

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.



Facultad de Ingeniería Civil.

Concretos Especiales.

“Tesis” que para obtener el título de Ingeniero Civil.

Presenta: David Cervantes Navarro.

Morelia, Mich. Mayo 2008

Asesor de Tesis: Dr. José Carlos Rubio Avalos.

Tesis: Concretos Especiales.



U. M. S. N. H.

Oficios.

Facultad de Ingeniería Civil.



David Cervantes Navarro.



Oficios.





Agradecimientos y Dedicatorias.

A Dios: gracias a Dios por darme la vida y permitirme seguir aquí para estar con las personas que me quieren y también por cuidarme y siempre estar a mi lado.

A Mis Padres: gracias a mis padres Manuel Cervantes Campos y Elvira Navarro Rivas, por todo el apoyo que me han brindado, gracias a que me han dado todo y yo solo he dado mi más sincero respeto y cumplimiento hacia ellos y me han sabido aguantar tanto tiempo, me supieron educar de la forma correcta y han hecho un gran trabajo, por gran parte de todo lo que soy y tengo se los debo a ellos y con creces.

A Mis Hermanos: gracias a mis hermanos Manuel Cervantes Navarro, Noelia Cervantes Navarro, Saul Cervantes Navarro, que me han apoyado en las decisiones importantes, también aportando en gran medida parte de los que soy, a ellos se los debo, por que sin ellos y mis padres no tendría nada.

A Mi Familia: gracias a mi familia porque me han dado todo y mas, sin esperar nada a cambio, pero no obstante son capaces de seguirme dando, gracias porque todo se los debo a ustedes.

A Mis Amigos: gracias a mis amigos que supieron darme risas y disgustos, porque sin ambos no sabría cuales son los buenos y malos momentos, gracias por estar ahí cuando lo necesite y por brindarme su sincera amistad, esperando a cambio solo la misma correspondencia.

A Mi Asesor: gracias a mi asesor José Carlos Rubio Avalos que tuvo la paciencia y la dedicación de instruirme y que en ningún momento cuestiono mis aptitudes.

A Mi Novia: Alejandra Ibáñez Benítez gracias por aceptarme tal como soy, por apoyarme en este proyecto de vida, por ser tan atenta conmigo y por estar incondicionalmente para mí y brindarme tu cariño.

A Todos: gracias a todos por no dudar de mí y no cuestionar mis acciones, gracias por tenerme la paciencia suficiente y gracias por navegar en esta vida que es solo se lucha constantemente, en contra de uno mismo y de todo lo que lo rodea a uno, para que cada día uno pueda ser mejor, y que mejor que estar rodeado de las personas que te quieren y te apoyan y dedico mi esfuerzo a todos, mis padres, mis hermanos, mi familia, mis amigos, mi novia, mi asesor y todos los que han sido, son y serán parte de mi vida, porque seguramente estarán ahí para ayudarme en lo que necesite y claro que yo también estaré ahí para cuando me necesiten, ¡ Gracias !.





Índice.

Resumen.....6...

I. Introducción.....7...

II. Estado del Arte.....17..

 II.1. Concreto.....21..

 III.1.a Definición

 III.1.b Propiedades del Concreto fresco

 III.1.c Propiedades del Concreto endurecido

 III.1.d Aplicaciones

 III.1.e Pruebas

 II.2. Polímeros.....33..

 II.2.a Definición

 II.2.b Clasificación

 II.2.b.1 Según su Origen

 II.2.b.2 Según su Mecanismo de Polimerización

 II.2.b.3 Según su Composición Química

 II.2.b.4 Según sus Aplicaciones

 II.2.b.5 Según su comportamiento a la temperatura

 II.2.c Propiedades

 II.2.d Aplicaciones

 II.2.e Pruebas

 II.3. Refuerzos.....43..

 II.3.a Fibras de Polipropileno

 II.3.b Fibras de Acero

 II.3.c Fibras de Vidrio

 II.3.d Malla de Plástico, Acero

III. Concreto Celular.....60..

 III.1. Definición

 III.2. Propiedades

 III.3. Aplicaciones

 III.4. Pruebas





IV. Concreto Polimérico y/o modificado con Polímeros.....	67..
V. Concreto Fibroreforzado.....	75..
VI. Conclusiones.....	101..
VII. Bibliografías.....	103..





Resumen

Haciendo énfasis en que el cemento hoy día es el elemento de construcción más importante en la vida del ser humano en cuanto a la construcción, pero hay que recordar que este elemento tan importante con su historia muy particular tiene tanto virtudes como desventajas y conforme nuestro entorno así nos lo exige nos vemos en la necesidad como ingenieros ha adaptarnos a todos estos cambios y el cemento tiene la nobleza de ayudarnos en este camino de cambios como de mejorar en base a los errores que se cometan. ¿Y como nos ayuda esto de la nobleza del cemento? Bueno como todos sabemos existen diversos materiales tanto naturales como compuestos (hechos por el hombre mediante procesos químicos, físicos, etc.) pero los compuestos son los que por facilidad de obtención o producción y fusión (respuesta que nos brinda la conjunción de cementos con materiales compuestos) terminamos por elegir para la integración y por fin la construcción de obras.

Las facilidades de estos compuestos a las que refiero son obtener mayor resistencia tanto a la compresión como para la tensión que es lo que normalmente trabaja el concreto y torsión, claro que con la integración de acero para la propia construcción de edificación de obras, en otros casos también se busca la resistencia a abrasión como puede ser el agua de mar que por su contenido de sal representa un peligro, o en otros casos para la resistencia de ácidos en situaciones muy específicas de construcción es de vital importancia atender todas estas necesidades.

Y por estos casos y muchos otros hay que actuar implementando compuestos que ayuden a atender estas necesidades y desde luego también satisfacer el sentido de seguridad del ser humano al menos para los que no están involucrados en el proceso de construcción.





I. Introducción.





I. Introducción.

Antecedentes históricos del concreto

La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano supero la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

Templos, palacios, museos son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad.

El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero – mezcla de arena con materia cementosa – para unir bloques y lozas de piedra al elegir sus asombrosas construcciones.

Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada.

Un material *volcánico* muy apropiado para estas aplicaciones lo encontraron los romanos en un lugar llamado Pozzuoli con el que aun actualmente lo conocemos como pozoluona.

Investigaciones y descubrimientos a lo largo de miles de años, nos conducen a principios del año pasado, cuando en Inglaterra fue patentada una mezcla de caliza dura, molida y calcinada con arcilla, al agregársele agua, producía una pasta que de nuevo se calcinaba se molía y batía hasta producir un polvo fino que es el antecedente directo de nuestro tiempo.

El nombre del cemento Pórtland le fue dado por la similitud que esta tenía con la piedra de la isla de Pórtland del canal ingles.

La aparición de este cemento y de su producto resultante el concreto ha sido un factor determinante para que el mundo adquiriera una fisonomía diferente.

Edificios, calles, avenidas, carreteras, presas y canales, fabricas, talleres y casas, dentro del mas alto rango de tamaño y variedades nos dan un mundo nuevo de comodidad, de protección y belleza donde realizar nuestros mas ansiados anhelos, un mundo nuevo para trabajar, para crecer, para progresar, para vivir. [1]

- **Egipto Antiguo**

Los egipcios usaron el yeso calcinado para dar al ladrillo o a las estructuras de piedra una capa lisa.



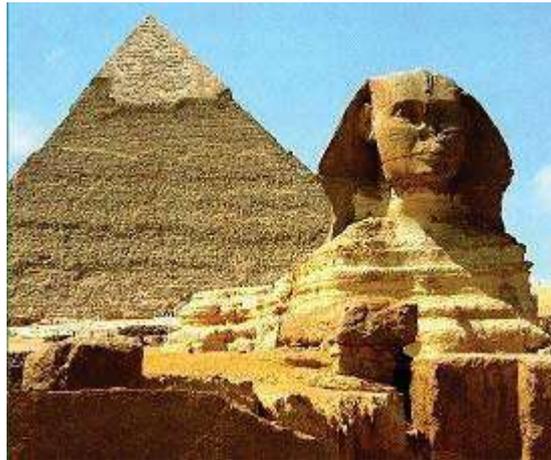


Imagen 1.0

- **Grecia antigua**

Una aplicación similar de piedra caliza calcinada fue utilizada por los Griegos antiguos.



Imagen 1.1

- **Antigua Roma**

El Coliseo Romano

Los romanos utilizaron con frecuencia el agregado quebrado del ladrillo embutido en una mezcla de la masilla de la cal con polvo del ladrillo o la ceniza volcánica. Construyeron una variedad amplia de estructuras que incorporaron





la piedra y concreto, incluyendo los caminos, los acueductos, los templos y los palacios.



Imagen 1.2

- **El Faro de Smeaton**

John Smeaton había encontrado que combinar la cal viva con otros materiales creaba un material extremadamente duro que se podría utilizar para unir juntos otros materiales. Él utilizó este conocimiento para construir la primera estructura de concreto desde la Roma antigua.

"John Smeaton, uno de los grandes ingenieros del siglo dieciocho, logró un triunfo al construir el faro de Eddystone en Inglaterra. Los faros anteriores en este punto habían sido destruidos por las tormentas y el sitio estaba expuesto a la extrema fuerza del mar. Pero Smeaton utilizó un sistema en la construcción de su cantería que la limita junta en un todo extremadamente tenaz. Él bloqueó las piedras unas en otras y para las fundaciones y el material de junta utilizó una mezcla de la cal viva, arcilla, arena y escoria de hierro machacada – concreto, eso es. Esto ocurrió en 1774... [y] es el primer uso del concreto desde el período romano."





Imagen 1.3

- **1825**

Paso del canal

El primer concreto moderno producido en América se utiliza en la construcción del canal de Erie. Se utilizó el cemento hecho de la "cal hidráulica" encontrada en los condados de Madison en Nueva York, de Cayuga y de Onondaga.



Imagen 1.4

- **1901**

Abrazadera de columna

Arthur Henry Symons diseñó una abrazadera de columna que se utilizaría con las formas de concreto trabajo – construidas.

Arthur Henry Symons diseñó una abrazadera de columna para encofrado de concreto en su departamento de herrero en la ciudad de Kansas. Era ajustable y mantenía las formas cuadradas, dos características apreciadas por los contratistas de concreto. La abrazadera llegó a ser rápidamente popular y los contratistas pidieron que él hiciera más equipo para resolver sus necesidades en la construcción de concreto.



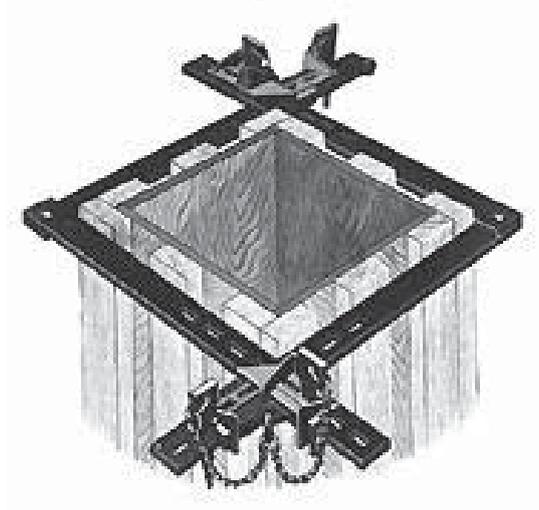


Imagen 1.5

- **1902**

August Perret diseñó y construyó un edificio de apartamentos en París que usa las aplicaciones que él llamó "sistema trabeadado para el concreto reforzado". Fue estudiado y también imitado ampliamente y además influyó profundamente la construcción en concreto por décadas.

- **1905**

Templo Unity

Frank Lloyd Wright comenzó la construcción del famoso templo de la Unidad en Oak Park, Illinois. Tomando tres años para terminar, Wright diseñó la masiva estructura con cuatro caras idénticas de modo que su costoso encofrado se pudiera utilizar múltiples veces.

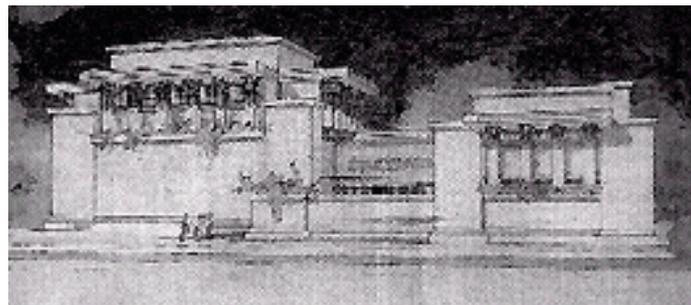


Imagen 1.6

Falling Waters

Frank Lloyd Wright creyó que el concreto era un material de construcción importante que debe ser utilizado en muchas maneras. Él lo utilizó como vigas ocultas de ayuda, losas, paredes y techos en la mayoría de sus trabajos desde 1903 en adelante.



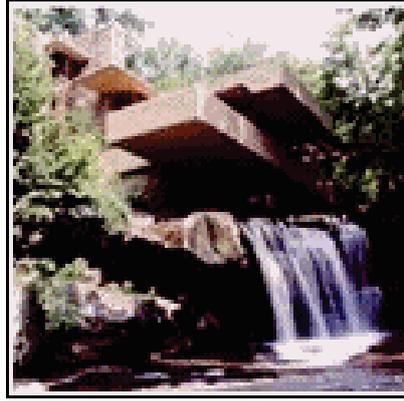


Imagen 1.7

- **1908**

Edison con casa modelo

Thomas Alva Edison construyó 11 hogares de concreto moldeados en sitio en Union, Nueva Jersey. Esos hogares aún siguen siendo utilizados. Él también puso la primera milla del camino en concreto cerca de New Village, Nueva Jersey.

Thomas Edison creyó que el concreto era el material que revolucionaría los hogares. Él quería que el trabajador promedio pudiera vivir en casas finas, que el concreto haría rentable. Este modelo adornado era similar a los 11 hogares que él construyó. Usando concreto y formas avanzadas, cada hogar era vertido de piso a techo en un día.

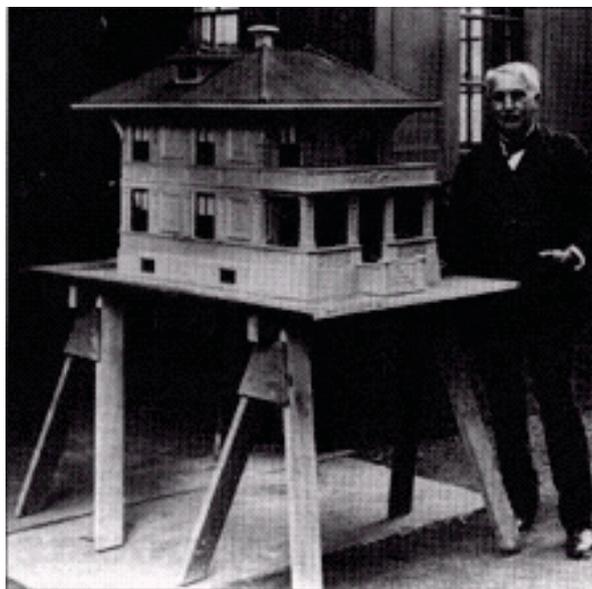


Imagen 1.8

- **1914**

La construcción del Canal de Panamá





El Canal de Panamá fue abierto después de décadas de construcción. Ofrece tres pares de esclusas de concreto con suelos tan gruesos como 20 pies y las paredes tan gruesas como 60 pies en el fondo.

El Canal de Panamá tomó más de 30 años para terminarse a un costo de \$347 millones. Los desafíos de ingeniería encontrados fueron enormes. Las condiciones geológicas difíciles, la obtención de las materias primas necesarias y mano de obra, más la enorme escala del equipo requirieron la innovación ilimitada. Las formas de acero para las superficies interiores de las esclusas fueron 24.38 metros de alto y 10.97 metros de ancho.

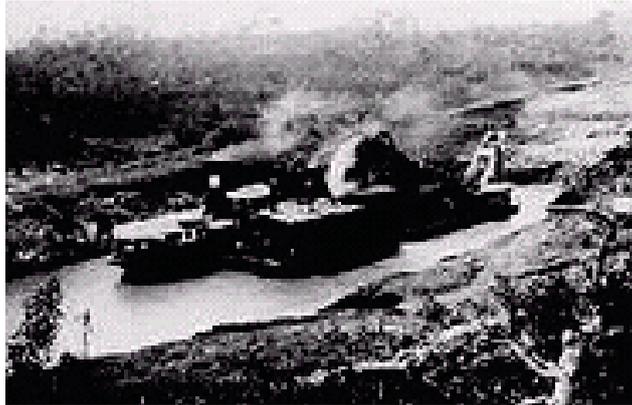


Imagen 1.9

- **1921**

Hangar de aeronaves

Los vastos y parabólicos hangares de dirigibles en el aeropuerto de Orly en París fueron terminados.

Los hangares extensos de los dirigibles de Eugene Freyssinet (comenzados en 1916) fueron construidos de costillas parabólicas pre-tensadas. La forma permitió la más grande y posible fuerza estructural para el enorme volumen necesario para contener los dirigibles. La naturaleza incombustible del concreto fue el factor principal que convenció al equipo de Orly a que aprobara el diseño altamente inusual.

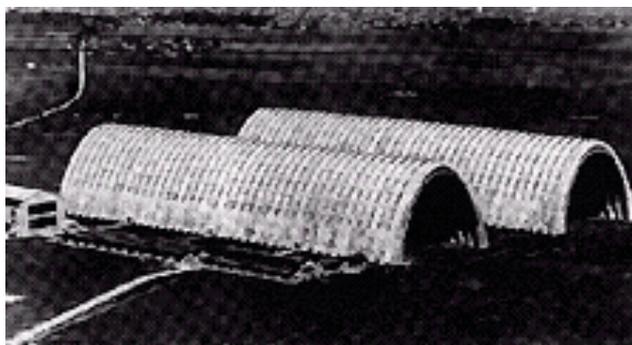


Imagen 1.10





- **1973**

La Casa de Ópera

Se inaugura la casa de ópera en Sydney, Australia. Sus distintivos picos de concreto se convirtieron rápidamente en un símbolo para la ciudad. [1.1]



Imagen 1.11

- **Actualmente**

La más grande del mundo. Así será Tres Gargantas, la presa con la que China pretende dominar las aguas del Yangtzé, el río "dragón", y de paso producir mucha más energía hidroeléctrica. La nueva muralla anegará pueblos, riquezas arquitectónicas. Sólo es el principio, el siguiente río por dominar será el Mekong. Es tal vez el desafío mas grande de ingeniería realizado por el hombre, que relacione al concreto con un costo aproximado a los 75 billones de dólares. Además producirá 18200 megawatts. [1]



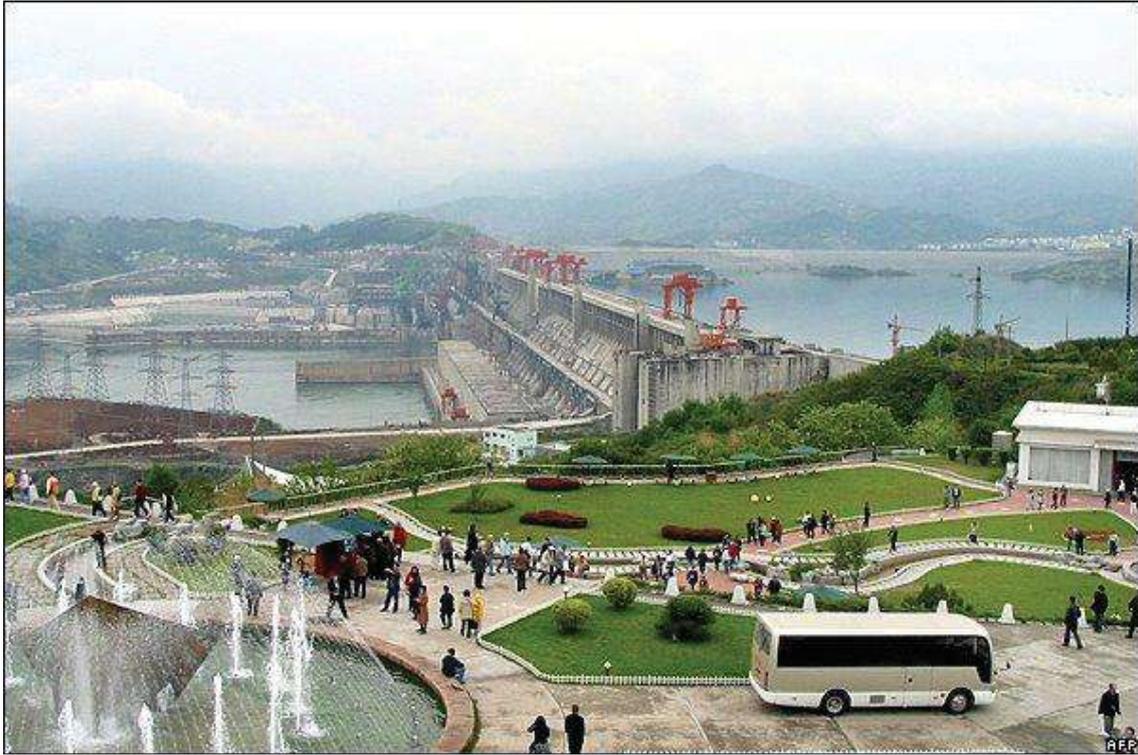


Imagen 1.12 y 1.13





II. Estado del Arte.





II. Estado del Arte.

Fundamentos sobre el concreto

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregado y pasta. La pasta, compuesta de Cemento Pórtland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el Cemento y el agua.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. 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.

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano.

El concreto debe ser trabajable pero no se debe segregar excesivamente.

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

El concreto ni endurece ni se cura con el secado, requiere de humedad para hidratarse y endurecer.

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial.

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,240 y 2,400 kg por metro cúbico (kg/m³).

Del concreto utilizado en estructuras y pavimentos, se espera que tenga una vida larga y un mantenimiento bajo. Debe tener buena durabilidad para resistir condiciones de exposición anticipadas.

El hormigón, también denominado concreto en algunos países, es un material muy utilizado en la construcción.

Resulta de la mezcla de uno o más conglomerantes (generalmente, se usa cemento) con áridos (grava, gravilla y arena), agua y, eventualmente, aditivos y adiciones. El cemento se hidrata en contacto con el agua, iniciándose





complejas reacciones químicas que derivan en el fraguado y endurecimiento de la mezcla, obteniéndose al final del proceso un material con consistencia pétreo.

Los aditivos se utilizan para modificar las características básicas, existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, etc.

Aireado o celular

Se obtiene incorporando a la mezcla gran cantidad de aire, resultando un hormigón de densidad < 1 , lo cual le permite flotar, y con buenas características de aislamiento térmica.

Traslúcido

Existe un hormigón traslúcido, obtenido por mezcla con plástico o fibra de vidrio. Un modelo a pequeña escala de una capilla con paredes de hormigón traslúcido ha sido desarrollado por Will Wittig.

Conducen electricidad, además de ser más resistentes y ligeros que los cementos convencionales.

El concreto traslúcido tiene un peso volumétrico máximo de 2100 kg/m³ y el gris de 1950 kg/m³, cifras menores a los 2500 kg/m³, que es el peso de los cementos comerciales.

Permitirá, en el futuro, la construcción de edificios con muros y pisos por los cuales pueda atravesar la luz.

Micro hormigón

Es un hormigón de altas prestaciones en los cuales las partículas del árido no superan los 10 mm. Se utiliza para la fabricación de tejas de hormigón y otros materiales.

Adquieren 90 por ciento de su resistencia final en menos de siete días, lo cual permitiría un ahorro significativo en la industria de la construcción, pues el tiempo para levantar una edificación disminuiría casi 60 por ciento.

Permeable

Es un hormigón que utiliza áridos de gran tamaño, lo cual permite que una vez colocado queden huecos entre la pasta y las piedras. Por estos espacios puede escurrir el agua u otros líquidos. Su desarrollo aún está en fase experimental, pero se proyecta su utilización en estacionamientos y pavimentos.





Ciclópeo

El concreto ciclópeo está constituido por una mezcla de hormigón con una resistencia última a la compresión de 175 kg/cm² a los 28 días, a la cual se le agregará hasta el 35% de piedra. Es utilizado principalmente para muros de contención, cimientos corridos y sobre cimientos.

De alta densidad

Los hormigones convencionales tienen una densidad aproximada de entre 2200 y 2500 kg/m³. Se denomina hormigón de alta densidad u hormigón pesado a todos aquellos hormigones con una densidad superior a la habitual. Estos hormigones, capaces de alcanzar densidades de hasta 6000 kg/m³ y más, están fabricados con áridos de densidades superiores a los habituales (normalmente barita, magnetita, hematita...). El hormigón pesado se ha utilizado generalmente para blindar estructuras y proteger frente a la radiación. Centrales nucleares, salas de radiología de hospitales, aceleradores de partículas. [2].





II.1 Concreto.

II.1 .a Definición

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes:

Agregado y pasta. La pasta, compuesta de Cemento Pórtland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el Cemento y el agua.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. 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 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. La figura " A " muestra que 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.

Como los agregados constituyen aproximadamente el 60 al 75 % del volumen total del concreto, su selección es importante. 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. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

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



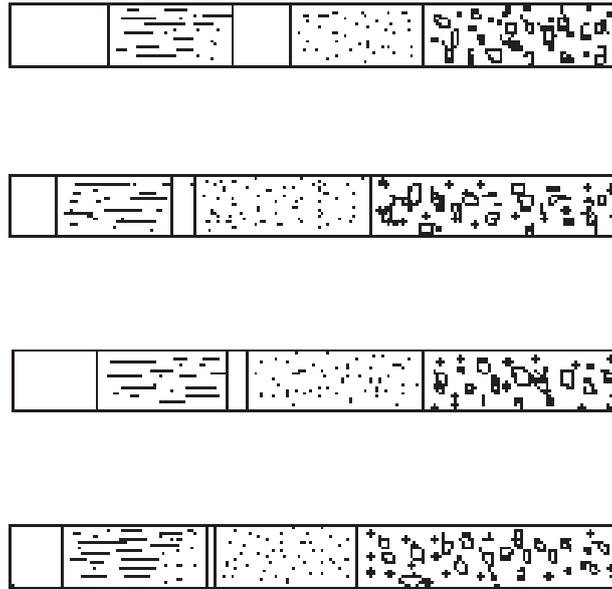


Figura 1 – 1 Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados pequeños. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados grandes.

Imagen y cuadro 2.0

Para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la cantidad de concreto endurecido está 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:

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 agregamientos 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 más rígidas; pero con vibración, a las mezclas más rígidas pueden ser empleadas. Para una calidad dada de concreto, las mezclas más rígidas son las más económicas. Por lo tanto, la consolidación del concreto por vibración permite una mejora en la calidad del concreto y en la economía.





Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido, se puede modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante su dosificación. Los aditivos se usan comúnmente para (1) ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento, (2) reducir la demanda de agua, (3) aumentar la trabajabilidad, (4) incluir intencionalmente aire, y (5) ajustar otras propiedades del concreto.

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. El concreto también es un excelente material de construcción porque puede moldearse en una gran variedad de formas, colores y texturizados para ser usado en un número ilimitado de aplicaciones. [2.1]

II.1.b Propiedades del concreto fresco

Concreto recién mezclado

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 líquido 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 práctica 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.

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.

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 más cerca posible de su posición final. El aire incluido mejor a la trabajabilidad y reduce la tendencia del concreto fresco de segregarse y sangrar.

II.1.c Propiedades del Concreto endurecido

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 más 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 fáciles de consolidar a mano bajo ciertas condiciones.

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 tienen un 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 ser 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.

Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más 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 hidrata 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 más 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 más 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.

Concreto endurecido curado húmedo

El aumento de resistencia continuara con la edad mientras este presente algo de cemento sin hidratar, a condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80% y permanezca favorable la temperatura del concreto. Cuando la humedad relativa dentro del concreto cae aproximadamente al 80% o la temperatura del concreto desciende por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia virtualmente se detiene.





Si se vuelve a saturar el concreto luego de un periodo de secado, la hidratación se reanuda y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento en que se ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada debido a que el concreto es difícil de restaurar.

Velocidad de secado del concreto

El concreto ni endurece ni se cura con el secado. El concreto (o de manera precisa, el cemento en el contenido) requiere de humedad para hidratarse y endurecer. El secado del concreto únicamente está relacionado con la hidratación y el endurecimiento de manera indirecta. Al secarse el concreto, deja de ganar resistencia; el hecho de que este seco, no es indicación de que haya experimentado la suficiente hidratación para lograr las propiedades físicas deseadas.

El conocimiento de la velocidad de secado es útil para comprender las propiedades o la condición física del concreto. Por ejemplo, tal como se menciono, el concreto debe seguir reteniendo suficiente humedad durante todo el período de curado para que el cemento pueda hidratarse. El concreto recién colado tiene agua abundante, pero a medida de que el secado progresa desde la superficie hacia el interior, el aumento de resistencia continuara a cada profundidad únicamente mientras la humedad relativa en ese punto se mantenga por encima del 80%.

La superficie de un piso de concreto que no ha tenido suficiente curado húmedo es una muestra común. Debido a que se seca rápidamente, el concreto de la superficie es débil y se produce descascaramiento en partículas finas provocado por el tránsito. Asimismo, el concreto se contrae al secarse, del mismo modo que lo hacen la madera, papel y la arcilla (aunque no tanto). La contracción por secado es una causa fundamental de agrietamiento, y le ancho de las grietas es función del grado del secado.

En tanto que la superficie del concreto se seca rápidamente, al concreto en el interior le lleva mucho más tiempo secarse.

Note que luego de 114 días de secado natural el concreto aun se encuentra muy húmedo en su interior y que se requiere de 850 días para que la humedad relativa en el concreto descendiera al 50%.

El contenido de humedad en elementos delgados de concreto que han sido secados al aire con una humedad relativa de 50% a 90% durante varios meses es de 1% a 2% en peso del concreto, del contenido original de agua, de las condiciones de secado y del tamaño del elemento de concreto.

El tamaño y la forma de un miembro de concreto mantienen una relación importante como la velocidad de secado. Los elementos del concreto de gran área superficial en relación a su volumen (tales como losas de piso) se secan con mucho mayor rapidez que los grandes volúmenes de concreto con ares





superficiales relativamente pequeñas (tales como los estribos de puentes). Muchas otras propiedades del concreto endurecido se ven también afectadas por su contenido de humedad; en ellas incluye la elasticidad, flujo plástico, valor de aislamiento, resistencia al fuego, resistencia al desgaste, conductividad eléctrica, durabilidad.



Imagen 2.1 (Hormigón de un acueducto Romano.)

II.1.d Aplicaciones

Como se vio en la introducción y en el estado del arte el concreto se creó con el fin de tener un material manipulable, resistente, durable y lograr diversificar con él.

Principalmente lo utilizamos en obras civiles tales como construcción de edificios de concreto reforzado, canales hidráulicos para conducir a placer el agua ya sea potable como de residuos, presas hidráulicas que permiten originalmente controlar la avenida y generar energía eléctrica, puente ya sean peatonales o vehiculares, casas habitacionales, caminos peatonales y vehiculares, apoyos especiales para resistir otras estructuras como pueden ser las estructuras metálicas y así mismo crear especímenes que permitan obtener datos de sus propiedades físicas y así mejorar estas con la implementación de componentes químicos que ayuden a crear el mejor concreto dependiendo de las características de la obra, ya que cada reto de construcción demanda diferentes soluciones tales que hay que adecuarse y obtener los mejores





resultados para ofrecer mejores modos de vida en cuanto a obras de infraestructura se refiere.

Por ejemplo en la construcción de un edificio con concreto reforzado generalmente es para lo que viene siendo el esqueleto del edificio que nos es más que columnas, trabes, cimientos, losas, escaleras, etc.

En el caso de canales hidráulicos se construyen secciones trapeciales, rectangulares, circulares generalmente para conducir el agua de un punto a otro de la manera más eficientemente posible, en algunos casos hasta la necesidad de contenerla como podría ser el caso de una planta de tratamiento de aguas servidas en fase secundaria para darle el tratamiento correspondiente, en otros casos sería para almacenarla temporalmente y repartirla a la población, claro que se trataría de agua potable en este caso. En el caso de las presas este sirve para inyectarlo en el terreno natural que está más próximo a las paredes de la cortina, y en la cortina misma, así como en todos los implementos que permitan la colocación de las instalaciones hidroeléctricas, etc.

La creación de cimientos a base de pilotes, zapatas corridas, zapatas aisladas, caminos de acceso en la ciudad como son calles, banquetas, puentes peatonales, vehiculares y de recintos deportivos como estadios o culturales como teatros, explanadas, etc.

Las bondades del concreto son muchas el hecho de que le podamos dar las formas más caprichosas que queramos hasta la más simple, nos da múltiples posibilidades de imaginación creativa, pero hay que recordar que nuestro planeta se mueve y modifica constantemente, los movimientos naturales de las placas tectónicas nos limitan a no desafiar las capacidades del concreto al las que se ve expuesto como son: compresión, tensión, torsión y la combinación de estas. [2], [2.5]

II.1 .e Pruebas

Las pruebas que se realizan al concreto van desde agregados para el concreto, ensayos al concreto fresco, pruebas no destructivas, evaluación de resinas epoxicas para concreto endurecido, ensayos de prefabricados, ensayos de acero de refuerzo, preesfuerzo y estructural.

- Las pruebas de agregados son (NMX-C-170, 77, 73, 164, 165, 84, 88, 30):
 1. Pruebas físicas de muestra de grava o arena, incluye: granulometría, peso específico, absorción, pesos volumétricos suelto y varillado, materia orgánica y perdida por lavado, prueba de abrasión (NMX-C-196),
 2. Límites de consistencia y contracción lineal (NMX C-416), equivalente de arena (NMX C-416)





3. coeficiente de forma, partículas planas y alargadas ASTM D-4791)
4. Efecto de materia orgánica (NMX C-88)
5. Análisis petrográficos (NMX C-265)
6. Determinación del contenido de sales solubles en agua
7. Reactividad potencial (NMX-C-271)
8. Intemperismo acelerado NMX-C-75
9. Determinación de grumos de arcilla y partículas deleznable (NMX-C-71)
10. Determinación de partículas ligeras (NMX-C-72)
11. Muestreo de agregados en banco al almacén (NMX C- 030).



Imagen 2.2

- Los ensayos del concreto en estado fresco son (NMX-C-161):
 1. determinación del revenimiento (NMX C-156)
 2. Determinación peso unitario (NMX-C-162)
 3. Determinación contenido de aire (NMX-C-157)
 4. Elaboración de especímenes cilíndricos y prismáticos (NMX C-160)
 5. Estudio de las propiedades físicas de los agregados, diseño teórico, mezcla de prueba y ajustes prácticos
 6. Elaboración de cilindros y/o vigas para ser ensayados a la compresión y flexión a diferentes edades
 7. Determinación de revenimiento
 8. Tiempos de fraguado inicial y final
 9. Contenido de aire
 10. Reducción de agua
 11. Resistencia a la compresión
 12. Resistencia a la flexión.



Imagen 2.3



- Para las pruebas no destructivas son
 1. Determinación del índice de rebote utilizando el dispositivo conocido como esclerómetro (NMX C-192)
 2. Determinación de la velocidad de pulso. Método del ultrasonido (NMX C-275)
 3. Determinación del índice y potencial de corrosión del acero de refuerzo embebido en el concreto utilizando un electrodo de referencia de plata cloruro de plata
 4. Localización del acero de refuerzo en trabes
 5. Columnas y losas utilizando un detector de acero de refuerzo
 6. Instrumentación de pruebas de carga en elementos estructurales horizontales (trabes y losas) de acuerdo al capítulo XI Art. 239 y 240 del Reglamento de Construcciones del D. D. F.



Imagen 2.4

- En evaluación de resinas epoxicas son:
 1. Determinación de las resistencia a compresión (ASTM D-695)
 2. Determinación de la resistencia a la tensión (ASTM D-638)
 3. Determinación de la resistencia a la adherencia en cilindros compuestos unido a 30° (ASTM C-882).



Imagen 2.5



- A los ensayos de prefabricados son:
 1. Compresión y absorción de blocks, tabiques, tabicones y adoquines de concreto (NMX C-36, 37 Y 314) Ensaye a compresión de pilas para determinación de esfuerzo resistente a compresión f'_m y el módulo de elasticidad.
 2. Ensaye a compresión diagonal de muretes para determinación del esfuerzo cortante resistente de diseño V^* y el módulo de rigidez.
 3. Ensaye de paneles para uso estructural en muros, techos y entrepisos (NMX C-405)
 4. Ensaye de Paneles Tipo I
 - Ensaye para determinar la resistencia a compresión simple en piezas unidas o individuales instrumentadas con dos deformímetros mecánicos.
 - Ensaye para determinar la resistencia a carga lateral en piezas unidas o individuales instrumentadas con dos deformímetros mecánicos.
 - Ensaye de piezas simples o unidas de 60 x 60 cm. para determinar la resistencia al fuego. Incluye el ensaye a compresión simple de las piezas ensayadas y su testigo.
 - Ensaye para determinar la resistencia al impacto en piezas unidas o individuales y determinación de su deformación.
 - Ensaye a carga uniformemente repartida en piezas unidas o individuales confinadas en todo su perímetro y medición de las deformaciones.
 5. Ensaye de Paneles Tipo II
 - Ensaye de resistencia a flexión en piezas unidas o individuales simplemente apoyadas en dos extremos.
 - Incluye medición de las deformaciones.
 - Ensaye para determinar la resistencia al impacto en piezas unidas o individuales y determinación de su deformación.
- Ensayes de acero de refuerzo, preesfuerzo y estructural son:
 1. Ensaye físicos de acero de refuerzo (NMX-C-407) Incluye:
 - Ensaye a tensión, límite de fluencia, límite de ruptura, % alargamiento, doblado y características de corrugaciones.
 - Ensaye físicos de acero de preesfuerzo.
 2. Incluye ensaye a tensión, límite de ruptura y % de alargamiento.
 - Ensaye físicos de acero de malla electro soldada. Incluye: ensaye a tensión, límite de ruptura y % de alargamiento.
 - Ensaye físicos de acero estructural A-36. Incluye: labrado de probeta de sección reducida, ensaye a tensión, límite de ruptura y % de alargamiento. [2.6]





Imagen 2.6 y 2.7

II.2. Polímeros

II.2.a Definición

En química, los polímeros son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamados monómeros.

Polimerización y Estructura:

La reacción por la cual se sintetiza un polímero a partir de sus monómeros se denomina polimerización. Según el mecanismo por el cual se produce la reacción de polimerización para dar lugar al polímero, ésta se clasifica como polimerización por pasos o como polimerización en cadena.





Tesis: Concretos Especiales.

En cualquier caso, el tamaño de la cadena dependerá de parámetros como la temperatura o el tiempo de reacción, teniendo cada cadena un tamaño distinto y, por tanto, una masa molecular distinta, por lo que se habla de masa promedio para el polímero.

La polimerización en etapas (condensación) necesita monómeros bi-funcionales.

Ej: HOOC--R1--NH₂

Si reacciona con sí mismo, entonces:

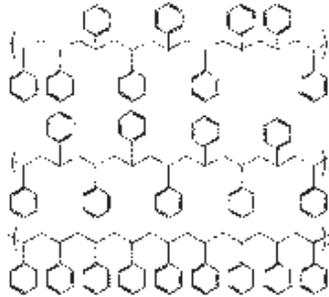


Imagen 2.8

Tacticidad de poliestireno, atáctico, sindiotáctico, isotáctico

Polímero lineal



Polímero ramificado

Imagen 2.9

La estructura puede ser lineal o ramificada (aparte de poder presentar entrecruzamientos). También pueden adoptar otras estructuras, por ejemplo radiales.

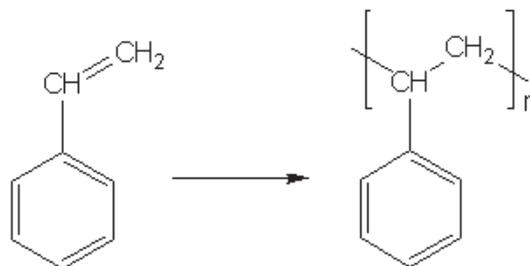


Imagen 2.10

Polimerización del estireno para dar poliestireno indica el grado de polimerización

Por otra parte, los polímeros pueden ser lineales, formados por una única cadena de monómeros, o bien esta cadena puede presentar ramificaciones de mayor o menor tamaño. También se pueden formar entrecruzamientos provocados por el enlace entre átomos de distintas cadenas.





La naturaleza química de los monómeros, su masa molecular y otras propiedades físicas, así como la estructura que presentan, determinan diferentes características para cada polímero. Por ejemplo, si un polímero presenta entrecruzamiento, el material será más difícil de fundir que si no presentara ninguno.

Los enlaces de carbono en los polímeros no son equivalentes entre sí, por eso dependiendo del orden estereoquímico de los enlaces, un polímero puede ser: atáctico (sin orden), isotáctico (mismo orden), o sindiotáctico (orden alternante) a esta conformación se la llama taticidad. Las propiedades de un polímero pueden verse modificadas severamente dependiendo de su estereoquímica.

En el caso de que el polímero provenga de un único tipo de monómero se denomina homopolímero y si proviene de varios monómeros se llama copolímero o heteropolímero. Por ejemplo, el poliestireno es un homopolímero, pues proviene de un único tipo de monómero, el estireno, mientras que si se parte de estireno y acrilonitrilo se puede obtener un copolímero de estos dos monómeros.

En los heteropolímeros los monómeros pueden distribuirse de diferentes maneras, particularmente para polímeros naturales, los monómeros pueden repetirse de forma aleatoria, informativa (como en los polipéptidos de las proteínas o en los polinucleótidos de los ácidos nucleicos) o periódica, como en el peptidoglucano o en algunos polisacáridos.

Los monómeros que conforman la cadena de un copolímero se pueden ubicar en la cadena principal alternándose según diversos patrones, denominándose copolímero alternante, copolímero en bloque, copolímero aleatorio, copolímero de injerto.

Para lograr este diseño, la reacción de polimerización y los catalizadores deben ser los adecuados.

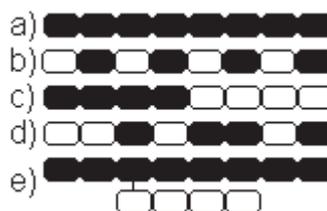


Imagen 2.11

- a) Homopolímero
- b) Copolímero alternante
- c) Copolímero en bloque
- d) Copolímero aleatorio
- e) Copolímero de injerto

Finalmente, los extremos de los polímeros pueden ser distintos que el resto de la cadena polimérica, sin embargo es mucho más importante el resto de la cadena que estos extremos debido a que la cadena es de una gran extensión comparada con los extremos.





II.2.b Clasificación

Existen varias formas posibles de clasificar los polímeros, sin que sean excluyentes entre sí.

II.2.b.1 Según su Origen

- **Polímeros naturales.** Existen en la naturaleza muchos polímeros y las biomoléculas que forman los seres vivos son macromoléculas poliméricas. Por ejemplo, las proteínas, los ácidos nucleicos, los polisacáridos (como la celulosa y la quitina), el hule o caucho natural, la lignina, etc.
- **Polímeros semisintéticos.** Se obtienen por transformación de polímeros naturales. Por ejemplo, la nitrocelulosa, el caucho vulcanizado, etc.
- **Polímeros sintéticos.** Muchos polímeros se obtienen industrialmente a partir de los monómeros. Por ejemplo, el nylon, el poliestireno, el cloruro de polivinilo (PVC), el polietileno, etc.

II.2.b.2 Según su Mecanismo de Polimerización

En 1929 Carothers propuso la reacción:

- **Polímeros de condensación.** La reacción de polimerización implica a cada paso la formación de una molécula de baja masa molecular, por ejemplo agua.
- **Polímeros de adición.** La polimerización no implica la liberación de ningún compuesto de baja masa molecular. Esta polimerización se genera cuando un "catalizador", inicia la reacción. Este catalizador separa la unión doble carbono en los monómeros, luego aquellos monómeros se unen con otros debido a los electrones libres, y así se van uniendo uno tras uno hasta que la reacción termina.
- **Polímeros formados por etapas.** La cadena de polímero va creciendo gradualmente mientras haya monómeros disponibles, añadiendo un monómero cada vez. Esta categoría incluye todos los polímeros de condensación de Carothers y además algunos otros que no liberan moléculas pequeñas pero sí se forman gradualmente, como por ejemplo los poliuretanos.





- **Polímeros formados por reacción en cadena.** Cada cadena individual de polímero se forma a gran velocidad y luego queda inactiva, a pesar de estar rodeada de monómero.

II.2.b.3 Según su Composición Química

- **Polímeros orgánicos.** Posee en la cadena principal átomos de carbono.
- **Polímeros vinílicos.** La cadena principal de sus moléculas está formada exclusivamente por átomos de carbono.
Dentro de ellos se pueden distinguir:
 - **Poliiolefinas**, formados mediante la polimerización de olefinas.
Ejemplos: polietileno y polipropileno.
 - **Polímeros estirénicos**, que incluyen al estireno entre sus monómeros.
Ejemplos: poliestireno y caucho estireno-butadieno.
 - **Polímeros vinílicos halogenados**, que incluyen átomos de halógenos (cloro, flúor, etc.) en su composición.
Ejemplos: PVC y PTFE.
 - **Polímeros acrílicos.** Ejemplos: PMMA.
 - **Polímeros orgánicos no vinílicos.** Además de carbono, tienen átomos de oxígeno o nitrógeno en su cadena principal.

Algunas sub-categorías de importancia:

Poliésteres
Policarpíos
Poliámidas
Poliuretanos

- **Polímeros ignorantes.** Entre otros:
Basados en azufre. Ejemplo: polisulfuros.
Basados en silicio. Ejemplo: silicona.

II.2.b.4 Según sus Aplicaciones

Atendiendo a sus propiedades y usos finales, los polímeros pueden clasificarse en:





- **Elastómeros.** Son materiales con muy bajo módulo de elasticidad y alta extensibilidad; es decir, se deforman mucho al someterlos a un esfuerzo pero recuperan su forma inicial al eliminar el esfuerzo. En cada ciclo de extensión y contracción los elastómeros absorben energía, una propiedad denominada resiliencia.
- **Plásticos.** Son aquellos polímeros que, ante un esfuerzo suficientemente intenso, se deforman irreversiblemente, no pudiendo volver a su forma original. Hay que resaltar que el término *plástico* se aplica a veces incorrectamente para referirse a la totalidad de los polímeros.
- **Fibras.** Presentan alto módulo de elasticidad y baja extensibilidad, lo que permite confeccionar tejidos cuyas dimensiones permanecen estables.
- **Recubrimientos.** Son sustancias, normalmente líquidas, que se adhieren a la superficie de otros materiales para otorgarles alguna propiedad, por ejemplo resistencia a la abrasión.
- **Adhesivos.** Son sustancias que combinan una alta adhesión y una alta cohesión, lo que les permite unir dos o más cuerpos por contacto superficial.

II.2.b.5 Según su comportamiento a la temperatura

Para clasificar polímeros, una de las formas empíricas más sencillas consiste en calentarlos por encima de cierta temperatura. Según si el material funde y fluye o por el contrario no lo hace se diferencian dos tipos de polímeros:

- **Termoplásticos**, que fluyen (pasan al estado líquido) al calentarlos y se vuelven a endurecer (vuelven al estado sólido) al enfriarlos. Su estructura molecular presenta pocos (o ningún) entrecruzamientos. Ejemplos: polietileno (PE), polipropileno (PP), PVC.
- **Termoestables**, que no fluyen, y lo único que conseguimos al calentarlos es que se descompongan químicamente, en vez de fluir. Este comportamiento se debe a una estructura con muchos entrecruzamientos, que impiden los desplazamientos relativos de las moléculas.

La clasificación termoplásticos / termoestables es independiente de la clasificación elastómeros / plásticos / fibras. Existen plásticos que presentan un comportamiento termoplástico y otros que se comportan como termoestables. Esto constituye de hecho la principal subdivisión del grupo de los plásticos y hace que a menudo cuando se habla de "los termoestables" en realidad se haga referencia sólo a "los plásticos termoestables". Pero ello no debe hacer





olvidar que los elastómeros también se dividen en termoestables (la gran mayoría) y termoplásticos (una minoría pero con aplicaciones muy interesantes).

II.2.c Propiedades

- **Fotoconductividad**
- **Electrocromismo**
- **Fotoluminiscencia** (fluorescencia y fosforescencia)
- **Electroluminiscencia**
- **Efecto fotoeléctrico**
- **Efectos ópticos no lineales**
- **Efectos electro ópticos**
- **Fotorefractividad**
- **Termoconductividad**

Propiedades eléctricas

Los polímeros industriales en general son malos conductores eléctricos, por lo que se emplean masivamente en la industria eléctrica y electrónica como materiales aislantes. Las baquelitas (resinas fenólicas) sustituyeron con ventaja a las porcelanas y el vidrio en el aparellaje de baja tensión hace ya muchos años; termoplásticos como el PVC y los PE, entre otros, se utilizan en la fabricación de cables eléctricos, llegando en la actualidad a tensiones de aplicación superiores a los 20 KV, y casi todas las carcasas de los equipos electrónicos se construyen en termoplásticos de magníficas propiedades mecánicas, además de eléctricas y de gran duración y resistencia al medio ambiente, como son, por ejemplo, las resinas ABS.

Para evitar cargas estáticas en aplicaciones que lo requieran, se ha utilizado el uso de antiestáticos que permite en la superficie del polímero una conducción parcial de cargas eléctricas.

Evidentemente la principal desventaja de los materiales plásticos en estas aplicaciones está en relación a la pérdida de características mecánicas y geométricas con la temperatura. Sin embargo, ya se dispone de materiales que resisten sin problemas temperaturas relativamente elevadas (superiores a los 200 °C).

Las propiedades eléctricas de los polímeros industriales están determinadas principalmente, por la naturaleza química del material (enlaces covalentes de mayor o menor polaridad) y son poco sensibles a la microestructura cristalina o amorfa del material, que afecta mucho más a las propiedades mecánicas. Su estudio se acomete mediante ensayos de comportamiento en campos eléctricos de distinta intensidad y frecuencia. Seguidamente se analizan las características eléctricas de estos materiales.





Los polímeros conductores han sido recientemente (1974) desarrollados y sus aplicaciones están siendo estudiadas. [2]

II.2.d Aplicaciones

La aplicación de polímeros en la vida cotidiana, tanto de polímeros naturales como de artificiales es tan importante y tan variada que cobra gran importancia mencionar solo los casos más importantes para hacer una descripción más centrada en cuanto a la Ingeniería Civil respecta.

Los polímeros naturales, por ejemplo la lana, la seda, la celulosa, etc., se han empleado profusamente y han tenido mucha importancia a lo largo de la historia. Sin embargo, hasta finales del siglo XIX no aparecieron los primeros polímeros sintéticos, como por ejemplo el celuloide.

Los primeros polímeros que se sintetizaron se obtenían a través de transformaciones de polímeros naturales. En 1839 Charles Goodyear realiza el vulcanizado del caucho. El nitrato de celulosa se sintetizó accidentalmente en el año 1846 por el químico Christian Friedrich Schönbein y en 1868, John W. Hyatt sintetizó el celuloide a partir de nitrato de celulosa.

El primer polímero totalmente sintético se obtuvo en 1909, cuando el químico belga Leo Hendrik Baekeland fabrica la baquelita a partir de formaldehído y fenol. Otros polímeros importantes se sintetizaron en años siguientes, por ejemplo el poliestireno (PS) en 1911 o el poli(cloruro de vinilo) (PVC) en 1912.

En 1922, el químico alemán Hermann Staudinger comienza a estudiar los polímeros y en 1926 expone su hipótesis de que se trata de largas cadenas de unidades pequeñas unidas por enlaces covalentes. Propuso las fórmulas estructurales del poliestireno y del polioximetileno, tal como las conocemos actualmente, como cadenas moleculares gigantes, formadas por la asociación mediante enlace covalente de ciertos grupos atómicos llamados "unidades estructurales". Este concepto se convirtió en "fundamento" de la química macromolecular sólo a partir de 1930, cuando fue aceptado ampliamente. En 1953 recibió el Premio Nobel de Química por su trabajo.

Wallace Carothers, trabajando en la empresa DuPont desde 1928, desarrolló un gran número de nuevos polímeros: poliésteres, poliamidas, neopreno, etc.

La Segunda Guerra Mundial contribuyó al avance en la investigación de polímeros. Por ejemplo, fue muy importante la sustitución del caucho natural por caucho sintético.

En los años 1950 el alemán Karl Ziegler y el italiano Giulio Natta desarrollaron los catalizadores de Ziegler-Natta y obtuvieron el Premio Nobel de Química en 1963.





Otro Premio Nobel de Química fue concedido por sus estudios de polímeros a Paul J. Flory en 1974.

En la segunda mitad del siglo XX se desarrollaron nuevos métodos de obtención, polímeros y aplicaciones. Por ejemplo, catalizadores metalocénicos, fibras de alta resistencia, polímeros conductores (en 2000 Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid y Hideki Shirakawa recibieron el Premio Nobel de Química por el desarrollo de estos polímeros), estructuras complejas de polímeros, polímeros cristales líquidos, etc.

Listado de los más usados en la **Ingeniería Civil**:

- **Polietileno** (HDPE o LDPE, alta o baja densidad)
- **Polipropileno** (PP)
- **Poliuretano** (PUR)
- **Policloruro de vinilo** (PVC)
- **Poliestireno** (PS)

Polietileno (PEBD = LDPE, PEAD = HDPE)

- **PEBD:**
 - Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc.;
 - **Películas para agro;**
 - **Recubrimiento de acequias;**
 - Envasamiento automático de alimentos y productos industriales: leche, agua, plásticos, etc.;
 - Stretch film;
 - Base para pañales desechables;
 - Bolsas para suero;
 - Contenedores herméticos domésticos;
 - Bazar;
 - Tubos y pomos: cosméticos, medicamentos y alimentos;
 - **Tuberías para riego.**
- **PEAD:**
 - Envases para: detergentes, lejía, aceites automotor, champú, lácteos;
 - Bolsas para supermercados;
 - Bazar y menaje;
 - Cajones para pescados, gaseosas, cervezas;
 - Envases para pintura, helados, aceites;
 - Tambores;
 - **Tuberías para gas, telefonía, agua potable, minería, láminas de drenaje y uso sanitario;**
 - Macetas;
 - Bolsas tejidas;
 - **Guías de cadena, piezas mecánicas.**
 - **También se usa para recubrir lagunas, canales, fosas de neutralización, contra tanques, tanques de agua, plantas de**





tratamiento de aguas, lagos artificiales, canalones de lámina, etc.

Polipropileno (PP)

El PP es transformado mediante muchos procesos diferentes. Los más utilizados son:

- Moldeo por inyección de una gran diversidad de piezas, desde juguetes hasta parachoques de automóviles
- Moldeo por soplado de recipientes huecos como por ejemplo botellas o depósitos de combustible
- Termoformado de, por ejemplo, contenedores de alimentos. En particular se utiliza PP para aplicaciones que requieren resistencia a alta temperatura (microondas) o baja temperatura (congelados).
 - **Producción de fibras, tanto tejidas como no tejidas.**
 - **Extrusión de perfiles, láminas y tubos.**
 - Producción de película, en particular:
 - Película de polipropileno biorientado (BOPP), la más extendida, representando más del 20% del mercado del embalaje flexible en Europa Occidental
 - Película moldeada ("cast film")
 - Película soplada ("blown film"), un mercado pequeño actualmente (2007) pero en rápido crecimiento.

Poliuretano (PUR)

Los poliuretanos flexibles se emplean, sobre todo, en la fabricación de pinturas, de material esponjoso y de elastómeros.

Sus propiedades mecánicas pueden ser variadas en gran medida por el empleo de diferentes isocianatos o dioles como, por ejemplo, el polietilenglicol.

La adición de cantidades variables de agua provoca la generación de más o menos cantidad de dióxido de carbono, el cual aumenta el volumen del producto en forma de burbujas. En contra a lo que pasa en las esponjas naturales, se suele tratar de materiales con poro cerrado.

En forma de copolímero, los poliuretanos también se encuentran en fibras como la lycra.

Los poliuretanos rígidos se usan en la industria de la refrigeración, automotriz, del mueble, etc.

Algunos poliuretanos se usan en la confección de pinturas aislantes, recubrimientos aislantes del medio etc. [2.5]





Imagen 2.12

II.3. Refuerzos

II.3.a Fibras de Polipropileno

El polipropileno (PP) es el polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Pertenece al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos.

Propiedades del Polipropileno (PP):

El PP isotáctico comercial es muy similar al polietileno, excepto por las siguientes propiedades:

Menor densidad: el PP tiene un peso específico entre 0,9 g/cm³ y 0,91 g/cm³, mientras que el peso específico del PEBD (polietileno de baja densidad) oscila entre 0,915 y 0,935, y el del PEAD (polietileno de alta densidad) entre 0,9 y 0,97 (en g/cm³)

Temperatura de reblandecimiento más alta

Gran resistencia al *stress cracking*

Mayor tendencia a ser oxidado (problema normalmente resuelto mediante la adición de antioxidantes)

El PP tiene un grado de cristalinidad intermedio entre el polietileno de alta y el de baja densidad.





Propiedades Mecánicas:

	PP homopolímero	PP copolímero	Comentarios
Módulo elástico en tracción (GPa)	1,1 a 1,6	0,7 a 1,4	
Alargamiento de rotura en tracción (%)	100 a 600	450 a 900	Junto al polietileno, una de las más altas de todos los termoplásticos
Carga de rotura en tracción (MPa)	31 a 42	28 a 38	
Módulo de flexión (GPa)	1,19 a 1,75	0,42 a 1,40	
Resistencia al impacto Charpy (kJ/m ²)	4 a 20	9 a 40	El PP copolímero posee la mayor resistencia al impacto de todos los termoplásticos
Dureza Shore D	72 a 74	67 a 73	Más duro que el polietileno pero menos que el poliestireno o el PET

Tabla 2.12.a

Presenta muy buena resistencia a la fatiga, por ello la mayoría de las piezas que incluyen bisagras utilizan este material.

Propiedades Térmicas:

	PP homopolímero	PP copolímero	Comentarios
Temperatura de fusión (°C)	160 a 170	130 a 168	Superior a la del polietileno
Temperatura máxima de uso continuo (°C)	100	100	Superior al poliestireno, al LDPE y al PVC pero inferior al HDPE, al PET y a los "plásticos de ingeniería"
Temperatura de transición vítrea (°C)	-10	-20	

Tabla 2.12.b





A baja temperatura el PP homopolímero se vuelve frágil (típicamente en torno a los 0°C); no tanto el PP copolímero, que conserva su ductilidad hasta los -40°C.

Propiedades Ópticas:

El PP homopolímero es transparente, con un índice de refracción en torno a 1,5. Esto, unido a su buena resistencia mecánica, lo hace un material muy utilizado para producir vasos desechables.

Propiedades Eléctricas:

El PP es un buen dieléctrico. Por ello se le utiliza en películas muy delgadas para formar capacitores de buen desempeño.

Fibras:

Se denomina fibra textil a los materiales compuestos de filamentos y susceptibles de ser usados para formar hilos o telas, bien sea mediante tejido o mediante otros procesos físicos o químicos.

En general las fibras están por compuestas polímeros de alto peso molecular, en que la forma de la molécula es alargada.

Según su origen:

- **Origen Natural:**

- Animal/Proteicas: - lana: Merino, Corriedale, Lincoln, Romey Marsh.
Pelos: Cabra, Camélidos, Angora.
Seda: Bombix Mori, Tussah.
- Vegetal/Celulósicas: - Fruto: Algodón, Coco, Kapoc.
Tallo: Lino, Yute, Cábano, Ramio.
Hoja: Sisal, Formio, Abacá, Esparto.
- Minerales (Fibras Cancerígenas): Amianto, Asbesto.

- **Origen Artificial:**

- Proteicas: Caseína, Lanital.
- Celulósicas: Rayón Viscosa y Tencel, Rayón acetato, Rayón Cuproamonio, Rayón Nitrocelulosa, Rayón Triacetato.
- Minerales: Fibra de vidrio, Hilo metálico.

- **Origen Sintético:**





- Monocomponentes: Poliamida, Fibras Poliéster, Poliacrílico, Fibras Modacrílicas, Fibras Olefínicas, Fibras Spandex, Fibras Aramílicas.
- Bicomponentes: Fibras Poliéster, Fibras Acrílicas, Fibras Olefínicas, Fibras Poliamídica.
- Microfibras: Fibras Poliamídicas, Fibras Poliéster, Fibras Acrílicas.
- **Según su composición química:**
 - Inorgánicas: Asbesto, fibra de vidrio, hilos metálicos.
 - **Orgánicas**
 - Celulósicas: Algodón, Lino, Viscosa
 - Protéicas: Lana, Seda, Rayon
 - **Parafínicas:** nylon, poliéster, **polipropileno.**

Por lo tanto las Fibras de Polipropileno son:

Es la creación de un aditivo creado de fibras de polipropileno con la intención de ser mezclado con el concreto y aumentar las propiedades mecánicas del concreto y así tener un concreto con características con prestaciones que satisfagan los requerimientos de la obra en el cual se va a emplear.



Imagen 2.13





II.3.b Fibras de Acero

Las fibras con hilo de acero de alta resistencia estirado en frío son: pequeños filamentos de acero cortados y doblados en determinadas longitudes dependiendo el uso al que será sometido para el refuerzo de concreto y mortero.

Un uso muy útil en la ingeniería es en su aplicación de concreto lanzado, obteniendo un elevado número de fibras por Kg. Distribuyéndose uniformemente y logrando un comportamiento mecánico homogéneo.

Las ventajas que podemos encontrar al utilizar estas fibras son: dobleces que permiten mejorar adherencia de la fibra dentro de la matriz de concreto.
Alta resistencia a tracción.

Alta absorción de energía por medio del alambre trefilado de bajo contenido de carbono.

Por su presentación de fibras pegadas se logra una mejor distribución de las mismas en el concreto.

Eliminar tanto la colocación de malla como varillas tradicionales, precisamente por este método de fibras.

Aumentar resistencia a fatiga, cortante, impacto, variaciones de temperatura en estructuras de concreto. [2.3]

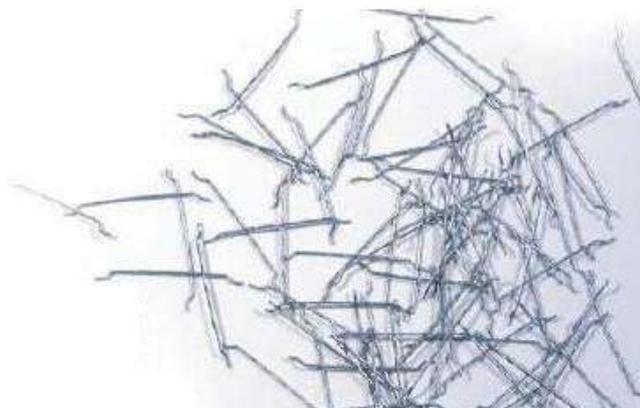
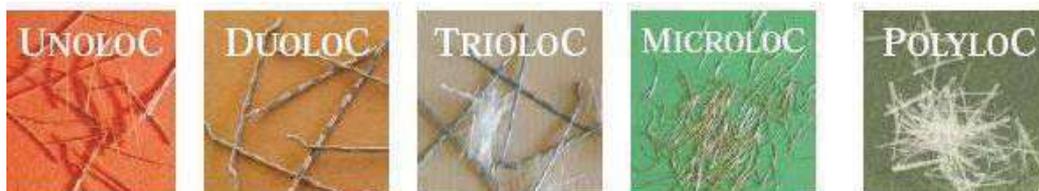


Imagen 2.14





Sobre hormigón armado de fibra



Imagen 2.15

II.3.c Fibras de Vidrio

La fibra de vidrio (del inglés Fiber Glass) es un material fibroso obtenido al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de agujeros muy finos (espinerette) y al solidificarse tiene suficiente flexibilidad para ser usado como fibra.

Las aplicaciones del concreto reforzado con fibra de vidrio alcalíresistente (conocido como Glass Fibre Reinforced Concrete, GRC o GFRC, por sus siglas en inglés) son fundamentales dentro del amplio mundo de la prefabricación.



Una prefabricación para la que no se requiere de una gran inversión industrial y que, desde hace treinta años, sirve bastante a la arquitectura, dando soluciones a cerramientos de fachadas y a piezas de lo que se ha dado en llamar “piedra artificial” (elementos de pequeño formato, elaborados con base en concreto arquitectónico), usada profusamente en sectores como la restauración. Se puede definir el GRC o GFRC como un composite mineral con base cemento, caracterizado por su gran ductibilidad siendo normal un límite elástico de 10 Mpa, cuando la rotura alcanza los 17 Mpa.

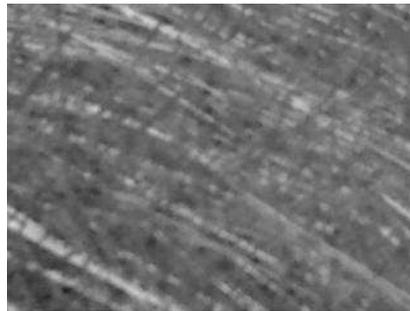


Imagen 2.16

Cabe decir que la mayor producción de GRC que se manufactura en todo el mundo se confecciona bombardeando sobre moldes abiertos un concreto de micro granulometría incorporado a fibras de vidrio alcalino resistentes en proporción no mayor del 5% ni inferior al 3% sobre el peso total del compuesto.

El GRC se rige actualmente por una amplia normatividad europea así como por detallados reglamentos norteamericanos que lo diferencian positivamente de las muy diversas composiciones de concretos reforzados con otras fibras que se emplean sin amparo de manuales ni normas.

A continuación se hablará de las características del material, tanto en su aspecto técnico como en el estético (forma, textura y color) mientras que en la segunda parte del documento, a publicarse el mes próximo, presentaremos la tecnología así como algunas aplicaciones concretas que se han realizado en países como Colombia y España.

El composite denominado Glass Fibre Reinforced Concrete, fue creado en los años setenta en Europa, como resultado de una investigación que buscaba superar los problemas de los antiguos fibrocementos.

Sus aplicaciones encontraron terreno abonado en el mundo de la creatividad arquitectónica dada su facilidad de manufacturar de manera versátil, elementos premoldeados con mínimo espesor y aspecto pétreo.

Habiéndose extendido su uso con gran rapidez en toda Europa, recibió un gran impulso en los Estados Unidos hace ya 25 años, cuando empezó a usarse la tecnología de conectar la placa premoldeada en GRC, con una estructura metálica ligera preconfeccionada para este propósito: la llamada skin+stud frame.





Dado que las fibras de vidrio convencionales, tales como las que refuerzan resinas, no tienen durabilidad en el medio altamente alcalino del cemento, es preciso emplear las que se solucionaron para conseguir dicha resistencia, incorporando zirconio al vidrio fundido, en proporción mínima del 15%.

Algunas de las características del concreto reforzado con fibra de vidrio álcali-resistente, conforme a normativas y manuales del GRC tiene como característica fundamental en su comportamiento de tensión y deformación. Puesto que conforma elementos de espesor muy reducido (entorno a 12 mm. o ½ pulgada), es obvio que definirlo con características de resistencia a compresión no es apropiado.



Imagen 2.17

Cabe decir que se suele expresar la resistencia a rotura a flexión mediante ensayos normalizados; sin embargo, esto tampoco resulta suficiente porque la rotura se alcanza mucho después de superado su límite elástico y después de considerables deformaciones remanentes.

Es por ello que lo correcto es expresar la característica de resistencia del GRC con tres magnitudes obtenidas con el testeo completo de flexión, a saber: límite de elasticidad, módulo de rotura y alargamiento en rotura.

Así, por ejemplo, un GRC típico es el definido como 10/18/3.0, que significa que tiene un límite elástico mínimo de 10 Mpa, un módulo de rotura mínimo de 18 Mpa y a un alargamiento en rotura del 3%. Es recomendable probarlo en laboratorio, siguiendo las especificaciones de la norma europea EN-1170-5, de octubre de 1998.

La segunda característica de importancia en el control de calidad de GRC es su coeficiente de absorción.

Cuando se elabora cualquier compuesto de concreto con fibras, existe la tendencia a ocluir gran cantidad de aire y sin un trabajo inmediato de compactación resulta un material más poroso que el concreto normal.





Por ello es de suma importancia la determinación de la absorción de agua por inmersión que la norma europea EN-1170-6 completa con la determinación de la densidad seca.

Un GRC con un 55 de proporción de fibra, adecuadamente compactado, obtiene un coeficiente de absorción del orden de un 10% y con una densidad (seca) entorno a los 2,000 kg/m³. Con el grado de compactación que expresan estos resultados, cuando se complementan con ensayos hielo-deshielo, después de 50 ciclos, se obtienen reducciones de la resistencia a rotura inferiores al 25%.

Otra característica fundamental del material es su elevada resistencia al choque, tanto de impacto de cuerpo duro, como de cuerpo blando.

Para controlar esta característica se realiza un ensayo en laboratorio (aunque no de manera sistemática porque es poco disperso cuando se mantienen constantes las materias primas y la compactación), dejando caer una bola de acero de 1 kg de peso desde diferentes alturas sobre una placa de GRC de espesor promedio de 12 mm.

Cuando cae desde una altura de dos metros, produce una huella de 1 mm de profundidad pero no rompe ni se fisura. Obviamente este resultado es superior al obtenido con otros tipos de fibrocemento e incluso con algunos tipos de piedras.

El arquitecto, diseñador o prescriptor, aprecia sus cualidades respecto a la facilidad para obtener formas, texturas y colores. En este sentido, no debemos olvidar que el GRC no deja de ser un concreto, un hormigón, es decir, un material "hormable" (formable) con naturalidad.

La herramienta más habitual con que se forma el GRC es el spray o proyección por bomba del concreto simultáneamente con la fibra cortada por el mismo spray gun.

Esta herramienta proyecta con fuerza las partículas de concreto sobre el molde y al estrellarlas contra esta superficie la reproduce con total precisión.



Imagen 2.18





Para que no se observen en la superficie expuesta del elemento las fibras de vidrio, la primera capa proyectada con el spray gun se efectúa sin fibra en unos 2 a 3 mm (máximo), dependiendo del acabado ulterior de la pieza.

Esta práctica, la de efectuar un primer espesor —mínimo— sin fibra, define una variante del spray gun a propósito de la cual posibilita el empleo de composiciones especiales de cara expuesta con granulometrías de mármol de color, por ejemplo, y con pigmentaciones del cemento en toda la gama de tonalidades que permiten los colorantes inorgánicos disponibles.

Es importante resaltar que cuando el GRC se extrae del molde —normalmente al día siguiente de su fabricación— puede texturizarse mediante chorro de agua, si previamente el molde ha recibido un desmoldante-desactivante, o también puede obtenerse una textura de superficie por chorro de arena (sandblasting) o por abujardado a martillo o disco, o incluso conseguir el pulido de la cara expuesta.

Para obtener una misma pieza, los moldes resultan más económicos que los necesarios para el concreto arquitectónico normal porque el GRC proyectado resulta, gracias al concurso de la fibra, tixotrópico y sigue la forma del molde sin necesitar contra moldes.

En definitiva, conforma cáscaras de un espesor de $\frac{1}{2}$ pulgada, compactado manualmente mediante rodillos de plástico que constituyen la herramienta auxiliar básica del sistema.

Cabe decir que con este procedimiento de conformación y compactación, los moldes sufren poco (mucho menos que con el concreto de espesores normales compactado por vibración), por esta razón pueden prepararse moldes con chapas metálicas ligeras, dando formas como poliestireno expandido, maderas, siliconas, etcétera, así como todo tipo de materiales que faciliten la versatilidad y la variedad en las formas.

Resumiendo sus principales propiedades son: buen aislamiento térmico, inerte ante ácidos, soporta altas temperaturas.

Estas propiedades y el bajo precio de sus materias primas, le han dado popularidad en muchas aplicaciones industriales.

Las características del material permiten que la Fibra de Vidrio sea moldeable con mínimos recursos, la habilidad artesana suele ser suficiente para la autoconstrucción de piezas de bricolaje tales como kayak, cascos de veleros, terminaciones de tablas de surf o esculturas, etc.

Debe ser considerado que los compuestos químicos con los que se trabaja en su moldeo dañan la salud, pudiendo producir cáncer.

La fibra de vidrio, también es usada para realizar los cables de fibra óptica utilizados en el mundo de las telecomunicaciones para transmitir señales lumínicas, producidas por láser o LEDs. [2.4]





Imagen 2.19

II.3.d Malla de Plástico, Acero

Las mallas son fibras entre tejidas que forman todo un conjunto de ordenamiento de las fibras tales que estas puedan constituir un entramado para fines o propósitos específicos.

A continuación se mencionaran algunas mallas para la construcción y usos a los que se puede emplear estas mallas.

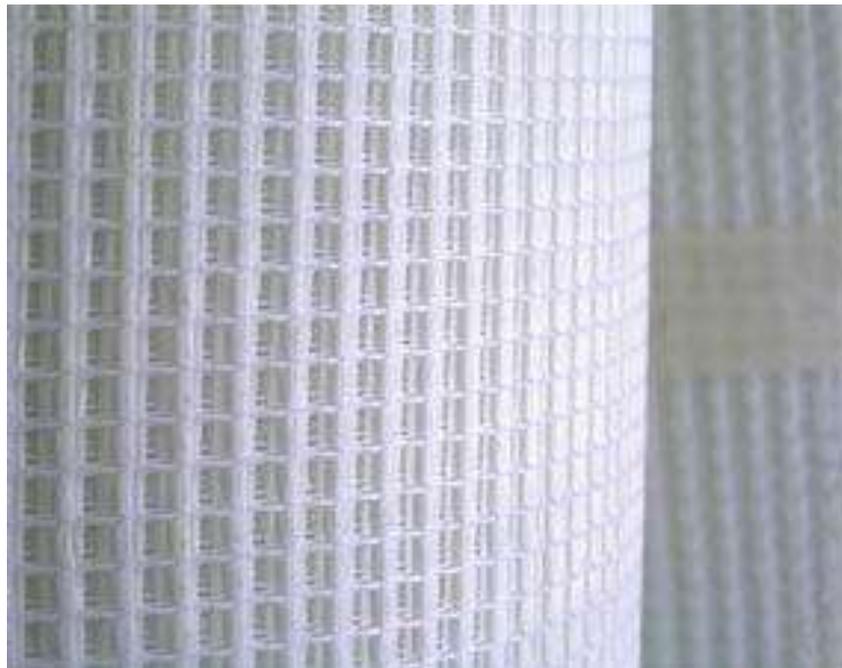


Imagen 2.20



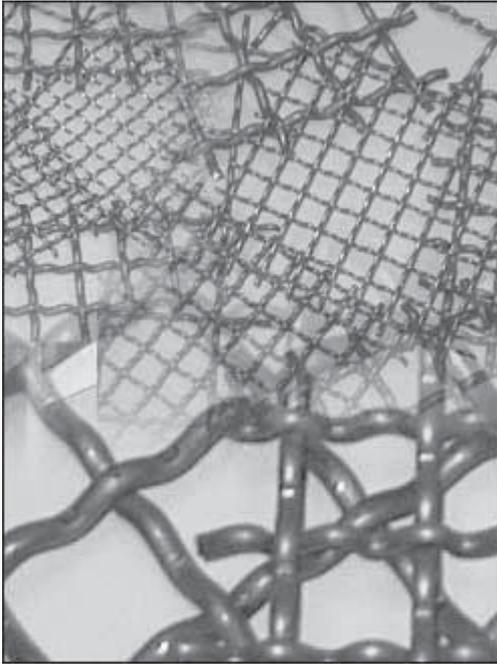


Imagen 2.21 (malla de acero)



Imagen 2.22 (malla plástica)

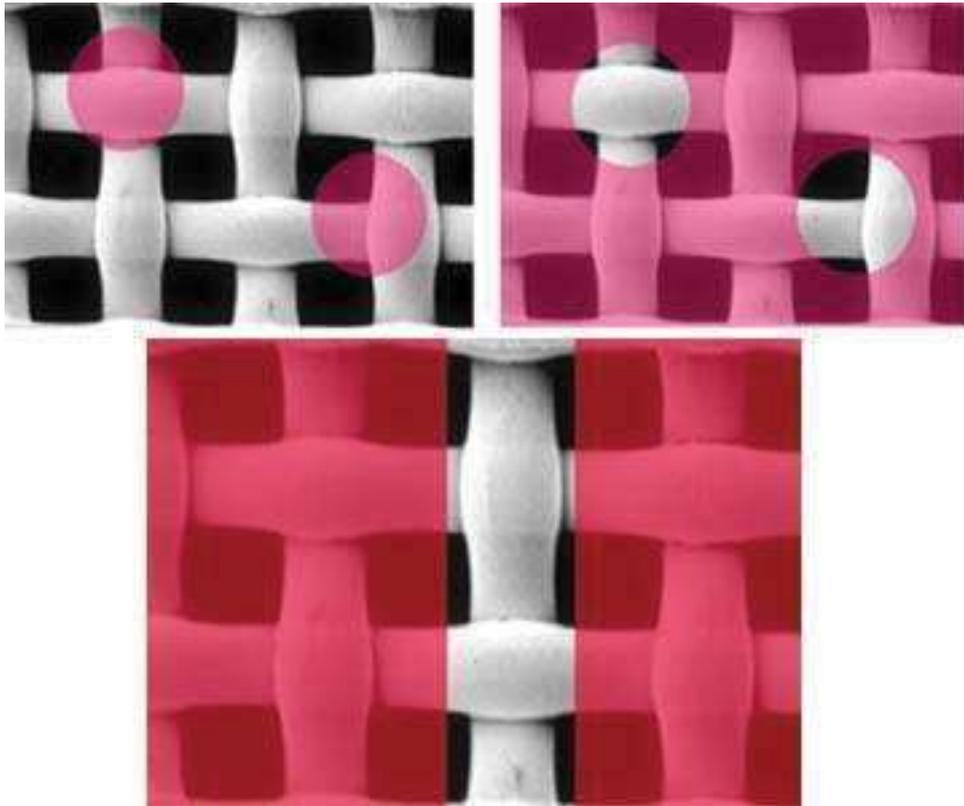


Imagen 2.23

Malla Antigranizo

Se pueden utilizar en protección a cultivos y ganado contra el granizo, fuertes lluvias y heladas, protección de cultivos y ganado contra aves y murciélagos, evita caída de frutos, pérdida de follaje, desgarramiento de los tallos y rotura de



Tesis: Concretos Especiales.

brotes, protección a plántulas y bulbos de pájaros y animales pequeños, optimización de la lombricultura.

Además de emplearse en el ámbito agrícola se puede emplear en centros deportivos, culturales y sociales: protección de espacios de esparcimiento social y residenciales contra el granizo y las aves, protección de zonas deportivas a espectadores, protección en campos de golf a casas habitación y espectadores.

En la construcción e industria lo más común es en el empleo de esta malla para: protección de edificaciones contra el granizo y las aves.

Protección de monumentos contra el granizo y las aves.

Protección de almacenes y patios contra el granizo y las aves, refuerzo para taludes y refuerzo para el concreto.



Imagen 2.24

Malla Privacidad

El objetivo normal de su uso, no es reducir la luz, sino el exceso de temperatura que se presenta en algunas regiones. El uso de la malla proporciona ciertas modificaciones climáticas que pueden ser interesantes.

Por una parte se reduce la humedad ambiente y por otra amortigua las temperaturas extremas.

Este tipo de malla, satisface dos requerimientos difíciles de compaginar, como son el reducir el exceso térmico, producido por alta irradiación solar (parte infrarroja), pero manteniendo en lo posible la luz, que permite a la planta hacer su fotosíntesis.

Protección de la luz solar controlando la temperatura, la luz y la humedad.





Tesis: Concretos Especiales.

Desarrollo de plantas, flores y hortalizas en invernaderos, protege de vientos, aves de rapiña, lluvias intensas y granizo, sombras para jardín, edificios, restaurantes, hoteles, etc.

Protección contra del erosión del terreno, protección para muros de tierra para carreteras.

Protección en la agricultura, protección y privacidad en áreas deportivas, construcción, cercado, delimita áreas con o sin ayuda de malla ciclónica, estacionamientos, etc.

Para evitar la caída de los materiales, herramientas, polvo en edificios en construcción y/o remodelación.

En tapeado, recuperación de suelos.



Imagen 2.25

Malla Rompevientos

En agronegocios se emplea como rompevientos, reduce los efectos nocivos de los excesos de viento reduciendo su velocidad, en los cultivos, ganados, zonas de crianza y almacenamiento.

Se utiliza para el cercado, división de terrenos, delimitación de áreas de trabajo y para dar privacidad.

En invernaderos reduce gastos de calefacción.

Ahorra el uso de agua de riego, al reducir la evaporación y la transpiración o evapotranspiración potencial, incrementando la humedad relativa y aumentando la absorción de CO₂. Mejora polinización al evitar excesos de humedad, ayudando a tener un buen nivel de humedad al limitar la evapotranspiración de las plantas.



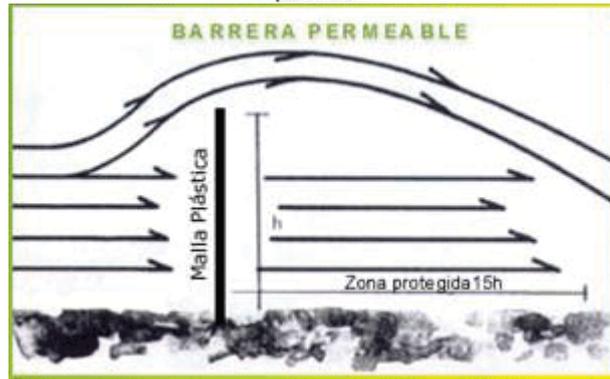


Imagen 2.26

Previene la caída de frutos y quemaduras por deshidratación, rotura de tallos, facilita el riego por aspersión, facilita tratamientos sanitarios y en zonas cercanas al mar reduce salinidad en cultivos.

Evita goteo por condensación ya que son permeables.

Detiene humos, corrientes de gases nocivos, así como las suspensiones de origen marítimo transportadas por el viento.

Protege contra animales, insectos y virus.

En la industria de la construcción, centros deportivos y sociales se emplea como en los siguientes casos:

Rompevientos, cercado y división de terrenos y canchas deportivas.

Barrera permeable, para proteger del viento, para bardear, delimitar y dar privacidad.

Protección contra la tierra y polvo.

Protección de sustancias, partículas y contenidos que requieran ventilación.

Para decorar.



Imagen 2.27



Malla de Sombra

Agronegocios

El empleo de malla de sombra para agronegocios principalmente es para aumentar el rendimiento del agronegocio y calidad de los productos, por medio de la climatización óptima y/o protección de cultivos contra las inclemencias climatológicas (temperatura, excesos de luminosidad y radiaciones solares, viento, humedad, granizo, heladas), fauna y flora nociva.



Imagen 2.28

Reducción en la utilización de pesticidas logrando cultivos más saludables.

Ahorra el uso de agua de riego y reduce los excesos de humedad.

Mejora difusión de luz, aumentando la actividad química y evitando el manchado en hojas y frutas. (mallas de colores).

Excelente para recolección y secado.

Cercado y división de terrenos y criaderos.

Implementación de malla de sombra para centros deportivos, sociales, residenciales como climatización óptima y/o protección de espacios de esparcimiento social y residencial contra las inclemencias climatológicas (temperatura, sol, viento, humedad, granizo), fauna y flora nociva.

Zonas de privacidad y seguridad en espacios de esparcimiento social y residencial.

Cercado y división de canchas deportivas.

Protección de espectadores y automóviles en estacionamientos
Cubre albercas.





En el caso de la construcción e industria lo más común es para la climatización óptima y/o protección de edificaciones, bodegas y transportes contra las inclemencias climatológicas (temperatura, sol, viento, humedad), fauna y flora nociva.



Imagen 2.29

Protección a trabajadores y transeúntes contra diversos riesgos de la construcción: caída accidental de herramientas y materiales de construcción, levantamiento de polvo, etc.

Cercado y división de terrenos, recuperación de suelos y refuerzo de paredes y taludes.

Contención óptima de la mercancía transportada.

Fabricación de bolsas para propaganda.

Protección de sustancias, partículas y contenidos que requieran ventilación.
[2.2].



Imagen 2.30 y 2.31





III. Concreto Celular.





III. Concreto Celular.

III.1. Definición

Se obtiene incorporando a la mezcla aire u otros gases derivados de reacciones químicas, resultando un hormigón de densidad < 1 (lo cual le permite por ejemplo flotar)

El termino celular refiere a que en este tipo de hormigón se procura formar celdas o células (burbujas) de gas independientes, aisladas entre si, que luego del fraguado dejan huecos que al material le proporcionan las varias características especiales de este tipo de hormigón. [3.1]

Existen distintas técnicas de producción de hormigón celular. Las dos más conocidas son las del hormigón celular 'autoclavado' (curado en autoclave) y las técnicas de mezclado con agentes espumígenos o espumas especiales. En el primer caso las burbujas se generan mediante reacciones químicas que producen gas (utilizando por ejemplo polvo de aluminio incorporado a la mezcla). En el segundo caso las burbujas suelen ser de aire el cual se atrapa primero en una espuma que luego se va incorporando a la mezcla. El hormigón celular 'autoclavado', además es 'curado' a alta temperatura y presión, lo cual genera reacciones químicas adicionales que se traducen en mayor resistencia y menor tiempo de 'curado'.

Los hormigones celulares típicos no contienen áridos granulados. Normalmente contienen áridos muy finos (arena fina) y/o cenizas y en algunos casos incluso se prescinde de los mismos (la mezcla básica es cemento y agua)

La densidad, con estas técnicas, puede llegar hasta los 450 kg/m^3 . No obstante como la resistencia del material se reduce drásticamente, en la práctica se utilizan densidades algo mayores (cerca de 600 a 800 kg/m^3). Hay que recordar que el concreto normal tiene una densidad de aproximadamente 2350 kg/m^3 .

El hormigón celular (concreto celular o aireado) es un material de construcción 100% ecológico, destinado a la obra gruesa. Producido exclusivamente a partir de materias primas naturales, se compone de agua, arena, cemento y aire.

Más antiguo de lo que se suele pensar (fue inventado en 1927) el hormigón celular es un material de construcción utilizado con frecuencia. A escala europea, se estima que se construyen 500.000 casas individuales cada año con este material.

Si bien el material se utiliza mucho en los países de Europa del Norte, desde hace varias décadas, su introducción en España es más lenta debido a motivos culturales. En España por ejemplo, se aísla una habitación por dentro, mientras que en Alemania, se aísla por fuera.





El aislamiento interior es menos eficiente en término energético, debido a la transmisión de calor por los puentes térmicos (encuentros entre muros exteriores, encuentro entre muros exteriores y suelo), lo que representa de media un 40% de pérdida energética.

El hormigón celular es un material homogéneo y macizo (aunque ligero) con aislamiento “repartido”, ya que no necesita el uso de aislamiento adicional. Se trata de un producto “2 en 1”: portante y aislante.

III.2. Propiedades

El hormigón celular no necesita ningún aislamiento interior complementario. Su estructura alveolar, compuesta por millones de micro células de aire, le confiere sus propiedades de aislamiento térmico.

Los profesionales llaman este tipo de aislamiento “aislamiento repartido” o “mono-muro”. Atrapadas de manera homogénea en la masa del material, el aire asume su papel de **aislamiento perfecto**.

Así, el hormigón celular impide cualquier pérdida de calor. Sirve de barrera contra el calor exterior en verano y guarda el calor de la calefacción dentro de la vivienda en invierno. Funciona como un verdadero **climatizador natural**.

Otras ventajas: el hormigón celular es un material que respira, dejando pasar el vapor de agua producido por los ocupantes y las actividades cotidianas. Esta hidro-regulación es esencial para evitar todos los riesgos de humedad, condensación y aparición de hongos.

Finalmente, el hormigón celular es clasificado como material mineral de clase A1 de reacción al fuego. Resiste al fuego y es estanco al humo y a los gases tóxicos. En caso de incendio, un muro de hormigón celular tiene una capacidad cortafuego de 6h.

La colocación del material resulta muy rápida y fácil de ejecutar (9m² / hora), gracias a un ensamblaje de los bloques con mortero cola (colocación con “junta fina”).

Además, la ergonomía de los bloques (con asas y/o perfil de encaje: el bloque se queda paralelo al cuerpo del albañil) y la ligereza del producto (aproximadamente 120 kg/m² para los bloques YTONG de espesor 30cm) permiten un alto rendimiento de colocación.

Resumiendo las propiedades del concreto celular a continuación:

Imagen 3.0

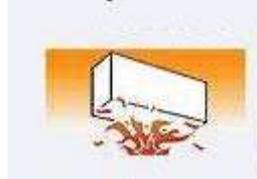




Aislamiento Térmico:

Por sus celdas de aire y su masa térmica, el Concreto Celular posee excelentes propiedades de aislamiento, tanto al calor como al frío, significando importantes ahorros de energía.

Imagen 3.1



Resistencia al fuego:

El Concreto Celular es un material incombustible y resistente al fuego (hasta 4 horas de exposición directa), características fundamentales al pensar en la protección del patrimonio y seguridad de las personas. La temperatura de fusión del Concreto Celular Autoclaveado, al igual que otros productos de cemento, es aproximadamente de 1600 °C.

Imagen 3.2



Propiedades Acústicas:

Los elementos de concreto celular poseen características de aislamiento acústico superiores a los materiales tradicionales de construcción, que reducen la transmisión del sonido.

Imagen 3.3

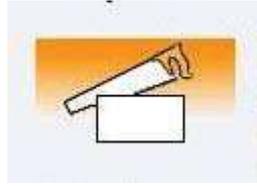


Resistencia a la humedad:

Su estructura celular da una gran resistencia a la humedad mayor que en los sistemas tradicionales de mampostería ya que la estructura del Concreto Celular Autoclaveado no cuenta con vasos comunicantes entre sí.

Imagen 3.4





Trabajabilidad:

El concreto celular se puede cortar, perforar y ranurar con facilidad utilizando herramientas manuales o eléctricas, proporcionando excelente productividad en instalaciones hidrosanitarias y eléctricas ya que las tuberías se pueden colocar después de construida la estructura.

Imagen 3.5



Versatilidad:

La gama de productos de concreto celular cubre los requerimientos de una construcción: blocks para muros cargadores o no cargadores, dinteles para claros de puertas y ventanas, paneles para losa de azotea o entrepiso, paneles para muro, morteros y acabados tales como: zarpeo y afine, zarpeo rústico y estucos.

Imagen 3.6



Propiedades Químicas:

El Concreto Celular es alcalino, con un pH entre 9.0 y 10.5, por lo que no corroe los demás materiales de construcción. Al igual que otros tipos de concreto, el Concreto Celular debe protegerse de concentraciones elevadas de dióxido de carbono, sulfatos, cloruros y ácidos fuertes.

Imagen 3.7



Toxicidad:





El Concreto Celular no contiene sustancias tóxicas o emite olor. Ni su producción, manejo o desecho presentan riesgos para la salud o el medio ambiente.

III.3. Aplicaciones

La elaboración del Concreto Celular Autoclaveado se elabora a partir de cinco materias primas: arena sílica, cal, cemento, yeso y agua combinadas con un agente expansor. La especial combinación de estas materias es la base para elaborar un producto de excelentes cualidades tales como su resistencia, ligereza, aislamiento térmico y resistencia al fuego.

El proceso de producción del Concreto Celular Autoclaveado inicia con el molido de la arena sílica con el yeso. Una vez molidos se mezclan primero con la cal y el cemento; posteriormente se mezclan con agua y el agente expansor. De aquí se vacía en moldes metálicos. El agente expansor reacciona con los elementos y se expande la mezcla formando miles de burbujas o celdas de aire independiente y distribuidas de manera uniforme en la masa.

El siguiente paso es el proceso de pre-curado donde el producto alcanza la consistencia necesaria para su manejo y corte, el cual se realiza en un proceso automático mediante hilos de acero.

La fase final del proceso de producción consiste en el curado del material realizado en autoclaves a condiciones controladas de temperatura, humedad y presión. Tras 12 horas de curado, los elementos se empacan y transportan al almacén de producto terminado. El resultado de este proceso, un producto de la más alta calidad.

Los bloques se presentan como estructuras rectangulares de color blanco.

La gama completa de productos de hormigón celular se compone de bloques, tabiques, dinteles, forjados y cubiertas, y responde a todas las necesidades de obra de una edificación. El hormigón celular está recomendado en particular para el mercado residencial (casas unifamiliares y colectivos), equipamientos (escuelas, residencias de tercera edad, hotelería etc.) y la construcción de edificios públicos.

Las fases importantes de producción son:

- La preparación, la dosificación y la mezcla de las materias primas (arena, cal, cemento y agua)
- La preparación de los moldes
- El corte de los bloques y de las geometrías especiales (empuñaduras y machihembrados)





Tesis: Concretos Especiales.

- El curado en autoclave a 180 °c a 10/11 atmósferas durante 10 a 12hrs.
- La paletización y el embalaje
- La producción del material en autoclave consiste en imitar el proceso de formación natural de la estructura molecular de la tobermorita, denominada también silicato de calcio hidratado. Este modo de fabricación, puesto en obra y desarrollado por YTONG, favorece el funcionamiento de las plantas en ciclo cerrado: no rechazan ninguna sustancia líquida o sólida susceptible de contaminar el agua o los suelos. Los pocos y totalmente inertes desechos producidos durante esta fase de producción se reutilizan al 90%. El único gas rechazado a la atmósfera es el vapor de agua.

La fabricación de hormigón celular necesita poca energía, la cual además es aprovechada en parte para calentar las oficinas de la fábrica. El agua, necesaria para este proceso, también se reutiliza.

III.4. Pruebas

Las pruebas que se realizan al concreto van desde agregados para el concreto, ensayos al concreto fresco, pruebas no destructivas, evaluación de resinas epoxicas para concreto endurecido, ensayos de prefabricados, ensayos de acero de refuerzo, preesfuerzo y estructural, tal y como se hacen para el concreto convencional pero claro atendiendo las especificaciones que con lleva el concreto celular.

Algunas de estas son: densidad seca máxima, resistencia a la compresión, modulo de elasticidad, modulo de ruptura, esfuerzo de compresión permisible debido a carga axial, esfuerzo de compresión permisible debido a la flexión, esfuerzo de tensión permisible debido a la flexión, esfuerzo cortante permisible, fuerza de aplastamiento permisible.

Darse cuenta de que esta última prueba no se realiza al concreto Pórtland convencional. [3].





IV. Concreto Polimérico y/o modificado con Polímeros.





IV. Concreto Polimérico y/o modificado con Polímeros.

El concreto polimérico es un material elaborado con cargas y resinas sintéticas como base, las cuales pueden ser poliéstireno, fenolicas, epoxicas, vinilester, etc. y cumplen la misma función que el cemento en el concreto convencional.

El concreto modificado de polímero proporciona una adhesión mejor, una resistencia química superior, una excelente resistencia a la penetración del agua y una resistencia superior a la ruptura, a la compresión y a la flexión.



Imagen 4.0

Existe un hormigón traslúcido, obtenido por mezcla con plástico o fibra de vidrio. Un modelo a pequeña escala de una capilla con paredes de hormigón traslúcido ha sido desarrollado por Will Wittig. Algunas de sus propiedades son: Conducen electricidad, además de ser más resistentes y ligeros que los cementos convencionales.

El hormigón (concreto) traslúcido tiene un peso volumétrico máximo de 2.100 kg/m^3 y el gris de 1.950 kg/m^3 , cifras menores a los 2.500 kg/m^3 , que es el peso de los cementos comerciales.

Permitirá, en el futuro, la construcción de edificios con muros y techos por los cuales puede penetrar la luz.

En la industria de la construcción se sabe que el empleo de polímeros en el concreto es para crear capas de concreto modificado con polímeros para tener unas superficies que cumplan con los requerimientos de la obra. Estos es desde obtener mejor resistencia química para aquellas obras donde se tenga





proyectado el uso estándar de químicos corrosivos para concreto convencional sin adición de polímeros, esto refiere que puede ser desde un laboratorio o una simple fabrica en la que requiera de esta especificación. O dado que tiene la propiedad de aumentar la resistencia a compresión, ruptura, flexión entre otras se puede emplear en obras que se pretenda hacer manejo de maquinaria pesada o equipo tecnológico delicado y pesado y por lo tanto requiera de una superficie mas reforzada para tener previsto percances, como pueden contingencias naturales: llámese terremoto u otro. Por tanto solo se tratara de hacer referencia del concreto reforzado con polímeros de capa desde luego que también se aprovecha una característica del concreto modificado con polímeros, la cual es darle un acabado final con textura y color.

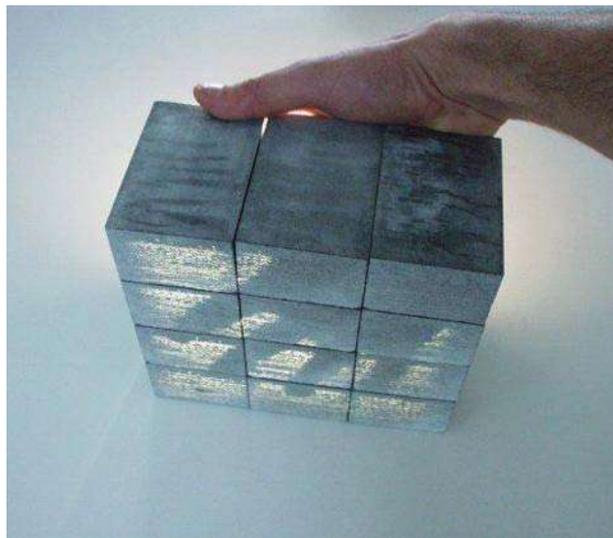


Imagen 4.1

Desde hace mucho tiempo, los contratistas han estado aplicando acabados decorativos al concreto recién vaciado. Al aplicar color y textura a las superficies de concreto, los trabajadores pueden crear pisos de concreto que se vean idénticos a la piedra, la loseta, la pizarra y al ladrillo. Usted puede crear murales y diseños intrincados usando tintes o colorantes y al mismo tiempo mantener la apariencia y la textura de un vaciado monolítico. Generalmente, el color penetra la superficie del concreto; por lo tanto, el producto final es tan durable como la losa.

En los últimos años, el desarrollo de nuevos revestimientos de concreto, modificados con polímeros, ha hecho posible aplicar acabados decorativos a losas existentes. También ha posibilitado colocar pisos de concreto en estructuras que no pueden soportar el peso de capas gruesas de material convencional vaciado. Desde hace más de diez años, nuestra empresa ha estado usando estos revestimientos delgados para obtener acabados decorativos. Los polímeros nos permiten crear pisos de concreto decorativo en habitaciones donde no es práctico ni económico usar el concreto convencional.

Redundando sobre que es el concreto polimérico, diremos que: El concreto convencional contiene cemento Portland, agua y relleno mineral como arena y agregado. Cuando el cemento se hidrata, los ingredientes se ligan para formar una matriz sólida. El concreto con cemento modificado con polímeros es un concreto que ha sido modificado al reemplazar parte del cemento Portland con





ingredientes que forman un polímero sintético cuando se mezcla el material. Los aditivos más comunes contienen polímeros con látex, los cuales se encuentran entre los menos caros, pero la familia de polímeros también incluye una variedad de otros tipos. Cada tipo de polímero produce un concreto con diferentes propiedades físicas. Dependiendo de la fórmula, los aditivos pueden dar como resultado un material que sea más resistente, menos poroso, más flexible o de curado más rápido que el concreto convencional.

La mayoría del concreto hecho con polímeros se utiliza para revestir las losas de concreto existentes. Por lo tanto, si la estructura de la losa existente está en buen estado, es más barato y más fácil revestirla con una capa polimérica delgada. Las aplicaciones comunes incluyen la reparación de superficies desconchadas o dañadas en plataformas de puentes, garajes de estacionamiento y pisos de fábricas. El concreto polimérico es mucho más caro que el cemento Portland. Por eso, generalmente es aplicado como un revestimiento delgado, típicamente con un espesor que varía entre 1/8 y 1/2 pulgada. Algunos productos han sido formulados para ser aplicados en capas más gruesas, mientras que otros pueden ser aplicados en capas más delgadas.

Muchos revestimientos de polímero están diseñados específicamente para producir pisos decorativos de concreto. Algunos productos pueden ser estampados o se les puede aplicar textura; otros tienen que recibir un acabado liso. Todos pueden ser coloreados usando tintes. La mayoría de los revestimientos están diseñados para ser usados sobre losas, pero algunos pueden ser aplicados a los contra-pisos de madera laminada. De este modo, creamos pisos decorativos en estructuras que no aguantarían una capa gruesa de concreto. Por ejemplo, una losa de 2 pulgadas de espesor pesa 24 libras por pie cuadrado, mientras que un revestimiento de 1/2 pulgada sólo pesa 6 libras por pie cuadrado y puede ser instalado al ras de los pisos existentes en las habitaciones adyacentes.

Para preparar los pisos que recibirán al concreto modificado con polímeros estos revestimientos de polímero son recios, pero la dureza depende de la superficie sobre la cual han sido aplicados. Los revestimientos se rajarán o se delaminarán si los coloca en pisos que estén sucios, sean demasiado flexibles o tengan una estructura que no esté en buenas condiciones. Es indispensable preparar bien las superficies. Al instalar un revestimiento, es conveniente leer cuidadosamente las instrucciones para el material que esté usando.

Losas de concreto. Algunos fabricantes recomiendan grabar con ácido las superficies de concreto existentes, mientras otros lo prohíben específicamente. Les preocupa la posibilidad de que usted no neutralice debidamente todo el ácido y que lo que quede pueda romper la unión entre el revestimiento nuevo y la losa vieja. Normalmente se neutraliza el ácido inundando la superficie con una solución de bicarbonato de sodio y agua o amoníaco y agua. Quitando la solución con una aspiradora para líquidos o con un trapeador y luego repetir el proceso con agua limpia. Otro modo de quitar los contaminantes es con una escoba dura para fregar la superficie con un agente limpiador.





Con frecuencia lo que se realiza es aplicar revestimientos decorativos sobre losas que están cubiertas con losetas de linóleo. Típicamente las losetas están pegadas con adhesivo. Para empezar, quitar las losetas y la mayor cantidad de adhesivo posible raspando la losa a mano. Si la losa está en buenas condiciones, tratar de quitar todo el adhesivo. Algunas veces podemos quitarlo todo con sólo raspar; otras veces tendremos que usar sustancias químicas. En ocasiones contratamos a un subcontratista para que traiga una máquina limpiadora por chorro de perdigones (shotblasting). Esta máquina dispara una gran cantidad granalla de acero a la superficie de la losa. Es una técnica parecida a la de sandblasting o limpieza por chorro de arena, pero quita más material, entre 1/16 a 1/8 de pulgada de la parte superior. La parte inferior de la máquina está cerrada para evitar que escapen los perdigones; un mecanismo de aspiración interna acumula el polvo. El método de disparar perdigones es una de las mejores formas para crear una buena superficie de adhesión.



Imagen 4.2

La membrana de aislamiento. A menos que tome medidas preventivas, las grietas y juntas de control en la losa existente traspasarán el nuevo revestimiento de polímero. El nuevo revestimiento podría ocultarlos por un tiempo, pero finalmente se dejarán ver. Cuando la losa existente tiene juntas de control, cortamos nuevas juntas en los lugares correspondientes sobre el revestimiento de polímero o instalamos una membrana para aislar grietas. Utilizamos la membrana cuando la ubicación de las juntas de control existentes interfiere con el patrón decorativo en la losa acabada. Todavía se necesitarán las juntas de control, pero la membrana le permite escoger dónde ponerlas.

También se debe usar la membrana si una losa en buen estado tiene alguna grieta.

Ahora mencionando esto de reparar grietas diremos que: preparar las grietas es un paso muy importante, ya que ellas pueden reflejarse a través de la superficie renovada y son difíciles de reparar. Las grietas menudas o las grietas por contracción plástica pueden ser cubiertas directamente con la operación de





renovación; no se requiere preparación. Para manejar grietas más grandes, los fabricantes recomiendan varios procedimientos:

- Rebaje la grieta y llénela con una resina epóxica.
- Cubra la grieta, aplique una resina de polímero y aplane con llana en una o dos capas de malla de fibra de vidrio para formar un sistema de supresión de grietas.
- Considere la grieta como parte del patrón de renovación de la superficie rebajando y rellenando con calafateo de uretano del mismo color. Si la grieta es recta, puede ser incorporada en juntas planeadas. Las grietas móviles de formas irregulares pueden ser rebajadas y rellenadas con epoxia, y después aliviadas de tensiones con un corte de sierra a lo largo de ese lado. El corte de sierra directo puede incluirse en el patrón de renovación de la superficie. La figura 2 muestra una losa agrietada que fue reparada y renovada.

Puesto que las recomendaciones de los fabricantes para la reparación de grietas y las garantías de los materiales y rendimiento de los sistemas varían, lea cuidadosamente la literatura del producto antes de preparar la superficie.

La primera mano que se aplica es cuando el material a revestir esté limpio y seco, usted necesita aplicar una mano de base o agente adhesivo especificado. Estos materiales pueden ser aplicados a la superficie con brocha, rodillo o rociador. Con una superficie que ha sido limpiada por chorro de perdigones o con concreto muy poroso, tal vez haya que usar dos manos de base. El revestimiento de polímero puede ser aplicado directamente a la losa de concreto a la que se le ha aplicado la base. Si se ha instalado una membrana de aislamiento de grietas, hay que darle una mano de agente adhesivo. Para el caso de Pisos entramados con madera, por muy sólido que un piso entramado con madera se sienta, éste tendrá cierta flexibilidad que podría causar problemas si se coloca encima una superficie de revestimiento. Puesto que la mayoría de los revestimientos delgados de concreto son flexibles, por lo general, los pisos entramados, en conformidad con los códigos de construcción, deben ser lo suficientemente fuertes y rígidos para un acabado decorativo delgado. El contrapiso debe cumplir con los requisitos de espesor y tipo de material del fabricante; generalmente madera laminada de 3/4 de pulgada. Debe estar clavado o atornillado firmemente a las vigas de piso. Algunos fabricantes recomiendan agregar una capa de madera laminada de 1/2 pulgada sobre el contrapiso, desplazando las uniones en zigzag con respecto a la capa inferior. Siempre usamos membranas de aislamiento de grietas con pisos de madera y encima le clavamos listones en forma de rombos.

Para mezclar y aplicar el concreto modificado con polímeros se debe al igual que el concreto convencional, el concreto polimérico se prepara mezclando ingredientes mojados y secos. Algunos productos de revestimiento vienen en bolsas, listos para ser usados, secos y con el polímero ya mezclado. En otros casos, el polímero viene en forma líquida y es mezclado en la obra con agua y





otros típicos ingredientes secos como cemento y arena. Cuando la capa de revestimiento es excepcionalmente gruesa, también se le agrega piedra quebrada o agregado. Usamos un revestimiento grueso cuando nivelamos pisos que están muy fuera de nivel. Algunos productos pueden ser aplicados capa por capa, pero es más fácil hacer un vaciado continuo y colocar el agregado en el material que va en los puntos bajos. Esto es posible porque el revestimiento es mezclado en cantidades pequeñas.

Los revestimientos de polímero curan rápidamente, lo cual es una gran ventaja cuando no hay mucho tiempo disponible para el proyecto. Se puede caminar luego de 3 ó 4 horas sobre algunos de los productos que yo uso y estos desarrollan resistencias en compresión de 3.000 libras por pie cuadrado en 3 horas y 6.000 libras por pie cuadrado en 24 horas. Hay dos tipos de productos de revestimiento, los que se aplican con llana y los que se autonivelan. Casi siempre es más económico usar revestimientos aplicados con llana. Normalmente, cuestan menos y, a diferencia de los productos autonivelantes, pueden ser aplicados en una capa pareja y delgada. Generalmente se necesita más material para un revestimiento autonivelante porque el revestimiento puede tener 3/8 de pulgada de espesor en un extremo de la habitación y 3/4 de pulgada de espesor en el otro extremo.

Los materiales que se aplican con llana también ofrecen más tiempo de trabajo; algunos pueden ser estampados o texturizados antes de que fragüen. Para mantener un espesor constante, extendemos el revestimiento con un rastrillo que permite medir el espesor o con una llana dentada. Luego le volvemos a pasar una llana normal para producir la textura y el acabado que queremos. Algunos materiales aplicados con llana son conocidos como microrevestimientos porque pueden ser aplicados en capas de tan sólo 1/16 o incluso 1/32 de pulgada de espesor.

Los revestimientos autonivelantes fraguan muy rápidamente, lo cual hace que sean problemáticos. Es necesario tener experiencia para saber cuándo dejar de extender el revestimiento autonivelante. El material empieza a fraguar a los 10 a 15 minutos. Por lo tanto, tiene que trabajar rápidamente para mantener un borde mojado a medida que avanza por el piso. Al extender el material usted debe colocarlo donde lo necesita y eliminar las burbujas de aire que puedan causar imperfecciones. Sin embargo, no debe tocar la superficie después de que el polímero empiece a fraguar. Si lo hace, esto deja una marca que es difícil de reparar. Si lo hace correctamente, el piso quedará perfectamente plano y brillante.

Ya para concluir con el colocado del concreto modificado con polímeros hay que dar color y capa final, por tal hay muchas opciones decorativas. Una de las más populares entre los clientes es tratar con tinte ácido la superficie parcialmente curada. Esto produce variaciones sutiles de color. También se puede crear un color integral agregando pigmento al revestimiento antes de aplicarlo o se puede aplicar endurecedor colorante seco al revestimiento después de que haya sido extendido y allanado.

Se usan técnicas similares para colorear el concreto convencional, pero como los revestimientos de polímero curan tan rápidamente, se puede acabar un proyecto en mucho menos tiempo. Por ejemplo, se supone que se debe





esperar para que una losa convencional cure por 21 días antes de aplicarle tinte ácido. Por experiencia se sabe que lo podemos hacer antes, pero si lo hacemos demasiado pronto, el tinte comería la capa superficial de cemento, dejando la arena expuesta. En cambio, se puede teñir con ácido un revestimiento típico de polímero al día siguiente de aplicarlo. Algunos productos de revestimiento deben ser teñidos a las pocas horas de ser aplicados. De otro modo, el material completamente curado sería demasiado denso para permitir que el tinte funcione. Cuando eso ocurre, los colores no son tan brillantes ni intensos como podrían serlo. A veces lijando ligeramente el piso para abrir la superficie hasta el punto de que acepta el tinte. El lijado también elimina las imperfecciones menores como burbujas de aire reventadas.

Se puede aplicar el tinte ácido a la superficie con brocha, rociador o rodillo. Dejando que repose de 8 a 12 horas y luego se enjuaga y se neutraliza con agua que contiene bicarbonato de sodio o amoníaco. A continuación, se enjuaga de nuevo la superficie pero ahora con agua limpia y se deja que se seque antes de aplicarle una mano de sellador transparente. Se usa cera o laca acrílica para lograr un sellado básico. Un sellado de primera lleva una mano de epoxi a base de agua, seguida de una mano de resina de poliuretano y varias manos de cera acrílica. [4].



Imagen 4.3





V. Concreto Fibroreforzado.





V. Concreto Fibroreforzado.

Las indudables ventajas del hormigón (concreto) como material de construcción explica la innegable utilización de este. Sin embargo, frente a estas ventajas, su utilización presenta importantes problemas, entre los que destaca su baja resistencia a tracción y su gran fragilidad. Para soslayarlos se refuerza el hormigón con barras de acero, pretensadas o no, o bien simplemente se utiliza el hormigón en piezas que no van a estar solicitadas a tracción.

En los últimos veinte años se ha iniciado su estudio y se ha llevado a cabo las primeras aplicaciones de otra alternativa para la solución de estos problemas: el hormigón de fibras.

La incorporación de fibras a materiales frágiles o quebradizos constituye una técnica utilizada desde hace miles de años, el yeso se reforzaba antiguamente con pelo de caballo y más recientemente se ha venido utilizando de amianto para reforzar cemento Portland.

En 1911 Graham utilizó por primera vez fibras de acero para incrementar la resistencia y estabilidad de un hormigón armado convencional. 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 Batson.

Hoy en día son múltiples las aplicaciones que se han hecho de este material en países como: EE. UU., Rusia, Inglaterra, Francia, etc.

Como razones del creciente interés en este material podríamos citar;

Las ventajas que presenta frente a otras armaduras ligeras convencionales en determinados 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 hormigón armado.

El desarrollo experimental 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 costo energético de obtención (fundición, plásticos, productos bituminosos) o de mayor escasez (fibra de amianto, madera).

La definición del hormigón armado con fibras es hoy en día plenamente categorizada como un material formado por un conglomerado hidráulico, generalmente cemento Portland, material volcánico fino y grueso, agua y fibras discontinuas y discretas.

Las propiedades de los materiales y del compuesto: los factores de los que depende el comportamiento del compuesto son las propiedades físicas y





mecánicas de las fibras y de la matriz, de la adherencia de ambos y de la compatibilidad de tensiones entre fibras y matriz.

Matriz

Aglomerante utilizado puede ser de dos tipos: orgánico (de tipo polímero: resinas epoxy, poliéster, fenólicas, o melanina) o inorgánico (cemento Portland, cementos de alto contenido de alúmina, yeso o silicato de calcio). En los primeros el alargamiento en la rotura es del mismo orden y magnitud de las fibras, mientras que en el segundo grupo es mucho menor.

Las matrices orgánicas se utilizan con alto contenido de fibras y produce materiales caros sólo utilizables en estructuras especiales que van a requerir propiedades extraordinarias: bajo peso, elevada resistencia a la corrosión, etc.

Los materiales de los que se requieran grandes cantidades y a bajos precios utilizaran matrices inorgánicas y por tanto, serán las más comúnmente empleados.

En cuanto a los materiales volcánicos hay que señalar que, en general, no es válida la granulometría de los hormigones ordinarios, disminuyendo mucho su trabajabilidad y dificultándose mucho el reparto uniforme de las fibras al aumentar el porcentaje del material volcánico mayor de 5mm.

Sin embargo con fibras de acero se ha hecho posible la utilización de granulometrías convencionales, introduciendo las fibras en la mezcla en forma de peine encolados, dispersándose las fibras durante el amasado, aumentando mucho la trabajabilidad de la mezcla, hasta ahora no se ha visto que el material volcánico afecte de terminantemente al hormigón con fibras.

Al igual que en hormigeros ordinarios, la resistencia de la matriz variara con el porcentaje de agua/cemento.

Fibras

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

Por su naturaleza pueden clasificarse en:

- **Minerales** (Amianto)
- **Orgánicos** (Algodón)
- **Metálicas** (Acero)

Por su modulo de elasticidad:

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





- Las que tienen un módulo de elasticidad 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 (fibra de vidrio).

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

Fibras de mayor utilización

Hasta hace pocos años la fibra de uso más extendido y sobre la que se había profundizado más en investigaciones era la de acero. Sin embargo, en los últimos tiempos se está extendiendo la utilización de la fibra de vidrio, en gran parte debido a los avances realizados en la protección del vidrio de los ataques de los álcalis del cemento y a la obtención de fibras de mayor resistencia que permiten el mezclado por procedimientos convencionales, sin que se produzca la separación de los filamentos que las componen.

Interés creciente se está desarrollando en torno a la fibra de polipropileno. Las fibras de carbono y alúmina han sido desechadas por las dificultades que presentan en el mezclado.

Fibras de Vidrio

Se estudió en principio la utilización del vidrio como cordón de armadura tradicional, con y sin pretensado. Esta aplicación no resultó competitiva frente a la armadura de acero convencional y hoy no se considera.

En 1966, el British Building Research Stablishment inició los primeros estudios de la aplicación de estas fibras a cementos y hormigones.

Como se vio en los primeros trabajos y se confirmaría más tarde, las fibras de vidrio que se utilizasen con cemento Portland debían ser fuertemente resistentes a la acción corrosiva de los álcalis del cemento.

Esta resistencia a los álcalis se ha conseguido de dos maneras:

Utilizando vidrios resistentes a los álcalis, compuestos del tipo $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$ y $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{MgO}$: Pyrex, E-glass y A-glass.

Recubriendo las fibras con un polímero. La resina epoxy es la más utilizada. Con ello se consiguen otros efectos favorables adicionales.

- Aumento de las resistencias a compresión y a tracción del compuesto.





Tesis: Concretos Especiales.

- Aumento de los valores del límite elástico y de la tensión de rotura.
- Aumento de la adherencia entre fibra y hormigón, por lo que se evita el fallo por despegue de las fibras, aprovechándose toda su resistencia.

Se presenta el problema de que al cortar las fibras después de su impregnación en resina las secciones extremas de éstas no tienen recubrimiento, suponiendo puntos vulnerables al ataque de los alcalis. Por ello se tiende a utilizar cada vez más el primer procedimiento.

Otras soluciones que se han propuesto a este problema han sido la utilización de cementos aluminosos o la adición a la mezcla de determinados aditivos: cenizas volantes o inhibidores. Con todo ello, la reducción de la resistencia con el tiempo no está del todo clara.

Los diámetros de las fibras de vidrio oscilan entre 0,005 mm. y 0,015 mm., pero se emplean formando trenzas de 0,015 a 1,5 mm.

Fibra de Acero

El acero utilizado es de bajo contenido de carbono. Su módulo de elasticidad es diez veces mayor que el del hormigón, 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 del corte de chapas de acero. Pueden ser lisas o tener anclajes en sus extremos. En algunos casos se han utilizado fibras con otras formas.

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 más común.

Aunque estas fibras son susceptibles de oxidarse si se encuentran cerca de la superficie de la pieza, la experiencia indica que ello sólo puede afectar a la estética. Pero no a la resistencia.

Fibra de Polipropileno

La utilización de fibras de polipropileno, en forma de filamentos, como refuerzo del hormigón se estudió hace años en Estados Unidos. La falta de adherencia de las fibras con la matriz observada en estos ensayos fue la causa de que entonces se rechazaran este tipo de fibras. Más recientemente, la posibilidad de obtener fibras multifilamento de polipropileno parece haber asegurado la adherencia.





Otras Fibras

Importante ha sido hasta ahora la utilización de fibras de amianto en la obtención de amianto-cemento. Su método de obtención es muy diferente del hormigón convencional.

Las fibras de amianto en el hormigón requieren grandes cantidades de agua, por lo que "hay que utilizar altos porcentajes de agua/cemento, con la consiguiente disminución de resistencias. Es difícil obtener distribuciones uniformes con ellas. Los yacimientos existentes son pocos y se están agotando. Todo ello, unido al cáncer de pulmón (asbestiosis) que producen, está llevando a su sustitución por fibras de vidrio.

Las fibras de alúmina y carbono se utilizan sólo en la obtención de hormigones por extrusión.

Las fibras de algodón, rayón y poliéster son muy atacables por los álcalis.

Las fibras de nylon son especialmente adecuadas en usos en los que se requiera elevada resistencia al impacto y a las explosiones.

HORMIGON CON LA INCORPORACION DE FIBRAS

Tipo de fibra	Resistencia a tracción kp/cm ² X 10 ² .	Módulo de Young kp/cm ² X 10 ³ .	Peso específico kg/dm ³ .	Diámetro m.	Alargamiento último %
Acrílica	2,1-4,2	21,1	1,1	—	25-45
Asbestos	5,6-9,8	842-1.406	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	2.039	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	703-1.195	2,7	—	0,6
Niñón	7,7-8,4	42,19	1,1	—	10,20
Poliéster	7,3-8,8	84,37	1,4	—	11-13
Poliétileno	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

Adherencia entre Fibra y Matriz

Según Swamy, las fibras introducidas en el hormigón están sólo parcialmente adheridas a éste. 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 dos tipos de fenómenos:

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





- Químicos: por reacciones superficiales entre la fibra y el hormigón.

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 en fibras lisas, también es verdad que los costes de obtención son mayores [fibras anulares] y en muchos casos se producen dificultades en el mezclado que requieren tratamientos especiales [fibras con anclajes en los extremos].

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 6000 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 través de un tratamiento a alta temperatura o a presión la puede aumentar en un 70 por 100.

Comportamiento Mecánico del Hormigón Armado con Fibras

Cuando una pieza de hormigón armado con fibras es sometida a flexión se observan dos tipos de comportamiento en la curva de tensióndeformación (figura 1).

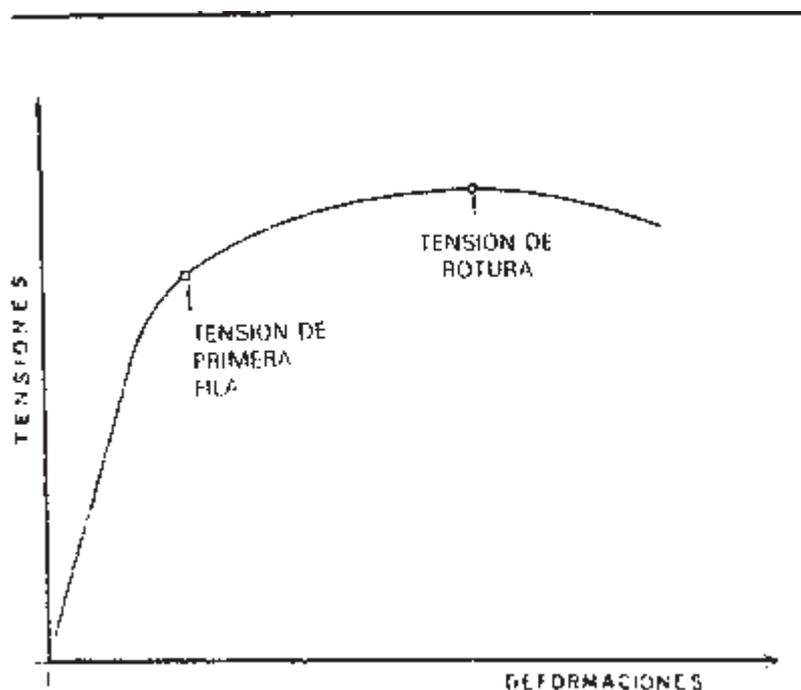


Figura 1

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





Tesis: Concretos Especiales.

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 hormigón 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 hormigón como para las fibras, ya que el módulo de elasticidad de las fibras es mayor que el del hormigón (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 hormigón 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 Batson y se basa en la separación de las fibras;

La segunda relaciona el límite elástico con el volumen, orientación y aspecto de las fibras.

Romualdi y Batson 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 éstas. 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.

$$S = 13,8 d \sqrt{\frac{1}{P}}$$

Donde:

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

d = El diámetro de las fibras.

P = El porcentaje de fibras en volumen.





Tesis: Concretos Especiales.

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

McKee (17) ha desarrollado otra ecuación ligeramente diferente para la separación entre fibras:

$$S = 3 \sqrt{\frac{V}{P}}$$

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 = Volumen de fibras.

Esta ecuación sólo es válida 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 límite elástico a causa de que ocurra algún fallo de adherencia entre las fibras. Por tanto, esta ecuación es únicamente una solución límite para el módulo de elasticidad y límite elástico en el hormigón 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 por 100 al 41 y 80 por 100.





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 éstas lleguen a alcanzar su tensión de rotura salvo en aquellos casos en que se mejora la adherencia de las fibras, con lo que algunas pueden llegar a la rotura.

Después de la carga máxima la disminución de tensiones con el incremento de las deformaciones es mucho menor en el hormigón armado con fibras que en el convencional, y, por tanto, la energía total absorbida antes de la rotura completa de la pieza ensayada es mucho mayor en el hormigón 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 hormigón 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 hormigón 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 hormigón. 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:

$$\sigma_r = A \sigma_m (1 - V_f) + B V_f \frac{L}{D}$$

Donde:

δ_r y δ_m = La tensión de rotura del hormigón de fibras y de la matriz de hormigón.

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 hormigón a la carga máxima. El máximo valor 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:

$$\sigma_c \approx 0,834 \sigma_m (1 - V_f) + 2,00 V_f \frac{L}{D}$$

— Tensión de rotura:

$$\sigma_c = 0,970 \sigma_m (1 - V_f) + 2,00 V_f \frac{L}{D}$$

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

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

Mezclado y Puesta en Obra

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

Para conseguir un mezclado uniforme el aspecto no debe ser mayor de 100. La longitud parece no tener importancia. El porcentaje en volumen de fibras no debe exceder del 2 por ciento y algunos autores señalan como no aconsejables porcentajes superiores al 1 por 100 (J. Takagy y J. Derdere). La docilidad de la mezcla y el pequeño espaciado entre fibras requerido aconsejan no emplear áridos de tamaño superior a 10 mm. La cantidad de agua necesaria variará con la distinta absorción de las diversas fibras.





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 hormigón 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 contenido de cemento se ha visto que se puede reducir utilizando cenizas volantes. Con ello no se afecta la resistencia a tracción o a compresión, pero se desconoce el efecto sobre otras propiedades.

En cuanto a la dosificación de los distintos componentes hay que decir que no se puede hablar de que existe una dosificación típica u óptima para todos los casos. Se han obtenido buenos resultados con dosificaciones muy diferentes, Habrá que hacer ensayos en cada caso particular para determinar la dosificación más adecuada.

El tiempo de mezclado es el mismo que en hormigones ordinarios y se puede hacer en hormigoneras convencionales. Los mejores resultados se han obtenido mediante el mezclado previo de los áridos con las fibras, siguiendo después el proceso tradicional. También se puede realizar introduciendo las fibras en una mezcla de agua y áridos 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 manojo de fibras, que no sobrepasa un valor de 20, y no el de las fibras aisladas, que es mucho mayor, aumentando mucho la trabajabilidad. La cola se disuelve y las fibras se dispersan uniformemente durante el amasado.

Para su puesta en obra se suele requerir un vibrado más importante que en el caso del hormigón convencional. El vibrado interno puede producir segregación de las fibras, pero normalmente esta segregación es favorable al refuerzo que deseamos conseguir. Por ejemplo, en pavimentos un vibrado interno colocará las fibras paralelamente a la superficie, que va a ser la dirección de mayores tracciones.

En los casos en que no se desee esta orientación se puede utilizar un vibrado externo.

El curado se realizará utilizando las mismas técnicas que en el hormigón convencional.

Hasta ahora se han utilizado los mismos ensayos para el control de calidad que en los hormigones ordinarios (consistencia, densidad, contenido de aire y ensayos de carga); sin embargo, estos ensayos no son perfectamente adecuados a este tipo de hormigones. Las medidas con el cono de Abrahams eran difíciles de realizar y poco representativas. Se soslayó este inconveniente mediante la determinación de la docilidad con el «cono invertido».





Se pueden utilizar encofrados fijos o deslizantes para su puesta en obra. Se consiguen buenos resultados mediante proyección neumática o bombeo con contenido de fibras de 1 por ciento o menores.

Para la obtención de piezas prefabricadas tiene interés la extrusión de este tipo de hormigón. Con este procedimiento se consigue aumentar la adherencia entre las fibras y el hormigón y orientar las fibras en la dirección de los esfuerzos.

La uniformidad de las piezas así producidas es mayor que la obtenida con otros procedimientos.

Propiedades Mecánicas Específicas

En este capítulo se analizan las propiedades mecánicas más importantes del hormigón reforzado con fibras, quedando implícitas las comparaciones con el hormigón de composición normal.

Comportamiento frente a esfuerzos estáticos: Resistencia a la compresión.

La incorporación de fibras no afecta de una manera significativa a la resistencia o la compresión.

Los resultados obtenidos muestran un diferente comportamiento según la naturaleza de las fibras. Así, si se emplean fibras rectas de acero se observa un ligero incremento de la resistencia (máximo cuando la proporción de fibras es del 3 al 4 por 100 en peso), dependiendo de la forma de las fibras, pues en el caso de que sean onduladas la resistencia a la compresión disminuye, pudiendo deberse esto a la menor compacidad que logra por causa de la forma de las fibras.

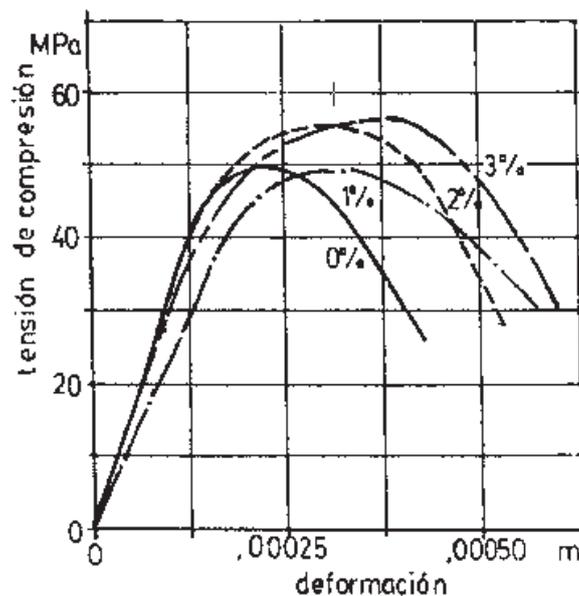


Fig. 2.—Diagrama para fibras de acero.





No se observa disminución cuando la adición es de otro tipo de fibras de acero, siempre que la compactación sea la adecuada. Caso particular es el empleo de fibras anulares de acero, en los que se produce un importante aumento de la resistencia a compresión, siendo éste máximo cuando la proporción de fibras es del 3.1 por 100 en peso.

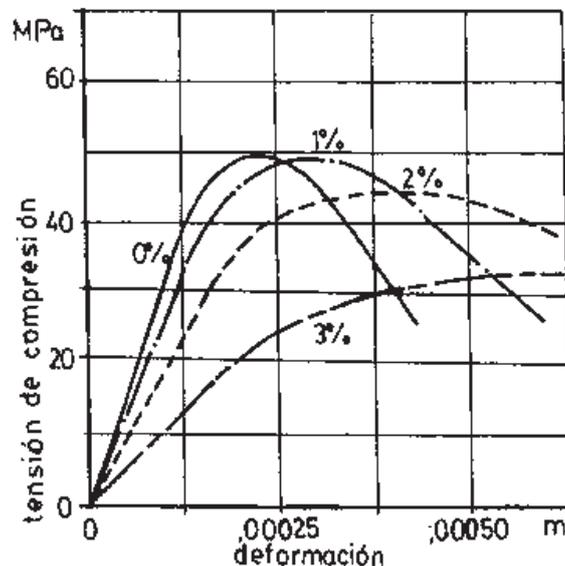


Fig. 3.—Diagrama para fibras de vidrio.

Utilizando fibras de vidrio se produce un ligero decrecimiento en todos los casos.

Las curvas de las figuras 2 y 3 corresponden a ensayos efectuados sobre probetas cilíndricas de 76_152 mm., de acuerdo con la especificación C 39-72 de las normas ASTM y a una temperatura de 75° F. Se utilizaron fibras de acero de 0,40 mm. de diámetro y 30 mm. de longitud, con anclajes en los extremos (externos doblados). Las fibras de vidrio utilizadas tienen un diámetro de 0,0127 mm. a 0,0140 mm. y una longitud de 12,7 mm.

Es importante señalar que, en general, se produce un menor módulo de deformación, obteniéndose un valor de E inferior en un 5 por ciento al de un hormigón de composición idéntica pero sin fibras, apuntándose la posibilidad de que pueda ser debido a una desigual distribución del árido grueso a causa de la inclusión de las fibras.

De igual manera se observan unas curvas de tensión de deformación más achatadas en las puntas, así como una mayor ductilidad del hormigón en la tensión de colapso (lo que da lugar a una mayor área bajo la curva y, por tanto, a una mayor capacidad de absorción de energía hasta la rotura) cuando se emplean fibras de vidrio.

Finalmente, en el caso de que se empleen fibras recubiertas con resinas epoxy que, utilizadas para evitar la corrosión de las fibras, se observa un incremento en la resistencia a la compresión, que puede ser debido a la rigidez





proporcionada a las fibras por el revestimiento, así como al cambio en la interacción entre las fibras y la matriz.

Comportamiento frente a esfuerzos estáticos: Resistencia a la tracción.

No es probable el empleo de hormigón con fibras en tracción directa, aún así analizaremos los resultados obtenidos por diversos autores.

Para ello estudiamos los gráficos siguientes:

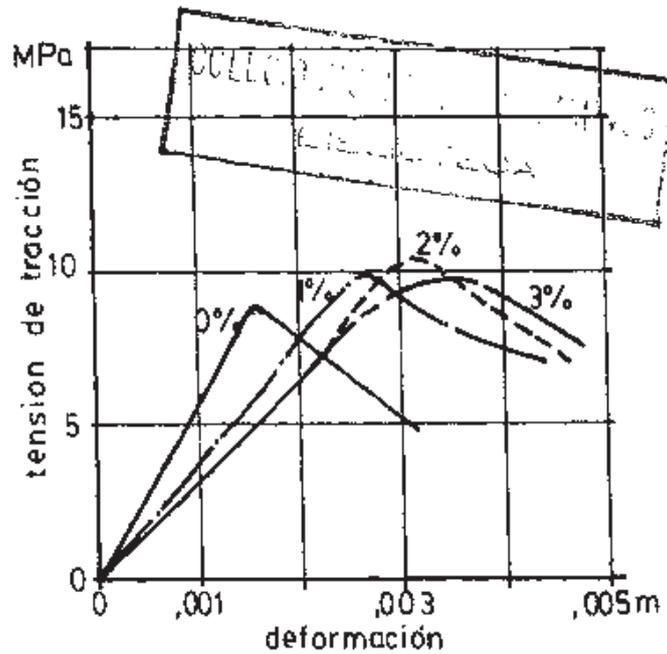


Fig. 4.—Diagrama para fibras de vidrio.

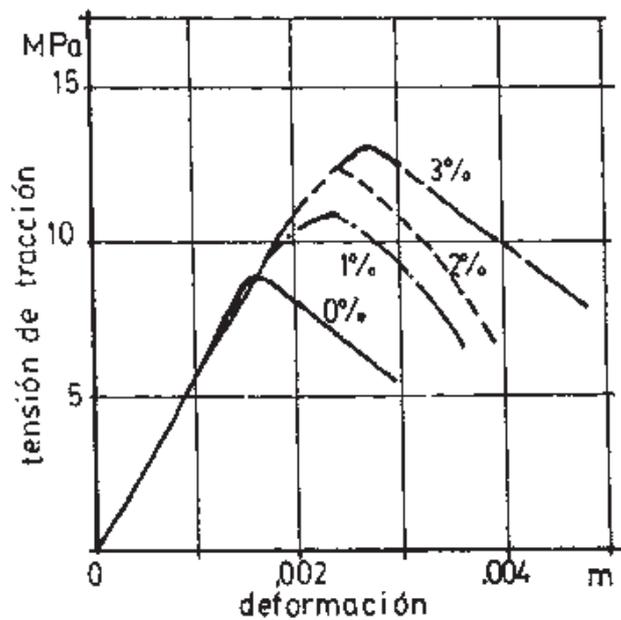


Fig. 5.—Diagrama para fibras de acero.





Las condiciones de estos ensayos son análogas a las del ensayo a compresión, efectuándose según la especificación C-496-71 de las normas ASTM.

Cuando se emplean fibras de acero se producen sucesivos incrementos de la tensión máxima al aumentar el porcentaje de fibras. Algunos autores han querido dar a esta relación un sentido lineal, aunque realmente pierden validez sus expresiones al no limitar el porcentaje máximo de fibras y no tener en cuenta factores como la orientación, doblado, adherencia, etcétera.

En cuanto a las fibras de vidrio, el incremento que se produce en la tensión máxima es más pequeño. Claramente la resistencia a la tracción es un fenómeno muy relacionado con la adherencia de las fibras al hormigón, de tal manera que al aumentar factores como la longitud de las fibras, tal y como ya vimos en el capítulo anterior, se producen mayores resistencias. Como antes, ocurre que la resistencia a la tracción aumenta con el porcentaje de fibras, de forma que diversos autores parecen estar de acuerdo que esta correlación se mantiene hasta un porcentaje en volumen del 6 por 100. Es conveniente, para terminar, hacer notar que se produce un notable aumento del valor de la resistencia en el colapso para las fibras de vidrio, con las mismas consecuencias que para la resistencia a compresión.

Comportamiento frente a esfuerzos estáticos: Resistencia a Flexión.

Acerca de la resistencia a la flexión del hormigón reforzado con fibras se han realizado muchos estudios, destacando los de Johnston, Swamy, Lankard y Edgington. Todos estos autores vienen a afirmar que los principales factores que afectan a la resistencia a la flexión son:

- Porcentaje de fibras V_f
- Esbeltez (longitud/diámetro) de las fibras cuya influencia, como ya vimos anteriormente, se puede expresar según la fórmula:

$$\sigma_c = A \sigma_{m1} (1 - V_f) + B V_f \frac{L}{D}$$

Analizando la ecuación se aprecia que un aumento de los parámetros anteriores origina una mayor resistencia a la flexión.

Otros parámetros también importantes son:

- La orientación de las fibras.
- La adherencia de las fibras a la matriz.

La forma de estudiar y mejorar estos factores ya la hemos visto en capítulos anteriores, aunque es conveniente puntualizar que según los ensayos





realizados con hormigón sin retracción se demuestra que un control de la retracción se traduce en una mayor adherencia entre las fibras (rectas, principalmente) y la matriz, ya que como consecuencia de la retracción aparecen micro-fisuras en el contorno de las fibras.

Intentando mejorar la adherencia se tiende al empleo de fibras conformadas, notándose en este caso muy poco la acción del hormigón sin retracción.

Una vez vistos los principales factores que influyen en la resistencia a la flexión y teniendo en cuenta el comportamiento mecánico del hormigón con fibras, podemos analizar los resultados obtenidos mediante ensayos sobre probetas de 76_76_360 mm., con las mismas condiciones que los ensayos anteriores y bajo la especificación C78-75 de las normas ASTM.

En estos ensayos sólo se varía el porcentaje en volumen de las fibras, pero nos sirven perfectamente para apreciar el comportamiento de estos materiales, pues no pretendemos hacer un estudio exhaustivo de la influencia de todos los factores, para lo cual remitimos al lector a la bibliografía apuntada. Los resultados obtenidos se pueden apreciar en las figuras 6 y 7.

Se observa que para fibras de acero el punto de primera fisura corresponde a un 80-85 por ciento de la tensión de rotura cuando las fibras son rectas, y, aproximadamente, a un 60-70 por ciento cuando las fibras son conformadas (ensayos representados en los gráficos). Los valores que corresponden a las tensiones son mucho más sensibles a la técnica de compactación que en el caso del hormigón normal.

Hay que destacar que los incrementos de tensión hasta la rotura son menores para el caso de fibra de vidrio; sin embargo, y tal y como ya se destacó en la resistencia a compresión, se produce una mayor deformación en la pieza hasta el instante del colapso, lo que implica una mayor capacidad de absorción de energía hasta la rotura.

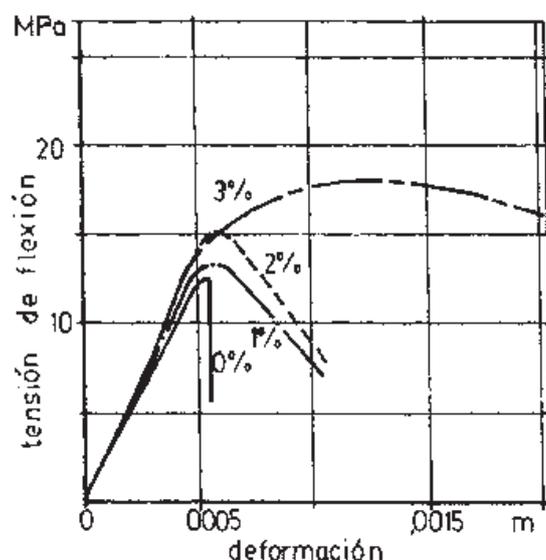


Fig. 6.—Diagrama para fibras de acero.





Finalmente, hay que destacar que toda mejora de la resistencia a la flexión es consecuencia de una buena dosificación de fibras (1 3), así como de una adecuada proporción de finos y gruesos (mucho árido grueso disminuye la adherencia), de la relación agua/cemento (hay un óptimo para lograr la máxima adherencia) y de la resistencia a la flexión y a compresión de la matriz. En cuanto a las fibras de vidrio, otro parámetro a considerar es la utilización de resinas epoxy. Que, como ya vimos, aumenta la adherencia (en un 200 por 100) Y la tensión de primera fisura (8) en un 20 por 100.

Comportamiento frente a esfuerzos estáticos: Resistencia a la Torsión.

Los principales factores que influyen en la resistencia a la torsión del hormigón reforzado con fibras son:

- El porcentaje de fibras en la mezcla.
- El espaciamiento entre las fibras.
- Esbeltez de las fibras (L/D).

La resistencia crece de forma lineal con el porcentaje de fibras, pero para pequeños aumentos de ésta se producen aumentos considerables en la deformación de rotura. Efecto contrario produce la separación entre las fibras, pues es inversamente proporcional al aumento de la resistencia.

La influencia de la esbeltez es tal que un aumento a diámetro constante, de la longitud de las fibras origina aumentos en la resistencia y deformación de rotura.

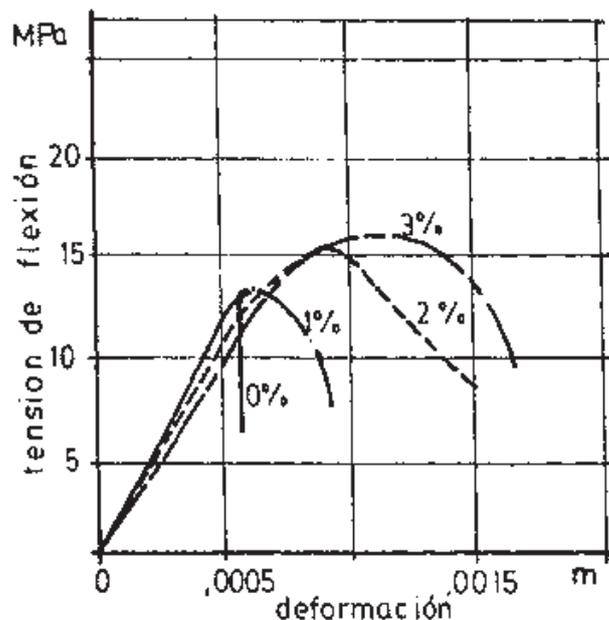


Fig. 7.—Diagrama para fibras de vidrio.





Como conclusión de lo anterior resulta que la tensión tangencial por torsión resistida y, por tanto, el máximo valor del momento torsión varía casi linealmente con el coeficiente LP/d (donde P es el porcentaje de fibras). En la rotura se puede obtener un alto valor del momento torsión gracias a la presencia de las fibras.

Comportamiento frente a esfuerzos estáticos: Resistencia a los Esfuerzos Cortantes.

No se ha estudiado en profundidad este tema pero los datos de que se dispone indican un aumento importante de la resistencia, lo cual se traduce en la posibilidad del empleo de las fibras de acero como elementos sustitutivos de estribos en vigas u otros elementos. No obstante sería muy conveniente profundizar en este estudio, pues de resultar ciertos los datos anteriores estaríamos ante una alternativa económica al empleo de estribos de hormigón armado.

Comportamiento frente a esfuerzos dinámicos:

El hormigón reforzado con fibras absorbe una gran cantidad de energía durante la fractura bajo cargas dinámicas. Las principales causas del aumento de esta energía son debidas a:

- La adherencia fibras matriz.
- Fluencia y fractura de las fibras.
- Apertura de grietas.

El corto tiempo de aplicación de las cargas o de la variación de éstas no permite una adecuada redistribución de esfuerzos, por lo que los resultados obtenidos de diferentes ensayos y sollicitaciones resultan bastante dispersos. No obstante, se aprecia que porcentajes elevados de fibras aumentan poco la resistencia a impactos con relación a bajos contenidos, y que con el hormigón reforzado con fibras se logran resistencias seis veces o más superiores a las del hormigón normal.

En el caso de fibras de nylon y con sollicitaciones por cargas explosivas se ha estudiado el porcentaje óptimo de aplicación, que resulta estar entre el 0,5 y el 1 por 100 en volumen.

En cuanto a la energía absorbida, en la figura. 8 se puede apreciar la comparación con el hormigón normal de los resultados obtenidos con el péndulo de Charpy modificado, para probetas de 100_100_500 mm. (6) con una luz de 400 mm. (Figura 8).

La energía ha sido obtenida por integración de la curva carga-tiempo y se puede apreciar lo siguiente:





- Ambos gráficos presentan en el diagrama de la carga un máximo absoluto similar para $T = 75E^{-6}$ seg.
- El hormigón reforzado con fibras presenta un máximo relativo para aproximadamente $t = 1.000E^{-6}$ seg., debido a las causas apuntadas al principio de este apartado.

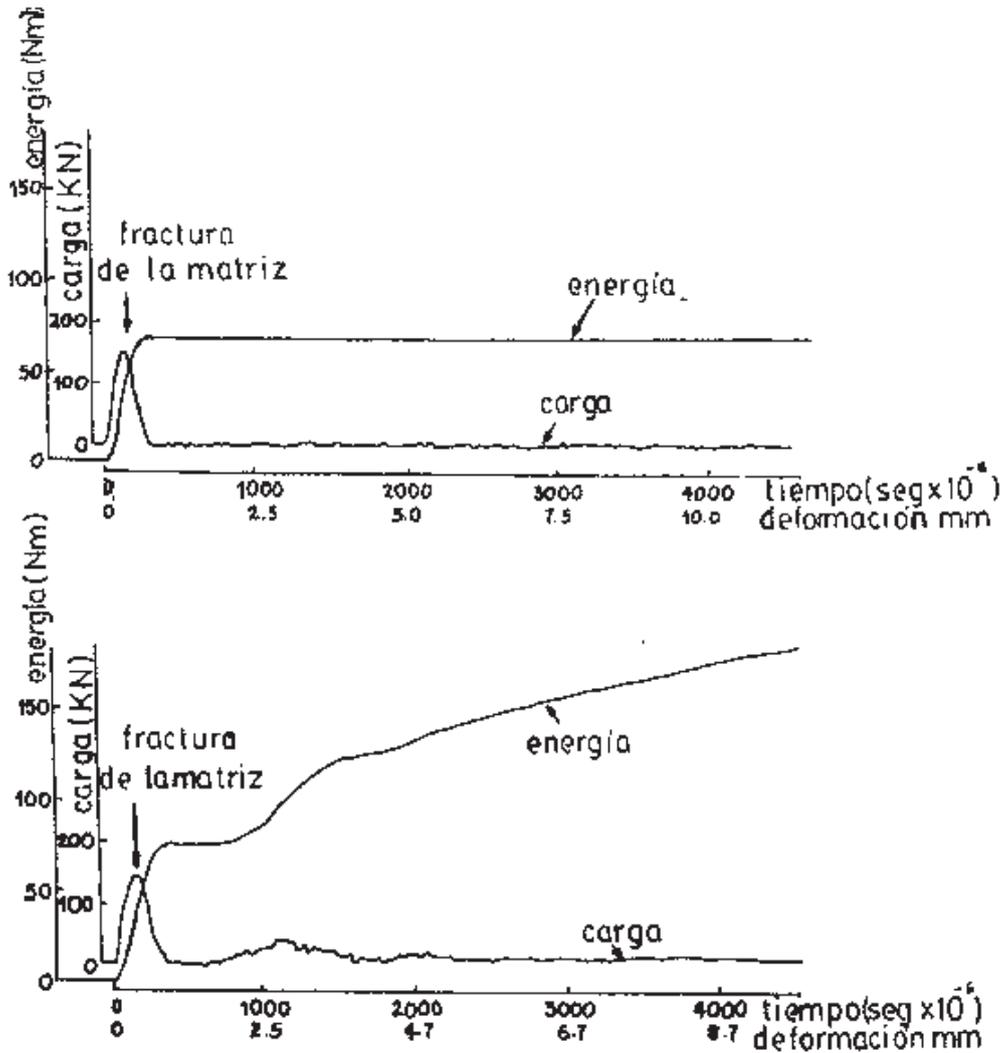


Figura 8.

Este segundo máximo, inexistente en el hormigón normal, es el que contribuye al gran aumento de la energía absorbida en la fractura. Tal V como muestra la curva de energía.

De este comportamiento del hormigón con fibras surgen una gran cantidad de aplicaciones que se estudiarán más adelante.

Comportamiento frente a la fatiga:





Se han realizado muy diversos tipos de ensayos para analizar este comportamiento, no siendo muchas veces posible comparar los resultados, pues existen factores tales como el tamaño de las vigas a ensayar, condiciones de solicitaciones y el criterio de rotura a fatiga que impide llevar a cabo este propósito.

No obstante, por lo general se puede apreciar un incremento de la resistencia a fatiga con incremento de fibras. Además se ha comprobado un aumento del 10 al 13 por 100 en la resistencia para aquellas piezas que han tenido una historia anterior de fatigas, pudiendo esto explicarse por la reducción de las tensiones de retracción, por escurrimiento plásticos de la pieza.

El hormigón con fibras también ha sido ensayado a la fatiga con carga de compresión por Ranney y McCabe, quienes usaron fibras de 12.5 mm. de longitud y 0.15 mm. de diámetro, con una porción del 2 por 100 en volumen, apreciando que no existe una aparente diferencia con el hormigón normal.

Comportamiento frente a otras acciones: Abrasión

Según ensayos de laboratorio del United States Steel Corporation, en los que se utilizó hormigón con fibras de acero con porcentajes en volumen de fibras del 2,5 por 100, Y hormigón normal y empleando el método de desgaste NBS modificado, resulta para el hormigón con fibras un desgaste del 27 por 100 menor que el del hormigón normal, midiéndolo como pérdida de espesor de la placa de ensayo. La abrasión y la erosión de las superficies de ensayo fueron simuladas con el chorro de arena y rueda con cepillo de acero.

Comportamiento frente a otras acciones: Fricción y resistencia al deslizamiento

Los resultados obtenidos de fricción para superficies secas de hormigón (con o sin fibras) demuestran que el deterioro de la superficie es independiente del contenido de fibras. Sin embargo, las resistencias al deslizamiento y a la rodadura sobre superficies con abrasión y erosión provocadas son aproximadamente un 15 por 100 mayores en el hormigón con fibras respecto al hormigón normal, bajo condiciones de humedad, sequedad y helada.

Comportamiento frente a otras acciones: Comportamiento frente al calor

Al aumentar la cantidad de armadura (acero) de un hormigón, provocamos una mayor desigualdad de la dilatación térmica de las distintas partes que integran la mezcla, lo que provoca pérdidas de adherencia y micro-fisuras en el contorno de las fibras. Por lo general las estructuras sometidas a sollicitación térmica presentan también exigencias mecánicas y de durabilidad, por lo que el empleo de fibras de bajo coeficiente de dilatación térmica (fibras de vidrio, polipropileno) muchas veces no resulta posible: por lo que resulta aconsejable utilizar fibras de acero inoxidable que conserven sus características hasta temperaturas muy altas. La adición de fibras al hormigón refractario sometido a temperaturas altas y fuertes choques térmicos permite alargar de forma importante la vida del hormigón.





Aplicaciones

Una vez estudiadas las propiedades mecánicas del hormigón reforzado con fibras, las aplicaciones no son más que una consecuencia de los diferentes comportamientos que se obtienen.

En este capítulo vamos a analizar las aplicaciones de cada tipo de fibra, pues para proyectos similares se ha venido usando fibras de la misma naturaleza, tendiendo hacia su uso específico para cada tipo. Finalmente, haremos mención a las principales aplicaciones que han tenido lugar en España.

Fibras de acero

Para el hormigón reforzado con fibras de acero y hormigonado "in situ", las principales aplicaciones son:

Pavimentos: esta aplicación se encuentra perfectamente contrastada por ensayos en modelo reducido, dando lugar a una buena experiencia en el manejo de este material, así como la obtención de importantes datos para conocer su comportamiento.

Las propiedades más importantes en relación con esta aplicación son:

- Aumento de la resistencia a la flexo-tracción.
- Mejora de la ductilidad des pues de las primeras fisuras.
- Aumento de la resistencia al impacto y fatiga.
- Disminución del descascarillamiento del hormigón.
- Mejoras en la resistencia frente a la abrasión.
- Aumentos de las resistencias al deslizamiento y rodadura.

Así, la aplicación en pavimentos, bien solamente en las capas superficiales de rodadura, bien en todo el espesor, es el campo de mayor utilización del hormigón con fibras de acero. Hay importantes ejemplos, principalmente en Estados Unidos, tanto de carreteras y losas de puentes como en aeropuertos, pudiendo destacar entre ellos:

- Aeropuerto Internacional de Tampa.
- Las calles residenciales y avenidas en Cedar Rapids (Iowa).
- Capa de rodadura del puente Dyckman Street (New York).





Finalmente, es importante destacar una gran 792 aplicación asociada con los pavimentos, que es la reparación de juntas (debido a la gran resistencia al impacto).

Soleras Industriales

Para factorías y para almacenes de todo tipo se han hecho investigaciones sobre las ventajas que presenta el empleo del hormigón con fibras de acero, principalmente por Industrial Flooring Services (Cheshire). Se han aplicado también las técnicas utilizadas en los pavimentos de carreteras. Se trata de un campo con grandes posibilidades, sobre todo en aquellos casos en que el pavimento pueda estar afectado por diferentes tipos de impactos.

Obras Hidráulicas

Se han obtenido unos resultados muy esperanzadores en el uso del hormigón con fibras de acero frente a la cavitación y a la erosión producida por el agua, así como a los daños por impacto en estructuras hidráulicas, como:

- Aliviaderos de superficie.
- Embocadura de aliviadores de fondo.
- Muros de guía y muros de esclusas.

Minas, Túneles y estabilización de taludes

Se han realizado diversas estabilizaciones de taludes de roca o de materiales sueltos mediante la utilización de morteros u hormigones con fibras de acero, aplicados mediante procesos de gunitado o torcretado.

La principal ventaja que presenta es la reducción de costos por la eliminación de la necesidad de sujetar la malla de refuerzo a la superficie de la roca, además de contornear mejor la superficie que en el caso de la utilización de mallas.

Las principales aplicaciones del hormigón armado con fibras de acero están en el campo de los elementos prefabricados.

Tapas de registro o pozos

Se emplean como elementos sustitutivos de los actuales, de hierro fundido o de hormigón.

Placas de pavimento

Otra aplicación importante es la utilización de placas prefabricadas para pavimentos, soportados por una estructura especial de acero. Un conocido ejemplo es el aparcamiento desmontable del aeropuerto Heathrow de Londres, donde fueron empleadas placas cuadradas de 1,1 metros de lado y 65





milímetros de espesor, con un 3 por 100 en peso de fibras de 0,25 mm. de diámetro y 22 mm. de longitud, con un tamaño máximo de árido de 10 mm.

Elementos sometidos a la acción de aguas marinas o agresivas de otro tipo

Se han hecho importantes aplicaciones en oleoductos submarinos y en gaviones para mantos de escollera (resistencia al impacto y a la corrosión).

Otro uso considerado es el de la protección de pilares expuestos a la acción del agua salada mediante el empleo de camisas prefabricadas de hormigón con fibras que se colocan al rededor de las pilas y se rellenan con un mortero de resina epoxy que elimine el agua y adhiera la camisa a la pila.

Tuberías

Se ha utilizado el hormigón con fibras para la fabricación por centrifugación de tuberías de gran diámetro que no estén sometidas a presiones elevadas.

Elementos refractarios

Una gran variedad de aplicaciones comerciales se han derivado de su gran resistencia a esfuerzos mecánicos y térmicos a temperaturas superiores a 1.500° C. Se utilizan fibras de acero inoxidable [con 18 por 100 de níquel y 8 por 100 de cromo (AISI 302), o bien 25 por 100 de níquel y 20 por 100 de cromo (AISI 314)].

Algunas aplicaciones ya realizadas:

- Soportes de lingotes de acero (1.1000°c).
- Palas agitadoras de la colada de acero (1.500° C.).
- Recubrimiento refractario de hornos (industrias petroquímicas, acereras, cementeras).
- Recubrimiento de perfiles de acero para aumentar.

Estructuras sometidas a explosiones

Como resultado de la alta resistencia al impacto del hormigón reforzado con fibras, se han llevado a cabo importantes realizaciones en el campo de la ingeniería militar (bunkers, polvorines, etc.), así como el de la industria en general (paneles protectores de depósitos de elementos altamente explosivos, etc.). Finalmente, y debido a esta misma característica, se está desarrollando en Europa el hormigón reforzado con fibras de acero en las estructuras de cajas fuertes.

Otras aplicaciones





Entre otras podemos citar: escaleras, cimientos y estructuras de máquinas, vigas para la construcción (aunque en este caso se emplean más las fibras de vidrio por su menor peso), etcétera.

Fibras de vidrio

El uso de las fibras de vidrio frecuentemente se reduce a elementos no estructurales o semi-estructurales (como es el caso de encofrados permanentes o perdidos).

Antes de iniciar el estudio de las aplicaciones conviene hacer una reseña de las utilidades que se han llevado a cabo con fibras de vidrio de boro-silicatos (E-glass). Se utilizaron por primera vez, en 1963, en la URSS, como material de cobertura en paneles de 6 m. de luz y 7 mm. de espesor y como impermeabilizante en depósitos de hormigón; en ambos casos fue utilizada con cemento aluminoso. Poco después fue empleada en Inglaterra para paneles de revestimiento, chimeneas, impermeabilizaciones, botes, casas flotantes sobre pontones, etc.

Sin embargo, su utilización se vio muy limitada por la necesidad de utilizar cemento aluminoso, y por las dudas existentes en cuanto a su durabilidad.

Los recientes avances, ya comentados, en la protección de las fibras del ataque de los álcalis han supuesto un relanzamiento en la utilización, fabricación industrializada y comercialización de este tipo de fibras.

Paneles de cerramiento

Estos paneles se obtienen mediante la pulverización de morteros de cemento sobre las fibras, colocadas en moldes. Su espesor es de unos 6 a 9 mm., y su contenido de fibras es de un 5 por 100 en peso.

Se utilizan muy profusamente en todo el mundo, principalmente en Inglaterra. Por su trabajabilidad en fresco se puede moldear con facilidad, haciendo los paneles a gusto del proyectista.

Hay importantes ejemplos de este uso: la sede de Credit Lyonnaise Bank, en Londres; la utilización en la remodelación del estadio Santiago Bernabeu, de Madrid (3), donde se utilizó para la fachada y cierres frontales, interior y exterior, de la marquesina del estadio. Como prueba de la gran manejabilidad y ligereza de estos elementos está el equipo utilizado: un soldador, un operador de grúa, un manipulador de la zona de acopios y dos en el lugar de colocación para aplomado, nivelación y alineación.

Encofrados perdidos

El cemento reforzado con fibras de vidrio posee una alta resistencia a flexotracción y al impacto. Estos factores son los que exigimos a un encofrado, por lo que su utilización resulta muy adecuada a la ingeniería civil, principalmente en aquellos casos en que necesitamos unos encofrados de muy ligero peso o





de formas caprichosas difíciles de conseguir, y costosas con los materiales convencionales.

Pequeños elementos

Por su gran trabajabilidad y ligereza y con procedimientos de extrusión o inyección en moldes, se pueden obtener diversos productos sustitutivos de los convencionales de madera, hierro, fibrocemento o plástico. Algunos ejemplos son: postes de cercas, paletas, estructura de puertas o ventanas, puertas incombustibles, cunetas de drenaje, tuberías, paneles de techos, cubiertas para máquinas, barreras de ruido, señalización urbana, y manos y tapas de conductos de gas.

Aplicaciones hidráulicas y marinas

En Holanda se ha utilizado en el tablestacado de revestimiento de canales. También se utiliza en diques flotantes, casas flotantes sobre pontones y cascos de barcos, formados por dos capas de 10 mm. de espesor, separados por espuma de poliuretano rígida. [5].





VI. Conclusiones.





VI. Conclusiones.

En la búsqueda constante de mejorar tanto los procedimientos constructivos como de los materiales en los que nos basamos prácticamente para todas las construcciones realizadas por el hombre, ya sea porque la naturaleza nos obliga o por otras razones como retos de estética e innovación, estaremos más que obligados a renovar tanto procedimientos como encontrar nuevos caminos, llámesele así a los materiales de construcción y sus posibles combinaciones entre estos diferentes materiales para lograr encontrar así tanto los requerimientos para la obra en específico como las necesidades convencionales con las que cotidianamente nos tropezaremos.

Recordando un poco lo que viene siendo el concreto celular, ya lo vimos pero en resumidas cuentas este procedimiento para crear el concreto celular, nos indica que la finalidad es obtener un material de construcción que satisfaga condiciones específicas de obra, las cuales son principalmente: aislamiento de cuartos ya sea exterior o interior, aunque bien se sabe que tiene mejor respuesta si es colocado en exterior, por su fácil colocación y el hecho de que es resistente al fuego por aproximadamente 6hrs y también mencionando las grandes propiedades de aislamiento acústico que brinda, lo cual da al constructor varias razones para su empleo en obras civiles.

En cuanto al concreto polimérico y/o modificado con polímeros se puede decir que este material el polímero en si ya es un material con características interesantes y adicionado ahora al concreto brinda toda una serie de parámetros que para el ingeniero son muy importantes de tomar en cuenta en la obra a emplear ya sea sus requerimientos de esta. Además si tomamos como punto importante el hecho de que el concreto polimérico y/o modificado con polímeros sobre pasa en especificaciones al concreto convencional esto refuerza la idea de su empleo en obras importantes que salen de lo convencional y típico, ya sea por la complejidad del mismo y/o por que este llega a ser una obra que contendrá equipo especializado y de precisión.

Y por último el concreto fibroreforzado es el empleo de fibras de acero o fibras de vidrio, cada una con características similares pero con las suficientes diferentes para emplear una u otra según se presente la opción, además sabemos que su empleo va mas dirigido para los que viene siendo refuerzo en losas de concreto, ya sea en pisos industriales u losas de techo en instalaciones con equipo especializado y delicado.

De aquí las razones de buscar constantemente nuevas y mejores formas de obtener el concreto ideal, este concreto ideal es aquel que satisfaga las necesidades de aquella obra específica que maneja equipo especializado y delicado, además de satisfacer todos los requerimientos de construcción de nuevas creaciones que rebasan la imaginación convencional y que ponen a prueba al ingeniero para resolverlas a como dé lugar, simplemente es cuestión de usar el ingenio y todas las herramientas que ha creado el hombre a través de los años para lograr todo lo que se propone y más.





VII. Bibliografía.





VII. Bibliografía.

I. Introducción.

[1].Wikipedia, Enciclopedia Libre.

[1.1].www.monografias.com/trabajos/histoconcreto/histoconcreto.shtml.

[1.2].www.elnuevoconstructor.com/content/2005/May_June/Feature1_Concrete/Concrete_ESP.asp.

Imágenes 1.0 hasta 1.11 tomadas de [monografias.com](http://www.monografias.com)

Imágenes 1.12 y 1.13 tomadas de www.spanish.xinhuanet.com

II. Estado del Arte.

[2].Wikipedia, Enciclopedia Libre.

[2.1].www.hormigonerospr.org/CH0R06-5.pdf.

[2.2].www.mallapas.com.

[2.3].www.imcyc.com/ct2008/ene08/tecnología.

[2.4].www.sika.com.mx/fibra-sikafiber-cho6435nb.pdf.

[2.5].www.tfhr.gov/structr/concrete/subj4.htm.

[2.6].www.isocron.com.ar/fmt/concreto.html.

Imágenes 2.0 tomada de hormigonerospr.org/CH0R06-5.pdf

Imagen 2.1 tomada de Wikipedia

Imagen 2.2 hasta 2.7 tomadas de [isocron.com.ar/fmt/concreto.html](http://www.isocron.com.ar/fmt/concreto.html)

Imagen 2.8 hasta 2.11 tomadas de [tfhr.gov/structr/concrete/subj4.htm](http://www.tfhr.gov/structr/concrete/subj4.htm)

Imagen 2.12 tomada de nationalacademis.org

Tablas 2.12.a y 2.12.b tomadas de [imcyc.com/ct2008/ene08/tecnología](http://www.imcyc.com/ct2008/ene08/tecnología)

Imagen 2.13 tomada de nationalacademis.org

Imágenes 2.14 hasta 2.18 tomadas de [sika.com.mx/fibra-sikafiber-cho6435nb.pdf](http://www.sika.com.mx/fibra-sikafiber-cho6435nb.pdf)

Imagen 2.19 tomada de manosquecuran.mforos.com

Imágenes 2.20 hasta 2.31 tomadas de [mallapas.com](http://www.mallapas.com)

III. Concreto Celular.

[3].www.mexico.xella.com/html/mex/mx/9291.php.

[3.1].Wikipedia, Enciclopedia Libre.

Imágenes 3.0 hasta 3.7 tomadas de [mexico.xella.com/html/mex/mx/9291.php](http://www.mexico.xella.com/html/mex/mx/9291.php)

IV. Concreto Polimérico y/o modificado con Polímeros.

[4].Polymer Concrete from Marble Wastes and Recycled, 2003.

[4.1].www.fortecomposites.com/concrete.html.

[4.2].www.springerlink.com/index/77613861H40G673G.pdf.

Imagen 4.0 tomada de cosmos.com.mx





Tesis: Concretos Especiales.

Imagen 4.1 tomada de cosmos.com.mx
Imagen 4.2 tomada de nationalacademis.org
Imagen 4.3 tomada de mpibitumen.com

V. Concreto Fibroreforzado

[5]. Revista de Obras Publicas , Octubre 1984, paginas 779-796, por Fernando Rodríguez López y Diego Prado Perez-Seoane.

Imágenes y tablas tomadas de Revista de Obras Públicas, Octubre 1984

