace un análisis crítico del concepto de espaciamiento y de los resultados experimentales reportados, queda claro que la resistencia del concreto reforzado con fibras metálicas no es tan sensible a la separación entre alambres sino a la relación de aspecto y volumen de refuerzo.

4.6 ADHERENCIA ENTRE FIBRA Y MATRIZ.

Según Swamy, las fibras introducidas en el concreto están solo parcialmente adheridas a este. Esto se debe a la pérdida de humedad durante la fabricación, los cambios de volumen en el fraguado y las reacciones superficiales entre las fibras y la matriz, con la consiguiente aparición de tensiones internas en el sistema.

La adherencia se produce por 2 tipos de fenómenos:

Físicos: por combinación de adhesión, fricción y trabado mecánico.

Químicos: por reacciones superficiales entre la fibra y el concreto.

Sobre los primeros se puede actuar dándole formas adecuadas a las fibras. Si bien es cierto que se produce un aumento de la adherencia, comprobándose en muchos casos que se llega al fallo del material por rotura de la fibra y no por deslizamiento, como suele ocurrir con fibras lisas, también es verdad que los costes

de obtención son mayores y en muchos casos se producen dificultades en el mezclado que requieren tratamientos especiales.

La adherencia se puede mejorar por procedimientos químicos, recubriendo la fibra de una resina epoxy. En el caso de fibras de acero se han utilizado con éxito los procedimientos de oxidación a 600 °C y la galvanización.

Como es de esperar, el curado también tiene importancia. Un curado deficiente puede reducir la resistencia al arrancamiento de la fibra a la mitad, mientras que un curado bajo el agua a través de un tratamiento a alta temperatura o a presión la puede aumentar en un 70 %.

4.7 CONCEPTO DE MATERIALES COMPUESTOS.

Cuando una viga de concreto o mortero simple se somete a incrementos de carga, se presentara la falla en el momento en que la zona de tensión se agriete. Normalmente se considera a este tipo de falla como frágil, sin embargo debe notarse que el agrietamiento del concreto o mortero de cemento tipo Pórtland, no es un fenómeno discreto como lo demuestran los experimentos con película de alta velocidad y mediciones cuidadosas, las cuales revelan que la falla se debe a un proceso de microagrietamiento cuyo proceso y desarrollo genera la grieta principal.

En el caso del concreto reforzado con fibras sometido a incrementos de carga, se observa que tiene un comportamiento casi lineal hasta un punto conocido como límite de proporcionalidad. Del estudio de las curvas carga-deflexión puede asumirse que la matriz y el refuerzo se comportan elásticamente hasta este punto, el cual también se conoce como resistencia a la primera grieta.

Debido a que el acero de refuerzo tiene un modulo elástico del orden de 10 veces mayor que el del concreto simple, el modulo elástico del concreto reforzado con fibras se incrementa o disminuye en función del contenido de fibras. Sin embargo debe considerarse que existe una diferencia, entre reforzar con barras continuas orientadas y hacerlo con fibras cortas discontinuas y distribuidas aleatoriamente. Normalmente se aprecia que para volúmenes iguales de refuerzo con fibras el modulo elástico del compuesto es menor que cuando se emplean barras.

La siguiente ecuación proporciona una idea aproximada de la influencia de las fibras sobre las propiedades elásticas del material compuesto.

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m$$

En esta ecuación E_c , E_f y E_m representan el modulo elástico del material compuesto, fibras y matriz respectivamente, V_m y V_f son los volúmenes unitarios de la matriz y fibras. La ecuación se puede considerar estrictamente valida en el caso de compuestos reforzados con fibras continuas, comportamiento elástico de los materiales integrantes y que no exista falla de adherencia entre matriz y refuerzo.

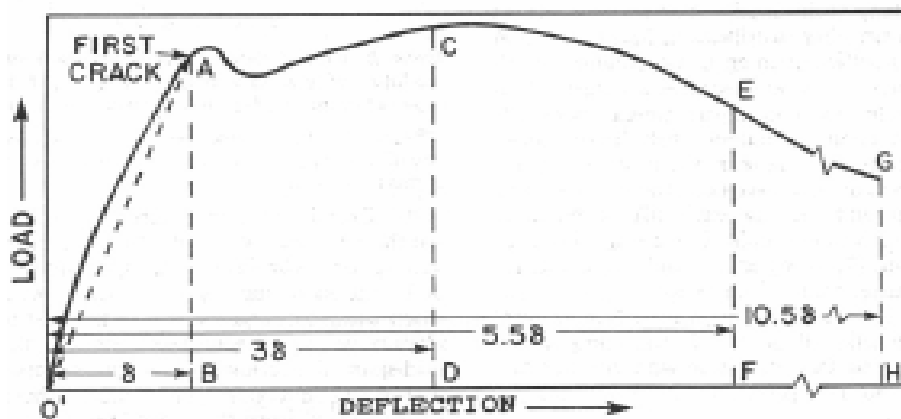
Debido a que las fibras, comúnmente empleadas para reforzar al concreto, son cortas, se puede presentar microagrietamientos antes de alcanzar el límite de proporcionalidad teórica, esto mismo sucede si el refuerzo falla por adherencia y desliza. Por lo que la ecuación propuesta solo representa el valor superior que puede alcanzar el concreto reforzado con fibras. Mas adelante en este mismo trabajo se expondrán algunos procedimientos teóricos que pueden predecir la influencia de la orientación, contenido y relación de aspecto sobre las propiedades mecánicas de los materiales compuestos.



Designation: C 1018 - 97

Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)¹

This standard is issued under the fixed designation C 1018; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

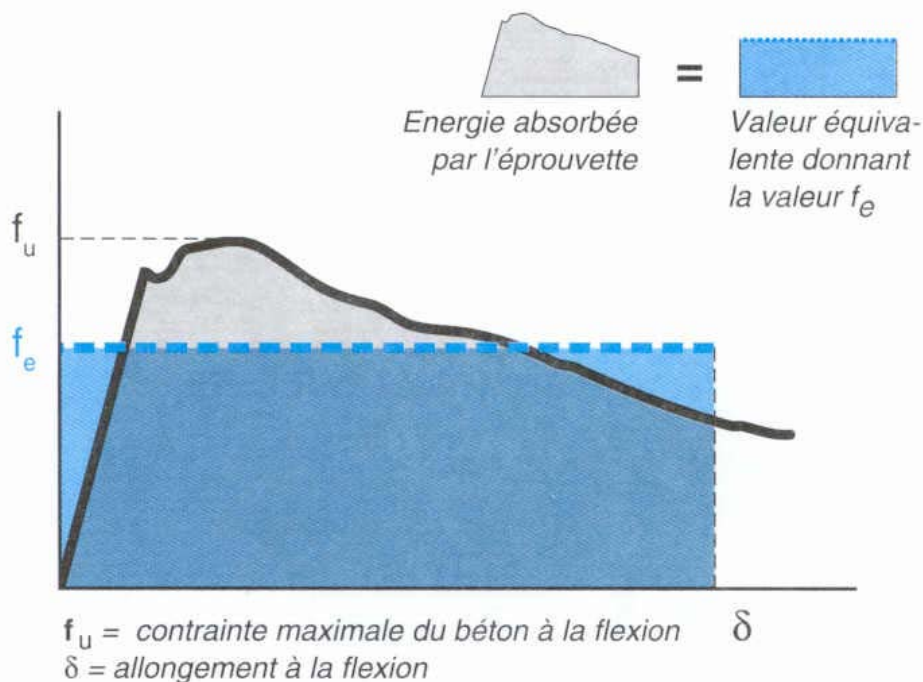


(b) Convex upwards to first crack

FIG. 3 Important Characteristics of the Load-Deflection Curve

4.8 RESISTENCIA ÚLTIMA Y TENACIDAD DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.

En la grafica se puede observar que la curva carga-deflexión deja de ser lineal, después de que se alcanza el valor de la carga que produce la primera grieta, el material es capaz de soportar mayor esfuerzo hasta un máximo. Este valor recibe el nombre de resistencia última y, a diferencia del concreto convencional, esta en función de la fricción desarrollada entre fibras y matriz mientras se van extrayendo. Generalmente el refuerzo no alcanza el esfuerzo de fluencia o de falla, debido a que los esfuerzos de adherencia y fricción son menores que estos valores.



Una vez que se alcanza la resistencia última, la velocidad con que crece la capacidad de carga de una viga de concreto reforzada con fibras, esta en función de la rapidez con que deslizan las fibras. Como resultado de esto, la energía de deformación que el elemento puede absorber quedara determinada por el área bajo la curva carga-deflexión.

Según los autores consultados la energía de deformación puede incrementarse entre 10 y 40 veces más que el concreto sin refuerzo.

La energía generalmente, se absorbe en los mecanismos de alargamiento, deslizamiento y pérdida de adherencia de las fibras. La magnitud relativa de cada uno de estos aspectos depende de la curva esfuerzo-deformación unitaria de las fibras. Aunque la mayoría de los artículos consultados reportan resultados de pruebas de flexión, existe evidencia experimental de la influencia de las fibras en el comportamiento del concreto sujeto a esfuerzos de tensión uniaxial que demuestra la ductilidad e incremento en tenacidad que adquiere el material reforzado.

Existen 2 parámetros, cuya influencia en las propiedades mecánicas determinan la carga última en flexión, uno es el volumen de refuerzo en por ciento y el otro la relación de aspecto de las fibras. Se ha demostrado experimentalmente que cuando el volumen de fibras se incrementa, también la resistencia aumenta en proporción casi lineal, siempre y cuando se evite la segregación de fibras. De manera similar se ha demostrado que a relaciones de aspecto crecientes, mayor resistencia última del material compuesto. Con base a estas observaciones se propuso la siguiente ecuación:

$$S_c = A S_m (1-V_f) + B V_f L / D$$

S_c y S_m son los valores del esfuerzo último del material compuesto y de la matriz, respectivamente, L/D es la relación de aspecto, V_f es el volumen unitario de fibras, A y B son constantes que se obtuvieron experimentalmente.

Las investigaciones realizadas en la Universidad de Sheffield establecen los valores de estas constantes en 0.97 y 3.41 respectivamente para la resistencia última del concreto reforzado con fibras sujeto a flexión y de 0.843 y 2.93 para la primera grieta o resistencia al agrietamiento.

En esta ecuación, el primer término del lado derecho representa la contribución de la matriz a la resistencia última y el valor máximo que la constante A puede alcanzar es 1.00. la constante B depende del esfuerzo de adherencia entre fibras y matriz, así como la aleatoriedad de la distribución del esfuerzo en el concreto. Debe mencionarse que esta ecuación es válida cuando la falla ocurre por adherencia.

4.8.1 RESISTENCIA A LA FATIGA.

Con objeto de establecer la resistencia del concreto reforzado con fibras metálicas a la fatiga por flexión se han realizado varios estudios experimentales. Las pruebas consistieron en someter a vigas de concreto y mortero de cemento tipo Pórtland a varios miles de ciclos de aplicación de carga.

Es notorio el hecho de que para un tipo de fibra cualquiera se logran incrementos significativos en la resistencia por fatiga, conforme aumenta el contenido de fibras en la matriz de concreto.

La literatura reporta que la añadir fibras al concreto reforzado con barras de acero (vigas), incrementa la resistencia por fatiga de los elementos y reduce el ancho de grieta. Así mismo se ha demostrado que la incrementar la resistencia por fatiga de las vigas de concreto reforzado se disminuyen las deflexiones causadas por el sistema de esfuerzos.

4.8.2 CORROSIÓN DE LAS FIBRAS DE ACERO.

Con objeto de conocer la susceptibilidad de las fibras de acero a la corrosión, se han ejecutado varios estudios consistentes en sumergir especímenes de concreto reforzado con fibras en soluciones acuosas de cloruro de sodio. En estas investigaciones se ha observado que, después de 90 días de exposición a ciclos de humedecimiento y secado, los especímenes no se atacaron y la resistencia a flexión permaneció prácticamente sin cambio, aun en probetas con 2% de volumen de refuerzo.

En las pruebas a largo plazo ejecutadas en los laboratorios Bettelle, en Columbus, Ohio, se observó que después de 7 años de exposición al efecto de sales de cloruro de sodio y calcio, solo causó corrosión en las fibras superficiales y/o expuestas en los especímenes, de ensaye, sin detrimento de la resistencia a flexión. Resultados similares se obtuvieron en pruebas de intemperismo, realizadas a lo largo de 10 años de exposición a un ambiente industrial. Las propiedades mecánicas permanecieron casi sin variación. El deterioro de fibras solo ocurrió en las superficiales o en las francamente expuestas.

En otro estudio, se determinó que la resistencia a compresión de morteros y concretos reforzados con fibras metálicas, disminuyó en 15% después de 10 años de exposición al agua marina.

4.9 SISTEMAS MIXTOS DE FIBRAS.

En un sistema mixto de fibras se mezclan 2 o más tipos de fibras. El concreto con fibras híbridas combina macro y micro fibras de acero. El uso de una mezcla de macro fibras y las recientemente desarrolladas micro fibras de acero, las cuales tienen menos de 10 mm de longitud y menos de 100 micrómetros de diámetro, conduce a un menor espaciamiento entre las fibras, lo que puede reducir la microfisuración y aumentar la resistencia a tensión del concreto. Las aplicaciones indicadas para este material son reparaciones y remiendos delgados. Se supone que el sistema combine la tenacidad y la resistencia al impacto del concreto reforzado con fibras de acero con la reducción de la fisuración por contracción plástica de los concretos con fibras de polipropileno.

CAPITULO 5

ESTUDIO EXPERIMENTAL

5. ESTUDIO EXPERIMENTAL

5.1 INTRODUCCION

En este capítulo se da cuenta de un estudio realizado sobre el efecto que tiene la adición de las fibras de acero al concreto hidráulico así como su forma y geometría en diferentes concentraciones utilizando agregados de tamaño máximo de 1½". Las mezclas fueron evaluadas usando dos tipos de fibras y en tres diferentes concentraciones, al concreto hidráulico reforzado con fibras de acero (CRFA) se le determina la trabajabilidad, contenido de aire y peso volumétrico en estado fresco y se comparan las propiedades mecánicas obtenidas (resistencia a la compresión, módulo de ruptura, módulo de elasticidad, relación de *Poisson*, tenacidad, resistencia al impacto), además de obtener el tipo y porcentaje óptimo de fibras de acero que pueden ser adicionadas al concreto hidráulico, empleando agregados de tamaño máximo de 1½".

Para conocer los valores del módulo de elasticidad, relación de *Poisson* y determinación de las curvas carga-deflexión de la prueba a la flexión del CRFA se utilizó la máquina universal electro-hidráulica de funcionamiento digitalizado. Para evaluar la tenacidad se emplearon tres procedimientos (ASTM C 1018, JSCE SF4 y PCS).

El objetivo general de este estudio es la evaluación del efecto que tienen las fibras de acero (forma y longitud), con diferentes concentraciones, en el concreto, utilizando agregados de tamaño máximo de 1½".

Los objetivos particulares son:

- a) estudiar el efecto que tienen la forma, longitud y concentración de fibras en el concreto hidráulico en sus propiedades en estado fresco como la trabajabilidad, contenido de aire y peso volumétrico;
- b) evaluar las propiedades mecánicas del concreto hidráulico en estado endurecido, haciendo un análisis comparativo entre el CRFA con diferentes tipos y concentraciones de fibras y el concreto sin fibra (matriz) como: resistencia a la compresión, módulo de ruptura, módulo de elasticidad, relación de *Poisson*, tenacidad y resistencia al impacto; y
- c) proponer en base a los resultados obtenidos el tipo y concentración de fibra más conveniente.

5.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Materiales

Se empleó cemento Pórtland Tipo I, el cual satisface la norma ASTM C 150. El agregado fino usado fue arena de río. El análisis granulométrico por mallas se muestra en la Tabla 1. La arena tuvo una densidad de 2.46 y absorción de 3.57 %. El agregado grueso empleado fue piedra caliza triturada con un tamaño máximo de 1½". El análisis granulométrico por mallas se muestra en la Tabla 2. La caliza tuvo una densidad específica de 2.68 y una absorción de 1.0 %. El agua utilizada fue del sistema de suministro municipal. Se empleó un aditivo reductor de agua líquido (POZZOLITH 360-N), mismo que cumple con la norma ASTM C 494 para aditivos Tipo A.

Tabla 1. Composición granulométrica del agregado fino.

Tamiz No.	Material que Pasa, %
4	96.99
8	85.39
16	66.99
30	41.74
50	20.49
100	3.64
Charola	

DENSIDAD = 2.46
ABSORCIÓN = 3.57 %
MODULO DE FINURA = 2.90

Tabla 2. Composición granulométrica del agregado grueso.

Tamiz		Material que Pasa, %
mm	Pulg.	
50.8	2	100
38	1 ½	97.19
25	1	76.15
19	¾	56.46
12.5	½	28.74
9.5	3/8	16.56
4.75	No. 4	0.39
Charola	Charola	0.00

DENSIDAD = 2.68
ABSORCIÓN = 1 %

Fibras

Se utilizaron dos tipos de fibras, variando la forma y longitud de ellas como se muestra en la Figura 1. Ambas son de material de acero al carbono. Una se identifica por ser lisa con ganchos en los extremos de longitud 60 mm con relación de aspecto (longitud / diámetro) 60 y la otra en forma ondulada de longitud 25.4 mm y relación de aspecto 25. Las características de las fibras utilizadas se presentan en la Tabla 3a y en la Tabla 3b las dosificaciones empleadas.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Tabla 3a. Características de las fibras que se emplearon en esta investigación.

	Tipo de fibra	
	Lisa (D)	Ondulada (N)
Material	Acero al carbono	Acero al carbono
Resistencia a la tensión	11,900 kg/cm ²	9,800 kg/cm ²
Proceso	Alambre estirado en frío	Láminas cortadas
Tipo de fibra (ASTM A 820)	Tipo I	Tipo II
Longitud	60 mm	25.4 mm
Diámetro (equivalente)	1.0 mm	1.1 mm
Peso por unidad	0.38 g	0.13 g
Relación de Aspecto	60	25
Tipo de anclaje	Ganchos en los extremos	Forma ondulada

Tabla 3b. Identificación de las mezclas realizadas en este trabajo.

Mezcla No.	Tipo de fibra (Forma)	Longitud cm.	Relación de Aspecto	Concentración Kg/m ³
			$\frac{l}{d}$	
Simple (sin fibra)	—	—	—	0
D20	Lisa con ganchos	6.00	60	20
D35	Lisa con ganchos	6.00	60	35
D50	Lisa con ganchos	6.00	60	50
N20	Ondulada	2.54	25	20
N35	Ondulada	2.54	25	35
N50	Ondulada	2.54	25	50



Fig. 1 Fibras utilizadas en este estudio, identificadas como: D (lisa con ganchos en los extremos, 60mm de longitud) y N (ondulada, 25 mm de longitud).

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Diseño de la mezcla

En la Tabla 4 se indican las cantidades de cemento, agua, agregados y aditivo utilizados en la mezcla diseñada como control para una resistencia a la compresión de 300 kg/cm² y módulo de ruptura de 45 kg/cm².

Tabla 4. Dosificación empleada en la elaboración del concreto para una resistencia de 300 kg/cm² y un Módulo de Ruptura de 45 kg/cm².

Material	Cantidad
Cemento (kg.)	345
Agua (l)	178
Grava TMA 1 ½" (kg)	1180
Arena (kg)	650
Aditivo Reductor de agua (l)	1.72

Mezclas

Se elaboraron siete mezclas, tres para cada tipo de fibra variando su concentración, de 20 kg/m³ a 50 kg/m³ (0.2 % a 0.7 % en volumen), siguiendo la recomendación del ACI 544.1R-96 debido al tamaño máximo del agregado que se empleó en esta investigación de 1½", manteniendo las demás variables constantes. A una mezcla no se le incorporo fibras, considerándose como una mezcla de control. Todas las mezclas fueron elaboradas en una revolvedora eléctrica con capacidad de un saco de cemento.

El procedimiento de mezclado fue el siguiente:

Se adiciona el agua mezclado con el aditivo a la revolvedora, se adiciona el agregado grueso, revolver hasta que se halla humedecido, posteriormente se agrega el cemento repitiendo la operación de mezclado, añadir posteriormente la arena, revolver por medio minuto y agregar las fibras manualmente a la revolvedora encendida, mezclando por tres minutos, reposar por tres minutos y finalmente mezclar nuevamente por dos minutos (ASTM C 192).

Al respecto se observó la adecuada incorporación de las fibras de forma homogénea en toda la masa del concreto.

Equipo utilizado

Para la determinación de las propiedades del módulo de elasticidad, relación de *Poissón*, resistencia última y curvas carga-deflexión para obtener la tenacidad se utilizó en la realización de los ensayos la máquina universal electro-hidráulica de funcionamiento digitalizado.

Tipos de especímenes

Vigas de 15 cm x 15 cm x 50 cm, para determinación de módulos de ruptura (ASTM C 78) y pruebas de tenacidad (ASTM C 1018) a los 7 y 28 días de edad. Especímenes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, para resistencia a la compresión (ASTM C 39), módulos de elasticidad y relación de *Poisson* (ASTM C 469) y para pruebas de impactos (ACI 544.2R-96) estos cilindros se fabricaron para ser probados a los 7 y 28 días.

Colado, vibrado y curado

Los procedimientos de colado, vibrado y curado para el concreto simple son aplicables al CRFA. Los especímenes después de fabricados fueron cubiertos con bolsa de plástico para darles el curado inicial por 24 horas, posteriormente fueron desmoldados y colocados en una pila de curado con agua a la cual se le adicionó cal, manteniéndola a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, permaneciendo allí hasta que fueron probados a los 7 ó 28 días.

Pruebas en el concreto plástico.

Se registró el revenimiento de acuerdo a la norma ASTM C 143 y el tiempo de flujo a través del cono invertido según la norma ASTM C 995, el contenido de aire se determinó aplicando el procedimiento de la norma ASTM C 231 y el peso volumétrico en estado fresco siguiendo la norma ASTM C 138.

Pruebas en el concreto endurecido

Los cilindros fueron probados a la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (3 especímenes por cada mezcla) de acuerdo a la norma ASTM C 39, módulos de elasticidad y relación de *Poisson* según norma ASTM C469. La prueba de impacto se realizó únicamente a la edad de 28 días.

Las vigas fueron probadas a los 7 y 28 días (3 por cada mezcla) a la flexión por tensión (módulo de ruptura) y obtención de la curva carga-deflexión la cual permite calcular los parámetros de tenacidad según norma ASTM C 1018, método Japonés (JSCE SF4) y esfuerzo post-agrietamiento (PCS).

5.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS Y ANÁLISIS

Propiedades del concreto plástico

En la Tabla 5 se presentan los resultados de las pruebas de revenimiento, tiempo de flujo a través del cono invertido, contenido de aire y peso volumétrico

Revenimiento

Para la mezcla de concreto sin fibras, el revenimiento es claramente mayor que para el concreto con fibras, disminuyendo en éste, conforme aumenta la concentración de fibras; aunque se puede notar que los revenimientos para el caso de las fibras onduladas son más grandes que los obtenidos con la fibra lisa con ganchos, esto se debe principalmente a la diferencia existente entre las longitudes de ambas.

Prueba del tiempo de flujo a través del cono invertido

A mayor concentración de las fibras los tiempos en que se tarda en fluir la mezcla en el cono invertido son mayores, siendo estos un poco menor en la fibra ondulada que la fibra lisa con ganchos, esto se debe de nueva cuenta a la estructura que se forma con esta fibra debido a su longitud, dificultando el proceso de vaciado del CRFA.

Contenido de aire

Para diferentes concentraciones de fibras, se observa que el contenido de aire se incrementa cuando la concentración de fibras crece, los valores mas bajos en cuanto a contenido de aire corresponden a la fibra ondulada ya que por ser de menor peso, su cantidad en volumen es mayor que las fibras lisas con ganchos evitando con ello que existan más vacíos. La diferencia entre el contenido de aire de la mezcla de concreto simple y la mezcla con el más alto contenido de fibra (50 kg/m³) fue de 0.5 %.

Tabla 5. Resultados de las pruebas de revenimiento, tiempo de flujo, contenido de aire y peso volumétrico del concreto en su estado plástico.

Concentración de Fibra	Revenimiento en (cm)	Tiempo de Flujo (Seg.)	Contenido de Aire (%)	Peso Volumétrico (kg/m ³)
0 (SIMPLE)	12.0	18	1.6	2395
D 20	10.0	24	2.0	2410
D 35	8.5	32	1.8	2465
D 50	3.5	36	2.1	2450
N 20	11.0	20	1.7	2485
N 35	9.0	28	1.6	2470
N 50	6.0	32	1.9	2465

Peso volumétrico

Las mezclas con fibra ondulada dan mayor peso volumétrico que las fibras lisas con ganchos, debido a su menor cantidad de aire atrapado, generando con esto, que las mezclas tengan mayor densidad.

Propiedades del concreto endurecido

Resistencia a la compresión

Los resultados de la prueba a la compresión son dados en la tabla 6. El CRFA presenta una ligera tendencia al incremento en ambos tipos de fibras a la edad de 7 días, siendo de un 6 % en las fibras onduladas y del 4 % en las fibras con ganchos mientras que a la edad de 28 días se tiene un decremento en la resistencia del CRFA con respecto a la obtenida del concreto simple del 3 %, debido a los contenidos de aire atrapado en las mezclas de ambas fibras, además los resultados de la resistencia a la compresión, en todas las mezclas probadas fueron mayor que la resistencia de diseño, por lo que se puede decir de que esta propiedad no es muy significativa en el CRFA.

Resistencia a la flexión por tensión (Módulo de ruptura)

Los resultados de la resistencia a la flexión por tensión se muestran en la tabla 6. Se aprecia que a la edad de 7 días los especímenes de concreto con fibra ondulada, los valores de módulo de ruptura son mayores que el concreto simple en un 10 % mientras que para los elaborados con fibra lisa con ganchos los resultados son prácticamente iguales. A la edad de 28 días, se observa que los valores de módulo de ruptura para la fibra ondulada es mayor en un 5 % y para la fibra lisa con ganchos sigue la misma tendencia que a la edad de 7 días. Esto se puede atribuir a la estructura formada en la mezcla por el control del agregado de tamaño máximo utilizado, aunque como se menciona en la literatura, la tendencia debe ser a aumentar el módulo de ruptura con el incremento en la concentración de fibra.

Módulo de elasticidad

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 7. El CRFA tuvo menores valores del módulo de elasticidad que el concreto simple. La diferencia en valores es, en promedio, del 8 % considerando todos los especímenes del concreto con fibras a la edad de 7 días y del 4 % a la edad de 28 días. De acuerdo a los resultados obtenidos, existe una tendencia de que para concentraciones de fibra más altas el módulo de elasticidad del concreto es menor, siendo más significativa en las fibras lisas con ganchos que en la del tipo ondulada. Esto se puede deber a que a mayor concentración de fibras el concreto se vuelve más dúctil, por lo que permite mayor deformación al momento de soportar carga, influyendo con esto en el decremento del módulo de elasticidad.

Relación de *Poisson*

Los resultados se presentan en la tabla 7. En general, no se observa ninguna variación significativa que marque alguna tendencia entre los tipos de fibras y su respectiva concentración para los diferentes especímenes de concreto, incluyendo al concreto sin fibras en ambas edades, los valores de la relación de *Poisson* en general varió de 0.22 a 0.24.

Tabla 6. Resultados promedios de la resistencia a la compresión y módulo de ruptura.

Concentración de Fibra	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)		Módulo de Ruptura (kg/cm ²)	
	7 días	28 días	7 días	28 días
0 (Simple)	308.30	368.58	41.61	50.93
D 20	318.88	349.20	41.54	50.47
D 35	327.81	356.82	39.21	49.85
D 50	316.82	370.83	42.41	53.86
N 20	321.57	359.15	45.13	59.75
N 35	331.71	374.06	46.44	50.48
N 50	326.13	343.23	44.97	49.63

Tabla 7. Resultados promedios del módulo de elasticidad y relación de *Poisson*.

Concentración de Fibra	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)		Relación de <i>Poisson</i>	
	7 días	28 días	7 días	28 días
0 (Simple)	371141.98	374088.13	0.2332	0.2351
D 20	348926.96	375851.91	0.2390	0.2481
D 35	353977.08	386164.22	0.2338	0.2328
D 50	314492.31	368582.08	0.2196	0.2352
N 20	360290.86	387356.90	0.2412	0.2399
N 35	351748.02	368288.68	0.2268	0.2266
N 50	346537.52	361199.34	0.2353	0.2369

Tenacidad

La tenacidad es una medida de la capacidad de absorber energía de un material y se usa para caracterizar la habilidad del material para resistir fractura después de que se ha presentado la primera grieta. En la Figura 3 se presentan las gráficas promedios de las curvas carga-deflexión a la edad de 7 días y en la Figura 4 las obtenidas para 28 días. En ambas se puede apreciar claramente que las fibras lisas con ganchos tienen una mejor tenacidad que las fibras onduladas, demostrando esta aseveración con los resultados obtenidos de los índices de tenacidad y factores de resistencia residual según norma ASTM C 1018, los cuales se muestran en la tabla 8 y 9.

El FT (Factor de Tenacidad) para el concreto con fibras lisas con ganchos, medido por el método Japonés fue 5 veces más grande que el determinado para fibras onduladas, estos valores se muestran en la tabla 10.

El esfuerzo post-agrietamiento de las fibras lisas con ganchos fue de 5 veces mayor que el obtenido para fibras onduladas, los valores promedios se presentan en la tabla 10.

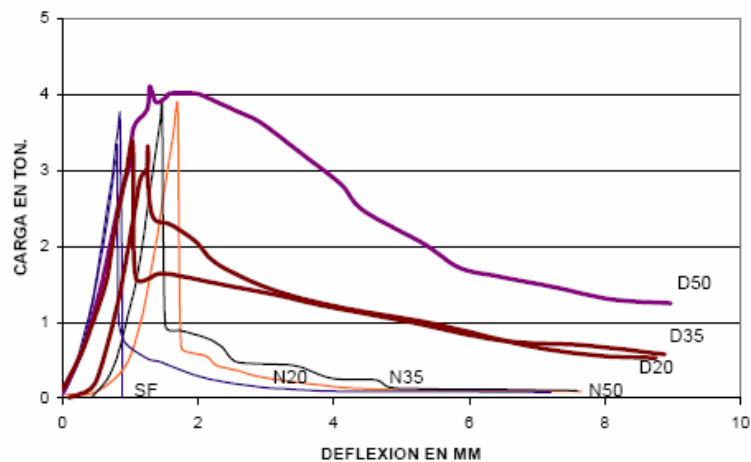


Figura 3. Curva Carga-Deflexión para los diferentes tipos y concentraciones de fibra a la edad de 7 días

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

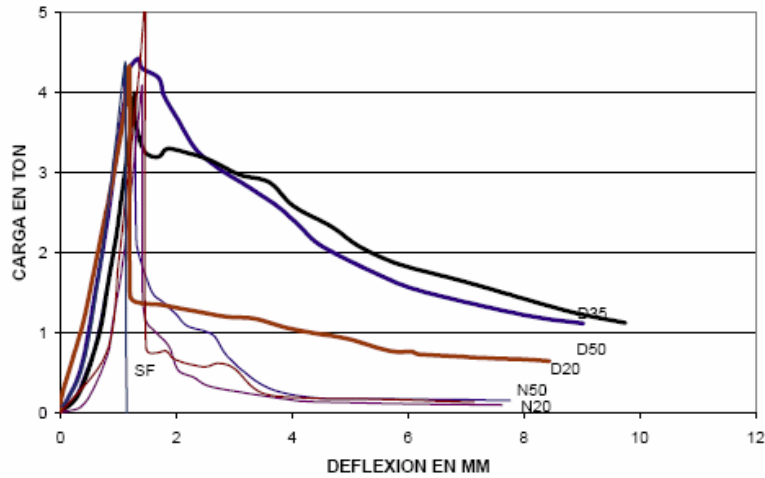


Figura 4. Curva Carga-Deflexión para los diferentes tipos y concentraciones de fibra a la edad de 28 días

Resistencia al impacto

El CRFA tuvo más resistencia al impacto que el concreto simple, tanto a la primera grieta como a la falla total, y, con respecto a los tipos de fibras, la fibra lisa con ganchos tuvo mayor resistencia al impacto que la fibra ondulada con una diferencia relativamente alta, como lo podemos apreciar en la Tabla 11 donde se presentan los valores promedios de dos ensayos realizados para el mismo tipo de fibra y con su respectiva concentración.

Esto implica que el concreto reforzado con fibras lisas tiene una mayor capacidad de absorber energía, medida por este método, que las fibras onduladas, siendo congruentes con los resultados obtenidos por medio de la tenacidad, donde se reflejó el mismo comportamiento.

Tabla 8. Resultados promedios de los Índices de Tenacidad.

Concentración de Fibra	Índice de Tenacidad (I_5)		Índice de Tenacidad (I_{10})		Índice de Tenacidad (I_{20})	
	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días
D 20	2.06	3.04	3.23	4.64	4.74	6.66
D 35	3.65	4.23	6.47	7.24	10.03	10.96
D 50	4.38	4.43	7.40	7.29	10.33	10.63
N 20	1.61	1.81	1.97	2.62	2.42	3.59
N 35	1.80	2.75	2.19	3.57	2.66	4.37
N 50	2.22	2.49	2.93	3.23	3.48	3.96

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Tabla 9. Resultados promedios de los factores de resistencia residual.

Concentración de Fibra	Factor de Resistencia Residual ($R_{\epsilon,10}$)		Factor de Resistencia Residual ($R_{10,20}$)	
	7 días	28 días	7 días	28 días
D 20	23.53	33.40	15.07	20.25
D 35	56.40	60.20	35.57	37.23
D 50	60.40	57.27	29.33	33.43
N 20	7.20	16.27	4.50	9.70
N 35	7.67	16.40	4.70	8.00
N 50	14.20	14.73	5.53	7.27

Tabla 10. Resultados promedios del Factor de Tenacidad y Esfuerzo Post-Agrietamiento.

Concentración de Fibra	Factor de Tenacidad (kg/cm^2)		Esfuerzo Post-Agrietamiento (kg/cm^2)	
	7 días	28 días	7 días	28 días
D 20	10.62	44.55	10.28	41.75
D 35	28.52	49.43	28.63	50.96
D 50	49.50	49.98	54.07	52.15
N 20	5.60	8.03	4.78	5.09
N 35	7.57	8.97	5.74	6.26
N 50	11.60	12.37	9.96	10.41

Tabla 11. Número de Golpes para inducir la primera grieta y la falla.

Concentración de Fibra	Número de Golpes a la	
	Primera grieta	Falla total
0 (Simple)	114.0	116.0
D 20	118.0	188.5
D 35	154.5	284.0
D 50	150.0	303.5
N 20	116.5	129.5
N 35	136.5	150.0
N 50	182.5	215.0

CAPITULO 6

METODOLOGIA DE DISEÑO

6. METODOLOGÍA DE DISEÑO

6.1 INTRODUCCION

El diseño estructural esta basado en gran medida en la capacidad del concreto de transferir cargas por flexión a la subrasante en ausencia de grietas. En este sentido, el diseño se define como el proceso de decisión de planear, medir, detallar y desarrollar especificaciones generales previas a la construcción.

Cualquier losa de concreto esta expuesta y pueden ocurrir fallas provocadas por un exceso de carga, por ejemplo; grietas y alabeos debido a un exceso de esfuerzo a flexión, asentamientos debido a un exceso de presión al suelo y fracturas por efecto de aplicación de grandes esfuerzos por cortante.

La estrategia del diseño de pisos es mantener todos estos factores dentro de los límites de seguridad. Sin embargo las fronteras entre las diferentes consideraciones de diseño a controlar no son exactas y varían de alguna manera dependiendo de muchos factores, incluyendo el espesor de la losa, resistencia del concreto y capacidad de soporte de la base.

En un piso industrial, al igual que cualquier otro elemento estructural, debe ser diseñado tomando en consideración la frecuencia, magnitud y tipo de carga aplicada. Es decir, se deberá contar con la suficiente información que nos permita estimar las condiciones de la losa de concreto durante su vida útil.

6.2 ESFUERZOS DE FLEXIÓN Y FACTORES DE SEGURIDAD.

La flexión es un criterio admisible para el diseño de pisos debido a que se relaciona directamente el comportamiento estructural global del piso bajo cierta condición de carga. Esta resistencia a la flexión también se le conoce como el modulo de ruptura (MR), mientras que la resistencia a compresión se refiere directamente al comportamiento del material, es decir únicamente al concreto. La resistencia a la flexión es proporcional a la resistencia a la compresión y mientras mas grande sea la resistencia a la compresión, mayor también será la resistencia a la flexión y a pesar que existen correlaciones entre una y otra siempre será más recomendable el hacer pruebas de laboratorio para tener la mayor confiabilidad.

Uno de los pasos preliminares en el diseño de espesores de losa es determinar los esfuerzos de flexión que el concreto puede soportar, es decir los esfuerzos de flexión permisibles. El esfuerzo permitido de trabajo se determina dividiendo la resistencia a la flexión del concreto entre un apropiado factor de seguridad.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Los factores de seguridad apropiados para cargas estáticas, ya sea concentradas o distribuidas no están bien establecidos por falta de experiencia o investigación. El diseñador debe de tomar precauciones para ciertas consideraciones de diseño y requerimientos especiales de desempeño y determinar las características de desempeño de la losa bajo condiciones similares de carga.

6.3 METODOS DE DISEÑO.

Existen 5 métodos comúnmente empleados o procedimientos para el diseño de un piso industrial desplantado sobre el suelo.

1. - Método PCA (Portland Cement Association).
- 2.- Método WRI (Wire Reinforcement Institute)
- 3.- Método COE (U.S. Army Corps of Engineers Method)
- 4.- Método PTI (Post-tensioning Institute Method).
- 5.- Método ACI 223 (ACI Committee 223).

Todos los métodos mencionados, prueban ser efectivos cuando se siguen adecuadamente las recomendaciones de diseño. Es por ello, que no debe pasarse por alto las recomendaciones que cada Instituto sugiere al diseñador. La selección de un método en particular, se hará en base de la experiencia y sensibilidad del ingeniero, las condiciones del sitio y las necesidades del proyecto.

Además de los métodos mencionados, existen algunos procedimientos de diseño enfocados a programas de computadora.

La mayoría de los métodos mencionados se basan en la construcción de losas de concreto simple (sin refuerzo); el acero de refuerzo es opcional, en algunos se menciona, pero no resulta del todo claro o es poco practico. Además de esto, cada uno tiene una condición de carga en particular, para lo cual es mas efectiva.

Como lo hemos mencionado el uso del acero de refuerzo en los pisos brinda los medios para controlar el ancho de las grietas de contracción, incluso con porcentajes relativamente pequeños de acero. El método tradicional considera el uso de malla electrosoldada como refuerzo, con espaciamientos entre juntas de 4x4 y 6x6.

Los métodos comúnmente usados para el cálculo de esta área de acero son:

1. Por fricción de la subrasante.
2. Por capacidad confirmada.
3. Por temperatura.
4. Por resistencia equivalente.
5. Por restricción de grietas.

Según lo indicado previamente, los pisos industriales tienen un determinado espesor de la losa dependiendo del procedimiento de diseño. Estos procedimientos dan como resultado un espesor capaz de resistir un determinado momento positivo y

negativo basado en datos de diseño tales como el modulo de reacción, la magnitud y localización de cargas críticas y otros factores. Lo fundamental es que la losa sea capaz de resistir cierto momento interno, ya sea positivo o negativo. En la proximidad de una grieta de contracción esta capacidad se pone en riesgo, si el refuerzo no esta presente.

La distribución del acero en las fibras metálicas, permite absorber de manera más eficiente los esfuerzos de contracción por secado del concreto ya endurecido, así como los esfuerzos generados por cambios de temperatura, disminuyendo así la posibilidad de agrietamientos originados por estos esfuerzos. Así mismo la incorporación de fibras metálicas aumenta el modulo de ruptura del concreto y por ende su capacidad de carga, por lo que en algunas ocasiones puede considerarse como un refuerzo primario al sustituir refuerzo con varilla de acero o malla electrosoldada. Además de permitir una mayor separación entre juntas y una mejor transferencia de cargas a través de las juntas de control, ya que las mantiene mas cerradas eficientando el efecto de trabazón (interlock), que se da entre las secciones de concreto separadas por la junta misma.

Por otro lado, el uso de fibras metálicas elimina prácticamente los costos de mano de obra, de supervisión, y desperdicios de material, asociados con la utilización de sistemas de refuerzo tradicional, donde se requiere una gran cantidad de personal, una buena supervisión y una gran cantidad de tiempo. Es así, que en la construcción de pisos de concreto reforzados con fibras metálicas, el tiempo de ejecución llega a reducirse a más de la mitad en comparación con un piso reforzado con sistemas tradicionales.

6.4 COMPORTAMIENTO TEÓRICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO.

Los concretos, morteros y pastas de cemento tipo Pórtland tienen ciertas limitaciones con respecto al volumen de refuerzo o cantidad de fibras que aceptan. Este hecho al igual que las limitaciones del material deben comprenderse claramente antes de establecer un enfoque teórico racional que pretenda describir el comportamiento de refuerzo.

Las limitaciones principales son:

- Poca deformación unitaria a la falla por tensión (menor de 0.005).
- Las matrices con modulo elástico relativamente elevado, del orden de 250 000 kg/cm², que resulta útil cuando se trata de limitar las deflexiones de elementos estructurales, contribuye poco a la capacidad de carga de las fibras hasta antes de la primera grieta.
- Las matrices aceptan volúmenes de refuerzo reducido; 10% para pastas de cemento, 3 a 4% para morteros y 2% para concretos.
- Adherencia relativamente baja entre matrices y fibras.

Entre los factores que previenen la predicción precisa de las propiedades de materiales compuestos a base de cemento Pórtland, se pueden mencionar las variables que dependen del tiempo como son la adherencia y fricción entre fibras y matrices, el microagrietamiento, la resistencia al cortante, la contracción por secado y las reacciones de hidratación.

Sin embargo existen teorías simplificadas que permiten establecer el orden de magnitud de las mejoras factibles de obtener cuando se añaden fibras al concreto. Una de las mayores dificultades que deben salvarse antes de poder aplicar cualquier procedimiento teórico de análisis es el de establecer el significado del termino “primera grieta”.

Estrictamente el término de “primera grieta” debería aplicarse al estado en que partes microscópicas de la pasta o de la pasta y agregado se separan, pero estas microgrietas pueden ser estables aun en presencia de un sistema de esfuerzos de tensión directa y sin refuerzo. Para fines prácticos, el agrietamiento se considera como un estado intermedio en que las grietas comienzan a propagarse justo antes de que una fisura se haga visible. Este estado se conoce desde el punto de vista del análisis teórico como resistencia ultima de la matriz.

6.5 COMPORTAMIENTO MECANICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

Cuando una pieza de concreto reforzada con fibras es sometida a flexión se observan 2 tipos de comportamiento en la curva de tensión-deformación (fig 1).

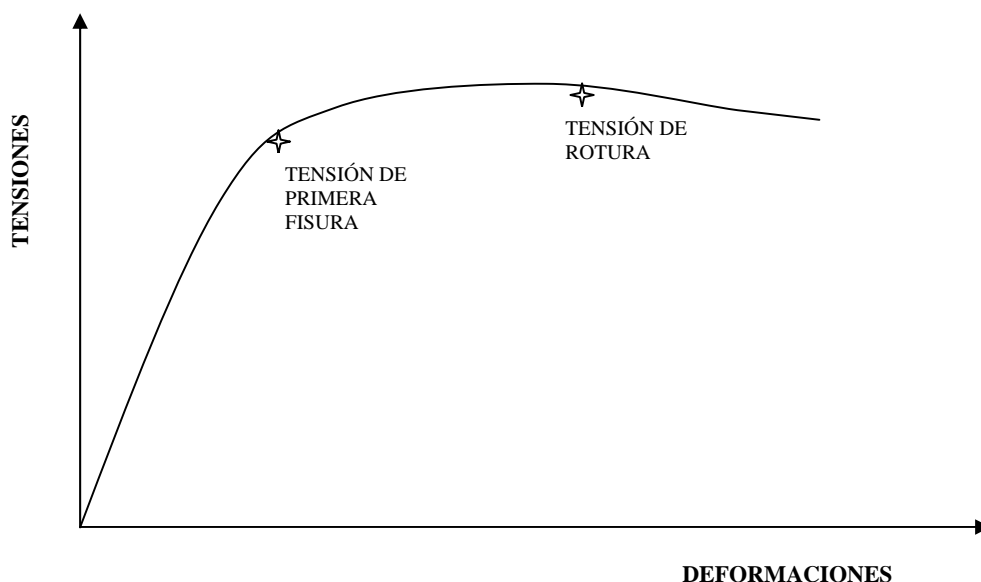


FIGURA 1

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

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

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

Antes de llegar a la tensión de primera fisura se puede suponer un comportamiento elástico, tanto para el concreto como para las fibras, ya que el módulo de elasticidad de las fibras es mayor que el del concreto (10 veces en el caso de las fibras de acero), el incremento del volumen de fibras aumenta el límite elástico del compuesto.

No obstante, este efecto es menor que en el caso de concreto armado convencional para el mismo volumen de acero y fibras uniformemente distribuidas.

Por otra parte, la linealidad hasta alcanzar la primera fisura o límite elástico puede ser perfecta o sufrir desplazamientos si el volumen de fibras es elevado.

Dos mecanismos se han propuesto para la explicación de la tensión de primera fisura. La primera por antigüedad corresponde a Romualdi y Bastón y se basa en la separación de las fibras; la segunda relaciona el límite elástico y el volumen, orientación y aspecto de las fibras.

Romualdi y Bastón emplearon un mecanismo de rotura lineal elástica para demostrar que la resistencia a la primera fisura es inversamente proporcional a la separación entre las fibras para un volumen determinado de estas. El aumento del límite elástico se puede conseguir mediante la adición directa de las fibras a la mezcla. En estos estudios se llegó a la siguiente expresión para la separación entre fibras.

$$S = 13.8 d \sqrt{1/p}$$

Donde:

S = La separación media entre los ejes de las fibras.

d = el diámetro de las fibras.

p = el porcentaje de fibras en volumen.

Las experiencias de Snyder y Lankard utilizando esta expresión pusieron de manifiesto que también influye la longitud de las fibras.

Mckee ha desarrollado otra ecuación ligeramente diferente para la separación entre fibras:

$$S = 3 \sqrt{(V/p)}$$

Donde:

V= El volumen de una fibra.

p = el porcentaje en volumen de fibras.

Estas ecuaciones suponen una distribución geométrica de las fibras, pero cuando están aleatoriamente orientadas y distribuidas el empleo del concepto separación basado únicamente sobre una supuesta distribución geométrica pierde su significado.

Una idea aproximada de la influencia de las fibras en las propiedades elásticas del compuesto se desprende de la siguiente ecuación.

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m$$

Donde:

E_c , E_f y E_m = Los módulos de elasticidad del compuesto, de las fibras y de la matriz.

V_m = La fracción en volumen de la matriz.

V_f = El volumen de fibras.

Esta ecuación solo es valida para mezclas con fibras continuas, comportamiento elástico de los componentes y no deslizamiento entre fibras y matriz. Dado que las fibras tienen longitud finita, puede haber alguna microfisura antes del limite elástico a causa de que ocurra algún fallo de adherencia entre las fibras. Por tanto, esta ecuación es únicamente una solución limite para el modulo de elasticidad y limite elástico en el concreto armado con fibras.

Se han hecho algunos estudios teóricos para predecir la influencia de la orientación de las fibras en las propiedades elásticas del compuesto. El factor de eficacia, que se define como el porcentaje total del volumen de fibras que contribuye en una dirección determinada varía del 17% al 41 y 80%.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Una vez sobrepasado el límite elástico, la curva de tensión – deformación deja de ser lineal alcanzando un máximo en el punto B. El fallo se produce generalmente por arrancamiento de las fibras, sin que estas lleguen a alcanzar su tensión de rotura salvo en aquellos casos en que se mejora la adherencia de las fibras, con lo que algunas pueden llegar a la rotura.

Después de la carga máxima la disminución de tensiones con el incremento de las deformaciones es mucho menor en el concreto armado con fibras que en el convencional, y, por lo tanto, la energía total absorbida antes de la rotura completa de la pieza ensayada es mucho mayor en el concreto de fibras que en uno convencional, dependiendo esta diferencia del volumen de fibras empleado.

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

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

Los factores que tienen mayor influencia en la carga máxima son el porcentaje en volumen de fibras y el aspecto de las mismas. También se ha visto que evitando el fenómeno de segregación el incremento del porcentaje de fibras aumenta de forma más o menos lineal la carga de rotura del concreto. Se ha observado también que por encima de un aspecto de 150 aumenta la carga de rotura.

Slah, Swendra, Rangen y Vijaya proponen la siguiente carga de rotura:

$$\sigma_r = A \sigma_m (1 - V_f) + B V_f L / D$$

Donde:

- σ_r y σ_m = La tensión de rotura del concreto de fibras y de la matriz del concreto.
- L = Longitud de las fibras.
- D = Diámetro de las fibras.
- V_f = Volumen de las fibras.
- A y B = Constantes

El primer término del segundo miembro representa la contribución de la matriz de concreto a la carga máxima. El valor máximo de A es la unidad. La constante de B depende del esfuerzo de ligazón entre las fibras y la matriz y de la aleatoriedad de distribución de las fibras.

Swamy propone los siguientes valores:

- Tensión de primera fisura:
$$\sigma_r = 0.834 \sigma_m (1 - V_f) + 2.00 V_f L / D$$
- Tensión de rotura:
$$\sigma_r = 0.970 \sigma_m (1 - V_f) + 2.00 V_f L / D$$

Hoy en día este grupo de teorías ha desplazado a la de Romuldi y Batson, aceptándose de forma generalizada que la separación de fibras no es un factor determinante en el comportamiento del concreto.

Se define a la tenacidad como la energía absorbida para producir la separación completa de la pieza. Esta representada por el área de la curva de tensión-deformación. También se puede medir mediante ensayos de impacto. La adición de fibras al concreto, por lo que se ha visto, aumenta hasta el doble la tenacidad del concreto. Dependerá de los mismos parámetros que la carga de rotura: orientación de las fibras, volumen y porcentaje de ellas y de su aspecto. Aumenta mucho al mejorar el anclaje de las fibras.

6.6 MEDICION DE PROPIEDADES DE FRACTURA EN CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

La incorporación de fibras al concreto mejora las propiedades mecánicas del mismo, aumentando su ductilidad y la energía de fractura, lo que prolonga la vida útil de la estructura consiguiendo controlar la morfología de la fisuración. Los parámetros fundamentales que permiten evaluar las bondades de la adición de fibras a la matriz de mortero se obtienen mediante ensayos fractomecánicos, que permiten considerar el comportamiento post-pico, registrando la curva de ablandamiento mecánico.

La respuesta mecánica del concreto reforzado con fibras depende, entre otros factores, de las dimensiones y de la cantidad de fibras incorporada a la matriz. La inclusión de fibras de 25 a 50 mm de longitud, en cantidades menores del 2% en volumen, constituye la aplicación mas frecuente en el campo de las estructuras de la ingeniería civil. Con estas cuantías, los cambios más importantes en la respuesta mecánica del material se ponen de manifiesto para deformaciones mayores que la correspondiente a la máxima tensión que puede soportar el material, es decir en la zona de comportamiento post pico. Por esta razón, el estudio de las propiedades mecánicas de estos materiales requiere de ensayos de fractura en régimen de

propagación estable. Mediante este tipo de ensayos es posible cuantificar adecuadamente el comportamiento post pico del material y obtener información objetiva respecto a sus propiedades en fractura y a los parámetros de diseño que son necesarios para el dimensionado y la optimización de las estructuras construidas con estos materiales.

Dependiendo del modelo de fractura de referencia, existen distintas propiedades o parámetros para caracterizar el comportamiento en fractura de un material. En el caso del concreto, uno de los modelos de fractura utilizados con mayor éxito en los últimos años ha sido el modelo de fisura cohesiva, cuyos conceptos más importantes se describen en el siguiente apartado. Si bien el modelo se ha aplicado fundamentalmente al concreto simple, su formulación física y matemática puede extenderse al campo de los concretos con fibras. En el contexto del modelo, una de las propiedades de mayor interés para caracterizar el comportamiento en fractura del material es la energía específica de fractura (G_F). Conceptualmente, G_F es la energía requerida para producir en el material una superficie de fractura unitaria.

6.7 MARCO TEÓRICO: MODELO DE FISURA COHESIVA.

El modelo de fisura cohesiva fue introducido por Hillerborg en la década del '70 y desarrollado por J. Planas y M. Elices, en los últimos años, y es en esencia una extensión del modelo clásico de Barenblatt. Es un modelo macroscópico en donde el plano de fractura (zona de microfisuración y crecimiento de fisuras) se representa mediante una fisura entre cuyas caras se pueden transferir tensiones, tal como se representa esquemáticamente en la figura 1a. A esta fisura se la denomina fisura cohesiva, y la magnitud de las tensiones σ entre sus caras depende de la apertura w a través de una función denominada función o curva de ablandamiento que es una propiedad del material, que se determina experimentalmente y que constituye uno de los datos fundamentales del modelo.

En la figura 1b se muestra una curva de ablandamiento típica para el hormigón simple, sin fibras, donde se puede observar que dos propiedades del material asociadas con dicha curva son la resistencia a la tracción f_T , y la energía específica de fractura G_F , que coincide con el área encerrada bajo la curva. Un parámetro propio del modelo, que se define a partir de las propiedades del material, es la longitud característica l_{ch} , que está directamente relacionada con la fragilidad del material:

$$l_{ch} = E G_F / f_T^2 \quad (1)$$

donde E es el módulo de elasticidad, G_F es la energía específica de fractura y f_T es la resistencia a la tracción del material. Para concretos tradicionales, sin fibras, los valores habituales de l_{ch} varían entre 80 y 600 mm siendo intrínsecamente más frágil el material cuanto más pequeño es el valor de l_{ch} .

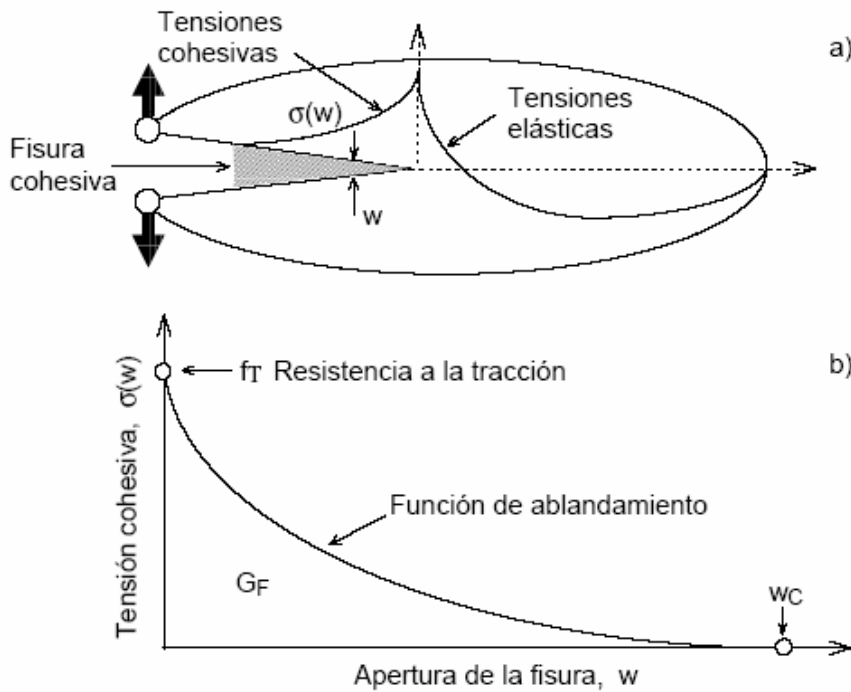
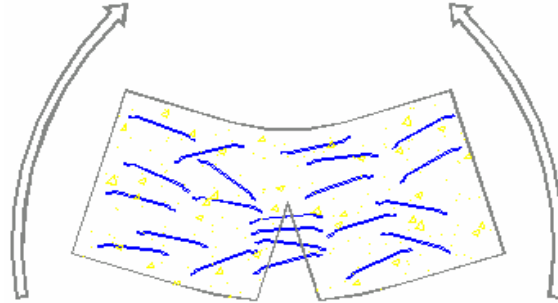


Figura 1: Fisura cohesiva y función de ablandamiento.

Es importante indicar que si bien la curva de ablandamiento es una propiedad macroscópica del material, su forma y los parámetros que la describen dependen fuertemente de los micromecanismos que controlan el proceso de propagación de la fisura. La inclusión de fibras al concreto aumenta notablemente la capacidad del material de transferir tensiones entre las caras de la fisura, mejorando su comportamiento post pico e incrementando la energía específica de fractura. Este cambio en la curva de ablandamiento, reduce significativamente la fragilidad del material.

El incremento de la G_F en el caso de la incorporación de las fibras, se produce como consecuencia de un incremento en la capacidad del material de transferir esfuerzos de tracción en la zona de procesos de fractura. Cuando en la matriz del material se alcanza la tensión de fisuración, y comienza la apertura de las fisuras, las fibras actúan como puentes entre los labios de las mismas transfiriendo tensiones a través de su longitud de anclaje. De esta manera se produce un mecanismo de puenteo o *bridging* que le confiere al material una mayor ductilidad y una mayor capacidad para transferir tensiones durante el proceso de fractura.



En los ensayos se ha podido verificar que la rotura final se produce por arrancamiento y/o rotura de las fibras. En las figuras 3 y 4 se muestran las curvas cargas-desplazamiento obtenidas en los ensayos de fractura estable por flexión en tres puntos y wedge splitting, correspondientes a las probetas de concreto con y sin fibras. En las mismas se puede apreciar claramente la influencia de las fibras durante el comportamiento post pico de la probeta.

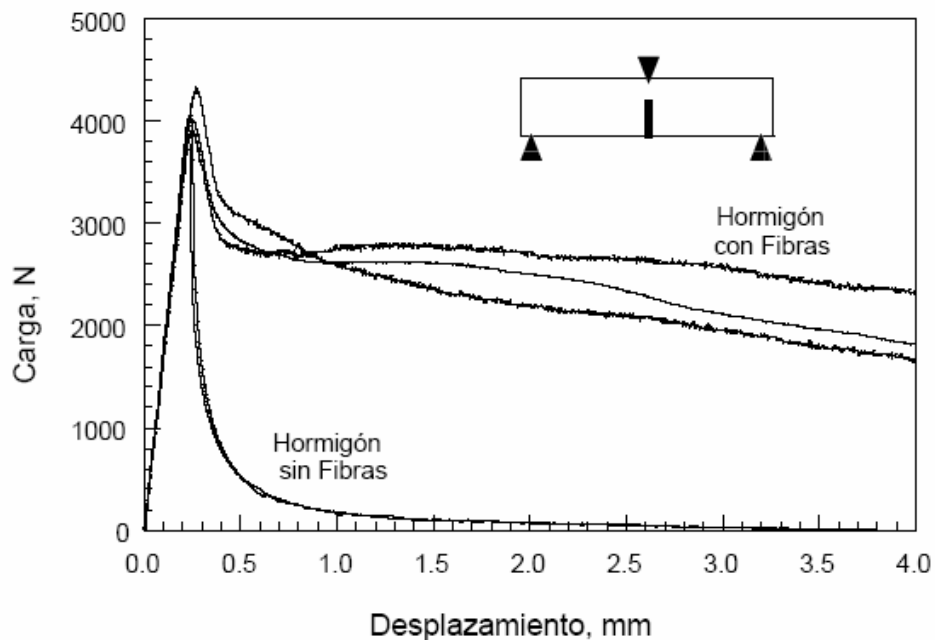


Figura 3. Curva carga- desplazamiento correspondiente a los ensayos de fractura estable por flexión en tres puntos.

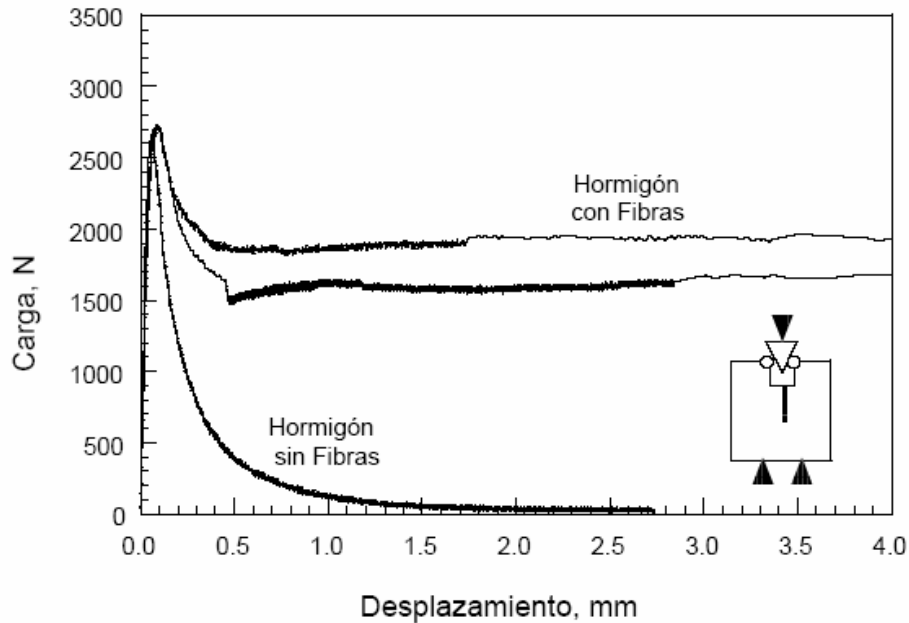


Figura 4. Curva carga de apertura- desplazamiento correspondiente a los ensayos de fractura estable tracción por apertura por cuña.

Si bien la carga máxima es similar para ambos concretos, la capacidad resistente de las probetas en la etapa de fractura o de ablandamiento, se incrementa notablemente en el concreto con fibras aumentando significativamente el trabajo consumido durante el proceso de fractura.

Es importante destacar también que si bien en los dos ensayos de fractura realizados la geometría y las condiciones de contorno de las probetas son muy diferentes, las curvas obtenidas en ambos ensayos reflejan de igual manera el efecto de la incorporación de las fibras sobre el comportamiento en fractura del material.



CAPITULO 7

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

7. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

7.1 INTRODUCCIÓN

Una palabra encierra el secreto del éxito cuando se trabaja con el concreto: consistencia. Para obtener los mejores resultados, es importante tener el mismo nivel de cuidado durante cada etapa del proceso, desde el diseño de los detalles, la preparación de la plataforma de desplante (base de soporte para la losa, usualmente de suelo o grava compactada), la colocación del concreto, así como el acabado y su curado.

En la mezcla del concreto con las fibras habrá que conseguir una dispersión uniforme de las fibras en la matriz y evitar el apilamiento de estas. La segregación y el apilamiento de las fibras se debe a diversas causas: aspecto de las fibras, porcentaje en volumen de las mismas, cantidad y tamaño del agregado grueso, relación agua / cemento y método de mezclado. Al aumentar el aspecto, el porcentaje de fibras y el tamaño y cantidad del agregado grueso aumenta la tendencia al apilamiento.

Para conseguir un mezclado uniforme el aspecto no debe ser mayor de 100. La longitud parece no tener importancia. La manejabilidad de la mezcla y el pequeño espaciado entre fibras requerido aconsejan no emplear agregados de tamaño superior a 10 mm.

La plasticidad de la mezcla es importante para asegurar la adecuada dispersión de las fibras. La experiencia aconseja la utilización de relaciones agua / cemento de 0.4 a 0.6 con clasificaciones de cemento altas y mayor proporción de finos que en concreto convencional para cubrir la gran superficie específica de las fibras. Se han venido utilizando con éxito aditivos como plastificantes, aireadores y controladores de la retracción.

El tiempo de mezclado es el mismo que en concretos convencionales. Los mejores resultados se han obtenido mediante el mezclado previo del agregado con las fibras, siguiendo después el proceso tradicional. También se puede realizar introduciendo las fibras en una mezcla de agua y agregados e introduciendo el cemento y el agua posteriormente. Los problemas de mezclado de las fibras de acero conformadas se han resuelto introduciendo las fibras encoladas en peines. Con ello se consigue que el aspecto al introducirlas sea el del grupo de fibras, que no sobrepasa un valor de 20, y no el de las fibras aisladas, que es mucho mayor, aumentando mucho la trabajabilidad. El pegamento se disuelve y las fibras se dispersan uniformemente durante el mezclado.

7.2 DISEÑO Y MEZCLADO.

Conforme se desarrolla el campo de la tecnología del concreto reforzado con fibras, se acerca el momento en que el ingeniero deberá contar con los criterios y parámetros de diseño de mezclas, simples y rápidas de aplicar, de manera que pueda aprovechar al máximo las propiedades físicas y mecánicas que hacen atractivo el uso del material en la construcción de obras de ingeniería o en la fabricación de elementos de concreto.

Una de las primeras dificultades que enfrenta el técnico que trata de incorporar fibras a una mezcla de concreto, proporcionada de manera convencional y con agregados de tamaño máximo superior a 10 mm es la falta de uniformidad en el mezclado y compactación deficiente, esto tiene por consecuencia que el concreto reforzado con fibras se deseché por dificultades de producción. Afortunadamente la experiencia ganada en este campo ha permitido desarrollar varios métodos de diseño de mezclas que aceptaran fácilmente una cantidad suficiente de fibras, del tipo apropiado, como para lograr una comparación aceptable y que en estado endurecido exhibirán las propiedades mecánicas que hacen al concreto reforzado con fibras, el material atractivo para resolver ciertos problemas constructivos.

La mayoría de los métodos de diseño esta relacionada con las propiedades de trabajabilidad, facilidad de mezclado y compactación que deben reunir las mezclas de concreto reforzado con fibras para satisfacer las necesidades de una aplicación en particular.

Esto implica que los procedimientos de diseño de mezclas en realidad son recomendaciones y que para cada caso será necesario realizar una serie de mezclas de prueba, que irán ajustándose a los requerimientos que irán ajustándose a los requisitos de la obra, equipo y procedimiento constructivo que se empleen.

Se dice que los métodos de diseño son en realidad recomendaciones porque diseñar en función de la trabajabilidad implica que este parámetro es perfectamente determinable para mezclas de concreto con fibras, sin embargo las 3 pruebas de laboratorio, que comúnmente se emplean para medir la trabajabilidad del concreto, tales como revenimiento, factor de compactación y la prueba de remoldeo, no son tan precisas en el caso de concreto con fibras.

La prueba de revenimiento tiene posibilidades de ser un control solo en el caso de que la mezcla de concreto tenga una medida de revenimiento superior a 10 cm antes de colocar las fibras o en el caso de que se emplean aditivos inclusores de aire y/o reductores de agua. Pero en el caso de concretos de alta resistencia, tienden a tener una medida de revenimiento próximo a cero, y esto no significa que la mezcla de concreto con fibras se pueda colocar y compactar adecuadamente.

En el caso de concreto con fibras como en el del normal, la mejor manera de lograr la trabajabilidad adecuada a las necesidades particulares de una obra, es mediante la ejecución de mezclas de prueba que permitan llegar al diseño óptimo.

7.3 COLOCACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON FIBRAS.

Debido a que el trabajo esta enfocado al concreto reforzado con fibras metálicas, solo se mencionaran las recomendaciones existentes para este tipo de fibras, aunque muchas de estas son aplicables a otro tipo de fibras como son fibras de plásticos y vidrio.

En general, las fibras producen una perdida considerable de trabajabilidad, por lo que las mezclas requieren mas vibración para hacerlas fluir y consolidarlas adecuadamente dentro de las cimbras.

El uso de vibradores de inmersión es aceptable cuando se controla de manera que prevenga la segregación de fibras, sin embargo debe preferirse la vibración externa y la superficial. La naturaleza fibrosa de la mezcla dificulta el uso de palas y azadones por lo que el manejo para extender o repartir las mezclas conviene hacerlo mediante rastrillos. El reglado de superficies se puede hacer con reglas de madera, aunque es preferible que lleven un vibrador montado.

El pulido de superficies puede hacerse manualmente con llanas metálicas o tubos, pero es más recomendable el empleo de llanas motorizadas y rotatorias que prevengan el desprendimiento de las fibras superficiales.

El curado de este tipo de concreto debe hacerse de manera similar al del concreto normal a fin de evitar agrietamientos prematuros por contracción o secado brusco que disminuya la eficiencia de las fibras como refuerzo.

El concreto con fibras adquiere resistencia en función del tiempo como sucede con el concreto normal, por lo mismo tiene poca resistencia a edades tempranas y puede presentar agrietamiento que interrumpe la continuidad del material y disminuye la eficiencia de las fibras por perdida de adherencia, por lo tanto deben prevenirse las causas de agrietamiento brusco y/o temprano, choque térmico por descimbrado, curado deficiente y secado rápido de superficies.

Las pruebas estándar de control de calidad para concreto normal tales como revenimiento, contenido de aire y peso volumétrico también se emplean como índice de calidad del concreto reforzado con fibras, sin embargo, debido a la naturaleza de este material y a la diferencia de propiedades reologicas no son igualmente aplicables, por lo que las medidas que se obtienen pueden conducir a errores.

La colocación del concreto reforzado con fibras dentro de cimbras o moldes no difiere mucho de los procedimientos normalmente empleados para colocar mezclas de concreto simple. Cuando se emplea equipo de bombeo, se recomienda que la tubería tenga un diámetro de 13.5 a 15 cm, y que el volumen de fibras no exceda el 1.5% del volumen total de la mezcla.

7.4 PREPARACIÓN DE LA BASE.

Si la plataforma de desplante se asienta después de haber colado la losa, se aumentará la posibilidad de un agrietamiento. Esto puede parecer obvio, pero es en realidad la causa de muchos problemas. Varias cosas pueden contribuir al asentamiento del substrato de soporte, pero las dos principales son tener suelos con diferentes capacidades de carga en el área de la losa y tener una compactación insuficiente de la plataforma de desplante.

Asegúrese siempre de que el suelo usado bajo la losa esté libre de tierra vegetal o cualquier otra materia orgánica. Si usted tiene alguna duda sobre la capacidad de carga del suelo, consulte al departamento de construcción local o a otros contratistas de la zona. Si todavía no está seguro, realice pruebas de laboratorio para el suelo. El precio que pagará por el análisis del suelo y por una prueba de compactación, no se compara con el problema (y los gastos) de tener que regresar para arreglar una cimentación que falló.

Asegúrese de que el suelo esté compactado uniformemente y en una forma debida. Pase un pisón de placa o una plancha (plate tamper) o un compactador de impacto (jumping-jack compactor) repetidamente sobre la plataforma de desplante, hasta que deje una marca de impresión mínima después de cada pasada. Compacte la tierra únicamente en capas no mayores a seis o diez pulgadas. Si trata usted de compactar capas más gruesas, la superficie lucirá bien pero el suelo debajo de ella quedará sin compactar y se asentará con el tiempo. También, es crítico comprobar la uniformidad de la capacidad de carga de la plataforma de desplante, de modo que la losa se apoye uniformemente sobre ésta.

El contenido de humedad óptimo se encuentra únicamente dentro de un rango pequeño y bien definido. Por eso, aún cuando sea necesario añadir agua a suelos muy secos durante la compactación, cuide bien de no añadir demasiada agua. Si nota que el suelo está saturado de agua cerca del área que está compactando, deténgase y corrija esta condición. En este caso, sus opciones son limitadas: Usted puede esperar a que el suelo se seque o bien puede retirar el suelo saturado de agua y reemplazarlo con material seco.

Las superficies de la plataforma de desplante deben quedar planas. Visualice la losa volteada al revés (de cabeza). Las dos caras deben ser igualmente planas. Para ello, el suelo tiene que aplanarse al mismo nivel a todo lo largo y ancho de la losa. La superficie de desplante debe estar nivelada dentro de una tolerancia de 1/2 pulgada. En las partes donde el nivel de la plataforma de desplante no sea uniforme, el espesor de la losa variará. El resultado será un fraguado desigual y bajo tensión; aumentará la posibilidad de una grieta.

Plataforma De Desplante / Subgrade. Es la base de soporte sobre la cual se vacía o cuela la losa de concreto. Normalmente se forma con suelo o grava compactada. Su correcta compactación reduce los asentamientos de la losa después

del colado. Una plataforma o base de desplante que se asienta causará agrietamientos en la losa.

7.5 FABRICACION.

El amasado es una fase crítica en la consecución de los concretos reforzados con fibras de acero (CRFA). Hasta hace pocos años, la adición de fibras a la mezcla planteaba serios problemas; la formación de erizos hacía que el proceso productivo fuese lento y antieconómico. Estos problemas se han ido solucionando con la utilización de fibras y dosificaciones adecuadas (capítulos 2 y 3), si bien es indispensable cuidar el proceso de amasado.

La fabricación de este tipo de concretos se puede llevar a cabo mediante diferentes métodos, pudiendo utilizarse para ello mezcladoras convencionales sin ningún tipo de adaptación. La elección del método depende de numerosos factores, como son el tipo de trabajo, el tipo y contenido de adiciones (cenizas volantes, humo de sílice, etc.), los recursos disponibles (concretos fabricados en central o in situ) o el sistema de colocación (concreto bombeado, concreto proyectado, etc.).

Por lo que respecta a los procesos de fabricación de los CRFA, básicamente se siguen los mismos criterios que habitualmente se emplean para la elaboración de concretos convencionales, debiendo, no obstante, considerar a estos efectos las fibras como un "árido" más. Como norma general, es conveniente añadir el agua al final del proceso de mezcla. Ahora bien, en ocasiones son las fibras las últimas que se incorporan a la masa, en cuyo caso es necesario prolongar el tiempo de amasado para garantizar su correcta distribución, lo cual, a su vez, incrementa el riesgo de formación de erizos.

No obstante, esto puede controlarse si se reduce artificialmente la esbeltez de las fibras mediante el encolado de las mismas en paquetes. Por otro lado, también es recomendable añadir el aditivo superplastificante al agua de amasado, pues así se favorece su dispersión homogénea en la masa.

En cuanto a la incorporación de las fibras a la mezcla, existen básicamente dos procedimientos, según se realice la adición en una planta de concreto o en obra.

a) Adición de las fibras en una planta de concreto.

Tanto para fibras sueltas como encoladas se siguen los procesos tradicionales de amasado teniendo en cuenta, como ya se ha señalado anteriormente, que las fibras actúan como un árido más y, por lo tanto, que se deben incorporar junto con los áridos. En el caso particular de utilización de fibras sueltas hay que tomar las precauciones necesarias para evitar la formación de erizos garantizando una buena distribución de las fibras durante el proceso de adición.

b) Adición de las fibras en obra.

Es aconsejable que las fibras se introduzcan con los áridos en la concreteira. Sin embargo, si por necesidades de obra la incorporación se hace en el camión, hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. El concreto debe ser fluido. El camino que tienen que recorrer las fibras desde la boca hasta el fondo de la cuba debe ser fácil.
2. Al añadir las fibras hay que prever una reducción de la docilidad que, dependiendo del volumen, se traduce en una reducción del cono de Abrams que suele oscilar entre 2 y 4 cm.
3. El vertido de las fibras se debe hacer lentamente (aproximadamente entre 20 y 60 Kg. por minuto), haciendo girar la cuba a su máxima velocidad hasta garantizar una distribución homogénea de las fibras dentro de la masa de concreto.
4. Es recomendable que la carga no exceda de los 2/3 de la capacidad de la mezcladora.

7.6 TRANSPORTE Y PUESTA EN OBRA

7.6.1. TRANSPORTE

El transporte de los CRFA se puede realizar con los medios y equipos tradicionales, teniendo en cuenta la limitación de carga indicada anteriormente.

Calcule el volumen exacto de concreto requerido y luego añada un 10% como reserva por si acaso. Si su cálculo queda corto, tendrá que pedir un poco más de concreto. No sólo perderá tiempo sino que posiblemente se generarán grietas donde se une el concreto que llegó más tarde con el de la primera mezcla vaciada. Cerciórese de que su proveedor de concreto cuente con el número de camiones mezcladores necesarios para su proyecto sin que tenga que esperar más de una hora entre entregas. Una demora excesiva puede resultar en lo que se denomina una "carga caliente". Si la mezcla sale caliente del canalón del camión de concreto, no la acepte. Regrésela.

El contenido de agua correcto es uno de los elementos más importantes para un concreto de buena calidad. El agregar agua al concreto para que fluya mejor es muy malo porque baja su resistencia. La mezcla para losas no debe tener un revenimiento (slump) mayor que 3 ó 4 pulgadas. Si se necesita una fluidez más uniforme, añada un aditivo súper fluidificante, el cual aumentará el revenimiento del concreto para tenerlo entre 6 y 8 pulgadas sin debilitar la resistencia de la mezcla.

7.6.2 VERTIDO Y COLOCACIÓN

La descarga de los camiones se realiza generalmente con facilidad. Ahora bien, en el caso de consistencias muy secas y cuando la colocación en obra se realiza mediante tolvas, la descarga puede resultar algo más complicada, siendo por ello recomendable que el diámetro de la boca de descarga de la cubeta sea al menos de 30 cm de diámetro. Para facilitar aún más el vertido, algunas normas apuntan incluso la posibilidad de acoplar un vibrador a las paredes de la tolva.

Antes de estar completamente fraguado, el concreto es en realidad un material delicado. La manera en que usted lo trate durante su colocación es crucial para su éxito. Para evitar la segregación del agregado de la mezcla, nunca deje que el concreto caiga desde una altura mayor de 2 m desde el canalón de descarga o de la boca de la manguera si es bombeado. Utilice herramientas adecuadas para concreto (no use rastrillos de acero), y no arrastre ni vibre el concreto para que ocupe su lugar. Si el suelo está particularmente seco o si está trabajando en un clima caluroso y con viento, usted debe mojar la capa de desplante, pero solamente lo necesario, sin que se vuelva lodo o quede agua encima. En condiciones de frío, no coloque el concreto sobre tierra congelada.

Asegúrese de tener en la obra suficientes trabajadores para mantener la continuidad de la colocación del concreto. Si el colado de una losa tarda demasiado, el primer concreto vaciado empezará a endurecerse mucho antes que el vaciado al último. Esto hace difícil el acabado de la losa en un proceso continuo.

La puesta en obra de los HRFA debe realizarse de modo que no precise transporte adicional. Por otro lado, el colado o tiro debe interrumpirse lo menos posible, dado que las juntas así originadas podrían suponer una pérdida importante de continuidad.

7.6.3. COMPACTACIÓN

La compactación debe realizarse de manera que se reduzcan los huecos y se obtenga un correcto cerrado de la masa, sin que se llegue a producir segregación. Una buena compactación da lugar a superficies continuas y a una mayor calidad de los acabados, eliminando la casi totalidad de las fibras presentes en la superficie (5.6).

En general, las mezclas de HRFA tienden a ser de consistencia más seca; el uso de fibras de acero disminuye la docilidad del concreto, por lo que se requiere una mayor energía para compactar el material. En este sentido, y dada la resistencia a la penetración que presentan las fibras, es necesario utilizar el vibrador como medio de compactación, no siendo recomendable el picado con barra.

Ahora bien, tal y como se aprecia en la Figura 4.3, para un mismo asiento en el cono de Abrams, la docilidad de un HRFA es mayor que la de un concreto convencional, por lo que se requiere un menor tiempo de vibrado. En definitiva,

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

mezclas que aparentemente son secas, si se las vibra, se transforman en una masa fluida que se compacta perfectamente. Es decir, la rigidez adicional que aportan las fibras, según el cono de Abrams, se reduce en gran medida por vibrado.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que a partir de determinados valores del asiento, la adición de agua no mejora la trabajabilidad del concreto y, por tanto, no reduce los tiempos de vibrado. Al igual que sucede con los concretos convencionales, un aumento de la relación agua / cemento se traduce en un aumento de la porosidad y en una pérdida de resistencia.

La eficacia del vibrador depende de su frecuencia y de su amplitud, recomendándose los de baja amplitud y frecuencia superior a 6.000 c.p.m. para los CRFA.

Durante el proceso de puesta en obra y compactación se produce una distribución anisotrópica de las fibras, que modifica las propiedades mecánicas del concreto, especialmente cuando se trabaja con piezas de poca sección y fibras muy largas.

En este sentido, cabe destacar el denominado efecto pared mediante el cual las fibras más próximas al encofrado tienden a orientarse paralelamente a las caras del molde, disminuyendo además su número en esas zonas.

El alineamiento de las fibras siguiendo la dirección de las paredes del molde es tanto mayor cuanto más elevada resulta la relación entre la longitud de la fibra y el lado del encofrado.

Por otro lado, las fibras tienden también a orientarse a lo largo del vibrador, cuando éste es interno. En efecto, este sistema de compactación puede provocar distribuciones circulares de las fibras alrededor del vibrador y dar lugar a contenidos de fibras distintos entre puntos próximos de la masa.

En definitiva, la distribución y alineamiento de las fibras dependen de su geometría, del tipo de vibrado y de la consistencia de la mezcla. Así, para consistencias secas la distribución de las fibras tiende a mantenerse uniforme tras el vibrado y, sin embargo, para consistencias fluidas éstas tienden a agruparse.

En general, hay que señalar que los vibradores externos, especialmente las reglas vibrantes, son más recomendables, ya que producen una distribución más uniforme de las fibras según planos horizontales.

El uso de vibradores internos resulta menos aconsejable, sobre todo cuando se trabaja con piezas de pequeña dimensión. Así, por ejemplo, en el caso particular de las probetas de control, la dispersión de los resultados de ensayo puede ser grande y especialmente significativa en los ensayos de tracción o flexotracción y no tanto en los de compresión.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Al igual que para concretos convencionales, deben evitarse los tiempos de vibrado prolongados ya que pueden dar lugar a fenómenos de exudación. El proceso de compactación debe prolongarse únicamente hasta que comience a refluir la pasta a la superficie.

7.7 ACABADO DE LAS SUPERFICIES.

El concreto debe ser colocado y terminado, por personal con experiencia y habilidad en la construcción de pisos de concreto. El acabado superficial en el concreto requiere de los tres pasos siguientes:

1. Colocación y extendido del concreto, compactación y nivelación de la superficie de concreto enrasado o perfilado con el uso de herramienta manual o de regla vibratoria.
2. Consolidación y acabado de la superficie mediante el flotado, seguido por el corte de puntos altos y relleno de puntos bajos (corrección de planicidad).
3. Compactación final y pulido mediante llanas manuales de acero o allanadoras mecánicas (helicópteros).

De todas las operaciones de colocación y acabado del concreto, el reglado es la operación que contribuye de manera más importante en la obtención del nivel deseado. La estabilidad de la cimbra o de las guías de la regla, tiene un impacto directo en la precisión del reglado. Consecuentemente, se deberá tener cuidado en elegir el sistema de cimbras y el método de reglado, que mejor correspondan a las tolerancias especificadas, del nivel final del piso.

Las cimbras generalmente están construidas de madera o de metal. El espaciamiento entre cimbras y el soporte proporcionado por ellas, influirá en la precisión de la operación de reglado.

El ancho de las franjas generalmente varía entre 3 y 5 metros, sin embargo, varía principalmente por depender en parte de la separación de los ejes de las columnas. Generalmente las franjas de un mismo proyecto, tendrán anchos iguales y además se deberá buscar que tengan bordes que coincidan con los ejes de las columnas.

Básicamente, el acabado de los CRFA se puede realizar aplicando las mismas técnicas empleadas con los concretos convencionales. Las caras, tanto de acabado como de contacto con los encofrados, presentan superficies bastante regulares, con pocas o ninguna fibra visible.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Las zonas más conflictivas son las aristas y las esquinas, debiéndose, si es factible, achaflanarlas o redondearlas. De esta forma, se reduce el número de fibras que tienden a aflorar a la superficie y que resultan antiestéticas y potencialmente peligrosas.

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

En el caso de grandes superficies, se obtienen igualmente buenos resultados utilizando reglas metálicas, tubos flotantes en pavimentadoras o "helicópteros". No obstante, los mejores acabados en elementos superficiales se obtienen con el uso de reglas vibrantes, las cuales deben ser preferiblemente metálicas y tener los bordes ligeramente redondeados.

Cerciórese de nivelar y flotar el concreto conforme lo vaya colocando, pero no realice el acabado hasta que desaparezca de la superficie el agua del sangrado del concreto. Ésta es el agua que se desplaza "exprimida" a la superficie del concreto cuando se flotea o aplana. Si esta agua es forzada nuevamente dentro del concreto durante el acabado, se debilitará su superficie. Por la misma razón, no permita que las personas encargadas del acabado añadan agua para facilitar su trabajo.

Es esencial un flujo de trabajo interrumpido, organizado y sincronizado. Trabaje con una llana de mano en el perímetro a lo largo de los muros y alrededor de los obstáculos mientras se vacía el concreto.

El tiempo de espera se puede reducir o eliminar mediante el uso de técnicas de eliminación de agua. Ninguna operación posterior deberá hacerse sino hasta que el concreto pueda soportar la presión del pie produciendo una huella de 6 mm de profundidad.

Existen tres acabados básicos en la superficie de una losa de concreto: regleado, flotado y allanado.

- **El acabado regleado**, involucra la menor cantidad de trabajo. Inmediatamente después de la consolidación, el concreto excedente es removido en la superficie por un proceso de regleado. Este acabado no es usado para el caso de pisos industriales, sin embargo, si lo es para otro gran número de pisos de concreto en donde no es tan importante el control de la superficie de concreto terminada.

- **El acabado flotado**, es empleado normalmente en losas exteriores. Después de regleada la superficie, el concreto empieza a endurecerse y el agua de sangrado a evaporarse. En este punto, empieza el flotado. El flotado implica trabajar la superficie solamente lo necesario para dejar una superficie nivelada, uniforme en textura y libre de huellas del regleado o pisadas. En

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

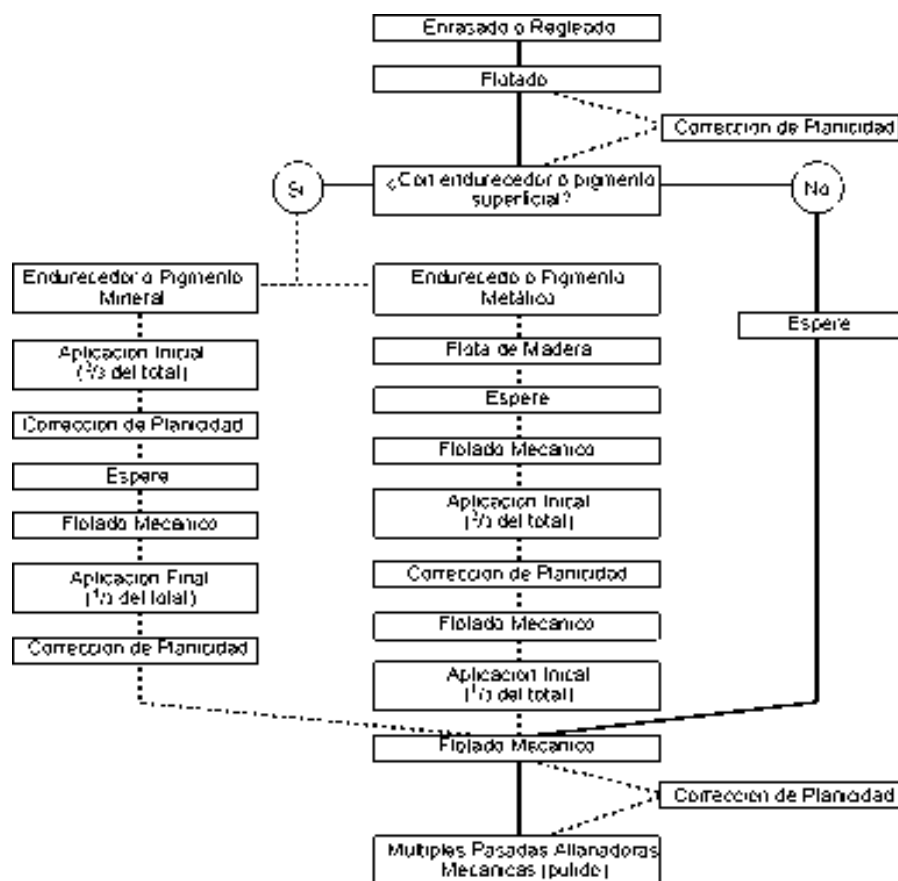
caso de que la losa tenga un acabado pulido o escobillado, el flotado deberá dejar una pequeña cantidad de pasta en la superficie, así como tampoco deberá haber exceso de agua.

• **El acabado pulido**, es el empleado para losas de pisos industriales. El pulido mejora la apariencia estética de la superficie y logra una superficie más fuerte, con mayor resistencia a la abrasión y más fácil de limpiar.

Para hacer el proceso de pulido en el tiempo correcto dentro de proceso constructivo, se deben cumplir 2 condiciones básicas:

* La película de agua de sangrado deberá haberse evaporado ya de la superficie flotada.

* El concreto debe haber endurecido lo suficiente para prevenir que el proceso de pulido no saque de la superficie un exceso de material fino y agua.



Fuente ACI 302, Guide for Concrete Floor and Slab Construction.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que una acción de acabado muy prolongada puede dar lugar a un exceso de finos en la superficie y, por tanto, a una fisuración superficial, o afogado, tras el proceso de curado.

Diferentes procedimientos de acabado se deberán realizar secuencialmente, dentro del periodo de tiempo adecuado, determinado por el proceso de endurecimiento del concreto.

Este periodo se conoce como la “ventana de terminabilidad” y se refiere al tiempo disponible para que se realicen las operaciones de acabado después de que el concreto ha sido vaciado, consolidado y dispuesto. Si el concreto se coloca durante un periodo de rápido endurecimiento, la ventana de terminabilidad, será muy estrecha y se podrán presentar problemas en el concreto.



7.8 CURADO.

El curado puede llevarse a cabo por inmersión o riego directo, que no produzca deslavado del material, cubriendo las superficies con láminas plásticas impermeables o aplicando productos de curado.

En caso de que, por cualquier motivo, el curado del concreto no se puede realizar inmediatamente después de su puesta en obra, se puede pulverizar un poco de agua sobre la superficie para garantizar un contenido de humedad adecuado hasta que se pueda aplicar finalmente el producto de curado.

Atendiendo a lo señalado en los capítulos anteriores, en el caso particular de los HRFA conviene destacar que:

- En muchas de las aplicaciones de este material, el área superficial de los elementos es muy elevada, por lo que deben extremarse los trabajos de curado para evitar pérdidas rápidas e importantes de agua.

- Las principales ventajas que se obtienen con la adición de fibras están directamente relacionadas con el incremento de la tenacidad, característica particularmente sensible a un mal curado.

No se olvide de cuidar la etapa del fraguado. Al principio, la temperatura del concreto subirá rápidamente, llegará a su punto máximo y luego empezará a bajar. Este proceso crea muchas tensiones en una losa nueva y puede causar fallas. Un fraguado húmedo logra que la losa no se seque muy rápidamente durante este proceso. Cubra la losa fresca con una manta o lona absorbente, inmediatamente después del acabado. Mantenga la humedad con un aspersor de riego al menos por tres días (lo ideal es siete días), o cubra la losa con una capa de plástico. El fraguado húmedo garantizará un proceso uniforme y controlado. En condiciones de frío, asegúrese de proteger el concreto aún fresco de la congelación.

7.9 COLOCACIÓN DE LAS JUNTAS.

La forma de la losa influye mucho en la formación de grietas. Una esquina interior, por ejemplo, es un punto de presión y, en cuanto al concreto se refiere, es lugar ideal para agrietarse. Trate de dividir su losa en cuadros simétricos utilizando juntas de contracción (también conocidas como juntas de control) en lugar de crear formas irregulares con muchas esquinas entrantes (lugares donde las grietas son propensas a empezar). Las juntas de contracción se pueden hacer con herramientas manuales justo después que el agua del sangrado del concreto se ha secado de la superficie. Córtelas con un serrucho inmediatamente después de terminar el acabado de la superficie o, fórmelas en el concreto fresco con alguno de los materiales de plástico o metal especialmente diseñados para juntas.

Sin importar cómo las haga, todas las juntas de contracción o control funcionan de la misma manera, creando intencionalmente un punto débil en la losa. El inevitable esfuerzo de la contracción (como resultado del secado o de los cambios de temperatura) se remedia de manera controlada y anticipada. Una junta de contracción debe ser de un cuarto del espesor de la losa, o de una pulgada de profundidad en una losa de 4 pulgadas. Si es menor, es posible que deje de funcionar apropiadamente, y si se sobrepasa, debilitará la losa innecesariamente, arriesgándose además el tener un desplazamiento vertical del concreto en caso de que se mueva la capa de asiento.

Cuando vaya a situar las juntas en una losa, tenga presente que los cuadros son mejores que los rectángulos. También, cuando ubique las juntas de contracción en una losa residencial típica con espesor de 10 cm., es razonable tener un intervalo de 2.5 a 4 m entre las juntas. En condiciones ideales, es posible tener un espaciamiento entre juntas de unos 5-6 m.

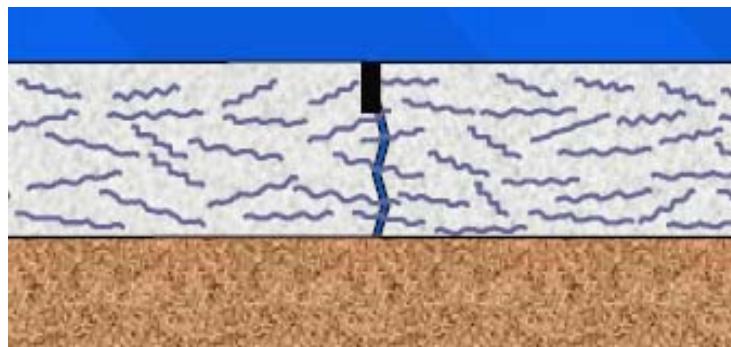
PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Si hay muros de cimentación alrededor de la losa, es preciso poner juntas de dilatación (también conocidas como juntas de separación) alrededor del perímetro interior de la cimentación, para que la losa se mueva independientemente del muro. Lo mismo sucede con las columnas estructurales. Si están dentro del área de la losa, deben rodearse de juntas de dilatación. Las juntas de dilatación residenciales se hacen a menudo con tiras de tableros de fibra de 1/2 pulgada de espesor. Recuerde también que la losa debe aislarse de las zapatas de cimentación. Cuando se usa arena o fieltro del número 15 entre la losa y las zapatas, dicho material funciona como frontera de separación.

TIPOS DE JUNTAS

Junta De Contracción / Contraction Joint. También llamadas juntas de control, se colocan en la superficie de la losa para permitir que cuando el concreto se contraiga durante su secado, la losa se agriete en ubicaciones controladas. Estas juntas de control se forman cuando el concreto está siendo colado, o bien se cortan sobre la losa después de su fraguado.

Junta De Expansión / Expansion Joint. Son separaciones creadas entre las orillas de una losa de concreto y los elementos inmediatos como paredes, contratrabes y zapatas, muros de cimentación o columnas estructurales. Las juntas de expansión permiten que la losa se expanda sin agrietarse. Para hacer estas juntas, se utilizan tiras de espuma y otros materiales comprimibles.



Inducción de una grieta por medio de una junta de contracción.

CAPITULO 8

USO DE CONCRETO FIBROREFORZADO

8. USO DE CONCRETO FIBROREFORZADO.

8.1 INTRODUCCION.

La experiencia que tiene nuestro país en el campo de los concretos reforzados con fibra de acero (CRFA) es relativamente nueva, aplicada principalmente en la construcción de pisos industriales; sin embargo esta metodología ya lleva algunas décadas aplicándose con éxito y existe una infinidad de ejemplos y aplicaciones en Europa principalmente.

El creciente desarrollo de esta tecnología ha llevado a establecer normas y especificaciones en diversos países.

Las fibras de acero se usan comúnmente en pavimentos de aeropuertos y en las capas de revestimiento de las pistas. También se usan en los tableros de puentes (cubiertas para puentes), pisos industriales y pavimentos de autopistas. El concreto con fibras de acero en estructuras sometidas al agua en alta velocidad han mostrado que pueden durar hasta 3 veces más que las alternativas en concreto convencional.

El concreto reforzado con fibras de acero se emplea en muchas aplicaciones de concreto prefabricado donde sea necesario un aumento de la resistencia al impacto o de la tenacidad. En los tanques sépticos, las fibras de acero sustituyen el refuerzo convencional.

Las fibras de acero también se usan ampliamente en el concreto lanzado en aplicaciones de capas delgadas, especialmente en la estabilización de la inclinación de rocas y revestimiento de túneles. El humo de sílice y los acelerantes han permitido que se coloque el concreto lanzado en capas más gruesas.

8.2 APLICACIONES.

En general, se puede mencionar que la aplicación del concreto reforzado con fibras depende principalmente del ingenio de los técnicos, es decir, su utilidad en la solución de los problemas constructivos de ingeniería es prácticamente ilimitada.

A continuación se expondrán algunas aplicaciones desarrolladas satisfactoriamente en algunos países en los que esta técnica ha sido aplicada.

- 1) En 1976 se pavimento el estacionamiento del Aeropuerto Internacional de Mc Carran de 52 700 m² con una capa de 15 cm de espesor de concreto con fibras, que comparado con el espesor requerido de concreto simple (40 cm) resulto mas económico.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

- 2) En 1950 se autorizó la construcción de una pista para el acceso de taxis al Aeropuerto Internacional de Reno en Nevada E.U., esta pista tiene una longitud de 853 m, ancho de 23 m, y espesor de 16 cm.
- 3) En 1973 y 1975 se recubrieron 2 vertedores de la presa Lower, en Washington E.U., con concreto reforzado con fibras metálicas a fin de reducir los efectos de cavitación.
- 4) En 1980 se hizo lo mismo con el vertedor de la Presa Little Gosse sobre el río Snake.
- 5) En 1985 se estabilizaron 4500 m² de taludes rocosos cerca de la Refinería de Brofjorden Suecia, para proteger las instalaciones de posibles deslizamientos y caídas.
- 6) Entre 1981 y 1984 se revistieron varios túneles exploratorios de la Presa de Tierra Peacer River.
- 7) En 1983 las autoridades del metro de Atlanta autorizaron un revestimiento de prueba con concreto reforzado con fibras en una sección de túnel de 61m de largo, las observaciones posteriores en el transcurso de varios años mostraron que el revestimiento está en buenas condiciones.
- 8) En Inglaterra se revistió un túnel de ferrocarril, dañado con concreto reforzado con fibras metálicas, las ventajas económicas y velocidad de reconstrucción hizo que en 1990 este país adoptara el procedimiento de lanzamiento de concreto con fibras para trabajos de reparación de puentes y túneles ferroviarios.
- 9) Japón ha construido recientemente el revestimiento de 3 túneles ferroviarios en Hokkaido, el túnel Miyanoshta y el de Itaya con concreto reforzado con fibras y mediante el proceso de lanzamiento húmedo.
- 10) En los últimos años la técnica de lanzamiento en seco de concreto con fibras se emplea en la construcción de cascarones, paneles tipo sándwich, paraboloides hiperbólicos y otras geometrías atractivas desde el punto de vista arquitectónico.

En la literatura que describe el uso y aplicaciones del concreto reforzado con fibras, se reportan más de 2000 aplicaciones exitosas del material, ya sea colado en el lugar o colocado mediante técnicas de lanzamiento.

El concreto con fibras impregnadas por lechada (SIFCON) con volúmenes de hasta 20% de fibras se ha usado desde finales de los años 70. El concreto impregnado por lechada se puede emplear para producir un componente o una estructura con resistencia y ductilidad mucho mayores que las encontradas en el concreto convencional y en concreto lanzado.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

El concreto con fibras impregnadas por lechada (SIFCON) no es barato y necesita de ajuste minucioso, pero aun mantiene su potencial para las aplicaciones expuestas a condiciones severas y que requieran alta resistencia y tenacidad. Estas aplicaciones incluyen estructuras resistentes al impacto y a la explosión, refractarios, muros de protección y reparaciones de pavimentos y pistas.

Diseño de mezcla del SIFCON.

Componentes	Dosificación
Cemento	1000 kg/m ³
Agua	330 kg/m ³
Arena silicosa < 0.7 mm	860 kg/m ³
Lechada de sílice	13 kg/m ³
Reductor de agua de alto rango	35 kg/m ³
Fibras de acero (aprox. 10% vol.)	800 kg/m ³

8.3 PAVIMENTACIÓN DEL PUERTO DE ALGECIRAS.

8.3.1 INTRODUCCION

Algeciras es un importante centro comercial e industrial, ubicado en la costa sur española, justo en el estrecho de Gibraltar, que une a Europa con África, y que vive sobre todo de cara a su tráfico marítimo. El puerto es uno de los más importantes del mundo en cuanto a tráfico de pasajeros se refiere. Desde hace cuarenta años, Algeciras está viviendo un auge sin precedentes. La población se ha multiplicado por seis y la actividad económica de la zona ha alcanzado una importancia fundamental en el conjunto de Andalucía. La ciudad ha tomado nuevas hechuras y junto a sus barrios antiguos, de hermosa arquitectura tradicional andaluza, han surgido grandes edificios de estilo internacional, sobre todo en el paseo marítimo, donde parece estirarse en busca de la mejor vista de la bahía y del Estrecho.

En el paseo marítimo, principal eje de la ciudad, se concentran las agencias de billetes para los barcos y los hoteles, justo frente al puerto. Se trata de una moderna avenida, noble y popular a un tiempo, llena de vitalidad, donde los algecireños conviven con los sempiternos transeúntes. A su espalda se encuentra el centro, la zona que aglutina los comercios y los monumentos; unas cuantas calles en torno a la

plaza del mercado y la plaza alta, las dos referencias fundamentales del casco histórico, donde mejor se percibe el gran vigor que muestra hoy esta ciudad.

El concreto con fibras de acero es un material caracterizado por su resistencia tanto al impacto y su tenacidad como a la fatiga y el desgaste, por lo que está especialmente indicada para soportar la acción de fuertes cargas, como es el caso de la terminal de contenedores del Puerto de Algeciras.

En el año 1986 se instala en este puerto el primer operador de contenedores en el Muelle del Navío, en el puerto de Algeciras. Desde esta fecha a la actualidad, ha transcurrido apenas algo más de dos décadas y este muelle se ha transformado en una de las mayores plataformas operativas del Mediterráneo, cuya actividad se incrementará en el futuro gracias a la ampliación que se está acometiendo en estos momentos. La prolongación de 300 metros del muelle existente dará lugar a 1764 metros de línea de atraque, con una superficie ocupada de 596,912 m².

En este artículo no se pretende analizar los estudios previos que fueron necesarios para construir una terminal en un determinado emplazamiento, ni un análisis exhaustivo de las cargas y condicionantes para la elección de un determinado tipo de pavimento, puesto que hay ingenierías muy especializadas para ello. Solo pretendemos informar y dejar constancia de la mayor referencia mundial en este tipo de pavimentos.

8.3.2 LAS ANTIGUAS TERMINALES DE CONTENEDORES.

El primer terminal de contenedores que entró en operación en el muelle del Navío fue el de Maersk España, S.A. uno de los primeros operadores contenedores del mundo, en el año 1986, con una superficie inicial de 40,000 metros cuadrados. En 1987, la autoridad Portuaria del Puerto de Algeciras acomete la pavimentación de la terminal pública de Teralisa, 40,000 metros cuadrados que entraría en operación dos años después, en 1988. La solución elegida fue un pavimento de concreto de 25 cm de espesor reforzado con fibras metálicas con una dotación de 35 kg/cm³.

En 1994, trascurrida casi una década de aquella primera utilización de las fibras de acero en dicho puerto, la ingeniería española ALATEC diseña para uno de los primeros operadores de contenedores del mundo, Maersk, un nuevo pavimento de concreto con fibras de acero para una superficie de 200,000 m² que será la mayor realización de este tipo a nivel mundial.

La sección tipo de este del pavimento consiste en un pavimento de 30 cm de concreto con 35 kg/cm³ de fibras de acero con una relación de 60/80; una base de 15 cm de espesor de zahorra artificial y una sub-base granular, el resto hasta la cota de relleno, que en la zona de Algeciras es albero.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

La composición del concreto fue la siguiente:

Componentes	Dosificación
cemento	320 kg.
arena 0/6	765 Kg.
árido 6/15	450 Kg.
árido 15/25	762 Kg.
agua	165 l.
súperplastificante	0.50%
fibras de acero	35 Kg.

El comportamiento de este pavimento durante 10 años puede calificarse como excelente. Para hacernos una idea de la actividad que ha tenido que soportar, cabe destacar que durante el año 1995, fecha en que se puso en servicio dicho pavimento, pasaron por el puerto de Algeciras más de 1,100,000 contenedores, siendo por esta razón el primer puerto de España y superando a puertos muy importantes del Mediterráneo.

En el año 1996, vuelve de nuevo a utilizarse las fibras de acero en la terminal de contenedores de Andalucía, S.A. con una superficie total 600,000 metros cuadrados, encuadrada entre los antiguos terminales de Maersk y Teralisa y la nueva terminal 2000. Este nuevo pavimento, propiedad de Maersk, se realiza también con fibras de acero, con un espesor de 30 cm y con 35 kg/m³.

Por tanto, la superficie total de pavimento ejecutada con fibras de acero en el puerto de Algeciras es, en la actualidad de 300,000 m².

8.3.3 VARIABLES OPERATIVAS.

Con el fin de comprender mejor el importante papel que debe desarrollar un pavimento en una zona de almacenamiento de contenedores se van a describir algunas características de los mismos. En primer lugar, el dimensionamiento de este tipo de pavimentos a de tener en cuenta tanto el contenedor como el equipo que realiza su manipulación.

Aunque existe una gran diversidad de contenedores, los que habitualmente se utilizan en el transporte marítimo son los de 20 y 40 pies, con cargas máximas de 24 y 32.5 ton, respectivamente, que se transmiten al pavimento a través de cuatro piezas de esquina de 353 cm² de superficie y con una altura de apilamiento de hasta cuatro alturas.

A pesar de las grandes presiones que este tipo de apilamiento produce en el pavimento, siguen siendo los equipos de manipulación los que producen los mayores esfuerzos y por tanto, los que condicionan el dimensionamiento.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

En el mercado europeo se utilizan básicamente dos sistemas de manipulación de contenedores:

- Grúa pórticos sobre neumáticos, normalmente llamados por su nombre comercial “transtainers”.
- Grúa móvil sobre neumáticos, normalmente llamadas “straddlecarriers” o “vancarriers”.

La elección del equipo de manipulación es una opción de los operadores y en el caso del muelle del Navío todos los concesionarios eligieron los “transtainers”, y tanto la disposición de los terminales como la pavimentación de los mismos se acometió de manera que se optimizase el rendimiento y operatividad de este equipo.

Casi todos los equipos de manipulación son de cuatro ruedas, salvo dos de ocho ruedas. En los equipos de cuatro ruedas, la carga máxima por rueda, incluido el peso propio y el del contenedor, en los equipos de cuatro ruedas varía entre 57 ton y 63 ton en operación y con viento a 72 km/h.

Existen terminales donde los “trastainers” circulan sobre vigas armadas de 40 cm de canto y/o tras donde circulan sobre la losa armada con fibras de acero.

En el primer caso de las vigas armadas, el recubrimiento de las armaduras debe ser bastante más grande que el habitual para no crear interferencias en el campo magnético generado por los modernos sistemas de posicionamiento de los “trastainers”.

8.3.4 ADICIÓN DE LAS FIBRAS DE ACERO AL CONCRETO.

En la actualidad se utilizan en el concreto fibras de 50 a 60 mm de longitud y .75 a 1.05 mm de diámetro, cuya primera misión es absorber las tracciones generadas en el concreto durante el fraguado evitando la fisura por retracción del concreto. En Algeciras se coló concreto con temperaturas de 42 ° C y viento. La longitud de las fibras debe elegirse en función del tamaño del árido, no siendo recomendable que sea inferior a dos veces el tamaño máximo de éste.

Las fibras de calidad se obtienen mediante el proceso de trefilación del alambre, aunque existen también fibras procedentes de chapa cortada, viruta de acero, etc.

Desde el punto de vista mecánico, para que una fibra metálica sea eficaz debe tener una resistencia a tracción superior a 1.1 MPa. Así mismo su forma es importante, debe tener los ganchos o el conformado en los extremos, para utilizar al máximo la resistencia a tracción de las fibras. Otro concepto importante es la esbeltez de las fibras, la relación entre la longitud y el diámetro (L/d); cuando mayor es, mayor será la resistencia a flexión a igualdad de dotación.

La tensión y la resistencia a la propagación de las fisuras dependen fundamentalmente de la adherencia entre el concreto y las fibras (calidad del concreto y forma de las fibras) así como de los espacios entre fibras (esbeltez y dotación de fibras).

Las fibras de acero se suministran, encoladas, formando pequeños peines, y se añaden al simplemente a la mezcla del concreto sin necesidad de ningún tipo de equipo o mano de obra adicional. No es preciso ni equipo ni mano de obra adicional. La misión de los peines es facilitar el mezclado (trabajabilidad) y dispersión de la fibra en la masa del concreto, no permitiendo la formación de bolas o erizos, pudiendo utilizarse cualquier tipo de aditivo o adición, e incluso alcanzar las condiciones necesarias para ser bombeados en ningún tipo de problemas.

8.3.5 MECANISMO DEL REFUERZO

Un concreto sin armar tiene un comportamiento frágil, de manera que un ensayo carga-deformación que se realice sobre una probeta, se observaría como rompe el concreto sin apenas deformación, reflejando un comportamiento fundamentalmente elástico. Sin embargo se emplea un concreto con fibras de acero, el conjunto tiene un comportamiento elasto-plástico, de manera que cuando se ha fisurado el concreto y comienza a entrar en carga el acero contenido en él, se produce un aumento de la deformación de las piezas en que ésta se rompa. En definitiva, la incorporación de la armadura ha transformado una pieza de rotura frágil en una pieza de rotura dúctil.

El empleo de fibras metálicas aumenta considerablemente la durabilidad de los pavimentos, aumentando su resistencia al impacto (hasta 1000 veces) tanto a las cargas estáticas como a las dinámicas, su resistencia a fatiga (de 5 a 10 veces) y su resistencia la desgaste (de 2 a 5 veces) así como soportando cargas después de haber fisurado. Además, las fibras contribuyen también a evitar la fisuración por retracción del concreto, fenómeno especialmente importante en este tipo de estructuras.

En definitiva, todas estas mejoras que le confieren las fibras de acero a los pavimentos de concreto, permiten que exista una mejor redistribución de los esfuerzos a los que están sometidos y les permiten aumentar la carga soportada o lo que es lo mismo disminuir su espesor.

8.3.6 PAVIMENTACIÓN DE LA MAERSK

La pavimentación de los 200,000 m² del nuevo terminal de la empresa Maersk corrió a cargo de la empresa CARBONELL y FIGUERAS. Las obras comenzaron en el mes de junio de 1994 y finalizaron en el mes de octubre del mismo año, tan sólo 5 meses más tarde.

Se realizó a razón de un promedio de 40,000 m²/mes, con un rendimiento medio de 2000 m²/día.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

La obra tenía dos plantas de concreto cuya capacidad era de unos 850 m³/día. Los camiones cargaban el concreto en la planta y posteriormente se dirigían a la dosificadora de fibras, con capacidad para 2000 Kg. de fibras y que podía dar un suministro máximo a razón de 180 kg/min. Las fibras de acero se suministraron en “big-bags” de 1200 Kg. cada uno, con el fin de reducir al máximo la operación de carga del dosificador.

Estos dosificadores funcionan con lo que se denomina pesada con carga negativa, es decir, que va descontando del peso total la cantidad de fibra que ha dosificado en el camión. De esta manera se sabe qué cantidad queda en el depósito, pudiéndose llevar un registro detallado de la cantidad de fibras adicionadas en cada elemento de transporte.

Mientras los camiones mantenían el mezclado del concreto en la cuba, se les iba adicionando las fibras hasta alcanzar un contenido de 35 Kg/m³.

El cono de Abrams (revenimiento) del concreto a la salida de la planta era de 7/8 cm, valor que se reducía a 4/5 tras la adición de las fibras. Este cono era suficiente para el equipo de puesta en obra, una extendidora con una anchura de extendido de 1 m.

La extendidora circulaba sobre las vigas de circulación de los “trastainers”, previamente coladas, que a su vez hacían de encofrado. El concreto era distribuido mediante un sinfín, siendo vibrado a continuación por una regla y posteriormente mediante vibradores de aguja. En la parte final la extendidora tenía una arpillera, que se mantenía húmeda e iba dando al pavimento con la rugosidad requerida. En el montante trasero de la GOMACO un operario procedía a la aplicación de un líquido de curados sobre el pavimento.

Todo este proceso se realizaba muy rápidamente. El tiempo que tardaban los camiones desde la carga en planta, pasando por la dosificadora de fibras, mezclando en el camino y vertiendo el concreto con fibras en el lugar de trabajo, fue de 10 minutos como máximo. Este hecho hizo que el equipo de transporte estuviera formado por tan solo 6 camiones de 6 m³ de capacidad, capaces de transportar 6,000 m³ de concreto en una jornada de 7 horas.

Todas las juntas del pavimento van dotadas de pasadores. Las juntas longitudinales con las vigas de circulación de los “transtainers” son machihembradas y están dotadas de barras de atado (barras corrugadas de 12 mm de diámetro y 60 cm de longitud) dispuestas a una distancia de 75cm y a una profundidad de 15 cm. Las juntas de contracción se cerraron en el concreto endurecido dentro de las 24 horas, con una profundidad de 10 cm y con un espaciamiento de 5 metros, dando lugar a losas cuadradas.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

Queremos señalar que en el puerto de Algeciras existen experiencias de otros tipos de pavimentación como son lecho de grava, aglomerado asfáltico, concreto en masa, concreto armado y vigas de rodaduras.

8.3.7 OTROS PUERTOS DE ESPAÑA

La solución de pavimentos reforzados con fibras de acero ha sido adoptada también en otros puertos españoles como Alicante, Bermeo, Bouzas, Marín, Palmad, Mallorca y Peñíscola, entre otros.

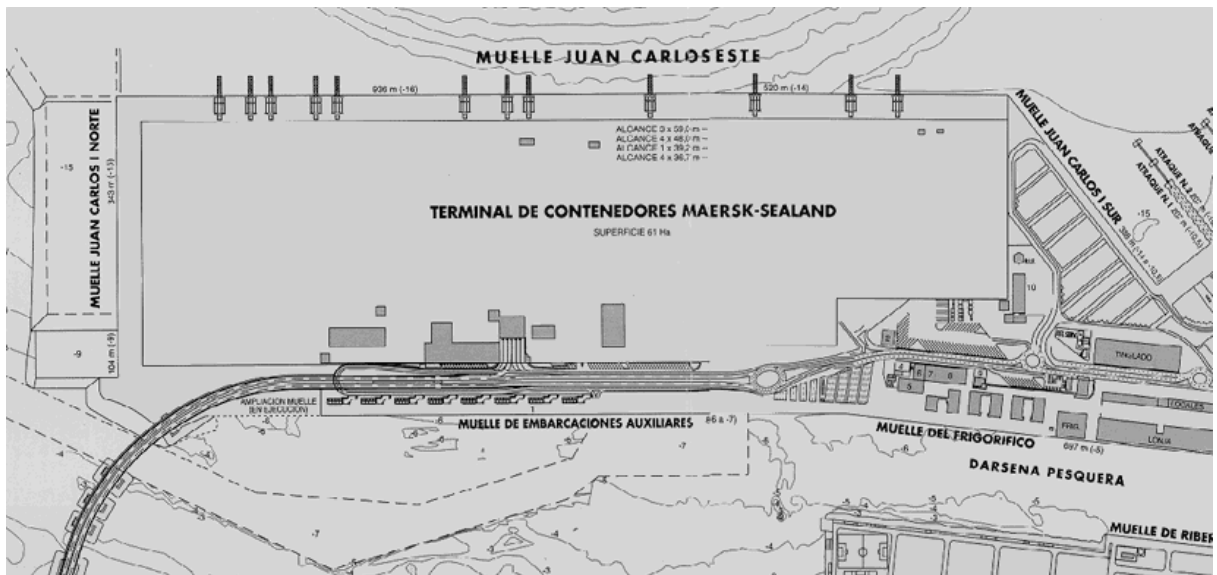


Fig. Vista General Terminal de Contenedores Maersk-Sealand en Algeciras.

. MAERSK ESPAÑA, S.A. TERMINAL 2000

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

La utilización de materiales fibrosos para el refuerzo de materiales frágiles o quebradizos se remonta a los albores de la humanidad. Desde el principio del siglo pasado, y en especial en los últimos 20 años, el estudio de este tipo de materiales ha adquirido carácter científico y, hoy en día, ha alcanzado un grado importantísimo de industrialización y comercialización.

Este material (concreto fibroreforzado) ha venido a ocupar un vacío existente entre el concreto convencional y el concreto reforzado o armado, que anteriormente era cubierto con menos posibilidades y ventajas por otras armaduras ligeras (tipo malla).

La adición de fibras metálicas para refuerzo del concreto es un método alternativo, muy recomendable, que nos permite eficientar los procedimientos constructivos actuales.

La incorporación de fibras de acero al concreto, ofrece las siguientes ventajas:

- Ahorros de material debido a la reducción del espesor de la losa, gracias a la energía residual necesaria para alcanzar la rotura del material después del momento de la aparición de la primera fisura.
- Disminución de los tiempos de obra debido a la disminución del tiempo necesario para el armado con mallas tradicionales y para el aserrado de las juntas.
- Mayor control de la fisuración ya que cosen las fisuras del concreto formando un "puente" entre los agregados gruesos, llevándolo a un comportamiento dúctil luego de la fisuración inicial evitando así la fractura frágil.
- Incremento de la resistencia a la abrasión debido a una reducción de la fisuración.
- Excelente resistencia a la corrosión, ya que mediante el uso de las fibras las fisuras controladas tienen un diámetro mucho menor al necesario para permitir que el proceso de corrosión se inicie en el acero del concreto.
- Mejoramiento de los bordes del pavimento proyectado, ya que las fibras llegan a todos los extremos del mismo.
- Excelente resistencia al impacto (mejora la resiliencia).
- Isotropía y homogeneidad macroscópica, con igual rendimiento en todas las direcciones.

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

- mejora la resistencia a tracción, compresión, flexión y corte.
- Se eliminan los defectos provocados por la mala colocación del refuerzo tradicional de barras, y la incertidumbre de la posición final de las armaduras luego de la colocación del concreto.
- Incremento en la protección final debido a un reducido comportamiento a la fisuración.

El dosificar fibras de acero en un elemento de concreto, permite absorber de manera mas eficiente los esfuerzos de contracción por secado, así como los esfuerzos generados por cambio de temperatura; disminuyendo la posibilidad de agrietamientos originados por estos esfuerzos. Así mismo la incorporación de fibras metálicas aumenta el modulo de ruptura del concreto y por ende su capacidad de carga, por lo que en algunas ocasiones puede considerarse como un refuerzo primario al sustituir refuerzo de varilla de acero o malla electrosoldada; además de permitir una mayor separación entre juntas y una mejor transferencia de cargas a través de las juntas de control, ya que las mantiene mas cerradas, eficientando el efecto interlock, que se da entre las secciones de concreto separadas por la misma junta.

Con el uso de fibras metálicas en el concreto, se elimina prácticamente los costos de mano de obra, de supervisión, y desperdicios de material, asociados con la utilización de sistemas de refuerzo tradicional, donde se requiere una gran cantidad de personal, una buena supervisión y una gran cantidad de tiempo. Es así, que en la construcción de pisos de concreto reforzados con fibras metálicas, el tiempo de ejecución llega a reducirse a más de la mitad en comparación con un piso reforzado con sistemas tradicionales.

Algunas de las características mas importantes de las fibras metálicas son la forma que tenga para lograr un buen anclaje en el concreto y la relación de aspecto, la cual se refiere a la relación que existe entre la longitud y el diámetro equivalente de la fibra. Esta relación es uno de los principales parámetros que diferencia a las fibras metálicas entre si, ya que generalmente una relación de aspecto mayor, proporciona un mejor desempeño, a cambio de una mayor dificultad en el mezclado, vaciado y acabado del concreto.

ANEXOS

- Fibras en hormigones y morteros de cemento.
 - REVISTA ESPAÑOLA.



- Fibras de Vidrio, Acero y Polipropileno:
Hormigón con Fibras
es más Resistente. *Revista Concrete 2004*

- Massud Sadegzadeh, Roger Kettle, Vasoulla Vassou
- Aston University, Inglaterra.
- Traducción y adaptación:
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH)

- Fibras de acero Wirand®



- Fibras de acero Dramix®



- Fibra de acero DUOLOC ®
IFT International Fibre Technology (ALEMANIA)

Fibras en hormigones y morteros de cemento

Los hormigones y morteros de cemento tienen la característica de ser muy resistentes al ser sometidos a fuerzas de compresión, pero no ocurre lo mismo con respecto de las fuerzas de tensión. Para aumentar la resistencia a la tensión, son reforzados con barras convencionales de acero, generando un refuerzo continuo de gran efectividad en la construcción de grandes estructuras.

Si el refuerzo de estructuras de hormigón es efectuado también en forma discontinua, mediante fibras cortas, es posible mejorar las propiedades de resistencia a la tensión y, a su vez, disminuir el fisuramiento del hormigón fresco y endurecido.

La norma ASTM C 1116 define las fibras como: "Filamentos finos y elongados en forma de haz, malla o trenza, de algún material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de hormigón fresco." A su vez, ACI 544 considera como fibras para el hormigón los filamentos discontinuos de acero, las fibras sintéticas, las de vidrio y las naturales.

El avance de la tecnología ha permitido crear una gran cantidad de materiales sintéticos, tras la idea de reforzar los materiales constructivos, similar a la observada en el adobe, y así dar refuerzo discontinuo a hormigones y morteros.

La fibra de acero fue una de las primeras en ser introducida al mercado, a principios del siglo pasado, y su forma ha variado desde un simple alambre cortado en trozos, más o menos equivalentes, a las fibras actuales de longitudes que varían entre 7 y 70 mm y diámetros equivalentes desde 0,15 a 2 mm con formas muy diversas, ya sean lisas, rugosas, onduladas, con extremos cónicos o de gancho, entre otras.

En dosificaciones que oscilan entre 2% y 0,25 en volumen, las fibras de acero han mostrado dar al hormigón mejoras en la resistencia al impacto, flexotracción y una mayor ductilidad en la falla por compresión.

En los últimos cuarenta años han salido al mercado una gran variedad de fibras sintéticas entre las que se pueden mencionar las fibras acrílicas, de carbono, de poliéster, de vidrio, de polietileno, de nylon, de polipropileno, entre

otras, siendo las dos últimas fibras aquéllas de mayor desarrollo, pues han permitido mejorar, a un costo razonable, algunas propiedades de morteros y hormigones y han facilitado la creación de nuevos materiales de construcción. La fibra de nylon de PRODUCTOS CAVE tiene una presencia de larga data en el mercado nacional, con excelentes resultados.



Imagen 1. Hormigón con fibra sintética.



Imagen 2. Acción de la fibra en control de fisura.

Las fibras son relativamente estables cuando forman parte del mortero u hormigón y aunque la resistencia a factores ambientales, como la acción hielo-deshielo, depende de la calidad de los materiales presentes en la matriz de hormigón, no difiere sustancialmente de la de un hormigón convencional. Las fibras son efectivas al reducir el daño por congelamiento debido a sus propiedades de control de fisuración.

Aunque se han usado dosificaciones en volúmenes mayores, la aplicación de fibras sintéticas está en el rango de 0,1 a 0,3%, volumen al cual la resistencia del hormigón no se ve afectada.

Nylon es un nombre genérico que identifica un tipo de polímero, cuyas fibras son estables al calor, hidrofílicas y resistentes a una gran cantidad de materiales. La hidrofiliidad le da a la fibra una interesante adherencia a la matriz de hormigón o mortero. Esta fibra absorbe entre 4% y 5% de humedad, lo que permite maximizar la hidratación de las partículas de cemento en su entorno. Estas fibras son especialmente efectivas en entregar resistencia al impacto y a la flexión, además de incrementar la capacidad de carga del hormigón después de la primera fisura.

La fibra de polipropileno fue una de las fibras sintéticas pioneras en el mercado para este uso y es producida como monofilamento de sección circular, el cual es luego cortado según la longitud requerida. Esta fibra es manufacturada también fibrilada o como cinta de sección rectangular. La fibra de polipropileno es hidrofóbica, disminuyendo por ello comparativamente su adherencia y, además, las longitudes mayores poseen mayor dificultad en su dispersión.

La fibra de polietileno es producida como monofilamento y cierta textura en su superficie. En dosificaciones de 2% en volumen, muestra hormigones con deflexión lineal bajo carga hasta la primera fisura, seguida, aparentemente, por una transferencia de la carga hacia las fibras, permitiendo un incremento en la carga hasta la rotura de las fibras.

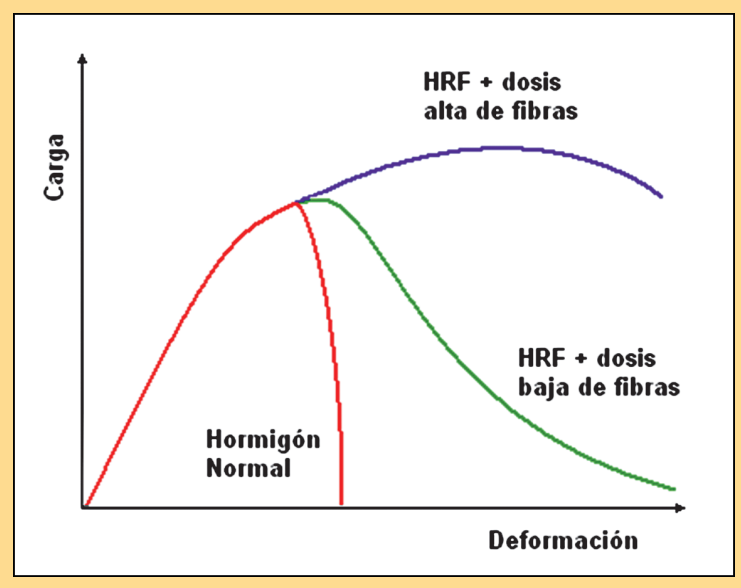


Imagen 3. Hormigón bajo flexión. Un refuerzo con alto contenido de fibras produce un hormigón “flexible”.

Las fibras naturales de refuerzo son obtenidas a bajo costo y son de particular interés en regiones de menos desarrollo, donde los materiales de construcción son de menor accesibilidad o muy caros. Son especialmente útiles en la confección de paneles, tejas, tuberías, etc. Ejemplos de ellas son las fibras de madera (pulpa Kraft) coco, sisal, bambú y yute, entre otras.

La capacidad de soportar carga por parte del hormigón, está definida como tenacidad (área bajo la curva carga-deformación). Como se observa en la figura 1, la adición de fibras al hormigón incrementa significativamente esta capacidad del material. Es decir, un hormigón reforzado con fibras puede soportar una carga de flexión mayor que aquella en la cual aparece la primera fisura en la matriz. ■

Figura 1. Curvas típicas Carga-Deformación en hormigón reforzado con fibras.



Revista Concrete

Massud Sadegzadeh, Roger Kettle, Vasoulla Vassou
Aston University, Inglaterra.
Traducción y adaptación:
Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH)

Fibras de Vidrio, Acero y Polipropileno: Hormigón con Fibras es más Resistente

¿Qué influencias tienen las fibras de vidrio, de acero y de polipropileno en las propiedades físicas del hormigón?

Para resolver cómo influyen las fibras de vidrio, de acero y de polipropileno en la resistencia del hormigón se hicieron ensayos con cuatro dosificaciones diferentes (1, 5, 10 y 20 kg de fibra por m³ de hormigón) y se analizaron distintas propiedades:

- 1.Trabajabilidad:** ensayo de cono del estándar británico BS EN 12350: Part 2: 2000.
- 2.Formación de grietas:** examen visual.
- 3.Resistencia a la abrasión:** ensayo BS 8204: Part 2: 1999.
- 4.Resistencia al impacto:** ensayo BS 8204: Part 1: 1999.
- 5.Resistencia a la flexión/ módulo de ruptura:** ensayo ASTM C78-94.
- 6.Tenacidad a la flexión y resistencia de la primera grieta:** ensayo ASTM C1018-97.

La mezcla de hormigón fue diseñada con una resistencia característica de 35N/mm², asentamiento de 50 mm, con las medidas siguientes:

Cemento	340 kg/m ³ *
Árido de 20-10 mm	600 kg/m ³ *
Árido de 10-5 mm	400 kg/m ³ *
Árido fino	730 kg/m ³ *

*(peso seco)

Razón A/C = 0,56

Para la investigación se usaron 13 mezclas diferentes de hormigón, y con cada

una de ellas se fabricaron: una losa de 1.0 x 0.5 x 0.1 m, seis prismas 0.1 x 0.1 x 0.5 m y un anillo. Todos los elementos fueron curados al aire a 20°C en laboratorio (excepto los anillos), y testeados a 28 días.

1. La trabajabilidad fue evaluada por el ensayo de asentamiento. La trabajabilidad más alta se obtuvo en mezclas con fibras de vidrio (hasta 5kg/m³) y la más baja, en mezclas con fibras de polipropileno en proporciones altas: con 20kg/m³ de fibras de polipropileno, la mezcla fue muy rígida y poco trabajable.

2. Los anillos de hormigón se usaron para simular agrietamiento restringido por contracción durante los experimentos, que consistieron en colocar círculos de hormigón de 38 mm de espesor, alrededor de un anillo rígido de 250 mm de diámetro y 45 mm de alto, y mantenerlos en una cámara ambiental a 38°C. Después de 28 días, sólo el anillo de hormigón simple se había agrietado.

3. La resistencia a la abrasión está expresada en términos de profundidad de desgaste en superficie expuesta a ruedas de rodado estándar, establecida después de 2850 revoluciones, aproximadamente por 15 minutos: cuanto mayor el desgaste, menor la resistencia a la abrasión. Sobre cada losa de hormigón se realizaron tres ensayos acelerados de abrasión de acuerdo con los requerimientos de BS 8204: Part 2: 1999. Todas las muestras habían incre-



		Mezcla												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tipo de Fibra	Hormigón Simple	Vidrio				Polipropileno				Acero				
Dosis de Fibra (kg/m ³)	-	1	5	10	20	1	5	10	20	1	5	10	20	
Asentamiento (mm)	50	40	40	5	0	25	15	0	0	30	25	20	0	
Formación de Grietas en Ensayo de Anillo	Sí	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Promedio Profundidad de Desgaste (mm)	0,79	0.53	0.40	0.34	0.57	0.52	0.49	0.33	3.37	0.56	0.58	0.29	0.50	
Promedio Profundidad Indentación (mm)	1.30	0.80	0.50	0.30	0.20	0.90	0.50	0.30	2.00	0.80	0.40	0.20	0.10	
Promedio Resistencia a Flexión (MPa)	4.55	4.66	4.46	4.95	5.59	5.45	5.24	3.88	2.63	5.08	5.23	4.94	4.67	
Promedio Índices de Tenacidad	<i>I</i> ₅	1.00	1.67	1.98	3.98	3.33	1.76	2.03	3.09	4.87	1.55	2.13	2.51	2.98
	<i>I</i> ₁₀	1.00	2.05	2.60	5.81	4.12	2.33	3.18	4.98	9.27	2.05	3.05	3.60	4.69
	<i>I</i> ₂₀	1.00	2.43	2.93	6.67	4.68	2.97	5.30	8.53	18.3	2.54	4.42	5.27	7.76

mentado significativamente la resistencia a la abrasión, en comparación con el hormigón simple, excepto las que contenían 20kg/m³ de fibras de polipropileno. Con una proporción de fibras hasta 10 kg/m³ hay un mayor incremento en resistencia a la abrasión; esta tendencia continúa hasta que la trabajabilidad es afectada adversamente. El crecimiento más grande en resistencia a la abrasión para todas las muestras fue obtenido a 10 kg/m³, donde hubo una pequeña variación entre los tipos de fibras.

4. La resistencia a impacto de las losas fue evaluada de acuerdo al BS 8204: Part 1: 1999. En este ensayo, las losas fueron sometidas a repetidos golpes de impacto, dejando caer verticalmente un peso bajo una guía, sobre una pieza de herramienta de acero endurecido en contacto con la superficie de prueba. La profundidad de la hendidura (indentación) fue medida después de 4 golpes. La resistencia al impac-

to del hormigón con fibra de vidrio o fibra de acero es incrementada aproximadamente en proporción a la dosificación de fibra. Sin embargo, las fibras de polipropileno sólo incrementan la resistencia al impacto hasta con dosis 10 kg/m³. El reverso de cada losa fue examinado, pero sólo aparecieron grietas en las muestras de hormigón simple. El hormigón con fibras pudo absorber la energía del impacto.

5. Los ensayos de resistencia a flexión en prismas, fueron realizados de acuerdo con ASTM C78-94. La resistencia a flexión crece con una mayor proporción de fibra de vidrio y este incremento es más grande en dosis de 10 a 20kg/m³. Las fibras de polipropileno no pueden ser añadidas en dosis mayores a 5kg/m³, sin reducir significativamente la trabajabilidad y disminuir la resistencia a flexión. Hay un mejoramiento marginal decreciente en la resistencia derivado de la fibra de acero a la dosificación de 10kg/m³. A 20 kg/m³,

las fibras de vidrio dan una resistencia a la flexión mayor que otras fibras. La resistencia a la primera grieta indica una desviación de la linealidad de la curva de esfuerzo deformación. Esto se relaciona con el esfuerzo calculado cuando la carga correspondiente a la primera grieta es insertada en la fórmula de resistencia a flexión. La misma observación para resistencia a flexión, se aplica a la resistencia a la primera grieta de las tres fibras.

6. La tenacidad a flexión y resistencia a la primera grieta de prismas se ensayaron de acuerdo a ASTM C1018-97. La tenacidad a la primera grieta es equivalente en energía al área bajo la curva carga-deflexión, hasta la deflexión de la primera grieta. Similares observaciones hechas para la resistencia a la flexión se aplican a la tenacidad a la primera grieta. Fueron usados tres índices de tenacidad promedio, cada uno calculado por la cantidad de energía absorbida hasta la deflexión





de la primera grieta, dividida por la energía absorbida hasta la primera grieta:

- Índice de tenacidad I_5 es la energía absorbida hasta 3 veces la deflexión a la primera rotura, fluctuando los resultados de 1 (hormigón simple) a 5 (perfecto comportamiento elástico/ plástico).
- Índice de tenacidad I_{10} es la energía absorbida hasta 5,5 veces la deflexión a la primera rotura, fluctuando los resultados de 1 (hormigón simple) a 10 (perfecto comportamiento elástico/ plástico).
- Índice de tenacidad I_{20} es la energía absorbida hasta 10,5 veces la deflexión a la primera rotura, fluctuando los resultados de 1 (hormigón simple) a 20 (perfecto comportamiento elástico/ plástico).

Para índice I_5 , las fibras de vidrio son generalmente tan efectivas como las fibras

de acero en aumentar una baja tenacidad a deflexión, siendo más efectivas en dosificaciones de 10 a 20 kg/m³. Las fibras de polipropileno dan una tenacidad mayor que los otros tipos a expensas de la resistencia a flexión.

Para índice I_{10} , los resultados son virtualmente idénticos que para el índice I_5 , pero las fibras de acero tienen una ligera ventaja sobre las fibras de vidrio en dosis de 20kg/m³.

Para índice I_{20} , las fibras de vidrio no son efectivas para lograr alta tenacidad a deflexión. Las fibras de acero son mejores, y las fibras de polipropileno aún más, pero a expensas de la resistencia a flexión en altos niveles de dosificación.

Se hizo otro ensayo relacionado con la energía absoluta que absorbió hasta 1,5

veces la tenacidad a la primera grieta. Esta es una medición diferente, que toma en cuenta la reducción de la resistencia a flexión causada por reducción de trabajabilidad. En dosis de 10 y 20 kg/m³, la compactación pobre de mezclas con fibras de polipropileno y de mezclas con fibras de acero, redujo la tenacidad; el mejor desempeño lo tuvo el hormigón con fibras de vidrio.

Referencias

- Normas BS EN 12350: Part 2: 2000
- Ensayo BS 8204: Part 2: 1999
- Ensayo BS 8204: Part 1: 1999
- Ensayo ASTM C78-94
- Ensayo ASTM C1018-97

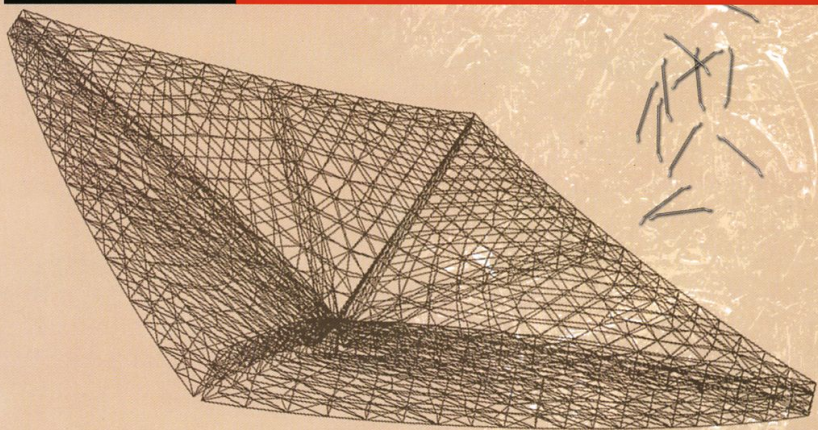
Conclusiones

- La trabajabilidad del hormigón fue afectada el mínimo usando fibras de vidrio (hasta 5kg/m³) y fue muy afectada con fibras de polipropileno, especialmente en dosis más altas.
- Las tres fibras respondieron igual frente al potencial agrietamiento por contracción del hormigón.
- Todas las fibras aumentaron la resistencia a la abrasión del hormigón en dosis de hasta 10kg/m³. Sólo las fibras de vidrio y de acero mejoraron esta resistencia en dosis de 20kg/m³.
- El incremento en resistencia a la abrasión del hormigón con fibras de vidrio fue más consistente que con los otros dos tipos de fibras.
- Todas las fibras aumentaron la resistencia del hormigón al impacto en dosis de hasta 10kg/m³. Sólo las fibras de vidrio y de acero mejoraron esta resistencia en dosis de 20kg/m³.
- La resistencia a flexión aumentó con la adición de fibras de vidrio, lo que no sucedió con las otras dos fibras, debido a la reducida trabajabilidad y dificultades en la compactación.
- En dosis bajas (1 a 5kg/m³), las fibras de vidrio fueron menos efectivas en alcanzar tenacidad que las otras dos fibras.
- En dosis de 10kg/m³ y más, las fibras de vidrio fueron las mejores en términos de tenacidad absoluta, resistencia a flexión, resistencia a la primera grieta y tenacidad a la primera grieta. **B**



Las soluciones para la ingeniería estructural

Pavimentos industriales reforzados con fibras de acero



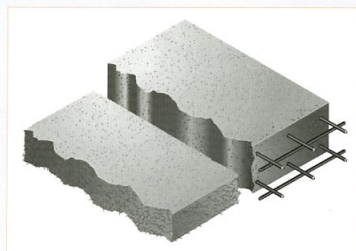
MACCAFERRI

De frágil a dúctil...

...la armadura de los pavimentos de hormigón

Hormigón reforzado con fibras Wirand®

Se trata de un material compuesto de una pasta de cemento hidratada y un elemento de refuerzo formado por fibras metálicas. Las fibras de acero redistribuyen los esfuerzos y, modificando el mecanismo de formación y apertura de las fisuras, hacen el hormigón más dúctil, es decir, capaz de mantener una cierta capacidad portante residual incluso en fase de post-fisuración.



Fibras metálicas Wirand®

¿Porque

...las fibras?

El elevado número de fibras por kg permite una distribución uniforme y capilar, obteniéndose así un material compuesto con un comportamiento mecánico homogéneo.

...las fibras de acero?

El acero tiene un módulo elástico elevado (210.000 MPa), que permite el desarrollo de una elevada resistencia a tracción con una deformación mínima.

...las fibras tienen dobleces?

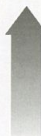
Las dobleces permiten mejorar la adherencia de la fibra dentro de la matriz, aumentando la fuerza necesaria para arrancarla del hormigón.

...las fibras con una alta resistencia a la tracción?

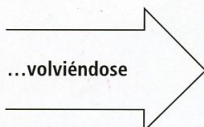
Una alta resistencia a la tracción (> 1.100 MPa) permite que la fibra se deslice dentro de la matriz sin romperse, aumentando su capacidad de absorción de energía. Esta resistencia es conseguida trefilando alambre con bajo contenido en carbono.

Ventajas del hormigón reforzado con fibras Wirand®

Un hormigón de fibras tiene mejor resistencia a:



Fisuración de fraguado
Choques
Punzonamiento
Cargas Variables
Variaciones térmicas



+ dúctil
- permeable

En relación a la malla electrosoldada



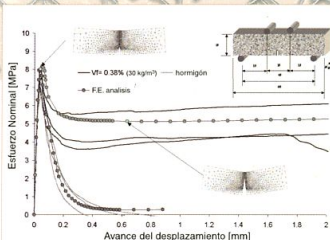
Aumento de la distancia entre juntas, al mejorarse el control de la retracción durante el fraguado.
Contribución de todo el espesor de la sección, gracias a la distribución capilar de las fibras.

Economía de colocación, evitando el corte y la colocación de la malla así como los eventuales separadores.
Reducción del espesor del hormigón porque las fibras no requieren ni la sobre-capa de recubrimiento ni el solape de los paños de malla.

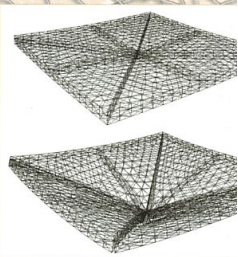
De los ensayos de laboratorio a lo



Ensayo de flexión sobre vigas de hormigón reforzado con fibras según la norma italiana UNI 11039 – Hormigón reforzado con fibras de acero.



Determinación de la relación esfuerzo-apertura de la fisura gracias al análisis por elementos finitos en medio no lineal



Simulación numérica del comportamiento de hormigón, reforzado con fibra, con aplicación de una carga en el centro

Consejos prácticos de uso

- El diámetro máximo de los áridos no deberá ser superior a la mitad del largo de la fibra
- El largo de la fibra no deberá ser superior a los dos tercios del espesor de elemento estructural
- Se recomienda una dosificación mínima de fibras de 25 kg/m³ de hormigón
- Esta dosificación se podrá reducir a 20 kg/m³ si la función de las fibras se limita al control de la retracción
- Las fibras se incorporan en la mezcla después de todos los áridos
- Limitar al mínimo el tiempo de mezcla (1 minuto/m³)
- Calibrar aditivos fluidificantes para recuperar la trabajabilidad, en caso sea necesario



Colocación



Las fibras se incorporan durante el proceso de mezcla en planta o dentro de la hormigonera

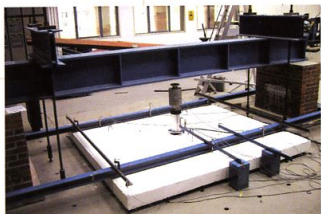


El hormigón reforzado con fibra puede ser vertido directamente desde camión o bombeado

s análisis por elementos finitos



Valoración experimental de un modelo numérico sobre una losa de tamaño real (3.00m x 3.00m por 0.15m de espesor)



o de la placa
derando la

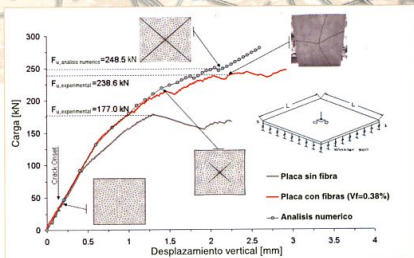
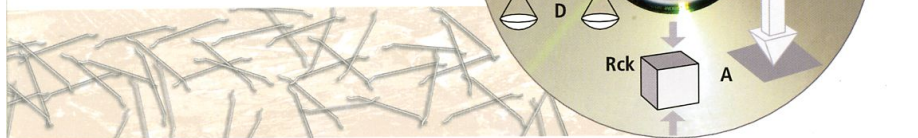
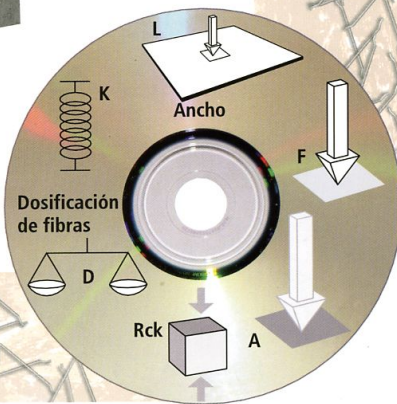


Gráfico carga-deformación: es posible comparar la evolución de la curva numérica con la curva experimental y la curva de una losa no reforzada



Espesor

- **F** Carga concentrada o rodante
- **A** Área de apoyo de la carga
- **Rck** Resistencia característica del hormigón a compresión
- **D** Dosificación de fibras dentro del hormigón
- **K** Módulo de reacción del suelo (Winkler)
- **L** Ancho de la solera



Regularización del hormigón por medio de equipamiento convencional o Laser Screed

Acabado con helicóptero para posterior corte de juntas

Desde 1879...

tanto en sus proyectos como en sus realizaciones, Maccaferri ha siempre priorizado la búsqueda de soluciones novedosas. Incluso en las obras más tradicionales, la Empresa ha sabido integrar la oferta de alternativas originales y la puesta en práctica de técnicas específicas e innovadoras. Es el caso, por ejemplo, de las fibras de alambre trefilado usadas para reforzar el hormigón en obras donde las exigencias son importantes, como los pavimentos industriales, aeropuertos y carreteras, o los túneles carreteros y ferroviarios. Son sólo algunos ejemplos, entre los muchos otros posibles, ofrecidos por las pesquisas de Maccaferri.

Conjuntamente a la elección de productos específicamente estudiados, existe un estilo de acción reactivo al servicio del mercado para responder a las exigencias más modernas de la ingeniería estructural.



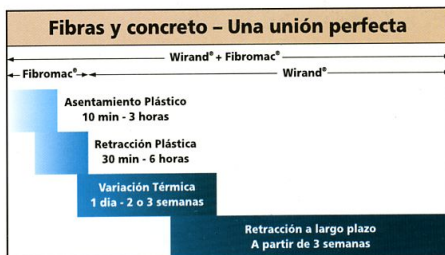
Desde siempre, una de las características de Maccaferri ha sido la capacidad de proponer soluciones innovadoras, prácticas y eficientes. Trabajando en la estabilización de carreteras, el refuerzo de pavimentos industriales, túneles u otras estructuras de ingeniería civil, Maccaferri y sus filiales, crean, proponen y realizan soluciones que, con decenas de años de experiencia, demuestran, por todas partes en todo el mundo, su eficacia y durabilidad.



Aplicaciones

Pavimentos industriales
Pavimentos de aeropuertos y puertos
Carreteras de hormigón
Soleras de poco espesor
Cimientos
Soporte para máquinas vibrantes
Reparaciones de superficies
Depósitos y silos

Embalajes



Denominación	Diámetro (d) mm	Longitud (l) mm	Factor de forma (Relación l/d)	Aplicación	Peso de la caja (kg)	Nº de fibras por kg
Wirand® FF1	1,00	50	50	Pisos, pavimentos y prefabricados	20	3.244
Wirand® FS3N	0,75	33	44	Hormigón proyectado	20	8.738



www.maccaferri.com.br/wirand

Denominación	Material	Tipo	Diámetro (µm)	Longitud (mm)	Embalaje	Nº de fibras por kg
					Sacos (g)	
Fibromac® 12	Polipropileno	Monofilamento	18	12	600	180.000.000
Fibromac® 24	Polipropileno	Monofilamento	18	24	600	90.000.000

Servicios Maccaferri

- Investigación y desarrollo con entidades y universidades
- Presencia mundial con más de 20 asociadas
- Asesoramiento técnico al cliente
- Equipos para la dosificación de las fibras

- A solicitud podrán ser provistos otros tipos de fibras.



IBRACON
INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO

Sistema de gestión de calidad
certificado en conformidad con la
norma ISO 9001: 2000



MACCAFERRI
AMERICA LATINA
www.maccaferri.com.br

MACCAFERRI DO BRASIL LTDA.
Rodovia Dom Gabriel Paulino Bueno Couto, km 66
CEP 13201-970 - CP 520 - Jundiá - SP - Brasil
Tel.: 55 (11) 4589-3200 - Fax: (11) 4582-3272
e-mail: maccaferri@maccaferri.com.br

MACCAFERRI DE ARGENTINA S.A.
Calle Güemes 1233 - Benavidez - Cod. Postal B1621GSH
Provincia de Buenos Aires - Argentina
Tel.: 54 (3327) 457522 rotativas - Fax: (3327) 455394
e-mail: magda@maccaferri-arg.com.ar

MACCAFERRI DE PERÚ S.A.C.
Predio Las Salinas, Lote C12-2 - Altura km 33
Autopista Lima - Pucúsana - Lima 16 - Perú
Tel.: 51 (1) 4300292 - Fax: (1) 4300289
e-mail: macpe@maccaferri.com.pe

MACCAFERRI DE CENTRO AMERICA LTDA.
De la Iglesia de Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia,
100m Oeste, 100m Norte, 800m Oeste - Calle Rinconada
Apdo 6701007 - Centro Colón - San José - Costa Rica
Tel.: (506) 244-6090 - Fax: (506) 244-1695
e-mail: maccal@maccaferri.co.cr

EMPLEO ESTRUCTURAL DEL CONCRETO FIBROREFORZADO

SUMARIO

Introducción

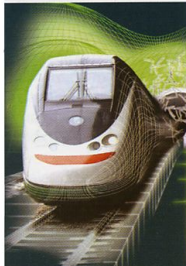
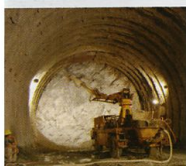
Características de las fibras de acero para el refuerzo del concreto

Características mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero

Como se identifica un concreto fibroreforzado

La actividad experimental de Maccaferri para túneles y pavimentos

TÚNELES Y PAVIMENTOS



FIBRAS DE ACERO PARA EL REFUERZO DEL CONCRETO

Introducción

Un concreto fibroreforzado puede ser obtenido agregando diferentes tipos de fibras a la masa: metálicas (esencialmente en acero), naturales y sintéticas de diversos tipos.

La adición de fibras en el concreto tiene varias finalidades:

- Aumento de la ductilidad
- Aumento de la resistencia a fatiga
- Mejora de la resistencia al impacto y abrasión
- Reducción de la microfisuración y de los efectos del retiro plástico
- Mejora de la resistencia al fuego

El uso del concreto reforzado con fibras de acero está en continuo aumento, sea en términos cuantitativos que aplicativos.

De los campos tradicionales del concreto proyectado para el revestimiento temporal de los túneles y del concreto vaciado en obras de pavimentación industrial, esta tecnología está difundándose a la prefabricación, como en el caso de las vigas para la cobertura de naves y de las dovelas para el revestimiento final de los túneles.

	Longitud (mm)	Ø Medio (µm)	Tracción (MPa)	Mod. Elástico E (MPa)
Acero	30 a 60	500	1100	210000
Polipropileno	6 a 24	35 a 400	340 a 500	8500 12500
Carbono	10 a 20	30 a 10	80 a 10	1E0000 240000
Vidrio	aprox. 12	14		72000

Actualmente, para las fibras de acero y para el concreto obtenido con estas, existen varias normas y proyectos de normas, nacionales e internacionales.

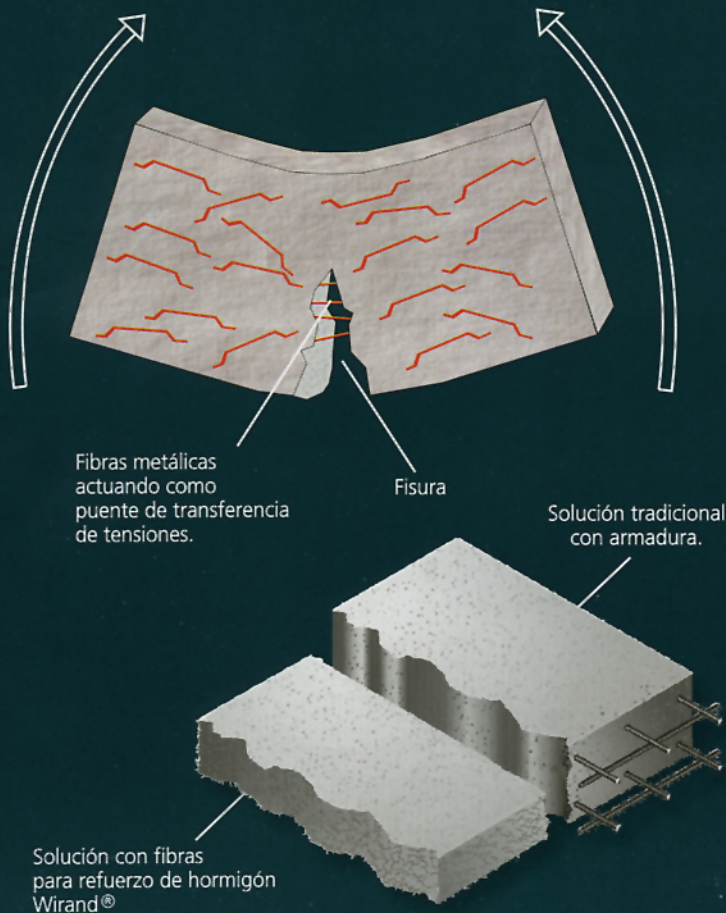




refuerzo de hormigón



COMO LAS FIBRAS METÁLICAS WIRAND[®] REFUERZAN EL HORMIGÓN



- Reemplaza la armadura tradicional en aplicaciones como: pisos y pavimentos, plateas, revestimiento de túneles y recuperación de estructuras;
- Más eficiente, económico y rápido, comparado con las soluciones tradicionales;
- De fácil aplicación;
- Distribución homogénea dentro del hormigón;
- Aumento de la capacidad de carga;
- Reduce la formación de fisuras;
- Mejor comportamiento a las variaciones de temperatura.

ASESORAMIENTO TÉCNICO GRATUITO



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



Pisos y pavimentos



Concreto proyectado

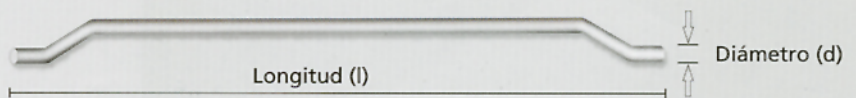


Elementos prefabricados



Tipo	Diámetro (d) (mm)	Longitud (l) (mm)	Factor de forma (Relación l/d)	Aplicación	Peso de la caja (kg)	Nº de fibras por kg
Wirand® FF1	1,00	50	50	Pisos, pavimentos y prefabricados	20	3244
Wirand® FS3N	0,75	33	44	Hormigón proyectado	20	8738

* Otros tipos de fibras podrán ser suministradas mediante consulta previa

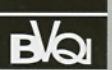


Corporate Member



International Geosynthetic Society

Sistema de gestión de calidad certificado en conformidad con la norma ISO 9001: 2000



MACCAFERRI
AMÉRICA LATINA
www.maccaferri.com.br

Maccaferri do Brasil Ltda.
Rodovia Dom Gabriel Paulino Bueno Couto, km 66
CP 520 - CEP 13201-970 - Jundiá - SP
Tel.: (11) 4589-3200 - Fax: (11) 4582-3272
e-mail: maccaferri@maccaferri.com.br

Maccaferri de Argentina.
Calle Güemes 1233 - Benavidez - Cod. Postal B1621GSH
Provincia de Buenos Aires - Argentina
Tel.: 54 (3327) 457522 rotativas - Fax: (3327) 455394
e-mail: magda@maccaferri-arg.com.ar

Maccaferri de Perú.
Predio Las Salinas, Lote C12-2 - Altura km 33
Autopista Lima - Pucusana - Lima 16 - Perú
Tel.: 51 (1) 4300292 - Fax: (1) 4300289
e-mail: macpe@maccaferri.com.pe

Maccaferri de Centro América Ltda.
De la Iglesia de Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia,
100m Oeste, 100m Norte, 800m Oeste
Calle Rinconada - Apdo 6701007
Centro Colón - San José - Costa Rica
Tel.: (506) 2-446090 - Fax: (506)
e-mail: maccaf@maccaferri.co.cr

Dramix[®]



**Fibras de acero
para el refuerzo
del hormigon**

Dramix®

Fibras de acero para el refuerzo del hormigón

Dramix®, fibras encoladas en peines:

- ✓ es la única garantía para una distribución homogénea.
- ✓ permite el uso de fibras con un aspecto l/d elevado.
- ✓ se añaden fácilmente en la planta de hormigón o en el camión hormigonera.



Las fibras Dramix® están hechas con alambres de acero estirados en frío, para asegurar una alta resistencia a tracción y pequeñas tolerancias.

Los extremos conformados garantizan el mejor anclaje.

P R A C T I C O

Ventajas de Construcción

mas rápido:
de un 15% a un 30%

- ✓ No se invierte tiempo en la colocación de mallazo.
- ✓ El refuerzo está donde se necesita.

E C O N O M I C O

Ventajas Económicas

mas barato:
de un 10% a un 30%

- ✓ Ejecución mas rápida: ni encofrado, ni sistema de posicionamiento de armaduras.
- ✓ Al estar mejor distribuidas las tensiones a las que está sometida la solera podemos reducir el canto de la misma usando fibras Dramix®.
- ✓ Las fibras de acero Dramix® con un aspecto (relación longitud/diámetro) mas elevado son una solución mas económica con respecto a otros tipos de fibra de acero.
- ✓ Un pavimento armado con fibras de acero Dramix® garantiza la mejor relación calidad/precio.

T E C N I C O

Ventajas Técnicas

OPTIMO

- ✓ Aumento de la capacidad de carga gracias a una mejor redistribución de las tensiones a las que está sometida la solera.
- ✓ El refuerzo de la losa en todas direcciones garantiza un control eficaz de la fisuración.
- ✓ Incremento de resistencia a la fatiga y al impacto.
- ✓ Las distancias entre juntas se pueden aumentar considerablemente sin riesgo de fisuración.



BEKAERT

better together



Fibras de acero Dramix®

La historia registra que fue en 1874 cuando se patentó el primer concreto reforzado con fibra, aunque es bien conocido que en épocas inmemoriales se usaron algunas de origen natural con el mismo fin. Las fibras de acero Dramix surgen en 1970 luego de 10 años de investigación y desarrollo; hoy son la mejor opción en el mercado mundial. La marca Dramix es parte de Bekaert, la empresa independiente de alambre y derivados más grande del mundo que reporta ventas anuales por 13 billones de euros.

El Arquitecto Carlos Frutos Garmendía —Gerente Regional de Ventas México y Centroamérica de Bekaert— explica que Dramix tiene múltiples aplicaciones en túneles y minería, elementos precolados y en pisos y pavimentos

industriales. “Estamos ciertos de que este refuerzo es técnicamente superior y efectivo en costo para cada una de las aplicaciones mencionadas; en la actualidad, los pisos industriales son la categoría que demanda más de las fibras de acero, ya que además de los tradicionales pisos industriales, Bekaert ofrece pisos sin cortes de control de hasta 40 X 40 mts.

Desde 1998 a la fecha hemos tenido crecimientos exponenciales consolidándonos como los líderes a nivel nacional en el mercado con fibras de acero. Hemos diseñado y suministrado fibras de acero Dramix alrededor de 3.5 millones de metros cuadrados de pisos y pavimentos reforzados con fibra de acero para fabricas, centros de distribución, centros comerciales y aeropuertos.

GARANTÍA, AHORRO Y CALIDAD

Al usar fibras de acero Dramix se puede sustituir fácilmente la malla de electro-soldado o la varilla en aplicaciones antes señaladas, generando así, ahorros en los costos de mano de obra para la habilitación e instalación del refuerzo tradicional. Además, al ser una instalación más rápida y sencilla se reducen los tiempos de obra; por otro lado, al utilizar fibras de acero de alta relación de esbeltez se puede reducir el espesor de la losa e incrementar el espaciamiento entre las juntas de dilatación.

“Bekaert desarrolló la tecnología para eliminar el efecto de bolas o erizos dentro del concreto, muy común en algunas fibras muy delgadas que existen en el mercado nacional. Las fibras Dramix se encolan en clips o grupos empleando un adhesivo sensible al agua y/o a la acción mecánica de los agregados al estarse revolviendo dentro de la olla las fibras se separan y distribuyen homogéneamente en toda la masa

del concreto con lo que se impide la creación de bolas.

Un ejemplo claro de la relación costo-beneficio que se obtiene con la utilización de Dramix es, en palabras del arquitecto Frutos, la obra realizada para una importante refresquera con una superficie de 300 mil metros cuadrados. “El diseño original era de 25 centímetros, y el diseño reforzado con fibra, de 18. El ahorro fue de varios cientos de miles de dólares”, dice el Gerente Regional de Ventas.



“Dramix es una tecnología probada. A Bekaert no le gusta experimentar con sus clientes, por lo que cada una de los productos son certificados y probados antes de su lanzamiento al mercado. En el campo de las fibras de acero somos los líderes a nivel mundial, y eso nos permite ofrecer soporte técnico sin costo; es decir, hacemos toda la ingeniería para todas y cada una de las aplicaciones sin costo alguno. Cualquiera cliente que nos lo solicite le diseñemos su piso, pavimento, losa, capa de compresión, túneles o su estabilización de taludes lo tendrá sin costo y con el respaldo de Bekaert”.

Hoy por hoy, dice el arquitecto Frutos, “si hablamos del mercado de los pisos industriales se puede afirmar que gran parte de la industria conoce estas fibras, y la mayoría usan principalmente las fibras Dramix. Es por ello que Bekaert les ofrece la ingeniería y soporte técnico con una responsiva por escrito, que establece que el diseño funcionará. Garantizamos nuestros diseños y desempeño de nuestras fibras de acero Dramix para las cargas con las que fue diseñado el pavimento. “Tenemos gran presencia en el mercado ya que además de hacer los diseños brindamos asesoría técnica en el sitio donde se requiera sin importar donde sea para que su aplicación quede tal y como se solicitó”, concluye.

Calcule su propia solera con **DRAPRO®** Internet @

www.bekaert.com/building/dramix **GRATUITO!**



Visite nuestra página web: www.bekaert.com/building
 donde encontrará toda la información relativa al hormigón reforzado con fibras de acero Dramix®, campañas de aplicación, libros recomendados, referencias de obra y personas de contacto.

POR QUÉ UTILIZAR DRAMIX

- Existe refuerzo en toda la mezcla.
- Siempre habrá acero en el lugar correcto en el momento correcto, lo que impedirá que una fisura pase a la parte superior ya que redistribuye esfuerzos.
- Se reducen los tiempos de construcción al no tener que habilitar acero tradicional. Se pueden colar hasta 5 mil metros cuadrados en un día, lo que equivale a una bodega o nave industrial.
- Tiene una resistencia al impacto muy superior a un concreto tradicional. ●

Por: Juan Fernando González G



Dramix®
Fibras de acero para el refuerzo del hormigón



Dramix®, fibras encoladas en paños.
 ✓ es la única garantía para una distribución homogénea.
 ✓ permite el uso de fibras por un aspecto 100% elevado.
 ✓ se añaden fácilmente en la planta de hormigón o en el camión hormigonera.

Las fibras Dramix® están hechas con alambres de acero estirados en frío, para asegurar una alta resistencia a tracción y pequeñas tolerancias.

Los extremos conformados garantizan el mejor anclaje.

PRÁCTICO
Ventajas de Construcción **más rápido: de un 15% a un 30%**
 No se requiere tiempo en la colocación de mallas.
 El refuerzo está distribuido en toda la mezcla.

ECONÓMICO
Ventajas Económicas **más barato: de un 10% a un 30%**
 El método más rápido y económico, es garantía de productividad y rentabilidad. Al estar mejor distribuido el hormigón a las que está sujeta la obra, se reduce el costo de la misma. El uso de las fibras de acero Dramix® con un aspecto pulido simplifica el proceso de colocación y asegura una solución más económica con respecto a otros tipos de fibra de acero. Un pavimento armado con fibras de acero Dramix® garantiza la mejor relación costo-beneficio.

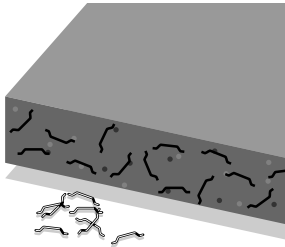
TECNICO
Ventajas Técnicas **OPTIMO**
 Aumento de la capacidad de carga gracias a una mejor redistribución de las tensiones a las que está sujeta la obra. El refuerzo de la losa en todas direcciones garantiza un control eficaz de la fisuración. Incremento de resistencia a la tracción y al impacto. Las fibras de acero Dramix® permiten aumentar considerablemente el nivel de resistencia.

ISO 9001 CERTIFICADO

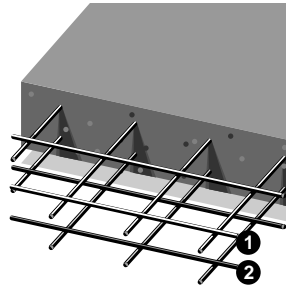


INFORMES
 Arq. Carlos Frutos Garmendia,
 Gerente Regional de Ventas México y Centro América.
carlos.frutos@bekaert.com
 Bekaert Trade México.
 Calzada de los Leones 117,
 despacho 205-B, Colonia Las Águilas 52 (55) 56 51 14 10, 55 93 78 18.,
 Nextel: 62*15*59675
 35404011

Dramix® versus doble mallazo



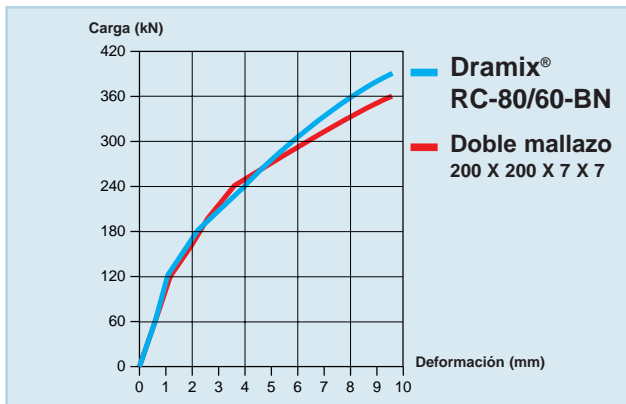
Dramix® RC 80/60 BN
30 kg/m³



Doble mallazo
20x20x7x7



Ensayos Universidad de Thames (GB)



Conclusiones

- ✓ Las fibras de acero Dramix® ofrecen la misma capacidad portante (repeticiones de carga e intensidad de las mismas) que el doble mallazo.
- ✓ Las fibras de acero Dramix® admiten las mismas deformaciones que la solera armada con doble mallazo 20x20x7x7.

Dosificación y mezclado de la fibra

Cinta transportadora

- ✓ Para una fácil manipulación, las fibras de acero Dramix® se presentan en sacos de papel resistente, de 20 kg. Cada palet contiene 60 sacos.
 - ✓ Las fibras de acero Dramix® se vierten sobre una cinta, que las distribuye al camión hormigonera.
 - ✓ De este modo, los sacos de papel vacíos pueden ser reciclados.
- Utilizando la cinta transportadora y respetando las recomendaciones de mezclado de Bekaert, se obtiene una excelente distribución de las fibras.



Encontrará las recomendaciones de mezclado en las fichas técnicas de producto, que se encuentran en nuestra página web: www.bekaert.com/building

Equipo dosificador automático

- ✓ Mínima manipulación.
 - ✓ Se beneficia de una dosificación precisa y de la incorporación automática de las fibras de acero Dramix® en la mezcla.
 - ✓ Es la solución óptima para grandes volúmenes de fibra (> 300 t por año)
 - ✓ Alta productividad (0 - 3,5 kg/seg)
 - ✓ Excelentes resultados de mezclado.
- Ideal para fibras de acero Dramix® encoladas en peines, dado que necesitan un volumen menor para ser almacenadas. Suministro eficaz del material en big-bags de 1100 kg y menos intervalos para alimentar el equipo dosificador.



Pida asesoramiento a nuestro especialista local de Bekaert.

Aspecto (relacion l/d)

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

Dramix® l / d
45 ★

RENDIMIENTO STANDARD

l/d 45: el requerimiento básico

Dramix® l / d
65 ★★

RENDIMIENTO DE ALTA CALIDAD

l/d 65: para obtener un hormigón de calidad

Dramix® l / d
80 ★★★

SUPER RENDIMIENTO

l/d 80: máximo rendimiento

Dramix® Fibras de acero para el refuerzo del hormigón: "Único"



Las fibras de acero Dramix® se incorporan fácil y rápidamente – en la mayoría de los casos no se requiere la utilización de una bomba para el hormigón.

APLICACION

Campos de aplicación:

- ✓ Almacenes
- ✓ Centros de producción
- ✓ Soleras industriales
- ✓ Centros comerciales
- ✓ Centros para convenciones



Las fibras de acero Dramix® mejoran la eficacia en la rapidez de la colocación del hormigón hasta un 20% más con respecto a la armadura convencional.

SOLERA



Siguiendo las técnicas adecuadas en el acabado y en el corte a sierra, se minimizan las fibras en la superficie.



Las soleras de hormigón reforzado con fibras de acero Dramix® permiten una mayor capacidad de carga y aumentan el período de vida de la solera.

Suelos sin juntas Dramix®

NUEVO



V E N T A J A S

Ventajas:

- ✓ Flexibilidad total.
- ✓ No hay posibilidad de alabeo.
- ✓ Menores costes de mantenimiento.
- ✓ Un suelo higiénico y bonito.

PIDA CONSEJO
a los hombres
Dramix®

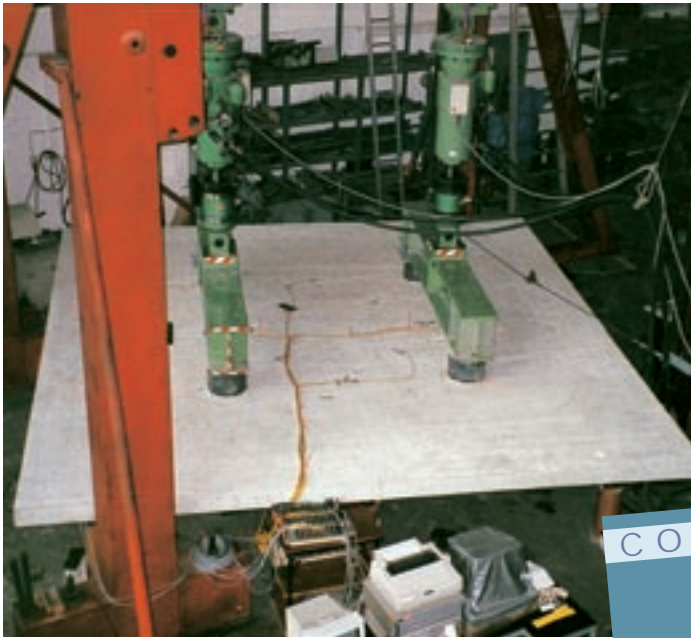
Un pavimento sin juntas en un almacén de carga pesada, disminuye sensiblemente los costes de mantenimiento de las carretillas elevadoras.



Supuesto :Almacén. Problema: cargas dinámicas pesadas...

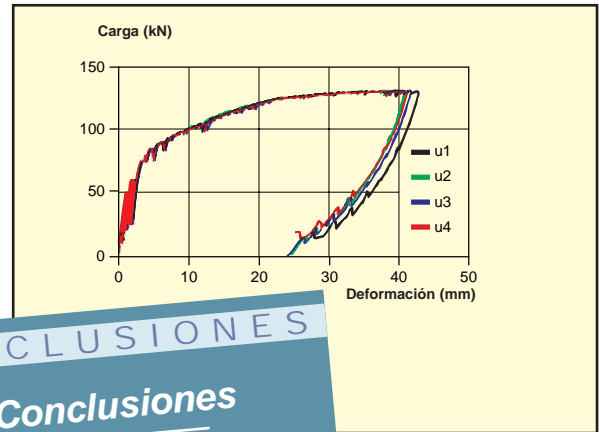
Solución: suelo armado con fibra de acero Dramix®. Ventajas: larga vida = menor coste.

Soleras sobre pilotes



Banco de Pruebas

Sucesivos ensayos de tenacidad (diagrama carga/deformación) determinan la ductilidad y carga máxima a la que podemos someter el hormigón reforzado con fibra Dramix®.



CONCLUSIONES

Conclusiones

- ✓ mayor capacidad de carga.
- ✓ control de la fisuración.
- ✓ incremento de la resistencia a fatiga e impacto.

Soleras sobre pilotes de grava compactados



APLICACIONES

Campo de Aplicación

- ✓ Semicapas de compresión.
- ✓ Capas rígidas hasta 8 mts.
- ✓ Situaciones en que mínimos asentamientos (1 cm) sean admisibles.

VENTAJAS

Ventajas Técnicas

- ✓ Los momentos flectores máximos negativo y positivo están en el mismo orden de magnitud.
- ✓ La ductilidad de un suelo armado con fibras de acero Dramix® resiste deformaciones bajo cargas mantenidas.
- ✓ Las soleras Dramix® pueden realizarse con o sin juntas de retracción.
- ✓ Para cierto tipo de aplicaciones concretas, las soleras sobre pilotes de grava compactadas con Dramix® son mas económicas que las soluciones tradicionales.
- ✓ Construcción mas rápida.

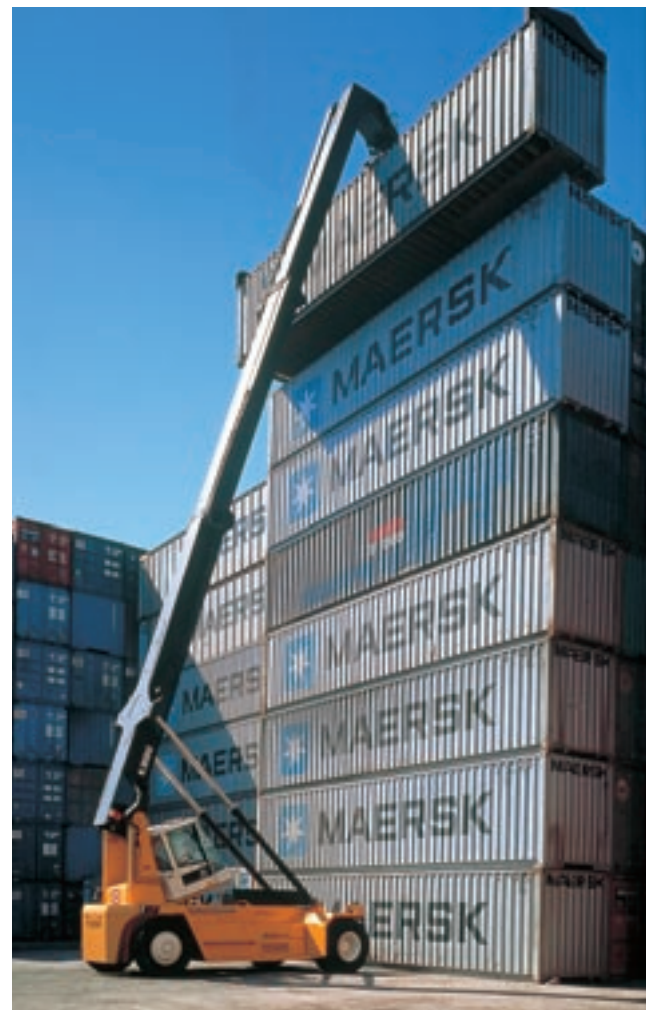
Pavimentos exteriores



Pavimentos exteriores en terminales de puertos y contenedores, donde se producen cargas elevadas



Photo courtesy of NASM



Para los requisitos más rigurosos – el mayor nivel de calidad = Dramix®

Las cargas dinámicas de ruedas no representan ningún problema en los pavimentos de alto rendimiento reforzados con fibras de acero Dramix®



**IFT International
Fibre Technology**



Fasertechnik



**IFT Fasertechnik
GmbH & Co. KG**



Fasertechnik

IFT Fasertechnik GmbH & Co. KG
Von-Hofmann-Str. 20
44579 Castrop-Rauxel
Tel.: ++49 23 05 / 41 90 50
Fax: ++49 23 05 / 41 90 599
info@ift-fasertechnik.de
www.ift-fasertechnik.de

International Fibre Technology
IFT s.a.r.l.
9, Rue Raoul Dautry
F-91190 Gif sur Yvette
Tel.: ++33-1/60 92 00 65
Fax: ++33-1/64 46 46 11
E-Mail:
Mathieu@ift-fasertechnik.de

Su persona de contacto in situ:

IFT International Fibre Technology IFT International Fibre Technology IFT International Fibre Technology IFT

Un material moderno: Fibras de acero





Todo en uno:

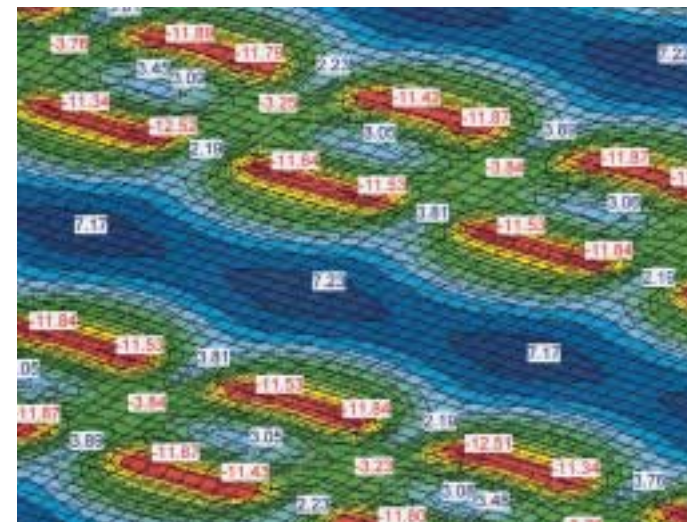


Vivimos la innovación

IFT Fasertechnik GmbH & Co. KG trabaja desde su constitución en el año 1992 en el desarrollo, producción, distribución y aplicación de fibras de acero como sustituto de una armadura clásica de acero en materiales de construcción ligados con cemento.

En pocos años hemos logrado desarrollar, adquirir y ejecutar proyectos clave a escala mundial en la industria de la construcción en hormigón de fibra, como p.ej. SWEDISH MATCH en construcción industrial, CARGO-LIFTER en construcción de naves, VIGO en construcción de puertos y el paso subterráneo de Themse CTRL 320 para el trazado París – Londres en construcción de túneles.

Entre nuestros satisfechos clientes se encuentran contratistas de renombre y constructoras de éxito. Los productos de IFT se han desarrollado con la experiencia de más de 25 años en la tecnología de la fibra de acero. Un procedimiento patentado de producción permite la fabricación económica de la gama de productos DUOLOC, la parte esencial de nuestra competencia profesional. Las actividades de ingeniería y servicios que requiere la distribución las lleva a cabo un equipo cualificado que puede recurrir a una larga experiencia en la supervisión, diseño y aplicación de hormigones de fibra. Los sistemas de dosificación de la serie DINO completan nuestra gama de productos.



La experiencia, el know-how y un costoso software FEM posibilitan unos cálculos de fuerzas estáticas detallados, incluso para los proyectos de construcción más complejos.

Los certificados nacionales e internacionales facilitan hoy en día la aplicación económica en los campos clásicos de la construcción. La continua investigación y experimentación en obras amplía diariamente los conocidos campos de aplicación.

Una red de distribución a escala mundial con personas de contacto en más de 20 países se ocupa de la asistencia profesional a nuestros clientes en todo lo referente a la aplicación práctica, desde INGENIERÍA hasta SERVICIO POST-VENTA.

Productos de gran valor y calidad probada y una técnica de procedimientos y servicios orientados a la absoluta vanguardia tecnológica: esa es la filosofía de nuestra empresa.



RAPPORT n° 00.023
DOSSIER n° KX 2800



Nuestros productos están registrados y certificados a nivel mundial.



Doblemente segura:

DUOLOC® - la fibra de hilo de acero

Las fibras de acero DUOLOC® son fabricadas con hilo de acero de alta resistencia estirado en frío e integradas en materiales de construcción ligados con cemento. Los morteros y hormigones ligados con cemento y reforzados con fibra no dan el resultado deseado si las fibras se desprenden de la matriz. Para evitarlo, IFT Fasertechnik ha desarrollado una fibra de acero con un doble sistema de anclaje: la fibra de hilo de acero DUOLOC con ganchos en los extremos y un gofrado adicional.

El "double locking system", el sistema

de doble anclaje mediante ganchos en los extremos y gofrado en el brazo, cumple perfectamente todos los requisitos de las normas industriales sobre características elastoplásticas de materiales de construcción reforzados con fibra de acero.

DUOLOC hace que el hormigón frágil sea resistente: que es requerimiento crucial en la moderna construcción de hormigón.

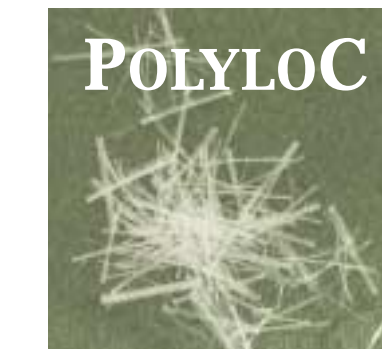
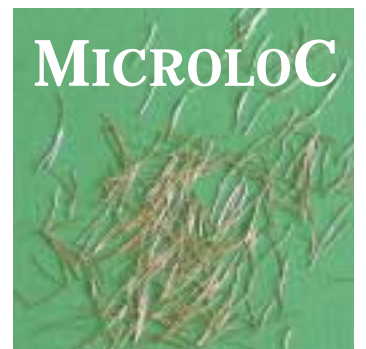
La calidad de la familia de productos DUOLOC se controla de forma constante conforme al código de inspección DIBt: Z-71.4-8.

Las fibras de acero DUOLOC reúnen todos los requisitos de eficacia y económicos que se imponen a las actuales fibras de acero.

Los otros grupos de productos de IFT: UNOLOC, la fibra de hilo de acero con ganchos en los extremos; TRIOLOC, la combinación DUOLOC/POLYLOC; MICROLOC, la fibra finísima; POLYLOC, la fibra de polipropileno, se han seleccionado y configurado también conforme a los criterios más exigentes de forma que garanticen una adaptación óptima a otras aplicaciones posibles.

Las dimensiones geométricas, el diseño y los tratamientos superficies de los productos IFT permiten su utilización sin problemas en plantas de hormigón o en obra.

La gama de productos IFT UNOLOC, DUOLOC, TRIOLOC, MICROLOC y POLYLOC.



Nuestros clientes de todo el mundo confían en el amplísimo KNOW HOW en asesoramiento, planificación, producción y aplicación de hormigones con fibra.





Servicio completo:



Sistemas de separación y dosificación DINO



Hoy en día se procesan industrialmente grandes cantidades de fibras de acero en la construcción industrial o de túneles. Como las fibras de acero

no es un material que se pueda verter, el procesamiento de fibras sueltas y delgadas puede resultar difícil. Si no se procesa adecuadamente se pueden enredar por completo. Para llevar a cabo de forma impecable la adición de las fibras de acero, IFT ha desarrollado los sistemas de separación, dosificación y transporte **DINO**, que contribuyen de forma considerable al aumento de la seguridad en el trabajo, la productividad y a la mejora de la mezcla.

El sistema de pesada cws de autoaprendizaje dosifica la cantidad necesaria de fibras – de forma absolutamente precisa – para realizar una mezcla sin que se haga un solo enredo.




Los sistemas DINO son instalaciones móviles, construidas de forma modular. El tamaño va desde DINO 50 con mando manual hasta el DINO 100 cws para su integración completamente automática en plantas de hormigón fijas.

Una menor necesidad de personal y una potencia de dosificación de 50-100 kg/min caracterizan el sistema DINO 100 con adición de fibras en BIG BAGS.




Los sistemas DINO se pueden utilizar directamente en la obra o en la planta de hormigón: la alimentación de la hormigonera con fibras se realiza a discreción por un transporte neumático o por sistemas de cintas.

Se puede llenar un DINO con cartones o unidades de embalaje de gran volumen (BIG BAGS).



La introducción de BIG BAGS reutilizables le evitará tener que preocuparse por eliminar los residuos restantes.



Su estructura modular permite adecuar el sistema DINO a las condiciones y requisitos individuales de cada caso. ¡La dosificación será la adecuada!



Sobre hormigón armado de fibra

DUOLOC®



También en el ámbito de pavimentos calefactados se utiliza hormigón armado de fibra por su rápido comportamiento de regulación. Para estabilizar su posición, los tubos de calefacción se fijan a una armadura ligera de esteras.

Hoy en día los suelos industriales de hormigón armado de fibra son parte integral de la construcción industrial.

El campo de aplicación se extiende desde superficies comerciales con cargas reducidas hasta superficies industriales con cargas muy elevadas en la producción de acero y vidrio, desde la cámara frigorífica hasta suelos calefactados.

En los pavimentos con fuertes sobrecargas es donde la eficacia del hormigón armado de fibra ha sido demostrada particularmente, millones de metros cuadrados de suelos de hormigón de fibra demuestran las ventajas económicas del sistema. El extraordinario comportamiento de deformación y resistencia y la sencillez de procesamiento llevan, junto a una gran facilidad de manejo, a unas satisfactorias tendencias: los pavimentos de dimensiones reducidas

habituales hasta ahora se están sustituyendo cada vez más por soleras sin juntas de hasta 3000 m².

Los suelos de hormigón sin juntas requieren una logística detallada, un hormigón armado de fibra de alta calidad y una instalación mecanizada realizada por personal cualificado.

La combinación de este sistema con armaduras de acero o acero pretensado permite otras soluciones técnica o económicamente interesantes.

El hormigón de fibra se puede combinar de forma ideal con distintos acabados superficiales: la gama de posibilidades se extiende desde endurecedores superficiales hasta recubrimientos con resinas sintéticas.



Por los diferentes coeficientes de expansión entre áreas calefactadas y no calentadas se utilizan los tacos especiales IFT para la transmisión de fuerzas transversales verticalmente. En dirección horizontal las placas se pueden mover libremente.



Los suelos industriales modernos de hormigón armado de fibra se caracterizan por su elevada capacidad portante, su alta resistencia a la fisuración y su durabilidad.



Todo incluido:



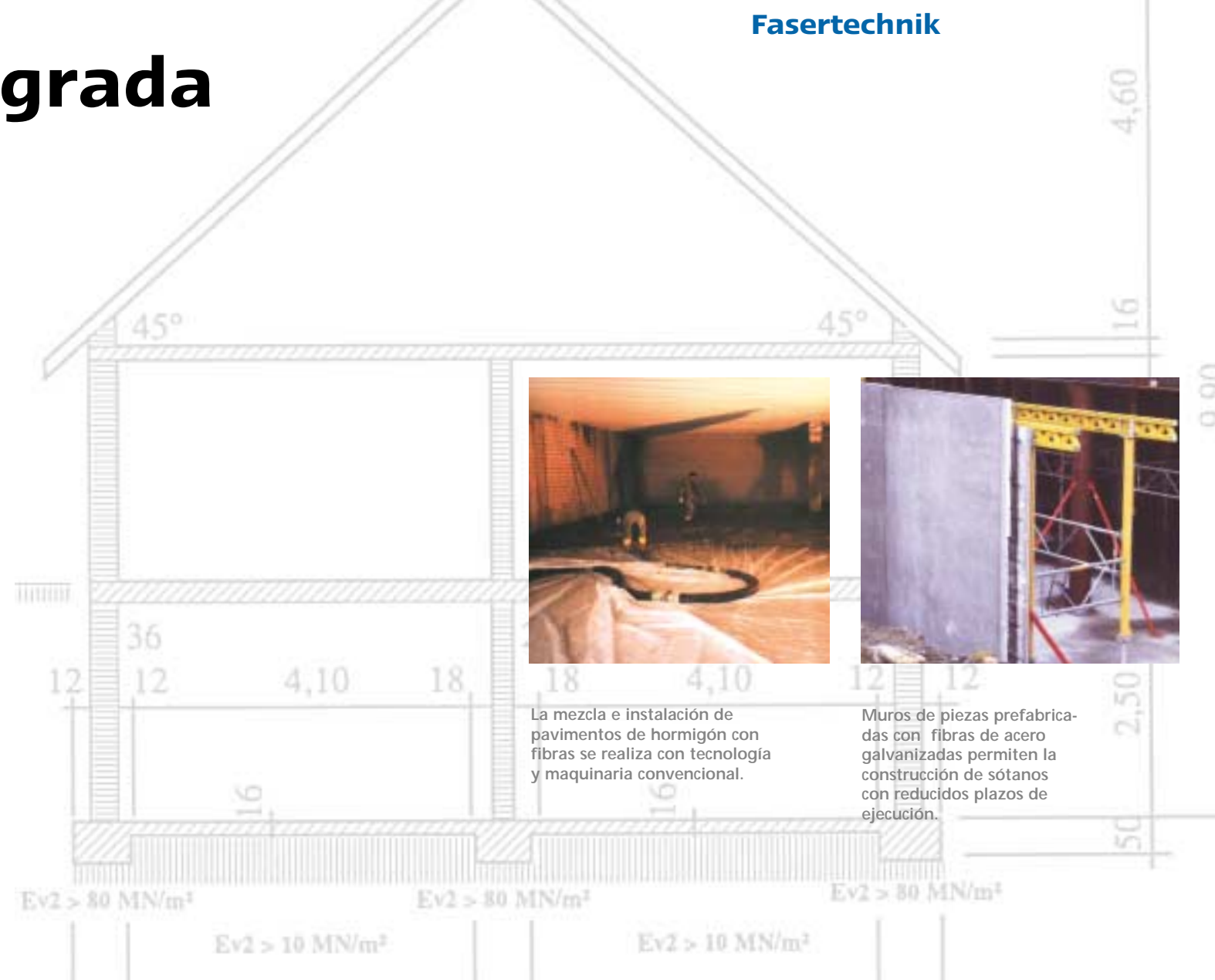
un material con armadura integrada

El consumo de fibras de acero ha crecido sin parar en los últimos años. Sólo en Alemania unas 40.000 toneladas al año. Por lo tanto, ya hace tiempo que el hormigón armado de fibras no es algo de moda, sino que se trata de una interesante alternativa al hormigón armado tradicional. Ante este hecho, el hormigón armado de fibra DUOLOC ha buscado introducirse en la construcción industrial y de viviendas. Losas de cimentación y sótanos, cimientos de zapatas corridas, paredes de sótanos en construcción de hormigón moldeado in situ o de piezas prefabricadas, garajes, terrazas o muros de jardines son campos de aplicación

típicos de este material con armadura incluida. Saliendo directamente de la hormigonera, el hormigón armado de fibra se puede aplicar rápidamente y sin problemas. Al utilizar hormigón de fibra en vez de la armadura de acero tradicional se puede conseguir en numerosas aplicaciones un considerable ahorro de tiempo, renunciar a capas de limpieza y reducir el grosor de los elementos de construcción. Los argumentos más convincentes son las ventajas de tiempo o costes, además de la calidad del material. Para ayudar a arquitectos, contratistas, constructoras y empresas especializadas elaboramos como servicio gratuito unos 3.000 cálculos estáticos al año conforme a las directrices y normas nacionales e internacionales.



La presión de plazos y costes está a la orden del día en las inmobiliarias. El hormigón armado de fibra, p.ej. como capa de hormigón sobre losas prefabricadas, suele ser una interesante alternativa.



La mezcla e instalación de pavimentos de hormigón con fibras se realiza con tecnología y maquinaria convencional.



Muros de piezas prefabricadas con fibras de acero galvanizadas permiten la construcción de sótanos con reducidos plazos de ejecución.

.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 544 (1988) "Measurement d Properties of Fiber Reinforced Concrete", ACI Report 544.211. ACI Mater. J., V. 85, nº 6. pp. 583-593.
- AENOR UNE 83509 (1988) "Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Rotura por flexotracción", Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid.
- AENOR UNE 83510 (1989) "Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Determinación del índice de tenacidad de resistencia a la primera fisura", Asociación Española de Normalización Científica, Madrid.
- IMCYC (2002) "Guía para la construcción de pisos y losas de concreto ACI 302", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., México D.F.
- AFNOR P 18409 (1993) "Betton avec fibres métalliques - Essai de Flexion", Association Française de Normalization, Paris. France.
- ASTM C 1018 (1992) "Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crock Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)". Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, EE.UU.
- BATSON, G.B. y EISSA, A.B.H. (1992) "Fracture Toughness Measurements of High Strength Steel Fiber Concrete", High Performance Fiber Reinforced Cement Composites, eds. H. W. Reinhardt and A.E. Naaman, E&FN Spaon, Londres, pp. 325-336.
- BRYARS, L., GETTU, R., BARR, B. y ARIÑO, A. (1994a) "Size Effect in the Fracture of Fiber-Reinforced High-Strength Concrete", Fracture and Damage in Quasibrittle Structures (Europe-U. S. Workshop, Praga), Eds. Z.P. Bazant, Z. Bittnar, M. Jirasek y J. Mazars, E & FN Spon, Londres, pp. 319-326.
- RODRIGUEZ LOPEZ, F. y PRADO PEREZ-SEOANE, D. (1984) "Hormigón con la incorporación de fibras", REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, Octubre 1984, pp. 779-796. España.
- RILEM TC 162-TDF (2000) "Test and Design Methods for Steel Fibre Reinforced Concrete", Materials and Structures, V. 33, pp. 3-5.
- TROTTIER, J.F. y BANTHIA, N. (1994), "Toughness Characterization of Steel-Fiber Reinforced Concrete", Journal of Civil Engineering Materials, ASCE, V. 6, nº 2, pp. 264-289

PISOS INDUSTRIALES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.