

**UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA DEL
ESTADO DE PUEBLA**

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**CONSTRUCCION CON CONCRETO DE BAJO
REVENIMIENTO**

Trabajo de Investigación
que para obtener el Título de

INGENIERO CIVIL

Presentan

**Claudia Ercilia Larrauri Olalde
Carlos Gustavo Mustieles Mañón**

Puebla, Pue , México

Septiembre de 2001



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Puebla, Pue., a 30 de agosto de 2000

C. Dra. Josefina Rivero Villar
Directora del Departamento de Ingeniería
Presente.

Por este conducto me permito informarle que la *C. Claudia Ercilia Larrauri Olalde*, con número de matrícula 70216 de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, ha desarrollado su trabajo de investigación titulado *“Construcción con concreto de bajo revenimiento”*, que bajo la asesoría y supervisión de quien suscribe, cumple con los objetivos planteados en el mismo.

No habiendo otro particular y agradeciendo la atención al presente, quedo de usted como su seguro servidor.

Atentamente

M. en Ing. Víctor Manuel Antonio Izarrarás

AGRADECIMIENTOS

MIS PADRES

A mi Madre Por haber dedicado tu vida entera a cuidarnos y guiarnos por un buen camino y por haber estado siempre a mi lado con una palabra de aliento

A mi Padre. Por ser uno de los pilares más grandes en mi vida Por recordarme que siempre se puede ser mejor si te lo propones, y por se mi gran ejemplo a seguir.

Gracias, los Amo.

HERMANOS

Sergio, Loren, Mariela y Rafa

Por brindarme su apoyo incondicional y por enseñarme que no importa que problema se presente, unidos siempre lo resolveremos

FAMILIA

Mis Abuelos, mis Tíos, mis Primos

Por todos los momentos felices que me han brindado y por compartir conmigo tristezas y alegrías

CARLOS

Por todo el amor que me has dado, por tu apoyo tanto en mis momentos buenos como en los malos, pero sobre todo por darme los mejores años de mi vida estando siempre junto a mi Te Amo

FAMILIA POLITICA

Por haberme brindado todo su apoyo y amor, haciéndome sentir como una integrante más de esa gran familia

MIS CATEDRATICOS

Por haber contribuido de forma importante en mi formación profesional, compartiendo su sabiduría, experiencia y amistad Gracias por enseñarme lo hermosa que es mi carrera

DIOS

Por darme la vida, por guiarme por el buen camino y escucharme en los momentos más cruciales e importantes, y sobre todo, por rodearme de gente que me quiere y de una familia excepcional

Claudia

AGRADECIMIENTOS

DIOS

Por permitirme vivir, por estar siempre conmigo, por guiarme a hacer bien las cosas y sobre todo por darme a esta gran familia y a todas las personas que me quieren como yo los quiero a ellos

MIS PADRES

Mamá A tu gran amor, fuerza y paciencia que siempre me has brindado en todos los momentos de mi vida

Papá Por ser el hombre más importante en mi vida, por tu amor y tu gran inteligencia que han sido mi mayor ejemplo a seguir

Gracias por ser los mejores padres del mundo Los Amo

HERMANOS

Enrique, Gabriela, Emilio y Francisco

Por su apoyo y su cariño que siempre me brindaron en los momentos difíciles, por ser mis amigos incondicionales y por la unión que siempre hubo, hay y habrá en todo momento Los Quiero Mucho

CLAUDIA

Por amarme desde el primer día que estuvimos juntos, por enseñarme a vivir compartiendo ilusiones, alegrías, tristezas y amor, pero sobre todo, por estar a mi lado siempre y hacerme feliz Te Amo

FAMILIA POLITICA

Por permitirme ser parte de ustedes, por darme su amor y su apoyo incondicional, y por ser parte importante en mi vida y estar conmigo Los Quiero a Todos

AMIGOS

Ricardo, Omar, Rodolfo, Oscar, Nicolás, Carlos, Luis, Manuel, Miguel

Porque con todos ustedes crecí, física y mentalmente, gracias a su apoyo y su tiempo, por vivir momentos inolvidables y por estar juntos hoy y siempre

CATEDRATICOS

Por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias y por ser, más que catedráticos, amigos, ya que siempre estuvieron ahí para apoyarme Gracias

Carlos

INDICE

1. INTRODUCCION.	1
2. MARCO HISTORICO Y PROPIEDADES DEL CONCRETO.	4
2 1 Historia de la construcción en México	4
2 2 Avances en la tecnología del concreto	6
2.3 Propiedades del concreto	10
3. REVENIMIENTO.	13
3 1 Generalidades	13
3 2 Pruebas para la determinación del Revenimiento	15
3 2 1 Prueba Estándar	15
3 2 2 Prueba Vebe	17
3.2.3. Prueba del Factor de Compactación	18
3 3 ¿Qué es el concreto de bajo revenimiento?	19
3.4 Pérdida del Revenimiento	21
4. PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS.	23
4 1 Generalidades	23
4 2 Pruebas necesarias para el proporcionamiento de mezclas	24
4 2.1. Propiedades de los agregados	24
4 2 2 Propiedades del cemento	24
4 3 Proporcionamiento de mezclas para concretos de peso normal	25
4 3 1 Especificaciones y dosificación	25
4 3 1 1 Elección del revenimiento	25
4 3 1 2. Elección del tamaño máximo nominal del agregado	26
4 3 1 3 Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire	26
4 3 1 4 Selección de la relación agua-cemento	27
4 3 1 5 Calculo del contenido de cemento	29
4 3 1 6 Estimación del contenido de agregado grueso	29

4.3.1.7. Estimación del contenido de agregado fino.	30
4 4 Norma Practica para seleccionar el proporcionamiento de mezclas de concreto sin revenimiento	32
4 4.1. Alcances y limitaciones	32
4 4 2 Métodos para medir la consistencia	32
4.4 2 1. Aparato de Vebe	33
4 4 2 2 Factor de compactación	33
4 4 2 3 Mesa de Flujo de Thaulow	34
4.4.3 Mezcla de agua requerida	35
4 4 4 Selección del proporcionamiento	37
4 4 4 1 Revenimiento y tamaño máximo del agregado	37
4 4 4 2 Estimación del requerimiento de agua	38
4 4.4.3. Selección de la relación de agua-cemento	39
4 4 4 4 Estimación de la cantidad de agregado grueso	41
5. CONTROL DE CALIDAD.	44
5 1 Especificaciones generales	44
5 1 1 Cemento	45
5 1 2 Agregados	46
5 1 3 Agua de mezclado	47
5 1 4 Aditivos	47
5 1 5 Mezclado	48
5 1.6 Colocación	49
5 1 7 Transportación	49
5 1 8 Curado	49
6. CONSTRUCCION CON CONCRETO DE REVENIMIENTO CERO.	51
6 1 Generalidades	51
6 2 Aplicaciones	52
6 2 1 Losas Extruidas	52
6 2 1 1 Proceso de fabricación	53

6 2 2 Durmientes	55
6.2.2 1 Historia	55
6 2 2 2 Consideraciones de diseño	57
6 2 2 3 Fabricación	58
6 2 2.4. Pruebas	59
6 2 3 Blocks	59
 7. CONSTRUCCION CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS (CCR).	 61
7 1 Generalidades	61
7 2 Materiales y proporcionamiento de mezclas	63
7.2.1. Consistencia.	63
7 2 2 Materiales cementantes	64
7 2 3 Agregados	64
7 2 3.1 Agregado grueso	65
7 2 3 2 Agregado fino	65
7.3 Aplicaciones	65
7 4 Presas	66
7 4.1 Etapas de diseño de mezclas de CCR	67
7 4 1 1 Análisis de distribución de esfuerzos	67
7 4 1 2 Análisis de estabilidad	68
7 4 1 3 Análisis térmico	68
7 4 2 Factores que afectan las propiedades de las mezclas de CCR	69
7 4 3 Mezclado del agregado	69
7 5 Pavimentos	70
7 5 1 Introducción	70
7 5 2 Materiales	71
7 5 3 Propiedades del concreto	72
7 5 4 Proporcionamiento de mezclas	72
7 5 5 Pavimentos de concreto de apertura rápida	73
7 6 Avances de las obras con CCR en presas	76

8. CONSTRUCCION CON CONCRETO LANZADO.	78
8 1 Antecedentes	79
8 2 Características	81
8.3 Propiedades	83
8 4 Procesos de fabricación	86
8 5 Maquinaria y equipo	92
9. ADITIVOS.	96
9.1. Generalidades	96
9 2 Puzzolanas	98
9 3 Aditivos para concreto de bajo revenimiento	98
10. CONCLUSIONES.	101
11. REFERENCIAS.	106
APENDICE A.	108
APENDICE B.	110

1. INTRODUCCION.

Desde hace varios años se ha empleado como material principal de construcción el concreto, esto se debe a que dicho material tiene muchas características favorables. Una de las características más importantes es una alta relación resistencia-costo en muchas aplicaciones.

Otra es que el concreto, mientras se encuentra en estado plástico, puede colocarse con facilidad dentro de cimbras a temperaturas normales para producir casi cualquier forma. La cara expuesta de la construcción con concreto puede tratarse o trabajarse a una superficie dura, lisa o áspera, capaz de soportar el efecto del desgaste de los agentes externos, tales como el tráfico, ya sea de aviones o de camiones, oxidación, erosión etc. También cabe mencionar que el concreto tiene una alta resistencia al fuego y a la penetración del agua.

La resistencia a la tensión del concreto es casi nula o muy pequeña comparada con su resistencia a la compresión, además el concreto es un material de relativa fragilidad. Sin embargo esto puede solucionarse proporcionándole al concreto acero de refuerzo o de

presfuerzo en su caso. La combinación de estos dos materiales nos proporciona uno de los elementos más resistentes.

En este trabajo de investigación nos referimos a concreto de bajo revenimiento, a aquél concreto con revenimiento de cero a cinco centímetros.

Generalmente éste concreto se utiliza en elementos prefabricados, en la construcción con concreto compactado con rodillos (CCR) en presas y en pavimentos, en el concreto lanzado, en durmientes, etc.

El objetivo del presente trabajo es ampliar las bases teóricas del concreto de bajo revenimiento tanto en el aspecto estudiantil como en el profesional, explicar algunos de sus usos y aplicaciones, así como también su proporcionamiento dependiendo de los materiales que se ocupen, estableciendo las ventajas y desventajas que se puedan dar en los procesos constructivos con dicho concreto de bajo revenimiento.

Para lograr lo anterior, se llevó a cabo la siguiente metodología:

El capítulo 2 menciona una breve historia de del concreto y sus distintas propiedades para dar un conocimiento general del tema.

El capítulo 3 habla de lo que es el revenimiento en el concreto y las pruebas comunes para calcularlo y explicando también lo que es el bajo revenimiento.

El capítulo 4 da a conocer las pruebas necesarias para el proporcionamiento de mezclas para el concreto de peso normal y para el concreto sin revenimiento.

El capítulo 5 hace mención a lo referente al control de calidad del concreto tanto en agregados como en su proceso constructivo.

El capítulo 6 empieza a hablar del concreto de bajo revenimiento, en este caso del revenimiento cero, con sus aplicaciones más comunes.

El capítulo 7 trata en forma general el concreto compactado con rodillos o CCR dando ejemplos de aplicaciones en presas y en construcción de carreteras con pavimento hidráulico

El capítulo 8 habla acerca del concreto lanzado dando características y metodología en su uso constructivo

El capítulo 9 menciona los distintos tipos de aditivos que se pueden usar en el concreto para lograr una mejor trabajabilidad teniendo un revenimiento bajo.

2. MARCO HISTORICO Y PROPIEDADES DEL CONCRETO.

2.1. HISTORIA DE LA CONSTRUCCION EN MEXICO.

Durante El México Prehispánico destacan grandes obras como son, las majestuosas pirámides y observatorios exactos, de Teotihuacán y los Mayas En Tenochtitlán destaca la resplandeciente ciudad de líquidos canales

Otras obras importantes surgieron después, en Chihuahua como Las Casas Grandes, la zona de los Tuxtlas en la costa de Veracruz y el cauce del río Mezcala en Guerrero, es en éstas obras donde nos damos cuenta de la importante presencia del hombre haciendo vida y también haciendo uso de su innata ingeniería

Una muestra de este desarrollo ingenieril lo constituye el uso de la cal en las construcciones, como se ha encontrado en los centros ceremoniales de Teotihuacán o Monte Albán, por citar dos de los más conocidos La cal no es mas que óxido de calcio, esta sustancia

se encuentra principalmente en el mármol, nuestros antepasados la ocupaban para la elaboración de morteros o pastas con las que se puede cementar las piedras, cerrando los espacios entre una y otra para impedir el paso del agua, proteger la piedra o crear una superficie lisa, sobre la cual podían aplicarse pinturas. Sin embargo este material no se encuentra en estado natural, requiere de un proceso de elaboración que incluye el calor, lo cual implica la construcción de un recipiente para hornearlo y para su extensión, esta es por lo tanto otra muestra de ingenio humano que analiza la necesidad e imagina un modo de resolverla.

A la llegada de los europeos, con sus materiales y tecnologías novedosas, se abrieron horizontes de nuevas posibilidades, pero también se plantearon nuevos problemas y nuevas necesidades. Ejemplo de esto fue la invención de la rueda que amplió la capacidad de transportación pero también hicieron necesaria la ampliación y construcción de nuevos caminos, ya que una vereda no era transitable por carretas.

Otro ejemplo en el plano de la construcción, fue la aportación del recurso del arco de piedra y su aplicación tridimensional, en bóvedas y cúpulas. El asombro de los indígenas fue tal que estaban renuentes a colocarse al abrigo de la construcción, pues no concebían que una estructura de semejante peso pudiera sostenerse indefinidamente. Este recurso novedoso, el arco de piedra, hizo posible la realización de espectaculares acueductos como el de Zempoala, en el estado de Hidalgo, diseñado por un fraile franciscano, para conducir agua potable hasta una población distante 44 kilómetros de ojo de agua. Durante el virreinato, las principales obras de ingeniería se destinaron al manejo de aguas y su realización quedó en manos de los clérigos.

Después surge el descubrimiento de un nuevo material cementante, el cemento, que no es más que roca caliza triturada, pizarra, fierro sílice y arcillas. La combinación de cemento con arena, piedra triturada y grava dan como resultado el material de construcción más extensamente usado hasta nuestros días, el concreto.

En los años 60's el concreto se convirtió en el material de construcción más usado superaba al consumo de acero en diez veces. En nuestros días el consumo del concreto no

difiere en mucho de lo que fue hace 30 años, se calcula que en promedio el consumo actual en el mundo es del orden de cinco mil quinientos millones de toneladas al año

Esto se debe a que el concreto posee una excelente resistencia al agua, a diferencia de la madera y del acero común, lo que lo hace un material ideal para construir estructuras destinadas a controlar, almacenar y transportar agua. De hecho algunas de sus primeras aplicaciones conocidas consistieron en acueductos y muros de contención contra el agua. El uso del concreto en presas, canales, tuberías de agua y tanques de almacenamiento es en la actualidad comúnmente visto en casi todas partes del mundo.

Otra razón del uso del concreto es la facilidad con la que los elementos de concreto estructural pueden ser moldeados para dar una variedad de formas y tamaños. Esto se debe a que el concreto fresco tiene una consistencia plástica, lo que permite al material fluir dentro de la cimbra prefabricada.

La tercera razón para la popularidad del concreto entre los ingenieros es que generalmente constituye el material más económico y más rápidamente disponible en las obras. Los principales ingredientes para producir el concreto (cemento y agregados) son relativamente económicos y más comúnmente disponibles en la mayor parte del mundo. Comparada con la producción de la mayoría de otros materiales para uso en la ingeniería, la producción de concreto requiere considerablemente menos insumo de energía.

2.2. AVANCES EN LA TECNOLOGIA DEL CONCRETO.

El concreto normal hecho con cemento portland y con agregado natural convencional, padece de varias deficiencias. Los intentos por contrarrestar estas deficiencias han conducido al desarrollo de concretos especiales, que representan avances en la tecnología del concreto.

La baja relación resistencia-peso del concreto representa un problema económico en la construcción de edificios altos, puentes de claros largos y estructuras flotantes. Para mejorar la resistencia-peso se sugiere que se disminuya la densidad del material o que se incremente la

resistencia Los agregados estructurales ligeros se utilizan comúnmente en todo el mundo para producir concretos de peso ligero con aproximadamente 1600 kg/m^3 de peso unitario y 255 a 408 kg/cm^2 (25 a 40 MPa) de resistencia a la compresión

De acuerdo con la segunda solución se han producido industrialmente concretos de alta resistencia, de peso normal 2400 kg/m^3 y 612 a 816 kg/cm^2 (60 a 80 MPa) de resistencia a la compresión, utilizando aditivos normales o superfluidificantes reductores de agua y puzolanas Sin embargo, parece que la relación limitante resistencia-peso para el concreto no se ha alcanzado aún El concreto superfluidificado satisface actualmente esta necesidad de mezclas de alta trabajabilidad o de concreto fluido, sin una relación agua-cemento alta ni segregación Estos concretos con alta trabajabilidad, aún bajo condiciones de clima caliente, no requieren compactación mecánica Se han llevado el uso del concreto a nuevas fronteras.

La retracción del concreto al secarse conduce frecuentemente al agrietamiento, esto está reconocido en el diseño del concreto y en la práctica constructiva, especialmente en cuanto a pavimentos, pisos y elementos estructurales relativamente delgados Para contrarrestar este problema, se ha empleado con éxito durante los últimos 20 años un concreto de retracción compensada que contiene cementos expansivos o aditivos expansivos

Nuevamente en comparación con otros materiales de construcción, la tenacidad del concreto es muy baja y por lo tanto la resistencia al impacto es pobre Esta característica ha sido mejorada sustancialmente utilizando el concepto de refuerzo en el nivel micro Se ha empleado con éxito el concreto reforzado con fibra que contiene acero, vidrio o fibras de polipropileno, en situaciones en que la resistencia al impacto es importante

La impermeabilidad de los materiales es importante para su durabilidad ante la humedad y ante soluciones químicas fuertes Se han desarrollado tres tipos de concretos que contienen polímeros, los cuales muestran muy baja permeabilidad y una excelente resistencia química Cubiertas compuestas de estos concretos son adecuadas para la protección del acero de refuerzo contra la corrosión en pisos industriales y en plataformas de puentes, estos concretos son útiles también para la rehabilitación de pavimentos deteriorados

El concreto de peso pesado elaborado con minerales de alta densidad, es aproximadamente 50% más pesado que el concreto normal que contiene agregado convencional, este tipo de concreto se utiliza para escudos contra radiación en plantas de energía nuclear, cuando las limitaciones de espacio requieren una reducción en el espesor del escudo

El concreto masivo, para presas y otras grandes estructuras ha sido utilizado durante algún tiempo, pero los métodos seleccionados para controlar el incremento de la temperatura han tenido una influencia considerable en la tecnología de la construcción durante los últimos 30 años. El previo enfriamiento de los materiales del concreto ha eliminado virtualmente la necesidad de operaciones costosas de postenfriado y ha hecho posible programas más rápidos de construcción

En la construcción de presas de menos de 100 m de altura se ha empleado concreto sin revenimiento o también llamado concreto compactado con rodillos (CCR), transportado, colocado y compactado con el mismo equipo de construcción que el utilizado para presas de tierra y rellenadas con roca, puede cumplir con las especificaciones de diseño para el concreto masivo convencional. Los materiales se endurecen para formar un concreto de apariencia física esencialmente similar y propiedades similares a las del concreto masivo convencional. Los controles de granulometría para los agregados son menos estrictos que aquéllos normalmente requeridos para el concreto masivo, porque no se aplica la relación usual de agua-cemento y la resistencia, en la mayoría de los casos, material mas fino que el de la malla No 200 no necesita ser retirado

Se señalan varias ventajas en la construcción con este concreto como son

- El consumo de cemento es menor porque se puede utilizar mucho concreto pobre
- Los costos del cimbrado son menores debido al modo de colocación por capas
- El enfriamiento con tuberías no es necesario debido al bajo incremento en la temperatura

- El costo de transportar este concreto es menor que por medio de grúa con cables, porque el concreto puede transportarse con camiones de volteo, es esparcido con motoconformadoras y compactado con rodillos vibratorios
- Las velocidades de utilización del equipo y mano de obra son altos, debido a la mayor velocidad de la colocación del concreto
- El periodo de construcción puede acortarse considerablemente

En los Estados Unidos se logró la primera construcción con este tipo de concreto sin revenimiento o CCR, nos referimos a la presa Willow Creek, fue funcionalmente terminada en un año. Resulto un ahorro de 13 millones de dólares sobre un diseño alternativo con relleno de roca, que requería de un programa de construcción de 3 años. Si el concreto convencional hubiera sido utilizado, los costos hubieran sido considerablemente mas altos debido a que el costo del CCR en la obra tuvo un promedio de 26 dólares por metro cúbico, comparado con 85 dólares por metro cúbico que se estimó para concreto masivo convencional. Varias presas están siendo planeadas con CCR

Continuando con el CCR, su aplicación en pavimentos también va en aumento, ya que duran más que los pavimentos flexibles, aunque su costo inicial es más alto, requieren menos tratamiento para su conservación y por este motivo a largo plazo son más convenientes. Cada vez más se construyen pavimentos con este tipo de concreto

En lo correspondiente al sector ferroviario, los avances también son notables ya que con los durmientes de concreto (revenimiento cero), se logran resistencias altas a edades tempranas y se evita el desgaste a largo tiempo, cosa que con los durmientes de madera no se podía controlar y tenían que ser cambiados a determinado tiempo

Por otro lado, con el concreto lanzado, el avance también es notable porque se utiliza para estabilidad de taludes y debido a su consistencia, este concreto es de secado casi instantáneo y evita pérdida de tiempo en su colocación

2.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO

Algunas de las propiedades del concreto son

Trabajabilidad

Esta es una propiedad importante para muchas aplicaciones del concreto. En ocasiones esta propiedad es difícil de evaluar, y se refiere en esencia a la facilidad con la cual pueden mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante puede manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de la homogeneidad. Con el fin de medir la consistencia y fluidez del concreto suelen hacerse pruebas, llamadas pruebas de revenimiento.

En la prueba de revenimiento, se coloca un espécimen o probeta de una mezcla en un molde de forma troncónica, de 30 48 cm (12") de altura, con base de 20 32 cm (8"), y parte superior de 10 16 cm (4"), de diámetro (Especificación ASTM G143). Cuando se quita el molde, se mide el cambio en la altura de la probeta. Si la prueba es realizada de acuerdo a las normas de la ASTM el cambio de altura se considera como el revenimiento.

Una mezcla bien proporcionada y trabajable se revendrá con lentitud y conservará su identidad original. Una mezcla deficiente se desmoronará, segregará y despedazará.

El revenimiento de una mezcla puede aumentarse añadiendo agua o incrementando el porcentaje de finos (cemento o agregado), incluyendo aire o incorporando un aditivo que reduzca los requerimientos de agua. Por lo general el revenimiento especificado debe dar la consistencia deseada con la mínima cantidad de agua y cemento.

Esta propiedad es de importancia para este trabajo de investigación, debido a que al utilizar concreto con bajo revenimiento (para nuestros fines de estudio es el revenimiento comprendido entre 0 y 5 centímetros) esta propiedad disminuye, ya que la cantidad de agua que se tiene en la mezcla es muy poca, pero gracias a los avances de la tecnología, esto se

puede eliminar utilizando ciertos tipos de aditivos (que veremos más adelante) para mejorar la trabajabilidad

Resistencia

Esta propiedad del concreto es inversamente proporcional a la relación agua-cemento, es decir que la consistencia de la mezcla o su revenimiento tiene una gran influencia sobre esta propiedad. Por este motivo, el concreto de bajo revenimiento es de gran importancia, ya que debido a su baja relación agua-cemento proporciona grandes resistencias del concreto a edades tempranas.

Es una propiedad del concreto que casi siempre es motivo de preocupación. Por lo general se determina mediante la resistencia final de una probeta en compresión, y en ocasiones por la capacidad de flexión o de tensión. Se hacen ensayos de probetas o cilindros a los 7, 14 y 28 días, siendo este último la medida común de esta propiedad ya que el concreto suele aumentar su resistencia conforme el paso del tiempo y a los 28 días alcanza casi su totalidad de resistencia.

Cambio de volumen

Es otra característica del concreto que se debe tener en cuenta. La expansión debida a las reacciones químicas entre los ingredientes del concreto puede ocasionar pandeo y la contracción al secarse puede ocasionar grietas. En el concreto de bajo revenimiento, debido al poco contenido de cemento, la relación álcali-agregado es menor que la de los concretos normales, y por esto los problemas de expansión, pérdida de resistencia, elasticidad y durabilidad son menores.

Este problema es frecuente en las construcciones expuestas en ambientes húmedos, tales como presas, pilas de puentes, muros marinos, etc. Pero desde que se empezó a utilizar el concreto compactado con rodillos o CCR (concreto de bajo revenimiento), que es muy

aplicable a la construcción de presas, estos problemas han disminuido por la misma razón de que su contenido de cemento es más bajo

Permeabilidad

Esta propiedad del concreto puede mejorarse reduciendo la cantidad de agua en la mezcla lo que influye directamente en su consistencia (revenimiento) El exceso de agua deja vacíos y cavidades después de la evaporación y, si están interconectados, el agua puede penetrar o atravesar el concreto Un método para mejorar la permeabilidad del concreto puede ser mediante aditivos inclusores de aire, así como el curado cuidadoso por tiempo prolongado

En el caso de los concretos de bajo revenimiento, la permeabilidad se ve disminuida, ya que el contenido de agua es menor y evita dejar una mayor cantidad de vacíos, que al evaporarse, puedan causar daños al concreto.

Durabilidad

El concreto debe ser capaz de resistir las acciones del tiempo, los ataques de agentes químicos y la abrasión, a los cuales estará sometido en el servicio Gran parte de los deterioros o daños sufridos por el concreto se atribuyen a los ciclos de congelación y descongelación Es también importante proteger al concreto de los agentes químicos, esto se logra con revestimientos resistentes

3. REVENIMIENTO.

3.1. GENERALIDADES.

La finalidad de esta prueba es proporcionar un procedimiento para determinar el revenimiento de concretos plásticos hechos a base de cemento hidráulico. Originalmente esta prueba se desarrolló para proporcionar una técnica de monitoreo de la consistencia del concreto fresco. En condiciones de laboratorio, con un control estricto de todos los materiales constituyentes del concreto, se ha encontrado que en general el revenimiento aumenta con el contenido de agua para una mezcla de concreto dada, y por lo tanto es inversamente proporcional a la resistencia del concreto. Sin embargo, en condiciones de campo dicha relación con la resistencia no se aprecia en forma clara y consistente. Es por ello que se deberá tener cuidado al correlacionar los resultados de revenimiento obtenidos en condiciones de campo con la resistencia.

Esta prueba se considera aplicable al concreto plástico preparado con agregado grueso de hasta $1\frac{1}{2}$ " (37.5 mm), de tamaño Si el agregado grueso es mayor de $1\frac{1}{2}$ " (37.5 mm) en el tamaño de sus partículas, el método de prueba se aplica a la fracción del concreto que pasa la malla $1\frac{1}{2}$ " (37.5 mm), eliminando los sobretamaños cribándolo en húmedo con una malla de tamaño adecuado, colocada y acomodada de tal manera que se pueda sacudir rápidamente ya sea a mano o mecánicamente. En general se prefiere un movimiento hacia delante y hacia atrás. El equipo deberá ser capaz de remover en forma rápida y eficiente el tamaño especificado de las partículas de los agregados. Una vez muestreado el concreto, se pasa el mismo a través de la malla especificada y se remueven y eliminan las partículas de los agregados retenidas. Esto debe hacerse antes del remezclado. Se sacude o vibra la malla a mano o mecánicamente hasta que todos los tamaños menores que la abertura de la malla hayan pasado. El mortero que queda adherido a los agregados retenidos en la malla no deberá limpiarse antes de eliminar las partículas. Se coloca cada vez dentro de la malla solo la cantidad de concreto que sea necesaria para que después del cribado el espesor de la capa de agregado retenido no exceda el diámetro de una partícula. El concreto que pasa la malla deberá recogerse en una charola para mezcla de capacidad adecuada, previamente humedecida, o en una superficie limpia, húmeda y no absorbente. Se procede a raspar el mortero que se adhiera a las paredes del equipo para cribado en húmedo y se reintegra a la mezcla. Una vez eliminadas las partículas con sobre tamaño se vuelve a mezclar el concreto con una pala lo suficiente como para garantizar uniformidad.

La muestra de concreto de la cual se tomarán los especímenes de prueba deberá ser representativa de toda la mezcla preparada. El tiempo transcurrido en la obtención de la muestra deberá ser el mínimo posible pero bajo ninguna circunstancia deberá exceder de 15 minutos. Después de la transportación de la muestra al lugar donde se van a ejecutar las pruebas se deberán combinar y remezclar con una pala solo lo mínimo necesario para garantizar uniformidad.

3.2. PRUEBAS PARA LA DETERMINACION DEL REVENIMIENTO

Esta prueba se realiza de acuerdo con las Normas de la ASTM (American Society for Testing and Materials), cuya denominación es ASTM C 143-90^a

La prueba estándar no es adecuada para medir la consistencia de concreto muy húmedo o muy seco, para estos tipos de concreto existen métodos especiales para su medición (el Método Vebe, la Mesa de Flujo de Thaulow y el Método del Factor de Compactación) En este capítulo, además de los concretos con consistencias normales, se tratará a los concretos con consistencias secas

Los resultados de la medida de la consistencia no nos dan una buena medida de la trabajabilidad, aunque es una buena medida de la consistencia o de las características de flujo de una mezcla de concreto La función principal de estas pruebas es la de proporcionar un método simple y conveniente para controlar la uniformidad de una carga a otra de concreto premezclado.

3.2.1. Prueba Estándar.

Equipo necesario

- Molde - El espécimen de prueba se formará dentro de un molde metálico resistente al ataque de la pasta de cemento La lámina no deberá tener un espesor menor que el calibre No.16 y si se forma con el proceso de repujado, en ningún punto del molde el espesor será menor de 0.045" (1.14 cm) El molde deberá tener la forma de la superficie lateral de un cono truncado con una base de 8" (20.32 cm) de diámetro y la parte superior de 4" (10.16 cm) de diámetro, con una altura de 12" (30.48 cm) Los diámetros individuales y las alturas deberán tener una tolerancia de $\pm 1/8$ " (0.32 cm) con respecto a las dimensiones especificadas. La base y la parte superior deberán estar abiertas y ser paralelas entre sí y al mismo tiempo perpendiculares al eje del cono En el molde se colocarán ménsulas al pie y asas semejantes a las que se muestran en la figura 3.1 El molde se puede fabricar con o

sin junta El interior del molde deberá ser relativamente liso y libre de cualquier protuberancia como cabezas de remaches El molde no deberá presentar abolladuras Se puede aceptar un molde con tornillos de sujeción fijados a una placa de base no absorbente, y cuando el sistema de fijación sea tal que pueda aflojarse completamente sin que el molde se mueva

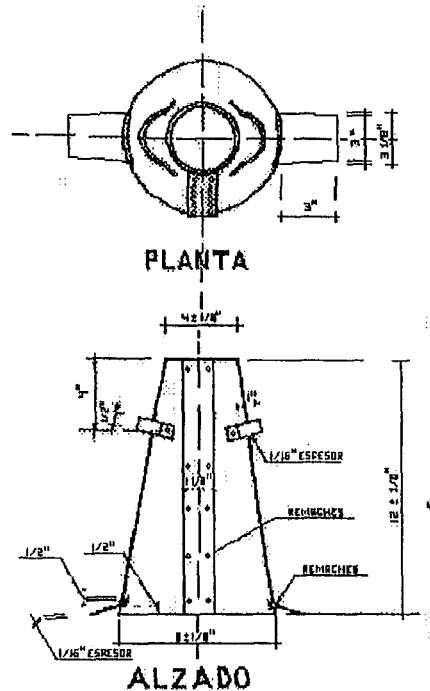


Figura 3 1 Molde para la prueba Estándar de Revenimiento

- Varilla de apisonamiento - La varilla de apisonamiento deberá ser una barra recta de acero de sección circular de $\frac{5}{8}$ " (1 59 cm) de diámetro y aproximadamente 24" (60 96 cm) de largo, con el extremo de apisonamiento redondeado en forma semiesférica con un diámetro de $\frac{5}{8}$ " (1 59 cm)

Procedimiento

1 - Se apoyan los dos pies en los dos pedales del cono para sostenerlo firmemente en su lugar durante los pasos del 1 al 4 Se llena un tercio del volumen del cono (6 7 cm de altura) con la muestra de concreto, y se compacta 25 veces con la varilla de apisonamiento Se distribuyen uniformemente los golpes de varilla en la sección

transversal de cada capa. Para la capa inferior, se necesitará inclinar ligeramente la varilla y hacer aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro (borde exterior), continuando después con los golpes verticales en forma de espiral hacia el centro.

2 - Se llena el cono hasta $\frac{2}{3}$ del volumen total (la mitad de la altura) y se varillea de nuevo 25 veces, penetrando esta capa pero no atravesando hasta el fondo. Se distribuyen los golpes en forma pareja como en el paso anterior.

3 - Se llena el cono hasta que se derrame y se varillea de nuevo 25 veces penetrando esta nueva capa solamente, sin atravesar la segunda capa. Se distribuyen los golpes de nuevo en forma uniforme o pareja como el paso 1.

4 - Se quita el exceso de concreto de la parte superior del cono con la varilla de acero, de manera que el cono esté lleno y enrasado. Se limpia el concreto derramado de la base del molde del cono.

5 - Inmediatamente después de completar el paso 4, se debe llevar a cabo la operación de levantar el molde en 5 ± 2 segundos por medio de un levantamiento continuo sin movimientos laterales o torsionales que perjudiquen el concreto formado en el cono. La operación completa desde el inicio hasta la remoción del molde se deberá llevar a cabo sin interrupción y completamente dentro de un tiempo de $2 \frac{1}{2}$ minutos.

6 - Se coloca la varilla de acero horizontalmente a lo largo del molde invertido de manera que la varilla se extiende hasta el concreto revenido. Inmediatamente se procede a medir la distancia de la parte inferior de la varilla de acero al centro original desplazado de la parte superior de la muestra. Esta distancia medida, es el revenimiento del concreto. Si sucede un claro derrumbe o corte del concreto por un lado o porción de la masa, se descarta la prueba y se hace de nuevo con otra porción de la muestra de concreto.

3.2.2. Prueba Vebe.

Esta prueba es más adecuada para mezclas de concreto con baja consistencia y fue desarrollada por el Ingeniero sueco V. Bährner.

Equipo necesario

- Una mesa vibratoria
- Un recipiente cilíndrico
- Un cono de revenimiento
- Un disco de vidrio o de plástico unido a una barra de movimiento libre, que sirve como punto final de referencia

Procedimiento

El cono es colocado en el recipiente, llenado con concreto y retirado. El disco es colocado encima del cono de concreto y la mesa vibratoria es puesta en movimiento. El tiempo requerido para remodelar el concreto de la forma cónica a la forma cilíndrica hasta que la parte inferior del disco esté completamente cubierta con concreto, es la medida de consistencia o revenimiento y es registrada como el número de segundos Vebe.

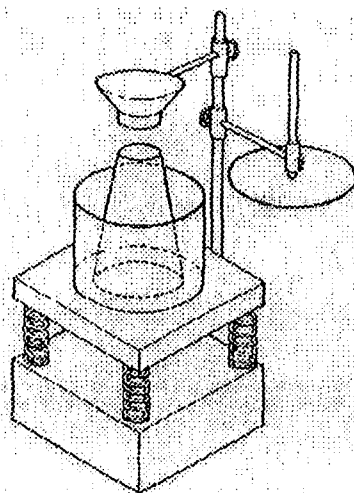


Figura 3.2 Aparato de Vebe

3.2.3. Prueba del Factor de Compactación.

Esta prueba, mide el grado de compactación logrado cuando una mezcla de concreto es sujeta a una cantidad estándar de trabajo. El grado de compactación, llamado Factor de Compactación, es medido por la relación de la densidad (es decir, la relación entre la densidad

realmente lograda en la prueba y la densidad del mismo concreto en condición totalmente compactada)

El aparato consiste esencialmente en 2 tolvas cónicas provistas con puertas en la base y colocadas una sobre la otra y un cilindro de 15 por 30 cm, colocado sobre las tolvas. La tolva superior, que es mayor que la inferior, es llenada con concreto y colocado sin compactar. Al abrir la puerta inferior de la tolva, se deja caer concreto por gravedad en la tolva inferior, el concreto se derrama. Esto asegura que una cantidad dada de concreto sea obtenida en un estado estándar de compactación sin que influya el factor humano. La puerta de la tolva inferior es abierta y el concreto cae en el cilindro. El material en exceso es separado y el peso neto del concreto en el volumen conocido en el cilindro es determinado, de donde se calcula muy fácil la densidad.

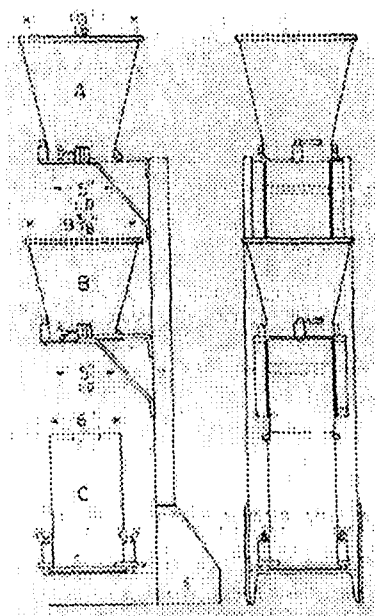


Figura 3.3 Aparato del Factor de Compactación

3.3. ¿QUE ES EL CONCRETO DE BAJO REVENIMIENTO?

Este tipo de concreto es considerado como un tipo especial de concreto y se define como un concreto que tenga una consistencia correspondiente a un revenimiento de ($1/4"$) o menos. Dicho concreto, el cual es muy seco, debe ser suficientemente trabajable para ser colocado y consolidado con el equipo usado en el lugar de trabajo. Este concreto no es

necesariamente aplicable para mezclas de concreto en uniones de mampostería o para técnicas de compactación por medio de revoluciones



Figura 3 4 Concreto de Bajo Revenimiento

Para nuestros fines de estudio, un concreto que tiene un revenimiento, (calculado mediante la prueba mecánica), de 0 a 5 cm puede considerarse como un concreto de bajo revenimiento o nulo. Este concreto difiere del concreto convencional principalmente en sus requerimientos de consistencia. La medida de la consistencia para concretos sin revenimiento difiere del procedimiento para concretos de gran revenimiento porque el cono de revenimiento no es práctico para las consistencias secas.

La mayoría de las especificaciones para los concretos de alto revenimiento son aplicables para los concretos sin revenimiento. Por ejemplo, las propiedades del endurecimiento del concreto dependen principalmente de la relación agua-cemento, proporcionando una consolidación conveniente. Este concreto generalmente tiene una relación agua-cemento muy baja del orden de 0.4 a 0.5, lo cual influye de manera directa en la resistencia del concreto.

La inclusión de aire intencionalmente es recomendada para los concretos sin revenimiento cuando se requiera durabilidad. El bajo volumen de aire incluido proporciona una durabilidad adecuada para los concretos sin revenimiento.

Este concreto debe estar seco para poder ser compactado eficazmente, pero lo suficientemente mojado como para permitir una distribución adecuada del mortero cementante en todo el material durante las operaciones de mezclado y compactado.

Un problema creado por la consistencia mas seca del concreto de bajo revenimiento es la dificultad de unir el concreto fresco con el concreto endurecido

3.4. PERDIDA DE REVENIMIENTO.

La pérdida de revenimiento puede definirse como la pérdida de la consistencia en un concreto fresco con el tiempo transcurrido. La pérdida de revenimiento es un fenómeno normal en todos los concretos ya que resulta de la rigidez gradual y del fraguado de la pasta hidratada de cemento portland, que está asociada con la formación de los productos de hidratación tales como la etringita y el hidrato de silicato de calcio. La pérdida de revenimiento ocurre cuando el agua libre de una mezcla de concreto es retirada por las reacciones de la hidratación, por la adsorción en la superficie de los productos de hidratación y por evaporación.

En condiciones normales el volumen de los productos de hidratación durante la primera media hora después de agregar agua al cemento, es bajo y la pérdida de revenimiento es despreciable. De ahí en adelante, el concreto comienza a perder revenimiento a una velocidad determinada principalmente por el tiempo transcurrido después de la hidratación por la temperatura, la composición del cemento y los aditivos presentes. Generalmente, los cambios en la consistencia del concreto hasta el momento de su colocación, son monitoreados atentamente y se hacen los ajustes necesarios para asegurar una consistencia adecuada para su colocación y para las operaciones subsecuentes (como la compactación y el acabado).

Para resolver dichos problemas de pérdida de revenimiento, se opta por iniciar en campo, con un revenimiento más alto del que se necesita en el concreto premezclado, en la obra, con el fin de compensar la pérdida esperada de revenimiento, o agregando agua extra (dentro de los límites permisibles de la relación agua-cemento) justamente antes de la colocación y total remezclado de la mezcla.

Se puede decir, que la cantidad de pérdida de revenimiento es proporcional al revenimiento utilizado al inicio, en cuanto más alto es el revenimiento inicial, más alta es la pérdida de revenimiento.

Entre las principales causas de la pérdida de revenimiento se encuentran el tiempo que se tarda en realizar las operaciones de mezclado, transporte, colocación, compactación y acabado, el utilizar un cemento de fraguado anormal, y la alta temperatura del concreto debida al calor de hidratación excesivo o utilizar agregados que hayan estado almacenados en lugares de temperaturas elevadas, por lo tanto, la pérdida de revenimiento es más frecuente en lugares de climas calientes, es decir, cuanto más alta es la temperatura a la cual el concreto es mezclado, manejado y colocado, más probablemente la pérdida de revenimiento será la causa de los problemas de operación

4. PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS.

4.1.GENERALIDADES.

El concreto se compone principalmente de agregados, tanto gruesos como finos, cemento Portland o cemento combinado, agua y puede tener otros materiales cementantes y/o aditivos químicos. También puede contener cierta cantidad de aire atrapado o deliberadamente incluido. Los aditivos se usan frecuentemente para acelerar o retardar el fraguado, mejorar la trabajabilidad, reducir la cantidad de agua requerida para mezclado, incrementar la resistencia o modificar otras propiedades del concreto.

La selección de la dosificación implica el equilibrio entre la economía y los requisitos de colocación, resistencia, durabilidad, densidad y apariencia. Las características requeridas van de acuerdo con el empleo que se le dará al concreto y por las condiciones que se esperan tener al momento del colado.

Las proporciones calculadas para cualquier método se deben considerar siempre objeto de una revisión basada en la experimentación con las mezclas de prueba. Las mezclas de prueba se pueden preparar en el laboratorio o en el campo o lugar de la obra según las circunstancias

4.2. PRUEBAS NECESARIAS PARA EL PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS.

La dosificación de la mezcla del concreto se puede llevar a cabo eficazmente con base en los resultados de las pruebas de laboratorio que determinan las propiedades físicas fundamentales de los materiales que se van a emplear.

4.2.1. Propiedades de los Agregados.

La absorción, el peso específico y el contenido de humedad de ambos agregados, grueso y fino, así como el peso volumétrico varillado en seco del agregado grueso, son propiedades físicas útiles para el cálculo de la mezcla. Entre otras pruebas que pueden ser necesarias para trabajos especiales o de gran tamaño, se incluyen el examen petrográfico y las pruebas de reactividad química, sanidad, durabilidad, resistencia a la abrasión y las diversas sustancias deteriorantes. Dichas pruebas proporcionan información de valor para juzgar la capacidad de servicio del concreto a largo plazo.

La granulometría del agregado que se obtiene mediante el análisis granulométrico, es un factor importante para determinar los requerimientos de agua, las proporciones de agregado grueso y arena, y el contenido de cemento para una trabajabilidad satisfactoria.

4.2.2. Propiedades del Cemento.

Las características físicas y químicas del cemento influyen en las propiedades del concreto endurecido. Sin embargo la única propiedad del cemento que se emplea directamente en el cálculo de las proporciones de la mezcla de concreto es el peso específico, el cual

generalmente se supone de 3 15, para evitar errores apreciables en los cálculos de la mezcla esta propiedad debe ser calculada mediante pruebas de laboratorio

4.3. PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS PARA CONCRETOS DE PESO NORMAL

El procedimiento para la dosificación de mezclas que se expone en éste capítulo es aplicable al concreto de peso normal

4.3.1. Especificaciones y Dosificación

Para determinar el peso de la mezcla por metro cúbico de concreto se lleva a cabo con los siguientes pasos.

4.3.1.1. Primer paso: Elección del revenimiento.

Cuando no se especifica el revenimiento, se puede asociar un valor apropiado para el tipo de obra que se vaya a realizar con la tabla 4 1 Los rangos de revenimiento que se muestran son aplicables cuando se emplea el vibrado para compactar el concreto Se deben emplear mezclas con la consistencia más densa, que puedan colarse eficientemente

Tipos de Construcción	Revenimiento en cm	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7 5	2 5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7.5	2 5
Vigas y muros reforzados	10	2 5
Columnas para edificios	10	2 5
Pavimentos y losas	7 5	2 5
Concreto masivo	7 5	2.5

Tabla 4 1 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción

4.3.1.2. Segundo paso: Elección del tamaño máximo nominal del agregado.

Los agregados de tamaños más grandes tienen menos huecos que los de tamaño más pequeño, por eso, los concretos con agregado de mayor tamaño requieren de menos mortero por volumen unitario de concreto. Como regla general, el tamaño máximo del agregado grueso debe ser el mayor posible de acuerdo con lo que se disponga económicamente y que vaya de acorde con las dimensiones de la estructura que se vaya a construir. En ningún caso el tamaño máximo nominal excederá $\frac{1}{5}$ de la menor dimensión entre los lados de las cimbras, $\frac{1}{3}$ del espesor de las losas, ni $\frac{3}{4}$ del espacio libre mínimo entre varillas individuales de refuerzo, paquetes de varillas o torones de pretensado. A veces, estas limitaciones se pasan por alto si la trabajabilidad y los métodos de compactación permiten que el concreto sea colado sin cavidades o huecos. En áreas congestionadas con acero de refuerzo, ductos de postensado o tuberías de conexión eléctrica, el dosificador debe elegir un tamaño máximo nominal del agregado, que permita colocar el concreto sin segregación excesiva, ni formación de cavidades o huecos. Cuando se desea un concreto de alta resistencia, se pueden obtener mejores resultados con agregados de tamaño máximo reducido, ya que éstos producen resistencias superiores con una relación de agua-cemento determinada.

4.3.1.3. Tercer paso: Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire.

La cantidad de agua por volumen unitario de concreto que se requiere para producir determinado revenimiento, depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula y de la granulometría de los agregados, la temperatura del concreto, así como de la cantidad de aire incluido y el uso de aditivos químicos. En la tabla 4.2 aparecen valores estimados del agua de mezclado que se requiere para concretos hechos con diversos tamaños máximos de agregado, con y sin aire incluido. Según sea la textura y forma del agregado, los requerimientos de agua de mezclado pueden estar ligeramente por encima o por debajo de los valores tabulados, pero son lo suficientemente aproximados para un primer cálculo. Estas diferencias en el requerimiento de agua no se reflejan necesariamente en la resistencia, ya que pueden estar implicados otros factores de compensación. La forma de la partícula no es necesariamente un

indicador de que el agregado puede estar indistintamente por encima o por debajo del promedio en cuanto a su capacidad para obtener resistencias

Aditivos químicos El empleo de algunos aditivos químicos, aun con el mismo revenimiento, pueden mejorar cualidades como trabajabilidad, facilitar el acabado, la bombeabilidad, la durabilidad y la resistencia a compresión o a la flexión. Cuando el volumen de aditivo líquido es importante, este se debe considerar como parte del agua de mezclado. Los revenimientos que aparecen en la tabla 4.1 "Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción", se pueden incrementar cuando se emplean aditivos químicos, se debe tener en cuenta que el concreto tratado con aditivos tiene una relación agua-cemento o agua-cementantes igual o menor, sin que potencialmente exista segregación o sangrado excesivo. Cuando los aditivos químicos se emplean sólo para aumentar el revenimiento, puede no mejorar algunas de las propiedades del concreto aunque esa sea la función de los aditivos.

4.3.1.4. Cuarto paso: Selección de la relación agua-cemento.

La relación agua-cemento se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por otros factores como la durabilidad. Puesto que diferentes agregados y cementos producen diferentes resistencias aunque presenten la misma relación agua-cemento, se debe establecer una relación entre la resistencia y la relación agua-cemento para los materiales que de hecho se han de utilizar. Si no se tienen estos datos, se puede tomar los datos de la tabla 4.3 que son valores aproximados y relativamente conservadores para concretos que contengan cemento Portland tipo 1. Con materiales comunes, las relaciones de agua-cemento tabuladas deben producir las resistencias indicadas, con base en las pruebas a los 28 días de muestras curadas en condiciones normales de laboratorio. La resistencia promedio seleccionada debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con valores bajos.

Revenimiento cm	Agua, Kg/m ³ para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm) indicado							
	9 5	12 5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
2 5 a 5 0	207	199	190	179	166	154	130	113
7 5 a 10 0	228	216	205	193	181	169	145	124
15 0 a 17 5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido, por ciento	3 0	205	2 0	1 5	1 0	0 5	0 3	0 2
Concreto con aire incluido								
2 5 a 5 0	181	175	168	160	150	142	122	107
7 5 a 10 0	202	193	184	175	165	157	133	119
15 0 a 17 5	216	205	197	174	174	166	154	-
Promedio recomendado de contenido de aire total, por ciento, según el nivel de exposición								
Exposición ligera	4 5	4 0	3 5	3 0	2 5	2 0	1 5	1 0
Exposición moderada	6 0	5 5	5 0	4 5	4 5	4 0	3 5	3 0
Exposición severa	7 5	7 0	6 0	6 0	5 5	5 0	4 5	4 0

Tabla 4 2 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado

Resistencia a la compresión a los 28 días Kg/cm ²	Relación agua-cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0 41	-----
350	0 48	0 40
280	0 57	0 48
210	0 68	0 59
140	0 82	0 74

Tabla 4 3 Correspondencia entre la relación agua-cemento y la resistencia a la compresión del concreto

4.3.1.5. Quinto paso: Cálculo del contenido de Cemento.

La cantidad de cemento por volumen unitario de concreto se rige por las determinaciones expuestas en los pasos 3 y 4 antes mencionados. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado (paso 3), dividido entre la relación agua-cemento (paso 4). Si la especificación incluye un límite mínimo separado sobre el cemento, además de los requerimientos de la resistencia y de la durabilidad deseadas, la mezcla debe basarse en un criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento.

4.3.1.6 Sexto paso: Estimación del contenido de Agregado Grueso.

Los agregados con tamaño máximo nominal y granulometría esencialmente iguales producen concretos de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplea un volumen dado de agregado grueso por volumen unitario de concreto, con base en varillado en seco.

En la tabla 4.4 se muestran valores apropiados para estos volúmenes de agregado grueso. Puede observarse que, para igual trabajabilidad, el volumen del agregado grueso en un volumen unitario de concreto depende únicamente de su tamaño máximo y del módulo de finura del agregado fino. Las diferencias en la cantidad de mortero requerido para la trabajabilidad con diferentes agregados, debidas a diferencias en la forma y granulometría de las partículas, se compensan automáticamente por las diferencias en la cantidad de huecos en el varillado en seco.

En la tabla 4.4 se muestra el volumen de agregado grueso en metros cúbicos, con base en varillado en seco, para un metro cúbico de concreto. Este volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por el peso volumétrico varillado en seco por metro cúbico de agregado grueso.

Tamaño máximo nominal del agregado en mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2 40	2 60	2 80	3 00
9 5 ($\frac{3}{8}$ ")	0 50	0 48	0 46	0 44
12 5 ($\frac{1}{2}$ ")	0 59	0 57	0 55	0 53
19 ($\frac{3}{4}$ ")	0 66	0 64	0 62	0 60
25 (1")	0 71	0 69	0 67	0 65
37 5 ($1\frac{1}{2}$ ")	0 75	0 73	0 71	0 69
50 (2")	0 78	0 76	0 74	0 72
75 (3")	0 82	0 80	0 78	0 76
150 (6")	0 87	0.85	0 83	0 81

Tabla 4.4 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Trabajabilidad

Para obtener un concreto de buena trabajabilidad, lo que a veces es necesario para colar mediante bombeo o cuando el concreto se cuela alrededor de lugares congestionados de acero de refuerzo, es deseable reducir el contenido estimado de agregado grueso, determinado por la tabla 4 4 hasta en un 10%. Sin embargo, se deben tomar precauciones para garantizar que el revenimiento resultante, la relación agua/cemento y las propiedades de resistencia del concreto concuerden con las recomendaciones de los pasos 1 y 4, y cumplan con los requisitos aplicables de las especificaciones que se indiquen en el proyecto

4.3.1.7. Séptimo paso: Estimación del contenido de Agregado Fino.

Al terminar los pasos anteriores se han estimado todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se determina por diferencia. Es posible emplear cualquiera de los dos procedimientos siguientes. El método de peso (peso del concreto) o el método de volumen absoluto (procedimiento más exacto)

- Peso del concreto. Si el peso del concreto por volumen unitario se supone o se puede estimar por experiencia, el peso requerido del agregado fino es, la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los demás componentes. A menudo se conoce con bastante precisión el peso volumétrico del concreto, por experiencia previa con los materiales. En ausencia de

dicha información, se puede emplear la tabla 4 5 para hacer un cálculo tentativo Aún si el cálculo del peso del concreto por metro cúbico es aproximado, las proporciones de las mezclas serán suficientemente precisas para permitir un ajuste fácil con base en mezclas de prueba

Cuando se desea el cálculo teórico del peso del concreto fresco por metro cúbico, puede emplearse la siguiente fórmula

$$U = 10Ga(100 - A) + C \left(1 - \frac{Ga}{Gc} \right) - W(Ga - 1) \quad (4.1)$$

donde,

U es el peso del concreto fresco por metro cúbico, kg

Ga es el promedio pesado del peso específico de la combinación del agregado fino y grueso, a granel

Gc es el peso específico del cemento

A es el porcentaje de contenido de aire

W es el requerimiento de agua de mezclado, kg/m^3

C es el requerimiento de cemento, kg/m^3

Tamaño máximo nominal del agregado en mm	Primera estimación del peso del concreto fresco Kg/m^3	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
9.5 ($3/8"$)	2280	2200
12.5 ($1/2"$)	2310	2230
19 ($3/4"$)	2345	2275
25 (1")	2380	2290
37.5 ($1 1/2"$)	2410	2350
50 (2")	2445	2345
75 (3")	2490	2405
150 (6")	2530	2435

Tabla 4.5 Primera estimación del peso del concreto fresco

- Procedimiento más exacto Un procedimiento más exacto para calcular la cantidad requerida de agregados finos implica el empleo de volúmenes desplazados por los componentes conocidos (agua, aire, cemento y agregado grueso), se resta del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido del agregado fino El volumen ocupado por cualquier

componente en el concreto es igual a su peso dividido entre la densidad de ese material, siendo ésta el producto del peso unitario del agua por el peso específico del material

4.4. NORMA PRACTICA PARA SELECCIONAR EL PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO SIN REVENIMIENTO.

4.4.1. Alcances y limitaciones.

Se presentan los detalles de un método para el proporcionamiento del concreto teniendo consistencias, medidas por la prueba de revenimiento en el rango de 2 54 a 17 78 cm (1 a 7") Esta norma es una extensión del ACI 211 1, la cual facilitará proporcionamientos del concreto de consistencias secas, (revenimientos de 2 54 cm (1") o menos) Tres posibles métodos de medición de estas consistencias son descritos, desde que la prueba de revenimiento es poco práctica para este tipo de consistencias secas,

4.4.2. Métodos para medir la consistencia.

La trabajabilidad es la propiedad del concreto, la cual determina la facilidad con la cual puede ser mezclado, colocado, consolidado y terminado No hay una prueba conocida ahora, la cual mida esta propiedad en términos cuantitativos Es conveniente usar algún tipo de medida de la consistencia como índice de trabajabilidad La consistencia puede ser definida como la capacidad de fluir de la mezcla fresca del concreto La prueba de revenimiento es la más común y la base para medir la consistencia

Una particular medida de la consistencia dentro de la determinación de si la trabajabilidad es adecuada, está basada en un juicio, y depende en el método de compactación utilizado El concreto sin revenimiento tendrá poca trabajabilidad si la compactación es mediante varillado manual, si se usa la vibración mecánica, cada concreto podría ser considerado con excelentes características de trabajabilidad El rango de mezclas trabajables (factibles), puede aumentarse adoptando técnicas de compactación, la cual imparte gran

energía dentro de la masa que será consolidada. El aparato de Vebe, el aparato del factor de compactación y la mesa de flujo desarrollada por Thaulow, descritos en los párrafos siguientes, son dispositivos que pueden proveer una útil medida de la consistencia para las mezclas de concreto con menos de 254 mm (10") de revenimiento. En este tiempo, tales métodos no han sido estandarizados. De los tres, el aparato de Vebe parece ser el más conveniente para obtener la medida de la consistencia para los concretos descritos en esta norma. Si ninguno de éstos métodos es disponible, la compactación de la mezcla bajo condiciones actuales ya sea en el campo o en el laboratorio necesariamente servirá para determinar si la consistencia y la trabajabilidad son adecuadas.

4.4.2.1. Aparato de Vebe.

Equipo

Mesa vibratoria

Un recipiente para la muestra

Cono de revenimiento

Una placa plástica

Una varilla graduada con un peso determinado y un punto final de referencia

Procedimiento

La medida de la consistencia, es el tiempo de vibración en segundos requeridos para cambiar la forma del cono truncado de concreto que queda de pie después de quitar el cono de revenimiento. Este tiempo es directamente proporcional a la energía usada para compactar la muestra. En mezclas muy secas, este método suele ser el más sensible en las diferentes determinaciones de la consistencia.

4.4.2.2. Factor de compactación.

El cono superior es llenado cuidadosamente con una muestra de la mezcla fresca de concreto usando un cucharón. La mezcla se deja caer en un cono de menores dimensiones que el anterior situado debajo, y después cae por gravedad en un molde cilíndrico de 152 mm por

30 48 cm (6 por 12”) colocado al final Después de que cae al molde cilíndrico se determina el peso del concreto en el molde. La razón de este peso con el peso del concreto de la misma mezcla completamente compactada por vibración pesada en el molde, se llama factor de compactación La prueba es sensible para mezclas de consistencias muy densas y para mezclas con más agua No es tan sensible como el método del aparato de Vebe para consistencias extremadamente secas

4.4.2.3. Mesa de flujo de Thaulow.

La energía de transformación es obtenida por el goteo sucesivo de la mesa y la medida usada como característica de consistencia es el número de revoluciones de la manivela (4 gotas por revolución) Aunque no es tan sensible como el aparato de Vebe en consistencia muy secas, este aparato simple tiene su mérito

La relación de estos métodos se muestra en la tabla 4 6 a Note que el de Vebe y la mesa de flujo pueden dar un medida de consistencia en mezclas extremadamente secas

Descripción de la consistencia	Revenimiento Cm	Aparato de Vebe Segundos	Factor de compactación Medida	Mesa de flujo de Thaulow Revoluciones
Extremadamente Seca	-----	32 a 18	-----	112 a 56
Muy rígida	-----	18 a 10	0 70	56 a 28
Rígida	0 a 2 54	10 a 5	0 75	28 a 14
Rígido-plástica	2 54 a 7 62	5 a 3	0 85	14 a 7
Plástica	7 62 a 12 7	3 a 0	0 90	< 7
Fluida	12 7 a 17 78	-----	0 95	-----

Tabla 4 6 a Comparación de la medida de la consistencia mediante varios métodos

4.4.3. Mezcla de agua requerida.

Considerando que para el revenimiento de 7 62 a 10 16 cm (3 a 4") es 100% de agua, el agua relativa contenida para estas tres consistencias (rígido-plástica, plástica y fluida) es de 92%, 100% y 106% respectivamente Thaulow extendió este concepto de promedio de agua relativa contenida para incluir mezclas más rígidas (Tabla 4 6 b) Basado en esta relación, entre el contenido de agua relativa aproximada y las seis consistencias designadas, ha sido preparada la Tabla 4 6 c mostrando la aproximación de la mezcla de agua requerida en lb/yd³ usando la cantidad de agua relativa mostrada por Thaulow para consistencias rígidas y extremadamente secas.

Descripción de la consistencia	Aproximación del contenido de agua relativa (%)	
	Mesa de flujo de Thaulow	ACI
Extremadamente Seca	78	-----
Muy rígida	83	-----
Rígida	88	-----
Rígido-plástica	93	92
Plástica	100	100
Fluida	108	106

Tabla 4 6 b Aproximación del contenido de agua relativa para diferentes consistencias

En una serie de pruebas de laboratorio, el límite de tamaño máximo de agregado de 0 95, 1 91 y 1 27 cm ($\frac{3}{8}$ ", $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ "), el contenido relativo de agua para los seis tipos de consistencias se compararon favorablemente con los sugeridos por Thaulow La medición de la consistencia incluye la prueba de revenimiento, la prueba del aparato de Vebe y la mesa de flujo Estas confirmaciones, de acuerdo con los límites, es suficiente para justificar las recomendaciones mostradas en la tabla 4 6 c Estas son recomendaciones aproximadas de mezclas de agua requerida Debe ser recordado que para la combinación dada de materiales, un factor contribuirá con la actual mezcla de agua requerida y puede resultar una diferencia considerable con el valor mostrado en la tabla 4 6 c Esto incluye la forma y la calidad de los agregados, temperatura del concreto, la efectividad de la mezcla y el método de compactación

Consistencia					Porcentaje del contenido relativo de agua	Agua en kg/m ³ de concreto por el tamaño máximo de agregado indicado en mm.				
Descripción	Revenimiento (cm.)	Vebe (seg.)	Mesa de Flujo (rev.)	Factor de Compactación		10	12.5	20	25	40
Concreto sin aire incluido										
Seco en Extremo	-----	32-18	112-56	-----	78	180	170	160	150	140
Muy rígido	-----	18-10	56-28	0.70	83	185	185	170	160	150
Rígido	0-3	10-5	28-14	0.75	88	200	195	180	170	155
Rígido-Plástico	3-8	5-3	14-7	0.85	92	205	200	185	180	160
Plástico	8-13	3-0	< 7	0.91	100	225	215	200	195	175
Fluido	13-18	-----	-----	0.95	106	240	230	210	205	185
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido						3	2.5	2	1.5	1
Concreto con aire incluido										
Seco en Extremo	-----	32-18	112-56	-----	78	155	150	140	135	125
Muy rígido	-----	18-10	56-28	0.70	83	170	160	150	140	135
Rígido	0-3	10-5	28-14	0.75	88	175	170	160	150	140
Rígido-Plástico	3-8	5-3	14-7	0.85	92	180	175	165	160	145
Plastico	8-13	3-0	< 7	0.91	100	200	190	180	175	160
Fluido	13-18	-----	-----	0.95	106	215	205	190	185	170
Porcentaje recomendado del contenido de aire total						8	7	6	5	4.5

Tabla 4.6.c. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes consistencias y tamaños máximos de agregados.

4.4.4. Selección del proporcionamiento.

Generalidades El concreto debe ser colocado usando la mínima cantidad de mezcla de agua para tener influencia en la resistencia, durabilidad y otras propiedades físicas del concreto. Las principales consideraciones en el seleccionamiento de proporciones se aplica igualmente para concretos sin revenimiento como para las demás mezclas prácticas. Estas consideraciones son

- 1- Proveer una adecuada durabilidad para resistir satisfactoriamente el clima y otros agentes destructivos a la cual se podría exponer
- 2- Producir la resistencia necesaria para soportar las cargas impuestas sin peligro de fallar
- 3- Usar el tamaño máximo de agregado de acuerdo a una economía disponible, a una colocación satisfactoria y a la resistencia del concreto, y
- 4- Usar una consistencia más rígida en la cual se pueda compactar eficientemente y lograr una mezcla homogénea

4.4.4.1. Revenimiento y tamaño máximo del agregado.

En la tabla 4.6 c hay recomendaciones del revenimiento para consistencias en el rango de rígido plástico a fluido

Las consistencias en el rango rígido o menor, son usadas en la fabricación de tuberías de concreto y elementos precolados, ambos pretensados y reforzados. Sin embargo, esto no aparece como una justificación para un límite fijo para máxima o mínima consistencia en este tipo de construcciones. La consistencia óptima para tal trabajo, depende del método y equipo usado en planta y la diversidad de facilidades disponibles es tal que un rango recomendable para una operación en planta no podría ser disponible para otro.

El tamaño máximo de agregado ha de ser seleccionado por un tipo de construcción en particular, es dictado por las consideraciones de la dimensión mínima de la selección y el espaciamiento mínimo entre las barras de refuerzo, los tendones preesforzados, los conductos

para tendones postensados y otros tipos. El tamaño máximo de agregado permisible podrá ser usado, a menos que el tamaño más pequeño esté disponible y su uso resultaría en igual o mayor fuerza que no perjudique otras propiedades del concreto o si el tamaño más pequeño resulte en mejorar la durabilidad del concreto.

4.4.4.2. Estimación del requerimiento de agua.

La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida para producir una mezcla de consistencia deseada está influenciada por el tamaño máximo, la forma y la calidad del agregado y por la cantidad de aire incluido. Esto relativamente no se ve afectado por la cantidad de cemento debajo de los 356 a 385.6 kg/m³ (600 a 650 lb/yd³). En mezclas como éstas, la cantidad de agua requerida puede aumentarse significativamente si se aumenta considerablemente el contenido de cemento.

La cantidad de agua mostrada en la tabla 4.6 c es suficientemente exacta para estimaciones preliminares de proporcionamiento. Si con una combinación particular de materiales, el agua requerida es mayor que la indicada, el cemento contenido podría ser incrementado para mantener la relación deseada de agua-cemento, a menos que sea indicado de otra manera en las pruebas de laboratorio.

Algunos materiales requieren menos agua que la indicada en la tabla 4.6 c, a menos que estén apoyadas en las pruebas de resistencia de laboratorio, aunque otros factores de compensación podrían ser implicados. Por ejemplo, grava redondeada y un agregado ordinario normalmente angular, ambos bien graduados y de buena calidad, usualmente pueden producir concretos con aproximadamente la misma fuerza compresiva para un mismo contenido de cemento a pesar de las diferencias en la relación agua-cemento. También, para la misma proporción, la diferencia de cementos puede producir concretos con diferencias en cuanto a la resistencia.

4.4.4.3. Selección de la relación de agua-cemento.

La tabla 4 7 nos muestra las relaciones agua/cemento máximas permisibles para las diferentes tipos de estructuras y grados de exposición estos valores, basados en antecedentes extensos de actuales pruebas de campo y estudios de laboratorio, y aire incluido intencionalmente, nos puede proveer de una apropiada calidad en 100 mezclas de cemento. Además, otros factores tales como el mezclado, colocación, consolidación, acabado, curado, calidad de los ingredientes, etc , tienen una gran influencia en la durabilidad, y deben ser controladas convenientemente para asegurar que el concreto será durable

Este aire incluido intencionalmente, nos provee de aceptables mezclas con aire incluido o adición de aire en las mezclas, y es de gran beneficio en el aseguramiento de la durabilidad del concreto, además de proveer otras ventajas, como la de poder ser usado cuando está expuesto a climas severos. Nota Estos valores, para concretos expuestos a un severo rango de temperatura, o frecuentes alteraciones de congelamiento y descongelamiento, y aire incluido intencionalmente pueden ser usados

Tipo de estructura	Estructura mojada frecuentemente y expuesta a congelamiento y descongelamiento	Estructura expuesta al ataque de sulfatos o agua del mar
Secciones delgadas (barandales, bordillos, repisas, trabajos de ornato) y secciones con menos de 2 54 cm (1") de cubierta	0 45	0 40*
Todas las demás estructuras.	0 50	0 45*
*Si se usa cemento resistente a sulfatos (Tipo II o Tipo IV según ASTM C150) la relación permisible de agua-cemento puede incrementarse un 0 05		

Tabla 4 7 Relación máxima permisible de agua-cemento, para concretos expuestos a severas condiciones

Además de la durabilidad, la selección de la relación agua-cemento influye en la resistencia requerida. Esta puede determinarse de mejor forma mediante pruebas de laboratorio hechas con los mismos materiales, incluyendo al cemento, que van a ser utilizados en la obra. Sin embargo, si esto no es factible, podemos usar las tablas 4.6 c y 4.8 como una base de comparación para estimar los requerimientos de agua y cemento. La tabla 4.8 provee una relación adicional para bajas relaciones agua-cemento, las resistencias mostradas son promedios conservadores para varias relaciones de agua-cemento.

Usando las relaciones máximas permisibles de la tabla 4.7 o 4.8 y la cantidad aproximada de agua de mezclado de la tabla 4.6 c, la cantidad de cemento requerido, puede calcularse dividiendo la cantidad de agua de mezclado por la relación agua cemento, por el peso. Si las especificaciones de obra nos marcan un contenido mínimo de cemento requerido, la correspondiente relación agua-cemento para estimar la resistencia puede ser calculada dividiendo la cantidad de agua por la cantidad de cemento. La mas baja de las 3 relaciones de agua-cemento, provenientes de la durabilidad, resistencia o cantidad de cemento, pueden seleccionarse para calcular el proporcionamiento del concreto.

En la tabla 4.8 para relaciones agua-cemento iguales, las resistencias para concreto con aire incluido son aproximadamente 20% más bajas que para concretos sin aire incluido. Estas diferencias pueden no ser tan grandes en mezclas sin revenimiento, mientras que el volumen de aire incluido en estas mezclas usando un cemento con aire incluido o la cantidad usual de mezcla de aire incluido por unidad de cemento se reducirá significativamente sin sacrificar la durabilidad. Además, cuando el contenido de cemento y la consistencia se mantengan constantes, las diferencias en resistencia son parcialmente o enteramente compensadas mediante la reducción del agua de mezclado lo cual resulta del aire incluido.

Resistencia a la compresión a los 28 días en kg/cm ²	Relación agua-cemento por peso	
	Concreto con aire incluido	Concreto sin aire incluido
490	0.33	-----
420	0.41	0.32
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Tabla 4.8 Relación entre la relación agua-cemento y la resistencia a la compresión del concreto

4.4.4.4. Estimación de la cantidad de agregado grueso.

La mayor cantidad de agregado grueso por unidad de volumen de concreto debe usarse, con adecuada colocación y trabajabilidad

Para un agregado dado, la cantidad de agua de mezclado requerida será la mínima y la resistencia máxima. Esta cantidad de agregado grueso puede determinarse de buen forma mediante investigaciones de laboratorio usando los materiales que se usarán en la obra, con pequeños ajustes en el campo o planta. Si dichos datos no pueden ser obtenidos la tabla 4.9 a nos provee de una buena estimación de la cantidad de agregado grueso para varios concretos, teniendo un grado de trabajabilidad conveniente para la usual construcción reforzada (aprox de 7.62 a 10.16 cm (3 a 4") de revenimiento). Estos valores de volumen de agregado grueso seco por unidad de volumen de concreto están basados en una estimación de relaciones empíricas para agregados graduados dentro de los límites convencionales. Los cambios en la consistencia del concreto pueden efectuarse mediante el cambio en la cantidad del agregado grueso por unidad de volumen de concreto. Mientras mayores sean las cantidades de agregado grueso por unidad de volumen la consistencia será menor. Para consistencias "Fluidas" y "Plásticas", el volumen del agregado grueso por unidad de volumen será esencialmente la que se muestra en la tabla 4.9 a. Para consistencias secas, los requerimientos de vibrado para compactar la cantidad de agregado grueso que puede acomodarse se incrementa bastante con relación a la cantidad de agregado fino requerido.

Tamaño máximo nominal del agregado mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2 40	5 60	2 80	3 00
9 5 ($\frac{3}{8}$ ")	0 50	0 48	0 46	0 44
12 5 ($\frac{1}{2}$ ")	0 59	0 57	0 55	0 53
19 ($\frac{3}{4}$ ")	0 66	0 64	0 62	0 60
25 (1")	0 71	0 69	0 67	0 65
37 5 ($1\frac{1}{2}$ ")	0 75	0 73	0 71	0 69

Tabla 4 9.a Volumen de agregado grueso por unidad de volumen para concretos de consistencia plástica (7 62-12 7 cm ó 3 a 5") de revenimiento

La tabla 4.9 b muestra algunos valores típicos del volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto, para diferentes consistencias expresadas como porcentajes de los valores mostrados en la tabla 4 9 a La información contenida en estas 2 tablas proveen de una base para seleccionar una cantidad apropiada de agregado grueso para la primera mezcla Los ajustes en esta cantidad serán probablemente necesarios en el campo o planta de operación

Consistencia.					Volumen de agregado grueso varillado en seco por unidad de volumen de concreto para tamaños máximos de agregados mostrados (expresados como un porcentaje de los valores mostrados en la tabla 4 9 a)				
Descripción	Revenimiento cm	Vebe Seg	Flujo Rev	Factor Medida	0 95 cm $\frac{3}{8}$ "	1 27 cm $\frac{1}{2}$ "	1 91cm $\frac{3}{4}$ "	2 54 cm 1"	3 81cm $1\frac{1}{2}$ "
Extremada- mente seca	-----	32-18	112-56	-----	190	170	145	140	130
Muy rígida	-----	18-10	56-28	0 70	160	145	130	125	125
Rígida	0 a 2 54	10-5	28-14	0 75	135	130	115	115	120
Rígido- plástica	2 54 a 7 62	5-3	14-7	0 85	108	106	104	106	109
Plástica	7 62 a 12 7	3-0	<7	0 91	100	100	100	100	100
Fluida	12 7 a 17 78	-----	-----	0 95	97	98	100	100	100

Tabla 4 9 b Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto con diferentes consistencias

El concreto de relativa trabajabilidad puede calcularse con agregados de similar tamaño y graduación cuando nos dan un volumen de agregado grueso varillado en seco por unidad de volumen a usar. En caso de tener diferentes tipos de agregados, particularmente aquellos con diferente forma de partícula, el uso de un volumen de agregado grueso varillado en seco, automáticamente se toma en cuenta para las diferencias en los requerimientos de los morteros que se ven reflejados por el contenido de finos en el agregado grueso. Por ejemplo, los agregados de forma angular tienen un contenido más alto de finos, por lo tanto requieren mas mortero que los agregados redondeados. El procedimiento no refleja variaciones en la graduación de los agregados gruesos ni muestra diferencias en los límites de tamaño máximo, sin embargo se ve reflejado en el porcentaje de finos. De cualquier forma, para agregados gruesos que caen fuera de los límites granulométricos convencionales especificados esta omisión es probablemente poco significativa o de poca importancia. De tal manera se puede ver que el óptimo volumen de agregado grueso varillado en seco por unidad de volumen depende del tamaño máximo y de los módulos de finura del agregado fino que se indica en la tabla 4.9 a.

5. CONTROL DE CALIDAD.

5.1. ESPECIFICACIONES GENERALES.

El control de calidad es un proceso necesario y vital que nos permite monitorear los procesos para la elaboración de un producto, este proceso debería ser aceptado como una parte natural dentro del funcionamiento de un plan de operación

Los principales factores dentro del control de calidad son

- Comité directivo de un programa de control de calidad
- Personal calificado para los procesos de diseño y construcción
- Inspección y pruebas de los diferentes materiales seleccionados a usar
- Buen trabajo de calculo
- Proporcionamiento y mezclado adecuado del concreto
- Manejo, colocación y consolidación del concreto
- Curado

- **Transportación**

Para obtener un nivel de control de calidad satisfactorio es necesario cumplir con ciertos requisitos y principios como

- 1 El control de calidad es responsabilidad de un director general o jefe de ingenieros
La inspección debe realizarse de forma personal por el responsable a cargo
- 2 Se debe observar y tener una calidad uniforme
- 3 Es necesario llevar un plan escrito que establezca de forma uniforme y ordenada la practica de observación que será llevada a cabo Tener continuidad
- 4 Capacitar en los procesos que se tengan altos errores humanos
- 5 Establecer métodos de reporte y revisión, así como el almacenamiento de los mismos

5.1.1. Cemento.

Cada saco de cemento debe estar referenciado por una prueba o reporte certificado en el que se indique conforme con las especificaciones el tipo y la aplicación de acuerdo con las normas ASTM estándar.

Dichos reportes deben ser proporcionados por el distribuidor o productor Así como también se debe incluir la siguiente información

- Fecha de empaque
- Tipo de cemento
- Cantidad de cemento
- Declaración conforme a la ASTM C-50.

5.1.2. Agregados.

AGREGADO FINO El agregado fino debe cumplir los requerimientos conforme a las normas ASTM C 33 La granulometría debe hacerse de acuerdo con la norma antes mencionada y será tal que permita proveer a la mezcla de mortero propiedades y resistencias del concreto satisfactorias La variación en el modulo de finura será tal que no exceda de ± 0.20 del promedio asumido por la mezcla de diseño

Las pruebas que deben hacerse al agregado fino son

- Prueba de tamizado de acuerdo con ASTM C 33
- Prueba de peso unitario de acuerdo con ASTM C 29
- Contenido de humedad de acuerdo con ASTM C 566
- Equivalente de arena de acuerdo con ASTM D 2419-65 T

Así como también es aconsejable llevar un registro de los materiales, dicho registro llevara

- Fecha en que se realizaron las pruebas
- Localidad o nombre de la planta
- Análisis de tamizado
- Módulo de finura
- Valor del equivalente de arena

AGREGADO GRUESO El agregado grueso debe cumplir los requerimientos de la norma ASTM C 33 o los requerimientos de diseño especificados

El tamaño máximo de agregado grueso será tal que no exceda tres cuartos del espacio libre mínimo entre acero de refuerzo, en caso de existir

Al igual que los agregados finos, éstos deben cumplir con ciertas pruebas como

- Análisis de tamizado de acuerdo con ASTM C 136
- Prueba de peso unitario de acuerdo con ASTM C 29

- Prueba de sanidad o limpieza de acuerdo con ASTM C 40

El registro de pruebas llevará indicado claramente

- Fecha de realización de pruebas
- Nombre de la planta y localización
- Análisis de tamizado
- Peso unitario
- Valor de sanidad o limpieza

5.1.3. Agua de mezclado.

El agua de mezclado que se use sea potable o no potable, debe estar limpia y libre de impurezas como aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otra sustancia que pueda deteriorar el acero de refuerzo o al concreto en sí. El inconveniente de usar agua no potable es que la resistencia obtenida a los 7 días en especímenes de prueba es 90% de la resistencia obtenida con mezclas hechas con agua potable.

5.1.4. Aditivos.

La calidad en el concreto se puede dar usando los elementos básicos como son cemento, agregados y agua. Con la llegada de los aditivos químicos, se ha provisto al concreto de cualidades necesarias logrando mejor trabajabilidad y una gran mejora de características.

Los aditivos más usados en este tipo de concreto son

- Incluidores de aire
- Retardadores
- Acelerantes
- Reductores de agua
- Reductores de agua y retardadores
- Reductores de agua en alto rango

Estos 3 últimos conocidos como aditivos superplastificantes, y deben cumplir con la norma ASTM 494

Todos los aditivos deben cumplir con las normas de la ASTM C260

5.1.5. Mezclado.

El mezclado del concreto debe realizarse por cualquiera de los siguientes métodos

- Central de mezclado de concreto la cual consiste en la mezcla del concreto en una planta estacionaria y llevada al lugar de colocación por métodos apropiados
- Mezcla parcial del concreto en una planta estacionaria terminando el mezclado mientras es llevada al lugar de colocación en los camiones mezcladores
- Camiones mezcladores aquella mezcla que es completamente mezclada durante el proceso de transportación al lugar de colocación
- Mezclado manual es cuando la mezcla es hecha por completo en el lugar de la obra por medio de personas usando palas o cucharones

Los tiempos de mezclado son establecidos por pruebas en acuerdo con la ASTM C 94 y son

- Central de mezclado El tiempo mínimo de mezclado es de 1 minuto para mezcladoras con capacidad de 0.77 m^3 (1 yd^3) o menos Este tiempo puede incrementarse 15 segundos por cada 0.77 m^3 (1 yd^3) o fracción de capacidad de la mezcladora
- Mezcla parcial el mezclado de forma estacionaria debe cumplir con los requerimientos arriba mencionados, y el tiempo de mezclado en el camión es determinado mediante pruebas de uniformidad establecidas
- Camiones mezcladores mezclado varía entre 70 y 100 revoluciones

5.1.6. Colocación.

La colocación debe ser tal que no se produzca segregación del concreto, es decir que los agregados se vayan al fondo y la lechada quede arriba. También es necesario que se tenga una vibración correcta para lograr una uniformidad y acomodo de las partículas.

5.1.7. Transportación.

La transportación del concreto debe durar el menor tiempo posible, ya sea en sitio, o si es concreto premezclado debe transportarse en camiones mezcladores garantizando que no se separe la mezcla de los agregados.

Es recomendable que el concreto sea vaciado directamente de los camiones al lugar de colocación para evitar perder tiempo y evitar también la segregación.

Si no es así, el vaciado debe hacerse del camión a carretillas u ollas especiales, otro método es la transportación por bandas, la cual nos garantiza la uniformidad en la mezcla.

5.1.8. Curado.

Un curado apropiado del concreto fresco mediante cualquier método requiere de una buena hidratación del cemento que se ocupe para prevenir la formación de grietas en la superficie, debido a la rápida pérdida de agua durante el fraguado del concreto.

Son varios los métodos usados para el curado del concreto como son:

- Rociado
- Tina o estanque de curado
- Cubiertas que retienen la humedad
- Membranas de curado
- Curado con vapor

El curado del concreto depende de muchas variables incluyendo la masa del miembro, el tipo de cemento y sus propiedades, la temperatura del aire, la humedad y otras variables

Es común probar las propiedades del concreto mediante cilindros, el curado realizado a dichos cilindros debe ser el mismo que se le da al concreto en sitio

6. CONSTRUCCION CON CONCRETO DE REVENIMIENTO CERO.

6.1. GENERALIDADES.

La construcción con este tipo de concreto es muy común, pero la mayoría de las personas no saben que están hechas de éste concreto, ya que muchos constructores suelen utilizar estos elementos (como los prefabricados, las estructuras de block, los durmientes para la vía del ferrocarril, etc)

De esta manera, explicaremos algunas de ellas para dar a conocer un poco más de este tipo de construcción

6.2. APLICACIONES.

Para fines de este capítulo, las aplicaciones a considerar serán las losas extruídas, que son elementos prefabricados presforzados, los durmientes de concreto postensados y los blocks

6.2.1. Losas Extruídas.

La losa extruída es un elemento generalmente presforzado que puede utilizarse como su nombre lo indica como losa o como muro en todo tipo de construcciones. Se fabrica con una máquina extrusora en una planta industrial y se puede colar con velocidades aproximadamente superiores a 3 m/minuto, dando ritmos de producción de alrededor 6000 m² semanales

Con este tipo de elementos logramos versatilidad de proyectos, amplitud de claros en la estructura, acabados fascinantes y más que nada economía en tiempo y costo de construcción

Se pueden encontrar losas con diferentes peraltes y para longitudes desde 3 hasta 13 m resistiendo sobrecargas mayores a 2000 kg/m²

Los beneficios que nos proporciona este tipo de elementos es que reduce el programa de obra hasta un 50%, al mismo tiempo que logramos tener una reducción en la mano de obra, elimina el 100% de las cimbras y obras falsas, así mismo reduce el peso total de la estructura, está diseñado para trabajar como un diafragma rígido, tiene una alta resistencia y gran capacidad de aislamiento térmico-acústico, resiste aproximadamente de 3 a 4 hr a fuego directo, el uso de este elemento en muros y fachadas con alturas hasta 12 m

La máquina extrusora recibe la mezcla de concreto con revenimiento cero por sus tolvas superiores depositándose hacia la parte inferior, donde es extruída y compactada

El producto es colado sobre una mesa, y el producto terminal es una placa de concreto presforzado de longitud variable la cual se corta según especificaciones de proyecto cuando esta haya alcanzado su debida resistencia

El presfuerzo que comprime al concreto capacita a este elemento para resistir esfuerzos de tensión, permitiendo así su utilización en grandes claros con peraltes muy reducidos

Algunos lugares de aplicación pueden ser

- Edificios altos
- Centros comerciales
- Viviendas
- Hoteles
- Muros de contención
- Naves industriales
- Tanques de almacenamiento
- Fachadas etc

6.2.1.1. Proceso de fabricación.

Preparación de la cama de colado.

Los rieles deben estar alineados y nivelados con tolerancias de ± 0.42 cm ($1/6''$) a lo largo de toda la cama. Si los rieles están alineados y nivelados, entonces nos garantizan que la máquina extrusora viaje derecho y con un curso nivelado hacia arriba y debajo de la cama, logrando así un producto continuo sin montes, ondas, o peraltes laterales

Cuando los rieles están alineados y nivelados, los niveladores son repartidos a lo largo de toda la cama. La placa niveladora puede ser de 15.24 a 20.32 cm (6" a 8") de espesor. El piso o la base de la cama no es necesariamente nivelada, mientras que la máquina siga un curso recto y nivelado por los rieles, la placa deberá estar derecha y nivelada. Antes de correr los niveladores es necesario que las medidas exactas sean tomadas para determinar la altura

general de la base de concreto. Al mismo tiempo que el nivelador es repartido la máquina debe ponerse a producir la altura de la placa niveladora deseada en el punto más alto de su base. Por ejemplo si el punto más alto en la base de concreto es 1 27 cm ($1\frac{1}{2}$ ") y tu deseas una altura de 20 32 cm (8"), la máquina debe estar puesta a una altura de 21 59 cm ($8\frac{1}{2}$ ") la cual nos garantiza la altura de la losa deseada. Mientras corre el nivelador es necesario mantener llena la máquina con concreto, y no hay que mover la máquina tan rápido y debe tener las menos paradas posibles. Hay que recordar que la superficie de tu losa nos determina la apariencia de la base de la siguiente losa.

Mezcla de concreto

La mezcla de las losas extruídas en una mezcla de concreto de revenimiento cero y consiste de cemento, arena o agregado fino, agregado grueso generalmente de 0 95 cm ($\frac{3}{8}$ ") y agua.

El diseño de la mezcla inicial debe establecerse mediante métodos de laboratorio. Para que esta mezcla sea adoptada como estándar en la planta esta debe ser checada en el campo por la producción actual, en cuanto a curado y prueba de cilindros.

En cuanto al cemento, el que ordinariamente se usa es de tipo I aunque también es usado el cemento tipo III, debe tenerse especial cuidado cuando se usa este ultimo tipo de cemento debido a que la mezcla puede volverse muy espesa y difícil de manejar. Este tipo de cemento (tipo III) no debe usarse en climas cálidos.

Los agregados finos deben cumplir las normas ASTM C33 y los módulos de finura de 3 0 que son recomendados como graduación. Los agregados gruesos generalmente son los que pasan la malla 0 95 cm ($\frac{3}{8}$ ") y los retenidos en la malla 0 48 cm ($\frac{3}{16}$ ").

El requisito del agua es que ésta sea potable.

La mezcla para la losa extruída debe tener solo la suficiente cantidad de agua para lograr una mezcla con revenimiento cero y lograr que la losa terminada tenga siempre una apariencia mojada

La calidad de el producto terminado depende directamente de un apropiado ajuste de la maquina Es recomendado que cada operador se sienta familiarizado con esta función que es vital

6.2.2. Durmientes.

6.2.2.1. Historia.

Algunas de las razones por las cuales se han empezado a utilizar los durmientes hechos de concreto armado son

- 1) La madera debe de aprovecharse mejor en su uso
- 2) Nuestro país no cuenta con la madera adecuada para su fabricación
- 3) La necesidad de un durmiente que proporcione mayor durabilidad
- 4) Mayor resistencia
- 5) Modernidad

A principios del siglo XX, los primeros proyectos se hicieron en Europa Pero durante la Primera Guerra Mundial por la falta de madera para su construcción y debido al gran avance en la tecnología del concreto se logró fabricar los durmientes a base de concreto

Durante el periodo de la primera guerra mundial se pudieron hacer durmientes monolíticos de concreto que tenían características similares que los durmientes de madera, pero también se hicieron durmientes mixtos, éstos se formaban con dos bloques de concreto armado unidos entre sí por una barra metálica que mantenga el escantillón de la vía

Debido a esto, hubo un gran diseño de durmientes de concreto en todo el mundo, pero por todos estos diseños se vio que no era fácil fabricar un durmiente de concreto armado que

podiera conservarse sin sufrir daños por los impactos de la circulación de los trenes, que en nuestros días circulan con mayor velocidad y con una carga mucho mayor que los que transitaban antes

No fue, sino hasta la Segunda Guerra Mundial que se perfeccionó la tecnología de la fabricación de los durmientes de concreto, y surgieron muchos sistemas y tipos que resistían adecuadamente los esfuerzos a los cuales eran sometidos en su servicio. Como la madera escaseaba cada vez más, este tipo de durmientes recibió un gran impulso que fue definitivo para que apareciera la fabricación de durmientes de concreto presforzado.

A partir de esa época, la fabricación del durmiente de concreto presforzado pudo lograr su objetivo, ya que a su fabricación se consideraba la resistencia, la flexibilidad y la durabilidad que se requería para su diseño. Los modelos que sirvieron de prototipo de los durmientes son:

- a) Un durmiente monolítico de concreto presforzado que consiste en una viga de concreto cuya precompresión está asegurada por un determinado número de cables que transmiten sus esfuerzos por adherencia o por tensión apoyándose en los anclajes en los extremos del durmiente.
- b) Un durmiente de concreto precomprimido no monolítico, formado por dos bloques de concreto unidos por un perfil de acero que funciona como elemento flexible y asegura el escantillón de la vía.

A partir de 1950 el durmiente de concreto armado desplazó al durmiente de madera, y en nuestro país se adoptó esta técnica con la idea de conservar las zonas forestales y darle un mejor uso a esa madera que se utilizaba en la construcción de durmientes, y por otro lado, se trató de satisfacer a la gran demanda de durmientes de concreto armado para la conservación y rehabilitación de las vías férreas que estaban en servicio, y también para la construcción de nuevas vías para poder utilizarlas en un futuro próximo.

Hasta 1960, se pudo instalar en nuestro país la primera planta que fabricaba durmientes de concreto armado en nuestro país.

En la actualidad, existen vías férreas por todo el país que cuentan con durmientes de concreto armado

6.2.2.2. Consideraciones de diseño.

1 - Fase de Servicio Bajo la carga de servicio un durmiente monolítico de concreto presforzado estará sujeto a un gran número ilimitado de cargas cíclicas entre cero y la carga completa pero se espera que el durmiente no se agrietará Sin embargo, muchas vías del ferrocarril se agrietan debido a una severa sobrecarga, si infrecuentemente, en durmientes Estas grietas no reducen la vida de servicio ya que el presfuerzo es mantenido por un tendón de unión-transferencia con el sistema de anclaje

2.- Fatiga. Los durmientes de las vías férreas están sujetos a cargas cíclicas durante su vida, pero se debe tener cuidado con la resistencia a la fatiga de todos los materiales utilizados, incluyendo el acero de presfuerzo Una grieta en el cuerpo del durmiente bajo la carga dinámica del eje es conveniente porque las grietas en el concreto causadas por el momento de volteo dan una gran ventaja para el incremento en el rango de esfuerzo de el acero de presfuerzo, la cual podrían causar una falla por fatiga

3 - Anclaje del acero de presfuerzo Para una aplicación segura de la fuerza del acero de presfuerzo, la efectividad del anclaje final del acero de presfuerzo es de gran importancia La compresión del concreto y la fuerza de tensión especificadas en la transferencia de la fuerza de presfuerzo debe ser monitoreada y mantenida

4 - Durabilidad Los ingredientes del concreto deben consistir en un cemento de alta calidad, en agregados perfectos o sanos y una baja relación agua-cemento En climas fríos, donde los durmientes son expuestos a condiciones de congelamiento y deshielo, la inclusión de aire puede mejorar la durabilidad Relativamente, los bajos porcentajes de inclusión de aire (del 3% al 4 %), pueden dar como resultado un concreto extremadamente durable sin una marcada reducción en la resistencia Debe tenerse cuidado en la selección de los agregados para prevenir que se deteriore el concreto por medio de la reacción álcali-agregado con el cemento

Esta reacción, cuando es frecuentemente grande, puede tener efectos desastrosos en la desintegración del durmiente

5 - Materiales y especificaciones de control Las especificaciones estándar de los materiales deben ser incluidas cuando sea posible en las especificaciones de los durmientes de concreto. Las especificaciones suelen incluir al cemento, los agregados, el agua y las mezclas, otras especificaciones para los tendones presforzados y todos ellos deben de cumplir con la calidad requerida

6.2.2.3. Fabricación.

La fabricación de los durmientes de concreto está especificada en la industria del concreto presforzado. Las características especiales incluyen

- (a) Tolerancias exigentes para la posición de los componentes
- (b) Para durmientes pretensados, el desarrollo de alta resistencia a temprana edad por medio de curado por calor
- (c) Concreto de alta durabilidad para resistir arduas condiciones, principalmente los cambios frecuentes de esfuerzos

Los sistemas de producción pueden agruparse dentro de estos tres tipos

- 1- Línea larga para pretensados, unión completa y durmientes monolíticos
- 2- Línea corta para pretensados, unión completa y para durmientes monolíticos con anclaje final
- 3- Desmolde instantáneo para durmientes de concreto reforzado con blocks gemelos y para durmientes monolíticos postensados

La materia prima para la fabricación de los durmientes de concreto son

- Cemento Para elementos pretensados se usa normalmente un cemento Portland de gran resistencia y a veces con un bajo contenido de álcali. Para elementos postensados y durmientes con blocks gemelos, puede usarse un cemento Portland ordinario

- Agregados El requerimiento principal es que sean materiales bien graduados y que tengan durabilidad especialmente que tengan resistencia a la abrasión
- Mezclas La reducción de agua en las mezclas son usadas para facilitar el desarrollo de altas resistencias a temprana edad
- Alambres y torones de presfuerzo una longitud corta de transmisión es esencial en las características de los durmientes pretensados, por eso se utilizan alambres y torones de diámetros pequeños
- Barras de acero El típico acero de presfuerzo usado en los durmientes postensados es el de 11 mm

6.2.2.4. Pruebas.

Una variedad de tipos de pruebas son requeridas para la fabricación de durmientes de vías férreas, éstas caen dentro de tres áreas

- a) Pruebas básicas de diseño para confirmar su aceptación
- b) Pruebas de los materiales
- c) Pruebas para los productos terminados para confirmar su aceptación de las especificaciones

Una vez que se han hechos las pruebas requeridas se lleva a cabo un control de calidad a los productos

6.2.3. Blocks.

Las unidades de mampostería de concreto son fabricadas por vibración con una mezcla de concreto de revenimiento cero en moldes de metal, inmediatamente se sacan los blocks húmedos y se ponen en una mesa de estiramiento y se remueve el molde Se curan mediante vapor para acelerar este proceso Después de esto, son secados y llevados al sitio de construcción

El mortero usado para poner los blocks de concreto es el mismo que se utiliza para los ladrillos comunes, pero en la mayoría de los muros solo a la cara del block se le pone mortero. La mampostería de concreto es frecuentemente reforzada con acero para incrementar la capacidad de carga y la resistencia al agrietamiento.

Estas estructuras a base de blocks de concreto son usadas por varias razones:

- 1- Seguridad: como muchos productos de mampostería, son muy resistentes al fuego.
- 2- Sismicidad: los muros de block de concreto sin reforzar no nos generan grandes esfuerzos como el concreto reforzado y son apropiadas para lugares de gran riesgo sísmico.
- 3- Flexibilidad: las unidades de mampostería de concreto son fácilmente fabricadas en gran variedad de superficies, formas y textura para ser usadas en muros exteriores.
- 4- Durabilidad: el block de concreto no se ve afectado por el viento, agua, lo cual le da una mayor durabilidad.
- 5- Resistencia: los blocks de concreto son producidos para cualquier grado de resistencia que se requiera, y debido a su forma, la colocación del acero de refuerzo se facilita.
- 6- Costo: la construcción con blocks de concreto suele ser más barata que la construcción con ladrillos, y la construcción de un muro es mucho más rápida.
- 7- Estética: los blocks de concreto pueden hacerse de varios tamaños, colores y formas, para construir muros al gusto del constructor.

Entre las ventajas de los blocks de concreto se cuentan con:

- a) Los blocks pueden fabricarse para cualquier densidad del concreto.
- b) Pueden reforzarse fácilmente tanto vertical como horizontalmente.
- c) Un muro de block de concreto es bueno para los días calurosos ya que se conserva fresco y no da sensación de calor y en los días fríos, es térmico.

Entre las desventajas de los blocks de concreto están:

- a) Son contruidos con mortero.
- b) Requieren de un especialista en su colocación y construcción.
- c) No deben de colocarse sobre puertas o ventanas, ya que éstas se arquearían.

7. CONSTRUCCION CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS (CCR).

7.1. GENERALIDADES.

El concreto compactado con rodillos (CCR) o rolacreto es un concreto sin revenimiento, casi un concreto seco que es compactado en el lugar con un rodillo vibratorio. Es una mezcla de agregados, cemento y agua, suplementariamente pueden ser usados materiales cementantes como las cenizas volátiles. El rango de contenido de cemento es de 59.3 a 356 kg/m³ (100 a 600 lb/yd³). El mezclado se hace con el bote convencional de mezclas, o se puede hacer con un mezclado continuo en un camión mezclador de tambor inclinado.

- **Losa.** capa de concreto hidráulico colado monolíticamente y limitada por juntas o bordes, y colocada inmediatamente encima de la sub-base. Constituye el elemento fundamental del pavimento. Sus funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento adecuada y resistir los efectos abrasivos del tránsito, impedir prácticamente el paso del agua al interior del pavimento y por último, soportar y transmitir en forma conveniente los esfuerzos provocados por el tránsito.

7.5.2. Materiales.

- **Cemento:** el cemento empleado en los pavimentos de concreto deberá cumplir las especificaciones aplicables según el tipo de cemento a utilizar.
- **Agregados:** es conveniente que el agregado grueso sea resistente al desgaste para los concretos que se emplean en los pavimentos. El máximo desgaste que deben presentar en base a la prueba de abrasión de la máquina de los ángeles es de 40%. Se prefiere la forma redonda de la forma angulosa de los agregados gruesos, porque aquellos requieren un contenido menor de cemento para obtener la misma trabajabilidad que éstos.
- El agregado grueso (Gravas) bien graduado con tamaño máximo de 7.62 cm (3") se ha empleado con éxito en los pavimentos y es muy común la granulometría que va desde 6.35 cm (2 1/2") hasta 0.64 cm (1/4"). Es muy importante desde los puntos de vista de la economía y de la durabilidad que el agregado esté bien graduado, porque de esta manera se podrá obtener un concreto más denso, más fuerte y más impermeable con un contenido menor de cemento.
- El agregado fino (arenas) deberá estar limpio, sano, adecuadamente graduado y libre de materiales orgánicos que puedan reducir seriamente la resistencia del concreto, o evitar el endurecimiento. Si la arena no tiene suficientes finos, puede producir un concreto áspero, comúnmente en la práctica se permiten emplear arenas que contengan de un 10% a un 30% de material que pasa por la malla 50.

- *Agua* el agua a utilizar tanto en el mezclado como en el curado del concreto debe estar libre de materias perjudiciales tales como aceites, grasas, sales ácidos u otras substancias dañinas al concreto

7.5.3. Propiedades del concreto.

El concreto empleado en los pavimentos de concreto hidráulico deberá ser durable, y resistente a las cargas y al desgaste. Es necesario que estas propiedades se consideren cuando se va a hacer el diseño de la mezcla, pero gracias a que estas propiedades vienen relacionadas, si se tiene un concreto fuerte, será durable y resistente al desgaste.

La resistencia del concreto para pavimentos rígidos, se mide por su resistencia a la flexión en base a la propiedad de módulo de rotura, que se determina por medio de los ensayos de resistencia a la flexión del concreto, empleando una viga simple con carga al centro, o resistencia a la flexión del concreto empleando una viga con cargas en los tercios del claro. Este módulo de rotura no deberá ser menor que 45 kg/cm^2 a los 28 días y que sólo en aquellos casos en que se demuestre que no se puede obtener ese valor en forma económica, se puede especificar una resistencia promedio a la flexión de 42 kg/cm^2 .

Para cumplir con los requisitos económicos de resistencia a la flexión y a la durabilidad, se deben fabricar mezclas muy secas. El revenimiento para concretos hidráulicos que vayan a ser vibrados es de 15 a 40 cm.

7.5.4. Proporcionamiento de mezclas.

El diseño de mezclas se hará basada en la resistencia a la flexión de especímenes de concreto fabricados, y ensayados en el laboratorio con muestras de agregados de los bancos y con las granulometrías que se emplearán en la obra. Si durante la construcción se van a emplear varias marcas de cemento, el estudio de laboratorio se hará para el diseño de las mezclas de cada cemento.

Se recomienda que se fabriquen 3 mezclas de concreto, cada una con diferente relación agua-cemento para un módulo de rotura determinado. Con la resistencia obtenida por cada juego de espécimen de ensaye, en las edades especificadas, se construye una curva de ajuste graficando los módulos de rotura contra las relaciones agua-cemento correspondientes. Esta curva permitirá escoger la relación de agua-cemento adecuada.

Con base a recomendaciones de algunos criterios de diseño se obtiene una mezcla tentativa con la relación agua-cemento de las tres anteriores, para determinar mediante algunos ajustes, las cantidades necesarias de agregados y pasta para dar la trabajabilidad especificada con el menor consumo de cemento posible. Es aconsejable que para la mezcla tentativa se utilicen los agregados saturados y superficialmente secos para evitar los cambios en la relación agua-cemento por la absorción de los agregados secos o por el agua libre de los agregados sobresaturados.

7.5.5. Pavimentos de concreto de apertura rápida.

Debido al incremento en el uso, tanto público como comercial, de los aeropuertos, carreteras y vialidades urbanas existentes, ha traído serios problemas a las autoridades. Las soluciones tradicionales para reparación o sustitución se han complicado por el volumen cada vez mayor del tráfico y por la preocupación de las personas por las interrupciones del mismo. Estos problemas se acentúan principalmente en zonas urbanas donde la congestión automovilística es más crítica.

La construcción de pavimentos de concreto de apertura rápida puede ayudar a resolver estos problemas, ya que proporcionan resultados de alta calidad y gran duración con un mínimo de tiempos muertos y acceso expedito del público a los pavimentos para aeropistas, carreteras y caminos municipales. El concepto es compatible con las actividades de reconstrucción o de restauración de las superficies de rodamiento con mínimas interrupciones de tránsito. El proceso constructivo de apertura rápida para pavimentos de concreto ha mostrado su utilidad y se ha adoptado en casi todos los tipos de pavimentos, incluyendo

sobrecarpetas adheridas, sobrecarpetas desligadas, sobrecarpetas de refuerzo del asfalto existente, construcción nueva y reconstrucción

El objetivo principal de cualquier proceso de reconstrucción de pavimentos, es el de proporcionarle al público un nuevo pavimento de alta calidad al costo más bajo y con el mínimo de molestias. Las especificaciones estándar que se aplican en la mayoría de las empresas para las mezclas convencionales de concreto, implican abrir al tráfico el pavimento con base en la resistencia o en intervalos de curado que varían entre 5 y 14 días. Con la tecnología de construcción rápida se pueden diseñar las mezclas de concreto y las técnicas de curado, para inducir el desarrollo de las resistencias de puesta en operación necesarias en intervalos de 24 horas y un mínimo de 6 horas. El resultado es que ahora, se pueden proponer alternativas a base de concreto para proyectos que en el pasado no se consideraban factibles de construirse con concreto, debido a los tiempos tan grandes de curado.

A continuación se presentan algunos de los usos principales de construcción rápida de pavimentos de concreto.

AEROPUERTOS La reparación o reconstrucción de aeropistas, pistas de rodaje y zonas de estacionamiento de aeronaves, viene a menudo con la evolución o cambios que ocurran en los aeropuertos importantes. Se han usado concretos de alta resistencia para acelerar la construcción en la sustitución de áreas de estacionamiento, cercanas a las salidas para reducir los tiempos muertos en las aerolíneas. Otra zona problemática en sistemas de pavimentos de aeropuertos son las intersecciones a zonas abiertas e intermedias. La reconstrucción de estas áreas, altera el tráfico del aeropuerto a un nivel más alto que en cualquier otro lugar. El concreto colocado rápidamente ayudará a minimizar los problemas logísticos aunados a la reconstrucción de intersecciones a medio campo. Antes la Administración Federal de Aviación solicitaba siete días y una resistencia a la flexión de 38 kg/cm^2 antes de permitir que el tráfico circule sobre pavimentos de concreto de aeropuertos de aviación en general. Con este sistema se logra ese valor de 38 kg/cm^2 de resistencia a la flexión pero sin límite de tiempo.

VIALIDADES URBANAS (CAMINOS DE PEAJE) La reconstrucción de las vialidades urbanas, se ha convertido en uno de los problemas más difíciles de diseño y de relaciones públicas. Con los pavimentos de concreto hidráulico se acelera la reconstrucción urbana o la repavimentación y se aligeran los problemas de tráfico resultantes.

CAMINOS RURALES Y VECINALES Los caminos rurales y vecinales presentan la mejor oportunidad para el diseño y construcción de pavimentos de concreto hidráulico. Entre las opciones constructivas se tiene la pavimentación adyacente al tráfico, empleando máquinas pavimentadoras de ancho mínimo o la desviación del tráfico sobre el acotamiento interior, mientras se pavimenta el carril exterior y el acotamiento con pavimentos convencionales. Ante estas condiciones, la rapidez de pavimentación se puede mantener a razón de un kilómetro y medio al día o más, dependiendo del equipo y de la logística de entrega de los materiales. Esto se puede hacer en cualquier tipo de pavimentos de concreto o de sobrecarpetas de concreto.

CALLES URBANAS Y RESIDENCIALES El acceso público en zonas residenciales puede construir un factor crítico en los programas de reconstrucción de vialidades. Los pavimentos de concreto contruidos en forma rápida constituyen una alternativa económica y debe tomarse como una opción en zonas residenciales. Sus mayores ventajas son el bajo mantenimiento y su alta capacidad estructural.

RECONSTRUCCION DE INTERSECCIONES. La reconstrucción de cruceros urbanos y suburbanos implica serios problemas de diseño, programación secuencial e interrupciones de tráfico. Como resultado, muchas intersecciones se tienen que reencarpetar continuamente para reparar baches, desgaste en el pavimento, corrugaciones y otros problemas de seguridad. Donde sea posible cerrar al tráfico toda una intersección durante corto tiempo, la reconstrucción empleando el sistema de pavimentos de concreto de apertura rápida, se puede concluir en un tiempo de 2 a 3 días.

7.6. AVANCES DE LAS OBRAS CON CCR EN PRESAS.

El método de construcción de presas de concreto ha cambiado poco Sin embargo, la eficacia de la construcción de presas de tierra ha mejorado a tal grado, que la proporción de presas de concreto ha disminuido hasta menos del 20% durante los últimos 5 años Las presas de concreto tienen ciertas ventajas inherentes sobre las de tierra, por lo que, se ha llevado a cabo el desarrollo de un método de construcción para presas de concreto, con el objeto de combinar la pequeña sección transversal del material resistente a la erosión de las presas de concreto con los eficientes métodos de construcción de planta intensiva de las presas construidas a base de tierra

En la actualidad se están considerando esencialmente 3 materiales diferentes para la compactación con rodillos en las presas

- 1 Material de excavaciones estabilizado con cemento
- 2 Mezclas de concreto pobre con un contenido cementante aproximado de 100 a 150 kg/m³, de los cuales puede reemplazarse una cantidad hasta de un 30% (por peso) por ceniza volante
- 3 Mezclas mejoradas de concreto con un contenido cementante de 180 a 270 kg/m³ y elevado contenido de ceniza volante (del 60% al 80% del contenido cementante), diseñadas para un mínimo de cavidades de aire y una adecuada adherencia entre las capas de concreto

Durante distintas investigaciones se han desarrollado 4 diseños diferentes de presas:

- 1 La presa de gravedad óptima empleando material de excavación estabilizado con cemento con o sin membrana impermeable aguas arriba, dependiendo de los requisitos de la presa
- 2 Una presa de concreto pobre con el parámetro aguas arriba impermeable, y sin juntas interiores
- 3 Una presa de concreto pobre con juntas de contracción verticales, cortadas a través de cada capa de concreto interior poco después del colado, a fin de controlar el agrietamiento

- 4 Una presa de concreto mejorado, sin juntas interiores y con concreto compactado con rodillos retenido mediante unidades de paramento cimbradas en sentido horizontal con cimbras deslizantes y pavimentadoras

8. CONSTRUCCION CON CONCRETO LANZADO.

El concreto lanzado es un concreto con agregados finos y mortero, conducido por un ducto y proyectado neumáticamente a gran velocidad sobre una superficie determinada



Figura 8 1 Concreto Lanzado

El concreto proyectado en forma de chorro contra la superficie de trabajo se impacta y compacta contra la misma, obteniéndose un concreto con excelentes características; dentro de las que destacan su excelente adherencia con la mayoría de los materiales, su permeabilidad

(por el alto grado de compactación que registra), además de contar con todas las cualidades de un concreto colocado por métodos convencionales

Su sencilla implementación estimula su uso en un gran número de construcciones y reparaciones hasta en las áreas más inaccesibles, resultando en ocasiones ser un concreto más económico que el convencional, debido al ahorro en cimbra, mano de obra, uso de pequeñas plantas portátiles de mezclado, mayor velocidad de colocación etc

8.1. ANTECEDENTES.

El concreto lanzado, tal como se conoce hoy en día, tiene por antecedente a la llamada “gunita” o mortero lanzado

El naturalista y taxidermista estadounidense del Instituto Smithsonian, Carl E Akeley, obtuvo, en 1911, una patente para una máquina de lanzado, concebida cuatro años antes, a la que se le dio el nombre de “Cement-gun”, de ahí la denominación comercial de “gunita” con la que se conoce al mortero lanzado. La máquina funcionaba de acuerdo al principio de doble cámara y presurización alternante

Para 1920 el empleo de la “gunita” era conocido en todo el mundo, gracias a la firma Cement Gun Company establecida en Allentown, Pensylvania, que fue la que explotó la patente

Se utilizaba y se utiliza todavía la gunita para la reparación y el refuerzo de obras de concreto y mampostería deterioradas o defectuosas, o para el revestimiento de construcciones hidráulicas y túneles. A principios de los años sesenta se utilizó la gunita en México, en la reparación del revestimiento de los túneles de Tequisquiác que desfogan las aguas de drenaje de la ciudad de México conducidas por el Gran Canal. En esa ocasión se utilizaron máquinas BSM (Beton Spritz Maschinen) de doble cámara, con posibilidad de manejar agregado grueso de tamaño máximo de 0.95 cm ($\frac{3}{8}$ ”).

En la postguerra, los países centroeuropeos, Austria, Suiza y el norte de Italia, desarrollaron multitud de obras subterráneas hidroeléctricas y viales, en los Alpes, y en varias de ellas se usó el mortero lanzado como medio de soporte y revestimiento. Tal fue el caso de los túneles de presión y de otros túneles en el complejo hidroeléctrico suizo de Maggia.

Se fueron perfeccionando equipos y procedimientos para manejar agregados más gruesos (hasta de 254 cm (1'')) con lo que se pasó del mortero lanzado al concreto lanzado. La gran difusión de la aplicación de éste, a partir de los años cincuenta, se debe al empleo de máquinas lanzadoras de rotor, tipo revólver, concebidas en EEUU a partir de una patente holandesa de 1929 y mejoradas en Suiza (Meynadier y Aliva).

Entre 1953 y 1967 se demostró la bondad del concreto lanzado en varios trabajos subterráneos en Alemania, Austria, Italia y Suiza, en condiciones tan variadas como prevención del aflojamiento de rocas químicas y estructuralmente inestables, estabilización de material heterogéneo producto de deslizamientos antiguos, soporte, combinado con anclas inyectadas, de excavaciones en terreno milonitizado de esquistos y sericiticos, muy húmedos, que producen altas presiones de roca, o en gravas no cementadas (metro de Milán). Sólo en algunos de estos casos se usó soporte adicional de marcos de acero (o de celosía de acero) y malla electrosoldada.

La experiencia sueca y noruega en rocas mucho más sanas y competentes que las alpinas, ha llevado al uso del concreto lanzado sin refuerzo, en muchas ocasiones aplicado sólo en grietas, juntas y fracturas del macizo rocoso.

En 1960-1962, Aliva, fabricante suiza de lanzadoras, llevó sus máquinas y la técnica de su uso a obras subterráneas localizadas en los Andes venezolanos, colombianos, peruanos y chilenos.

Para 1965, Japón ya se había incorporado al desarrollo de la nueva técnica.

En Norteamérica el concreto lanzado empieza a aplicarse hasta 1967, cuando la firma canadiense Mason, Dolmage y Stewart lo pone en práctica en un túnel ferroviario en Vancouver, Canadá

Poco después, expertos de ésta misma firma canadiense así como sobrestantes y lanzadores suecos, empezaron a aplicar el concreto lanzado en tres frentes de excavación del túnel emisor del sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México. Para 1972 se había extendido su uso a veinticinco frentes de excavación de este túnel, con cincuenta máquinas lanzadoras

En EEUU la aceptación generalizada del concreto lanzado tardó casi una década más, debido quizá a que, al no tener restricciones de producción de acero, resultaba más económico el sistema de soporte con marcos de este material y también, posiblemente, al haber tenido experiencias negativas con la aplicación de la “gunita”

8.2. CARACTERISTICAS.

El concreto lanzado está reconocido en todo el mundo como un material y un sistema de protección, revestimiento y soporte de características excepcionales. Su aplicación ha revolucionado la ejecución de excavaciones a cielo abierto y subterráneas en una amplia gama de suelos, rocas y materiales intermedios y bajo condiciones de éstos muy diversas en cuanto a espacio, geometría, humedad y estabilidad

El concreto lanzado es un concreto transportado a través de manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie, tal es la definición del ACI

La mezcla que se transporta puede ser seca o húmeda. En el primer caso el agua se añade mediante un anillo repartidor situado inmediatamente antes de la boquilla de lanzado, al final de la manguera. En el segundo caso, la mezcla que se transporta a través de la manguera contiene ya el agua de acuerdo a la dosificación prescrita

Cuando se trata de una mezcla seca el lanzador regula la cantidad de agua a la vista de las condiciones de humedad y de estabilidad de la superficie y del material por cubrir, así como de las condiciones de uniformidad, polvo y rebote del chorro que sale de la boquilla y se impacta sobre dicha superficie. Cuando la mezcla va húmeda el lanzador no interviene en la dosificación, sino sólo en la calidad de aplicación, equivale a un concreto premezclado y bombeado, sólo que aquí la expulsión se produce también a alta velocidad como con la mezcla seca.

La elevada velocidad se obtiene con una boquilla de diámetro reducido y una elevada presión del aire, las partículas expulsadas se impactan de 90 a 120 m/seg lo que da por resultado una alta compacidad del concreto colocado. En determinadas circunstancias puede convenir dar más producción con máquinas de alto rendimiento y el empleo de mangueras y boquillas de mayor diámetro, la velocidad de expulsión e impacto se reduce, con lo cual la compacidad también disminuye, pero sin dejar de conservar las características generales del concreto lanzado.

Estas características son

- Alta compacidad como consecuencia de la alta velocidad de impacto y en especial del martilleo que producen en la mezcla recién colocada las partículas gruesas.
- Baja relación agua-cemento (0.35 a 0.50), inferior a la del concreto hidráulico, y alto contenido de cemento, resultantes de la pérdida por rebote de una parte del agregado grueso al impactarse a alta velocidad, lo que da por resultado una mezcla plástica, más rica en cementante, pastosa, densa e impermeable.
- Todo ello hace que el concreto lanzado, aunque sea tierno, muestre buena resistencia y durabilidad ante voladuras próximas y alta adaptabilidad a la redistribución de esfuerzos que se produce alrededor de excavaciones recién hechas.
- Excelente compatibilidad con el proceso de autosoporte que desarrolla el terreno que limita y rodea a las excavaciones y que es la base de la filosofía del nuevo método austriaco de tuneleo (NATM), que ha venido a revolucionar las técnicas de

excavación en obras de ingeniería, principalmente las subterráneas. La compatibilidad se obtiene en virtud de que el concreto lanzado todavía tierno y en capas delgadas actúa como una membrana resistente, pero capaz de fluir plásticamente y ajustarse a los desplazamientos del terreno inmediatamente posteriores a la excavación, sin que éste pierda su confinamiento. Más adelante se engruesa el concreto lanzado y con el tiempo gana resistencia y rigidez a la vez que el terreno alcanza su condición de autosuporte óptima. Los desplazamientos residuales se reducen hasta desaparecer y el conjunto terreno-concreto lanzado, como un sólo material compuesto permanece estable.

- El diseño y preparación de las mezclas, la proporción de aditivos que en ellas se usan para obtener resistencias tempranas o fraguados acelerados, la eficiencia del equipo de fabricación y lanzado, la destreza de los operadores y lanzadores y el control de calidad determinan el mayor o menor grado en que se alcancen dichas características en las diferentes condiciones que se presentan durante la ejecución de las obras en cuestión.

8.3. PROPIEDADES.

Las propiedades del concreto lanzado dependen de la calidad de los ingredientes y de sus mezclas, del procedimiento de fabricación y de la destreza y experiencia de los operarios, en particular del lanzador. Los factores más importantes que están en juego son la composición de la mezcla en seco, la relación agua-cemento, la experiencia del lanzador, la velocidad del impacto de la mezcla proyectada; la textura, geometría e inclinación de la superficie de aplicación, y el tratamiento tanto de la superficie dicha como del concreto aplicado.

La tecnología moderna ha venido perfeccionando el diseño de las mezclas y la calidad de los ingredientes y de los equipos de fabricación, de modo que las propiedades del producto final descansan, en gran medida, en la capacidad práctica, experiencia, habilidad y cuidado de la mano especializada, es decir, de quien opera las máquinas y de quién lleva a cabo el

lanzado Este último (el lanzador) es tan responsable del producto final como lo puede ser, en su caso, un soldador bien capacitado

Las propiedades del concreto lanzado se pueden citar como

- Aspecto - La superficie del concreto lanzado es rugosa dicha rugosidad depende del tamaño máximo del agregado y de la técnica y habilidad del lanzador Se puede dar un acabado más terso o liso a la superficie con la llana

Para evitar distintas tonalidades y eflorescencias en la superficie es necesario regular la adición de agua a un ritmo constante, cuidar de aplicar cada capa de lanzado sin interrupción y no variar bruscamente el suministro de aditivo

- Adherencia - Es una de las propiedades más importantes del concreto lanzado La superficie a cubrir debe ser sólida, estar limpia de polvo, limo y arcilla y no excesivamente húmeda

La mezcla se impacta a alta velocidad y tapona las irregularidades, grietas y poros de la superficie mediante el cemento y las partículas más finas de los agregados A su vez se forma una primera capa delgada de pasta de cemento, la que al endurecer actúa como una película adherente que liga al resto del concreto lanzado con la superficie de aplicación Cuanto más rugosa sea ésta, mayor será la adherencia. Sobre roca sana y limpia varía entre 1 0 y 2 0 kg/cm²

Para obturar filtraciones o hacer que el concreto pegue en superficies muy húmedas será necesario emplear un aditivo acelerante de fraguado “instantáneo” Cuando se aplica en superficies poco consistentes de material que puede desprenderse por el impacto o el propio peso del concreto tierno, (arenas, arcillas, roca alterada o descompuesta), puede ser útil proporcionar una cierta base o estructuración con “tela de gallinero”, o malla

El acelerante de fraguado instantáneo y la tela ayudan a que la primera capa de concreto se adhiera y sostenga

- Contracción - Al perder, por rebote, parte del agregado grueso y agua, la mezcla de concreto lanzado presenta una relación agua-cemento más baja que el concreto convencional y un contenido de cemento proporcionalmente más alto. Podría pensarse que la contracción por fraguado es mayor, y sí lo es, pero al colocarse el concreto lanzado a alta velocidad de impacto y por capas, los poros no son continuos y las fisuras de contracción no se extienden a todo el espesor, sino que quedan confinadas en cada capa. Esta estructura de poros y grietas discontinuos hace más resistente al concreto lanzado contra las heladas.
- Resistencia - Una relación menor de agua-cemento que en el concreto normal y, por consiguiente, una pasta más rica en cemento, da por resultado un producto más denso y menos permeable. Las propiedades mecánicas del concreto lanzado vienen determinadas por la densidad aparente, es decir, el peso volumétrico. Este varía por lo general entre 2100 y 2200 kg/m³.

La resistencia a la compresión simple, para mezclas normales, puede alcanzar no menos de 300 kg/cm² a los 28 días y llegar a más de 500 kg/cm² al cabo de los años. Sin embargo, estos valores varían mucho con la calidad de los ingredientes en especial de los agregados, grava y arena. Así por ejemplo, con los agregados que están compuestos de piroclásticos y emisiones basálticas y andesíticas, es difícil obtener resistencias superiores a 250 kg/cm² a los 28 días y de más de 350 kg/cm² al cabo del tiempo. La inclusión de acelerantes de fraguado y resistencia produce incremento de las resistencias tempranas, por lo que interesa en excavaciones en las que se quiere obtener una estabilización rápida, pero disminuye las resistencias a largo plazo, de ahí que convenga mantener la proporción de acelerante, en peso del cemento, en valores de 2% a 4% y sólo excepcionalmente subir a 6% cuando el problema sea conseguir que la pasta pegue en terrenos húmedos o poco firmes.

Las propiedades mecánicas del concreto lanzado que están relacionadas con la falla estructural como soporte o revestimiento de excavaciones, son la adherencia y las resistencias al corte y a la tensión, pura y en flexión. La resistencia a la compresión simple no es tan importante en revestimientos provisionales, cuya función es la estabilización inmediata, pero sí es un indicador de las otras resistencias ya que si una tiende a aumentar, las otras también lo hacen.

La resistencia al cortante es del orden de 1/3 veces la resistencia a flexión. Esta, para concretos de f'_c de 300 kg/cm^2 puede variar entre 38 y 60 kg/cm^2 en tanto que la resistencia a la tensión será del orden de la mitad, es decir, de 19 a 30 kg/cm^2 .

8.4. PROCESOS DE FABRICACION.

Los ingredientes del concreto lanzado son los mismos del concreto convencional y deben estar sujetos en general a las mismas normas de control de calidad.

Cemento - Se utiliza cemento Portland normal tipo I o, en su defecto, tipo c-2 Puzzolánico. Este último tipo ha sido utilizado en obras como el Drenaje Profundo del Distrito Federal, la línea 7 del Metro de la Cd. de México y el proyecto hidroeléctrico de Aguamilpa en Nayarit.

El grado de finura del cemento juega un papel importante en las resistencias del concreto, especialmente en sus resistencias tempranas. Un cemento alto en alúmina, apropiado para endurecimiento rápido, puede causar problemas de manejo, como taponamiento de mangueras y limpieza frecuente del equipo debido a su alto calor prematuro de hidratación.

Antes de decidir el tipo de cemento deben considerarse su disponibilidad local, su compatibilidad con los agregados y los aditivos que habrán de usarse en la obra y su congruencia con los requisitos de resistencias y de economía de la misma.

Agregados - La densidad de sólidos de los agregados debe ser de 2 55 a 2 65 y el módulo de finura de la arena estar comprendido entre 2 5 y 3 0 Para agregados fuera de estos límites el contenido de cemento requiere ajustes

El agregado bien graduado y que cumple con las normas ASTM da buena compactación, alta densidad, impermeabilidad, resistencia y bajo rebote El agregado que contiene partículas alargadas, aplanadas o astillables no da buena compactación y requiere corrección en los contenidos de agua y cemento de las mezclas Los sobretamaños y las partículas planas pueden provocar taponamientos en tuberías y mangueras

Son preferibles los agregados naturales, redondeados o de río, a los triturados, éstos son menos resistentes, producen más desgaste en el equipo, tuberías y mangueras, y al ofrecer mayor superficie específica llevan a mayor consumo de cemento

El agregado fino contribuye a formar la pasta que se adhiere y fija a la superficie de aplicación y que reduce el rebote y la permeabilidad El agregado grueso equilibra las mezclas, da estructura y compactación a las capas y contribuye a limpiar las tuberías y mangueras de los finos adheridos a sus paredes

Las máquinas modernas manejan agregados gruesos de hasta 25 mm (1") con facilidad, aunque para la mayoría de las aplicaciones no es necesario tamaño máximo mayor de 19 mm (¾") Un balance económico entre estructura y compactación a alcanzar en el concreto y porcentaje de material de rebote debe decidir la proporción

La humedad propia de los agregados es muy importante en el caso del procedimiento por mezcal seca Si es inferior a 3% se tiene polvo excesivo, y además se afecta la hidratación preliminar del cemento, si es mayor de 6% a 8% perjudica el proceso al provocar obturaciones e incrustaciones en las máquinas y los conductos de transporte

Agua - El agua también debe cumplir los requisitos que se exigen en el caso del concreto común Debe ser limpia y estar libre de limo y materia orgánica, álcalis y otras sales

minerales disueltas La relación agua-cemento óptima para lograr la máxima resistencia se presenta en el punto de máxima densidad El lanzador de mezcla seca puede darse cuenta que se ha alcanzado ese punto cuando aparece en la superficie del concreto fresco, recién aplicado, un lustre de humedecimiento ligero

El agua de la mezcla se compone de la humedad natural de los agregados y del agua añadida Pero es necesario tener en cuenta que una parte de ésta agua se pierde en el rebote y por pulverización en el chorro de proyección

La cantidad de agua viene medida en el procedimiento de mezcla húmeda, no así en el caso de la mezcla seca que la dosifica el lanzador. En este caso, aparte de la experiencia del lanzador, las propias condiciones de lanzado impiden que la dosificación varíe mucho poco agua produce mucho polvo que molesta al lanzador y agua en exceso evita que el concreto se pegue a la pared

Aditivos - Los aditivos endurecedores y acelerantes de fraguado, enérgicos, producidos primero en Europa Central y cuyo uso se ha extendido después al resto del mundo, dan al concreto lanzado algunas de las características que más lo distinguen del concreto hidráulico convencional, como son su alta adhesividad y el poder aplicarse en superficies húmedas e incluso controlar filtraciones de agua

Los principales ingredientes activos son aluminato de sodio e hidróxido de sodio con carbonatos de sodio, potasio y calcio, e hidróxido de calcio como catalizadores

Deberá evitarse el cloruro de calcio como acelerante, especialmente en contacto con agua de mar, agua con sulfatos, refuerzo de acero, acero presforzado o metales distintos en contacto uno con el otro

La dosificación de acelerante varía normalmente entre 2% y 6% del peso del cemento El porcentaje más alto se utiliza cuando se desea obtener una adhesividad o una resistencia temprana inmediata, ya sea en aplicaciones en presencia de filtraciones de agua, o bien para

engrosar capas delgadas de concreto previamente aplicado, o para que el concreto pegue en materiales relativamente blandos o arenosos. El concreto lanzado al que se le ha adicionado acelerante da menos rebote y resiste más las tronadas a las pocas horas de aplicado (alrededor de dos horas) que al que no.

La resistencia temprana de un concreto lanzado con acelerante aumenta, pero la resistencia final disminuye hasta un 30%, de ahí que para un concreto lanzado con función estructural deba aumentarse el acelerante sólo en las primeras aplicaciones, para lograr la mayor fijación de la pasta, y al aplicar las capas sucesivas posteriores reducir el acelerante o eliminarlo por completo para no comprometer su resistencia final.

En concretos para recubrimiento puede aceptarse un fraguado inicial de 1½ horas y uno final de 12 horas, pero si es necesario dominar filtraciones de agua y evitar desprendimientos en terreno de poca cohesión, se necesita contar con fraguados mucho más rápidos.

Hablando de diseño de mezclas las bases para éste aún no están muy claras y parecen ser puramente empíricas en la actualidad.

Deberá procederse como si se diseñaran mezclas para concreto hidráulico convencional de resistencias equivalentes, y hacer en cada caso los ajustes correspondientes para compensar en las dosificaciones las pérdidas de agregado grueso y agua por rebote, y en condiciones de campo, la calidad y naturaleza de los ingredientes y su compatibilidad, así como la experiencia y destreza del operador de lanzado.

Se distinguen dos procesos de manejo del material lanzado: por vía seca y por vía húmeda. Cada uno tiene características distintas que lo hacen preferible en determinados usos. A veces hay poca diferencia de precio y tiempo entre uno y otro.

En el proceso por vía seca se mezclan en proporciones de 1 4 a 1 5 cemento y agregados sin adición de agua. Pueden proporcionarse y mezclarse al pie de la máquina lanzadora o bien surtirse ya premezclados, en este segundo caso hay que prever los tiempos de

transporte hasta el punto de lanzado para evitar fraguado falso con la humedad natural de los agregados. El agua, como ya se ha mencionado, la suministra el lanzador en la boquilla, a través de una llave y un anillo que la reparte y atomiza, para hidratar la mezcla poco antes de ser expulsada a alta velocidad contra la pared de aplicación. El chorro de mezcla seca se transporta a través de tuberías rígidas y mangueras flexibles a una presión neumática de 3 a 5 kg/cm² y el agua se añade a una presión del orden de 10 kg/cm² o mayor que ésta.

El aditivo (acelerante) se añade en polvo, esparciéndolo sobre la mezcla seca que se alimenta a la máquina de lanzado, con cuidado de que vaya lo más uniformemente distribuido, o bien se incorpora en forma líquida con una bomba dosificadora, junto con el agua, en la boquilla.

Las mezclas secas pueden transportarse a distancias mayores (300 m) que las mezclas húmedas, y el proceso ofrece más flexibilidad de empleo y de manejo de los ingredientes. El problema de taponamientos u obturaciones suele ser menor en el proceso en seco.

El rebote puede alcanzar 30% o más según la ubicación y textura de la superficie de aplicación y la destreza del operador de lanzado.

En el proceso por vía húmeda la mezcla de cemento y agregados se prepara y revuelve con una cantidad preestablecida de agua, o bien es enviada al equipo de lanzado como un producto premezclado.

La mezcla o se bombea o se transporta mediante presión de aire hasta el lugar de lanzado. El acelerante puede suministrarse en polvo o en líquido. En la boquilla se inyecta aire a alta velocidad para dar alto impulso al concreto que es lanzado.

El proceso húmedo se prefiere en los casos en que se requieran altos rendimientos (5 a 15 m³/hr) en suministros poco variables, por ejemplo para revestimientos definitivos.

Hace falta una cuidadosa programación de fabricación ya que se dispone de poco tiempo entre la revoltura y el lanzado. Para distancias de más de 100 m puede ser necesario usar ollas o carros revolventes para impedir la segregación de las mezclas, y con frecuencia se deben usar agentes fluidificantes. Las operaciones de revoltura necesitan equipo especial de fabricación.

El costo del equipo en el proceso en húmedo suele ser 2 a 4 veces mayor que el del proceso en seco.

La calidad del concreto puede especificarse como se hace para el concreto hidráulico convencional pero hace falta un consumo más alto de cemento (350 a 500 kg/m^3) que en las mezclas secas para dar resistencias equivalentes.

El proceso húmedo da menos rebote (10% a 20%) que el seco y se puede controlar con mayor precisión el contenido de agua-cemento, el cual con plastificantes puede mantenerse alrededor de 0.45 a 0.50.

También se considera que con el proceso húmedo se produce menos polvo que con el seco, sin embargo, estudios recientes revelan que para tamaño de polvo inferior a 5 micras la diferencia no es notable. Se puede deber ello a los aerosoles derivados de los aditivos.

Las máquinas para proceso seco son robustas y compactas y capaces de manejar diferentes tipos de mezclas de cemento y agregados para rendimientos de intermedios ($\geq 6 \text{ m}^3/\text{hr}$) a bajos ($< 5 \text{ m}^3/\text{hr}$). En estos últimos trabajos son preferibles a las de proceso húmedo, porque éstas responden más lentamente y a mayor costo cuando son frecuentes los paros y arranques.

Las máquinas de proceso húmedo por lo general consumen de $1/2$ a $1/3$ del aire comprimido que requieren las de proceso seco, para capacidad equivalente pero necesitan más energía para bombear la mezcla húmeda, de modo que el balance de energía total por unidad de mezcla producida resulta muy parecido en ambos procesos.

8.5. MAQUINARIA Y EQUIPO.

Planta -

Llamamos planta a los medios con que se suministra a la máquina lanzadora, el agua, el aire a presión y los materiales en cantidades y proporción adecuados. Dicha planta consta de varios componentes

- Compresor de aire
- Manguera de aire 20 mm
- Manguera de aire 50 mm
- Máquina lanzadora
- Manguera de agua 20 mm
- Alimentación de agua
- Tanques de alta presión
- Bomba de agua
- Cribadora

Es común que para plantas de gran rendimiento, la misma planta se integre a la lanzadora para facilitar sus operaciones y permitir una movilidad constante

Boquilla -

Es en la boquilla donde se da la hidratación, encontrándose aquí los flujos de material seco y agua para conformar al mortero que a continuación saldrá expulsado al área de trabajo. Toda boquilla cuenta con una entrada especial como conexión que ajusta con la línea de agua, permitiendo el regular su flujo mediante una válvula de paso. Esta boquilla consta de un anillo perforado o en algunos casos rondana ranurada, presentando perforaciones radiales para de ésta manera suministrar un flujo variable y radial de agua, y atomizar la mezcla con la mayor eficiencia posible.

La boquilla tipo Boulder es más eficiente cuando se trabaja con mangueras de más de 4 cm de diámetro.

La boquilla tipo impulsor es una innovación que permite una mayor eficiencia de hidratación, además de dar mayor velocidad de salida al concreto, pero se necesita de un suministro adicional de aire a presión que aumentará su costo de operación. En general para los concretos lanzados por el procedimiento de alta velocidad no es conveniente el uso de boquillas especiales.

La punta de cualquier boquilla es la zona donde se da la uniformidad al chorro de concreto para obtener los mejores resultados, y donde se presenta el mayor desgaste de ésta pieza. La punta de la boquilla generalmente es desmontable del demás cuerpo y se fabrica en hule o recubierta de hule, para facilitar la limpieza y prevenir el desgaste. El hule usado en la boquilla dará una mayor duración y economía a las puntas de boquilla.

Lanzadoras de concreto -

Máquinas de proyección en seco

Las máquinas de proyección en seco, son equipos de proyección a rotor de alta capacidad para la aplicación de una mezcla seca sobre alguna superficie húmeda o semihúmeda, y trabajan bajo el principio del transporte neumático. La mezcla (cemento con arena, o con grava y arena), llega de la tolva de carga a través de cámaras de rotor provistas de camisas autolimpiantes a la cámara de descarga y a la tubería de transporte, (de este modo resulta posible elaborar sin dificultad mezclas secas con alta humedad propia, máximo de 6% a 8% sin la menor dificultad). Mediante una corriente de aire controlable, la mezcla se transporta a la boquilla de proyección a través de la manguera de transporte.

El manejo de la máquina es sencillo ya que el operador solo debe dirigir la cabeza de la manguera, abriendo el paso a la mezcla o bien cerrando su salida mediante una palanca localizada en la boquilla del inyector. El chorro de la mezcla se controla dirigiendo su trayectoria y alcance en forma similar al control de chorro de agua en una manguera casera.

La aplicación más amplia de estas máquinas es en trabajos de impermeabilización contra infiltraciones en roca u otro tipo de suelo, en la construcción de galerías, túneles, carreteras, etc

Máquinas Universales de proyección en seco y húmedo

Este tipo de máquinas posibilita el paso de la proyección en húmedo a la proyección en seco con el mismo equipo. La capacidad de transporte de estos equipos puede variar entre 3 y 11 m³/hr en mezclas secas o húmedas

Entre las partes más importantes de esa máquina se encuentra la tolva de descarga cuya forma geométrica es óptima para la carga de los materiales, un distribuidor que proporciona aire comprimido al conjunto y hace posible la proyección de la mezcla, un motor de propulsión, una bomba hidráulica integrada, un chasis con ruedas que permite el desplazamiento del equipo en la obra, etc

La proyección siempre resulta más favorable cuando a la mezcla húmeda se le incorporan aditivos plastificantes

El manejo del chorro de la mezcla la realiza el operador del mismo modo que en las máquinas de proyección en seco, es decir maniobrando con la cabeza de la manguera y controlando el flujo mediante una palanca localizada en la boquilla del inyector

En cada situación es posible trabajar con el procedimiento de proyección más adecuado, ya que en superficies de aplicación algo húmedas, muy húmedas y superficies con muy baja humedad, es posible utilizar la proyección en seco o en húmedo según el criterio del constructor

El campo de aplicación de estas máquinas es sumamente extenso, y se utiliza en reparaciones de construcción de concreto, en paredes, columnas y vigas que presentan grietas, en reparaciones de mampostería, etc, y en obras de gran magnitud como el revestimiento de

túneles, galerías, muros de muelles, revestimiento de canales de riego, en reparación de elementos de sustentación de puentes, etc

9. ADITIVOS.

9.1. GENERALIDADES.

Los aditivos son sustancias que se pueden agregar al concreto con el fin de modificar algunas de sus propiedades, o para inducirle algunas características adicionales: trabajabilidad, reducción de agua de mezclado, incorporación de aire, modificación de los tiempos de fraguado, proporcionar diferentes grados de impermeabilidad, etc

Los principales cambios que sufre el concreto cuando se usan aditivos son cinco, a saber: inclusión de aire para la durabilidad, reducción de agua para mejorar la calidad, aceleración o retardado del fraguado y aditivos reductores de agua de amplio rango para el concreto de consistencia fluida que ayudan a colocar el concreto en estructuras dúctiles. Otras cualidades, como la mayor resistencia, menor permeabilidad, mejoramiento de trabajabilidad (los cuales serán mencionados en éste capítulo), menor sangrado y economía, pueden ser mejoradas

Pero no siempre actúan de la misma forma los aditivos, usualmente se comportan en forma semejante, pero en diferente grado y en algunas ocasiones con resultados no esperados o insuficientes para lo que se quiera modificar. La razón de esto, es la gran variedad en la condición química de todos los ingredientes del concreto, particularmente del cemento y del agua. Incluso, se trata de que los aditivos actúen con variaciones muy pequeñas.

Para saber si el aditivo utilizado va a actuar del modo deseado, se debe de ensayar con el concreto elaborado con los mismos materiales que se utilizarán en la obra y se deben de medir las propiedades en mezclas similares con y sin las dosificaciones recomendadas del aditivo propuesto pero con revenimiento y contenido de aire análogos.

El aditivo que tiene una influencia general benéfica en la mayoría de los trabajos en concreto es el reductor de agua normal y moderadamente retardante, generalmente beneficia en la mayoría de los concretos, a menos que haya una necesidad especial de aceleración. Pero disminuyendo la temperatura a menos de 18° C en la mezcla de concreto, se puede conseguir una demora sin la necesidad de un retardante.

Para mejorar la trabajabilidad, impermeabilidad y resistencia del concreto, una mayor cantidad de cemento puede hacer las veces de aditivo. Sin embargo, el empleo de más cemento, no retarda el fraguado en medios cálidos, ni incluye aire para mejorar la durabilidad, no proporciona resistencia a edad temprana que sería necesaria en climas muy fríos, etc. Ni se reducirá el calor de hidratación y la temperatura se elevará dentro del concreto masivo, como lo logran determinados aditivos al reducir el contenido de cemento.

No obstante que prácticamente en todos los concretos es posible utilizar aditivos, existen tres criterios básicos a tomar en cuenta:

- La adición de aditivo a la mezcla deberá lograr el objetivo buscado sin alterar su proporcionamiento básico
- Su empleo estará justificado desde el punto de vista económico
- Se investigará que el producto no tenga efectos nocivos en la mezcla, tanto de forma inmediata como a largo plazo

9.2. PUZZOLANAS.

La puzzolana es un material amorfo silicoso o silicoso y aluminoso, que por si solo posee poco o ningún valor cementante, pero que finalmente dividido en medio húmedo a temperatura ordinaria, reacciona químicamente, también reacciona químicamente con el hidróxido de calcio y álcalis, formando compuestos con propiedades cementantes

La puzzolana se emplea como adición o sustitución del contenido requerido de cemento del concreto

La función que desempeñan las puzzolanas al mezclarse con los compuestos solubles de calcio y de los álcalis, es para formar compuestos insolubles inocuos que contribuyen a mejorar la resistencia mecánica, la impermeabilidad y resistencia a los sulfatos. También contribuye a la trabajabilidad (propiedad que se necesita mejorar para los concretos de bajo revenimiento), reduce el sangrado y el calor de hidratación y restringe la expansión destructiva que causa la relación álcalis-agregados

Cabe mencionar que la puzzolana no es en sí un aditivo, ya que se emplea en cantidades mayores como material cementante que trabaja en unión con el cemento. Cuando se agrega en menos del 10% sobre el peso del cemento como material fino para mejorar la trabajabilidad o reducir el sangrado, podría decirse que se utiliza como un aditivo o como un agregado

9.3. ADITIVOS PARA CONCRETO DE BAJO REVENIMIENTO.

Debido a la poca trabajabilidad del concreto de bajo revenimiento, se pueden incluir aditivos para aumentarla, de la misma manera aumenta su plasticidad y es de gran uso en distintos elementos prefabricados de concreto, en los blocks, en los adoquines y en los tubos de concreto, también en la construcción con concreto compactado con rodillos en presas y pavimentos, en el concreto lanzado y en general, en los concretos hechos con un bajo revenimiento

Son mezclas especialmente formuladas para concretos de bajo o nulo revenimiento. Proporcionan excelente plasticidad y cohesividad a la mezcla y es de fácil dispersión de la misma, y esto nos permite obtener un producto uniforme y de alta calidad.

En la tabla 9.1 se clasifica la tipología de los aditivos, sus dosificaciones, las propiedades que confieren al concreto, sus aplicaciones recomendadas y, por último, sus aplicaciones.

Dentro de las ventajas de estos tipos de aditivos, se tienen:

- 1- Mejora la dispersión del cemento y los finos alrededor de los granos del agregado.
- 2- Humecta mayor cantidad de cemento por revoltura y retiene mejor la humedad impidiendo una rápida evaporación del agua.
- 3- Aumenta la resistencia en un 10%, o un ahorro de cemento a igual resistencia.
- 4- Llenado más rápido y uniforme del molde y mejora la compactación.
- 5- Aumento en la producción diaria de los elementos de concreto hasta en un 15%.
- 6- Da una mayor absorción.
- 7- Las caras y las esquinas de los elementos de concreto son más lisas y con una textura uniforme y agradable.
- 8- Reduce el desgaste del molde que contenga al elemento de concreto.
- 9- Los blocks y adoquines que se fabriquen tendrán una menor absorción.
- 10- Una alta concentración del aditivo que otorga mayor economía por litro, baja dosificación, fácil dispersión en agua y viscosidad adecuada para una dosificación automatizada.
- 11- Aumento de la plasticidad que otorga menor desperdicio y mayor resistencia del elemento de concreto cuando está fresco.

Aditivo y dosificación usual	Propiedades logradas en el concreto	Aplicaciones recomendadas	Limitaciones
1) Incluser de aire 0.03% al 0.05% del peso del cemento	Incorpora microporos al concreto, lo cual induce: - Resistencia a ciclos de hielo y deshielo - Mayor trabajabilidad - Menor permeabilidad y exudación	Protección contra cambios bruscos de temperatura En casos extremos ciclos de hielo y deshielo - Pavimentaciones Protección contra agentes químicos	Menor resistencia mecánica
2) Plastificantes o reductores de agua 0.1% a 0.4% del peso del cemento	Mejora la lubricación entre partículas, con lo que se obtiene: - Mejor trabajabilidad para las relaciones constantes de agua/cemento - Mayor facilidad de colocación y compactación	- Concreto bombeable y premezclado - Concretos en zonas estrechas y/o prefabricados - Concretos de alta resistencia	
3) Fluidificantes Para aumentar la trabajabilidad Para reducir el agua (1.0% a 3.0% del peso del cemento)	Aumentan de manera importante la trabajabilidad permitiendo: - Reducir el agua de mezclado para trabajabilidad constante, con alto incremento de resistencia	- Colocación de concreto en zonas estrechas y de difícil acceso - Concretos bombeados y de altas resistencias - Colocación en climas calurosos - Para elementos prefabricados y en reparaciones	El efecto se disipa relativamente pronto
4) Acelerantes del fraguado En concreto no armado: 1:2 a 1:5 (aditivo:agua) En concreto armado: 1:6 máximo (aditivo:agua) Medidas en peso	Aumentan las resistencias iniciales	- Colocación de concreto en climas fríos - Lo indicado en el proyecto - Prefabricados - Reducción del lapso de descimbramiento - Reparaciones	Estos productos por general contienen productos corrosivos, por lo que en concretos armados extremarán precauciones
5) Retardantes del fraguado 0.3% a 1.5% del peso del cemento	Retrasan el inicio del fraguado, manteniendo la trabajabilidad más tiempo Reduce el riesgo de fisuración al permitir la disipación del calor de hidratación durante más tiempo	- Concretos en climas calurosos - Concretos premezclados y masivos - Transporte a distancias considerables - Evitar juntas frías al colocar concreto en capas - Concretos bombeados	Una sobredosificación puede originar una demora excesiva
6) Impermeabilizantes 0.5% a 4.0% del peso del cemento	Disminuyen la absorción de humedad Aumentan la impermeabilidad	- Concretos subterráneos - Losas de cubierta - Pisos impermeables empastados exteriores - Estanques de concreto.	El empleo de impermeabilizantes se debe completar con una buena dosificación, compactación y curado de las mezclas.
7) Expansores 2 a 3 gramos por saco de cemento	Producen una ligera expansión de la masa de concreto, contrarrestando las contracciones de éste	- Rellenos de cavidades y grietas - Anclajes de pernos y estructuras - Grouting o lechadeado	

Tabla 9.1 Clasificación, características y aplicaciones de aditivos

10. CONCLUSIONES.

El trabajo ha sido desarrollado de manera ágil y sencilla para que los alumnos interesados en su consulta tengan acceso rápido y directo a los temas investigados, además, uno de los objetivos principales de este trabajo es darle un mayor conocimiento, ya que durante la vida académica del estudiante se comenta someramente, acerca del concreto de bajo revenimiento y con este trabajo tenemos la seguridad de que se cumplirá

También se ha dado a conocer a los estudiantes el proporcionamiento de mezclas para concretos de bajo revenimiento e incluso de revenimiento cero, así como sus métodos más comunes de obtención, y para hacerlo de manera fácil se han incluido tablas de dosificación de los materiales necesarios, basadas en pruebas realizadas por el ACI

Con el concreto de bajo revenimiento, se pueden tener ventajas y desventajas las cuales se mencionarán a continuación

Ventajas

- Mayor durabilidad por lo cual tiene mayor uso en construcciones en contacto con el agua de mar
- Gran resistencia, eso nos puede dar una reducción de las secciones y utilización mínima de acero
- Debido el uso de los aditivos (puzzolanas) baja el calor de hidratación y el agrietamiento térmico es reducido
- Mayor reutilización en las cimbras
- Productividad más alta y menor pérdida de producto durante el manejo y transporte
- La baja permeabilidad hace que se utilice en donde la durabilidad del concreto es afectada por la abrasión, erosión y ataque de sustancias químicas
- Un mejor control en la calidad de los materiales, colocación, vibración y curado
- Menor contenido de cemento, debido a la relación agua-cemento que nos da la resistencia, lo cual reduce notablemente el costo del concreto

Desventajas

- Con la disminución del contenido de agua, el concreto fresco tiene dificultad en su colocación y compactación
- Poca trabajabilidad lo que hace que se incluyan aditivos superfluidificantes y aumente su costo
- Generación de calor de hidratación y retracción por secado del concreto, en los casos donde no se haga uso de aditivos
- Se acostumbra limitar el agregado grueso a un tamaño de 19 mm o menos
- Estricto control de calidad en la selección y en las propiedades de los materiales.

Para la construcción con elementos prefabricados, las ventajas son

- a) Economía en mano de obra ya que se utiliza un sistema de construcción en serie y la programación de los trabajos hace que se reduzcan los tiempos perdidos o tiempos muertos

- b) Economía en cimbra ya que los moldes de los elementos prefabricados pueden ser diseñados para que su utilización sea de más veces que la de los elementos de concreto convencional
- c) Rapidez en la ejecución de los trabajos ya que su producción es en serie y los elementos pueden estar listos desde que se empieza a hacer la cimentación de la obra
- d) Son recuperables ya que se pueden dismantelar y ser utilizados en cualquier otra obra

Desventajas

- a) Pérdida de elementos en los procesos de transportación y montaje, hablando del producto terminado (losa extruída, block, durmiente, etc)
- b) Supervisión cuidadosa tanto en la fabricación por las medidas exactas como en las juntas de cada elemento
- c) Equipo especial para su fabricación
- d) Poca rigidez de algunas estructuras prefabricadas ya que como no es una estructura monolítica no se logra fácilmente
- e) El diseño de juntas y conexiones para darle continuidad a la estructura, este aspecto es el más delicado de las estructuras de elementos prefabricados
- f) La colocación de instalaciones, ya que con este tipo de estructuras no se pueden perforar como el concreto convencional para la introducción de las instalaciones sino que deben de preverse antes para que cuando se fabriquen se dejen esos espacios

Para la construcción con Concreto Compactado con Rodillos (CCR), se tienen las siguientes ventajas

Pavimentos

- a) Costos mas bajos que es asfalto a mediano y largo plazo
- b) Vida útil de 20 años, libre de mantenimiento.
- c) Mayor luminosidad y mayor seguridad
- d) Reduce el desgaste de los vehículos y el consumo de combustible
- e) Pueden construirse utilizando el equipo común y la mano de obra con la que cuentan las compañías constructoras de pavimentos

Presas

- a) El costo por m³ de concreto es más bajo que el del concreto convencional,
- b) Disminución del tiempo de ejecución de las obras, reduciendo así el costo de la obra
- c) Un menor control en la granulometría de los agregados, a diferencia de que en el concreto de bajo revenimiento se debe tener un estricto control de calidad, ya que el CCR permite tener materiales que pasen la malla 200 porque mejoran la compactación y aumentan la resistencia
- d) Menor consumo de cemento porque se puede utilizar mucho concreto pobre
- e) Menores costos de cimbrado debido a su colocación en capas
- f) La velocidad de utilización de equipo y de mano de obra son altos debido a la velocidad con la que se coloca el concreto
- g) Menor costo de transportación

Desventajas

- a) Utilización de equipo especial (compactadores de rodillos o placas vibratorias)
- b) Dificultad de unir concreto fresco con endurecido
- c) Operadores especiales para manejar el equipo de compactación
- d) Poca experiencia en el país

Para la construcción con concreto lanzado, las ventajas son las siguientes

- a) Excelente adherencia con la mayoría de los materiales siempre y cuando esté tratada debidamente
- b) Impermeabilidad
- c) Ahorro en cimbras y en mano de obra
- d) Mayor velocidad de colocación
- e) Colocación en superficies tanto verticales como horizontales y en áreas inaccesibles para el hombre
- f) Mayor resistencia contra las heladas
- g) Resistencia al corte y a la tensión pura o en flexión.

Desventajas

- a) Necesidad de equipo especial para su colocación
- b) Necesidad de operadores especializados para poder darle al concreto las propiedades necesarias
- c) El tamaño del agregado depende del equipo utilizado
- d) Desperdicio a la hora de la colocación
- e) La superficie debe ser sólida y limpia de polvo o arcillas y no debe de estar muy húmeda
- f) Necesidad de una malla y aditivos acelerantes para su adherencia en superficies poco consistentes

Para finalizar este trabajo de investigación, queremos comentar que lo realizado muestra conocimientos interesantes acerca de la construcción con concreto de bajo revenimiento, ya que para muchos alumnos de la institución es un tema un poco conocido, pero teniendo en cuenta que esto es solo una pequeña parte de la gran gama existente en el medio constructivo relacionado a este tema, por lo cual nos limitamos a tratar solo los conceptos básicos, ya que de lo contrario, haría que nos extendiéramos haciendo una investigación más profunda respecto a este tipo de concreto

Debemos tener en cuenta que este tipo de concreto está ganando terreno, primero se utilizó en el extranjero, pero poco a poco se está introduciendo en nuestro país y muchas de las obras masivas, marítimas y de comunicación se están construyendo de esta manera, por este motivo creímos conveniente darles a conocer, de manera breve, este trabajo y esperamos sea de provecho para los estudiantes y profesionistas

11. REFERENCIAS.

- 1 ACI (1988) *Roller compacted mass concrete* Título no 85-M44, Reporte ACI 207 5R, Journal of Materials/Septiembre-Octubre Páginas 400 a 429
- 2 ACI (1992) *Specifications for materials, proportioning and applications of shotcrete*. Journal of Materials ACI 506 2-90
- 3 ACI (1987) *Standar practice for selecting proportions for no-slump concrete* Journal of Materials ACI 211 3-75 Páginas 211 3-1 a 211 3-19
- 4 ACPA (1995) *Pavimentos de Concreto*. IMCYC, México
- 5 Alarcón, C y Trujillo, O (1996) *Construcción I y II* Trabajo de Investigación UPAEP, Puebla, México
- 6 Avitia, R (1977) *Pavimentos de Concreto* IMCYC, México
- 7 Cervantes, A (1994) *Aplicaciones del concreto compactado con rodillos en grandes presas*. IMCYC, Limusa, México
- 8 Gómez, J (1992) *Concreto compactado con rodillos* Asocreto México
- 9 IMCYC (1993) *Normas ASTM* Limusa, México

- 10 IMCYC (1993) *Proporcionamiento de mezclas* Limusa, México
- 11 IMCYC (1993) *Revenimiento del concreto*. Limusa, México
- 12 ITISA (1995) *Apuntes diversos* Tlaxcala, México
- 13 Kosmatka, S and Panarese, W (1988) *Design and Control of Concrete Mixtures* PCA, USA
- 14 Kumar, P y Monteiro, P (1998) *Concreto: Estructuras, propiedades y materiales* IMCYC, México
- 15 McMillan, F y Tuthill, L (1992) *Cartilla del Concreto* IMCYC, México
- 16 Mindess, S y Young, F (1981) *Concrete*. Prentice-Hall, USA
- 17 Pittman, D and Ragan, S (1987) *Drying shrinkage or roller compacted concrete for pavement applications* ACI
- 18 www.aci-int.org/ Página de Internet del ACI internacional

ANEXO A.

Coeficiente de multiplicación		Prefijo	Símbolo
1 000 000 000 000	10^{12}	Tera	T
1 000 000 000	10^9	Giga	G
1 000 000	10^6	Mega	M
1 000	10^3	Kilo	k
100	10^2	Hecto	h
10	10^1	Deca	da
0.1	10^{-1}	Deci	d
0.01	10^{-2}	Centi	c
0.001	10^{-3}	Mili	m
0.000 001	10^{-6}	Micro	μ
0.000 000 001	10^{-9}	Nano	n
0.000 000 000 001	10^{-12}	Pico	p
0.000 000 000 000 001	10^{-15}	Femto	f
0.000 000 000 000 000 001	10^{-18}	Atto	a

Tabla A 1 Múltiplos y Submúltiplos de la Unidad

Unidad del S.I.				
Cantidad Física	Nombre	Símbolo	Expresión en términos de otras unidades	Expresión en términos de las unidades básicas del S.I.
Fuerza	Newton	N	-----	$\text{Kg} \cdot \text{m/s}^2$
Presión	Pascal	Pa	N/m^2	$\text{Kg/m} \cdot \text{s}^2$

Tabla A 2 Unidades derivadas del Sistema Internacional (S I)

	Metros	Pulgadas	Pies	Yardas
Metros	1 0	39 37	3 28083	1 09361
Pulgadas	0 0254	1 0	0 0833	0 02778
Pies	0 3048	12 0	1 0	0 3333
Yardas	0.9144	36.0	3.0	1.0

Tabla A 3 Unidades de longitud.

	Kg/cm^2	Lbs/plg^2	Lbs/pie^2	Pascal
Kg/cm^2	1 0	14 2234	2048 17	98096 92
Lbs/plg^2	0 07031	1 0	144 0	6896.5517
Lbs/pie^2	0 0004882	0 006944	1 0	47 8698
Pascal	0 0000102	0 000145	0 02089	1 0

Tabla A 4 Unidades de Fuerza o Peso por unidad de superficie, Presión

	Newton	Libra	Kg fuerza
Newton	1 0	0 2248	0 102
Libra	4 448	1 0	0 4536
Kg fuerza	9 807	2 205	1 0

Tabla A 5 Unidades de Fuerza (en condiciones de Gravedad Normal $g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

ANEXO B.

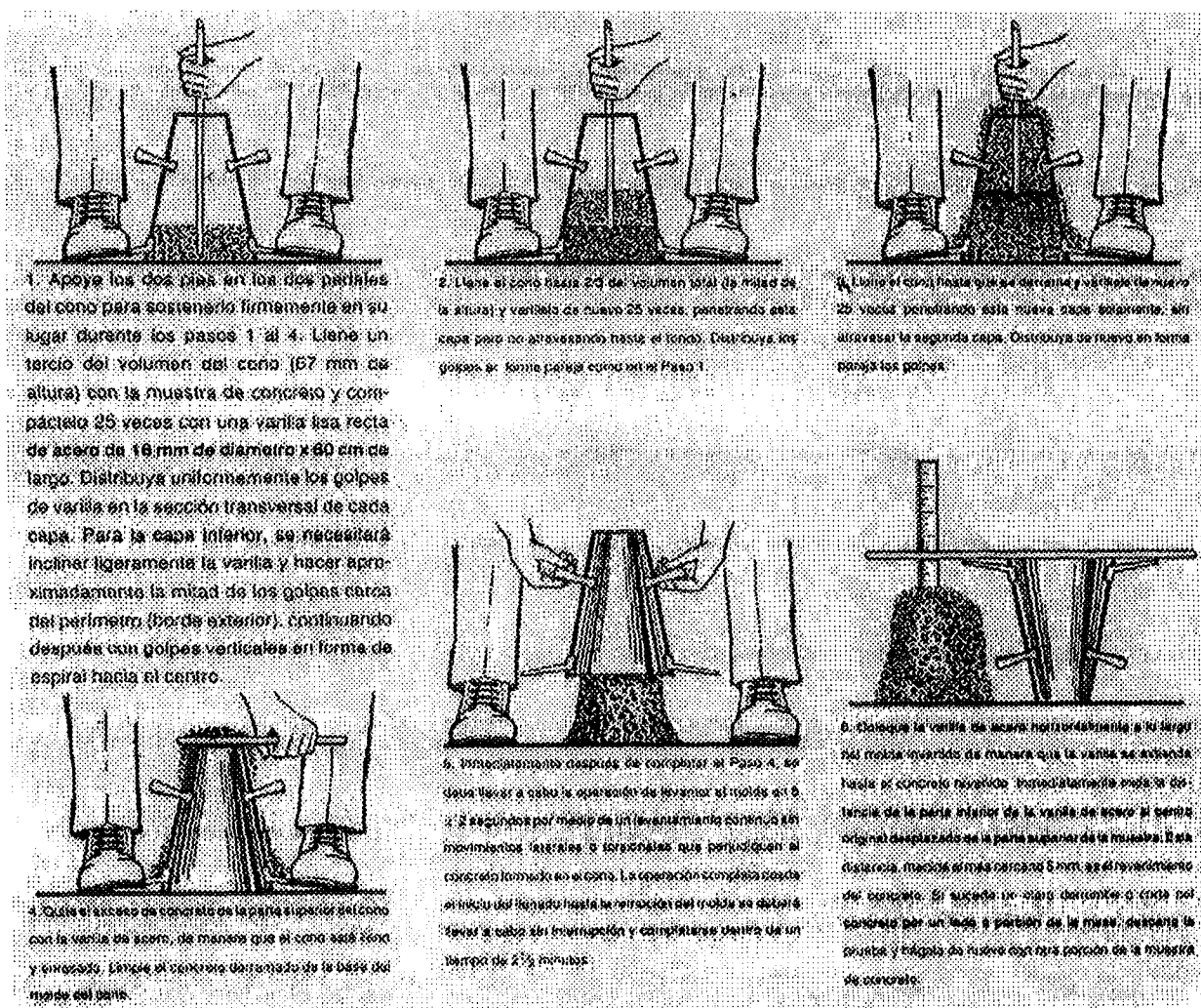


Figura B 1 Prueba de Revenimiento