



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISIÓN DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMATICA

**“LIMITES DE CONSISTENCIA
DE LOS AGREGDOS PARA
MEZCLAS DE CONCRETO”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A
M A N U E L G Ó M E Z G U T I É R R E Z

DIRECTOR DE TESIS
M.I. AGUSTÍN DEMÉNEGHI COLINA



CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO D.F.

AGOSTO 2009

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida.

A mis Papás:

Les dedico este trabajo, porque es resultado de los consejos, el cariño y sacrificios que realizaron para que pudiera lograr este objetivo. Gracias por el apoyo constante e incondicional que recibí de su parte durante toda mi formación académica. Gracias, porque a pesar de la distancia siempre estuvieron conmigo en los momentos en los que más los necesitaba. Por ser el ejemplo que me motiva siempre a seguir superándome y por impulsarme para conseguirlo.

A Rosamba y Mini:

Por su ejemplo, sus consejos y apoyo en los momentos difíciles de mi carrera. Gracias por darme ánimos para poder llegar hasta este logro, que definitivamente no hubiese podido hacer realidad sin ustedes.

A Tisiquita:

Por tu cariño y valiosa ayuda para alcanzar este objetivo, por estar conmigo durante gran parte de mi paso por las aulas de nuestra Facultad. Gracias por compartir esos momentos de estudio y desvelo, pero también aquellos de esparcimiento, por tu comprensión y paciencia en momentos de tensión en los que siempre me acompañaste, y por alentarme siempre a seguir adelante.

A la Facultad de Ingeniería y a la UNAM, por darme el privilegio de adquirir los conocimientos y bases para mi formación profesional en sus aulas. Por hacerme sentir orgulloso y haber realizado el sueño de pertenecer a la máxima casa de estudios de este país.

A los Ingenieros Mario A. Estrada, José Juan Flores y Roberto Uribe:

Un agradecimiento y dedicatoria muy especial, por guiarme en el desarrollo de este trabajo, por la confianza, el tiempo y compromiso dedicados para que esta investigación fuera realizada. Porque me han transmitido parte de su experiencia como Ingenieros y me han permitido crecer profesionalmente.

Al M.I. Agustín Deméneghi:

Por el tiempo dedicado en la revisión de este trabajo, y por todos los conocimientos que me transmitió como profesor.

A todos mis profesores:

Por transmitirme de la mejor forma sus conocimientos y experiencia.

A mi tío Mario:

Por estar pendiente en gran parte de mi formación académica, ante la ausencia de mis papás.

A mi amigo Rodrigo:

Por enseñarme que no todo en la vida de estudiante es precisamente estudiar, sino que también nos podemos divertir sin dejar de ser responsables.

A mis amigos:

José Luis (Misterioso), José Palacios, Ricardo Durán, Karo, Clement, Alejandro (Carnal) por compartir conocimientos, dudas, y por todos los buenos momentos que pasamos durante nuestra estancia en la Facultad de Ingeniería.

ÍNDICE

	Pag.
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	3
I. AGREGADOS PARA CONCRETO.	4
I.1. ASPECTOS GENERALES Y DEFINICIONES.	4
I.2. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS.	5
I.3. CARACTERÍSTICAS INTRINSECAS.	10
I.4. CARACTERÍSTICAS MODIFICABLES	14
II LÍMITES DE CONSISTENCIA Y CONTRACCIÓN LINEAL DE LOS AGREGADOS.	19
II.1. LÍMITES DE CONSISTENCIA.	19
II.2. CONTRACCIÓN LINEAL.	21
II.3. MÉTODOS Y PROTOCOLOS DE PRUEBA PARA CARACTERIZAR LAS PARTÍCULAS FINAS DE LOS AGREGADOS.	21
III CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTICULAS FINAS DE LOS AGREGADOS.	28
III.1. PROPIEDADES GENERALES DE LAS PARTÍCULAS FINAS.	28
III.2. ESTRUCTURA DE LAS ARCILLAS.	31
III.3. DETERMINACIÓN CONTENIDO DEL PARTÍCULAS FINAS EN LOS AGREGADOS.	32
IV LÍMITES PERMISIBLES POR LA NORMA NMX C-111 RESPECTO AL CONTENIDO DE FINOS EN LOS AGREGADOS PARA CONCRETO.	34
IV.1. NORMA NMX C-111, ESPECIFICACIONES.	34
IV.2. CASO DE ESTUDIO.	35
IV.3. PRUEBAS REALIZADAS EN DIFERENTES TIPOS DE AGREGADOS FINOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.	37
V ESTUDIO PRÁCTICO EN MEZCLAS DE CONCRETO.	40
V.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA UN DISEÑO DE MEZCLAS.	40
V.2. DISEÑO DE MEZCLAS PARA CONCRETOS DE BAJA CONTRACCIÓN.	41
V.3. CONTRACCIÓN POR SECADO OCACIONADA POR EL CONTENIDO EN EXCESO DE FINOS EN EL CONCRETO.	53
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN CONCRETO.	68
VI.1. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE PARTÍCULAS MÁS FINAS QUE LA CRIBA 0.075MM (NO. 200) POR MEDIO DE LAVADO.	68
VI.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA Y CONTRACCIÓN LINEAL OBTENIDOS.	69

VI.3. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES EN CONCRETO FRESCO OBTENIDAS.	72
VI.4. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÀNICAS OBTENIDAS EN CONCRETO ENDURECIDO.	53
CONCLUSIONES.	82
BIBLIOGRAFÍA.	
REFERENCIAS.	

INTRODUCCIÓN.

El concreto es un material artificial, formado básicamente por agregado, pasta y aditivos en cantidades predeterminadas. La pasta compuesta de cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente, une a los agregados para formar una masa semejante a una roca, pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el Cemento y el agua.

Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 % del volumen total del concreto. El volumen absoluto del Cemento está comprendido usualmente entre el 7 y el 15 % y el agua ocupa entre el 14 y el 21 %. El contenido de aire puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente 60 al 75% del volumen, e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclados y endurecidos, en las proporciones de la mezcla, y en la economía.

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

Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido, se pueden modificar agregando aditivos, usualmente en forma líquida, durante su dosificación. Los aditivos se usan comúnmente para:

1. Ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento.
2. Reducir la demanda de agua.
3. Aumentar la trabajabilidad.
4. Incluir intencionalmente aire, y
5. Ajustar otras propiedades del concreto, como son: el revenimiento, curado, entre otras.

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

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

La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

Consecuentemente con ello, el comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

1. Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida.
2. La calidad propia de los agregados, en el sentido más amplio.
3. La afinidad de la matriz cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.

En el primer aspecto debe contemplarse la selección de un cementante apropiado, el empleo de una relación agua/cemento conveniente y el uso eventual de un aditivo necesario, con todo lo cual debe resultar potencialmente asegurada la calidad de la matriz cementante.

En cuanto a la calidad de los agregados, es importante adecuarla a las funciones que debe desempeñar la estructura, a fin de que no representen el punto débil en el comportamiento del concreto y en su capacidad para resistir adecuadamente y por largo tiempo los efectos consecuentes de las condiciones de exposición y servicio a que esté sometido.

Finalmente, la compatibilidad y el buen trabajo de conjunto de la matriz cementante con los agregados, depende de diversos factores tales como las características físicas y químicas del cementante, la composición mineralógica y petrográfica de las rocas que constituyen los agregados, y la forma, tamaño máximo y textura superficial de éstos.

OBJETIVO.

Este trabajo, con ayuda de los límites de consistencia, tiene por objetivo realizar un análisis y caracterización de las partículas finas contenidas en los agregados. Estudiar uno de los efectos producidos por estas partículas en el concreto, así como comprobar si los límites establecidos por la norma NMX C-111 ONNCCE-2004 respecto al contenido de finos se pueden superar sin afectar las características del concreto en estado fresco o endurecido cuando estos no son plásticos.

Capítulo I.

AGREGADOS PARA CONCRETO.

I.1. ASPECTOS GENERALES Y DEFINICIONES.

Agregado es un material granular, el cual puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria usado con un medio cementante para formar concreto o mortero.

Para fines prácticos, los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar de 0.075mm (malla 200) hasta 4.75mm (malla No. 4); El agregado grueso es la porción predominantemente retenida en la malla No. 4 (4.75mm) y su tamaño puede variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente en estructuras de concreto es el de 20 mm o el de 25 mm.

Como los agregados constituyen aproximadamente el 70% a 85% del peso total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo, deben consistir en partículas con resistencia adecuada, durables, limpias, duras, así como resistentes a condiciones de exposición a la intemperie, libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia a la pasta de cemento, así como materiales que pudieran causar deterioro del concreto. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Los agregados que contengan cantidades significativas de esquistos o de otras rocas esquistas, de materiales suaves y porosos, y ciertos tipos de horsteno deberán evitarse en especial, puesto que tienen baja resistencia al intemperismo y pueden ser causa de defectos en la superficie tales como erupciones.

I.2. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS.

I.2.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN SU ORIGEN.

Una primera razón para establecer diferencia entre los agregados, debe ser el distinto origen de las rocas de las cuales provienen. La definición del origen y la composición de las rocas es un asunto útil y necesario, porque permite inferir ciertos aspectos relacionados con el comportamiento físico y químico de las mismas al ser utilizadas como agregados en el concreto.

Por su génesis geológica, las rocas se dividen en ígneas, sedimentarias y metamórficas, las que a su vez se subdividen y clasifican en diversos tipos de acuerdo con sus características de textura y mineralógicas.

ROCAS IGNEAS.

Las rocas ígneas, o endógenas, proceden de la solidificación por enfriamiento de la materia fundida (magma) y pueden dividirse en dos grupos: las rocas intrusivas, o plutónicas, que provienen del enfriamiento lento que ocurre inmediatamente abajo de la superficie terrestre, y las extrusivas, o volcánicas, que se producen por el enfriamiento rápido del material que es expulsado en las erupciones volcánicas (derrames lávicos y eventos piroclásticos). Las rocas ígneas se clasifican por su textura, estructura y composición mineralógica y química, de igual modo que las otras clases de rocas.

ROCAS SEDIMENTARIAS.

Las rocas sedimentarias, como su nombre lo indica, son el resultado del proceso de transporte, depósito y eventual litificación, sobre la corteza terrestre, de los productos de intemperismo y erosión de otras rocas preexistentes; proceso que frecuentemente se produce bajo el agua, pero también puede ocurrir en el ambiente atmosférico. Su grado de consolidación puede ser muy variable, desde un estado muy compacto en antiguos sedimentos, hasta un estado prácticamente sin

consolidar en sedimentos cuyo proceso es relativamente reciente o no existen condiciones favorables para su consolidación. De acuerdo con el tamaño de sus partículas, estos sedimentos no consolidados se identifican como gravas, arenas, limos y arcillas.

ROCAS METAMORFICAS.

Las rocas metamórficas se forman como consecuencia de procesos que involucran altas presiones y temperaturas y de fuerzas que se generan en la corteza terrestre, cuyos efectos pueden manifestarse sobre rocas ígneas, sedimentarias e inclusive metamórficas previamente formadas. Tales efectos se traducen en alteraciones de la textura, estructura y composición mineralógica, e incluso química, de las rocas originales. Las rocas metamórficas resultantes pueden ser de estructura masiva, pero con mayor frecuencia presentan estructura laminar, o foliada, de manera que al desintegrarse pueden producir fragmentos con tendencia tabular, de acuerdo con su grado de foliación.

La estructura laminar, característica de los agregados provenientes de rocas metamórficas afectan la trabajabilidad de concreto y con ello también pueden alterar la relación agua/cemento, demandando mayor cantidad de cemento y aditivos para contrarrestar los efectos negativos que esto pueda tener en la resistencia del concreto, lo cual finalmente se traduce en un mayor costo en la fabricación del concreto.

Para definir el origen geológico y la composición mineralógica de las rocas que integran los agregados, y para hacer una estimación preliminar de su calidad físico-química, se acostumbra realizar el examen petrográfico (NMX-C-265-1984)¹ aplicando una nomenclatura normalizada.

¹ Norma Mexicana para la Industria de la Construcción (Agregados para concreto – Examen petrográfico) emitida por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México 1984.

I.2.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL MODO DE FRAGMENTACIÓN.

El modo de fragmentación es la diferenciación del agregado en base al proceso de obtención del mismo. Este le da el grado de clasificación, dividiéndose en:

- Naturales.
- Manufacturados (Triturados).
- Mixtos y
- Artificiales.

Agregados Naturales:

Dado que existen numerosas fuerzas y eventos de la naturaleza capaces de ocasionar la fragmentación de las rocas, los productos fragmentados también suelen presentar variadas características como consecuencia del distinto modo de actuar de las fuerzas y eventos causantes. Esto, sumado a la diversidad de clases y tipos de rocas, da por resultado una amplia variedad de características en los agregados cuya fragmentación es de origen natural.

Agregados Manufacturados:

Son aquellos que se extraen de rocas de gran tamaño y que pasan por un proceso mecánico de reducción de materiales o trituración, comprendida entre los tamaños de entrada de 1 metro a 1 centímetro, diferenciándose en trituración primaria (de 1 m a 10 cm) y trituración secundaria (de 10 cm a 1 cm).

Agregados Artificiales

Proviene muchas veces de concreto reciclado, o concreto de desperdicio triturado, esta es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde escaseen agregados de calidad.

I.2.3. CLASIFICACIÓN POR EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS.

El tamaño de partículas es la división de los agregados en dos fracciones cuya frontera nominal es la malla No. 4, y que pueden ser dosificadas en forma individual, en donde es conveniente que cada fracción contenga todos los tamaños de partícula que sean factibles de acuerdo a condiciones técnicas, de costo y de práctica.

- Agregado grueso (grava)
- Agregado fino (arena)

Agregado grueso.

El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad. El tamaño mínimo será de 4.75 mm. El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo.

La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada deberá ser generalmente equidimensional y deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. Es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica, para que esta influya sobre la manejabilidad de la mezcla, aunque sus efectos no sean tan notorios (en cuanto a esta característica del concreto), como los producidos por la arena.

Para analizar la composición granulométrica de la grava en conjunto, se le criba por mallas cuyas aberturas se seleccionan de acuerdo con el intervalo dimensional dado por su tamaño nominal o máximo, buscando dividir este intervalo en suficientes fracciones que permitan juzgar su distribución de tamaño a fin de compararla con los límites granulométricos que le sean aplicables.

Por otra parte, para la utilización de la grava en la elaboración del concreto, se acostumbra subdividirla en fracciones que se manejan y dosifican individualmente en proporciones adecuadas para integrar la curva granulométrica requerida en la grava total.

Agregado fino.

El agregado fino consiste en arena natural proveniente de canteras aluviales, roca triturada o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos y durables.

En la producción artificial del agregado fino no deben utilizarse rocas que se quiebren en partículas laminares, planas o alargadas, independientemente del equipo de procesamiento empleado.

La composición granulométrica de la arena se acostumbra analizar mediante su separación en siete fracciones, cribándola a través de mallas normalizadas como "serie estándar", cuyas aberturas se duplican sucesivamente a partir de la más reducida que es igual a 0.150 mm (ASTM No.100). De esta manera, para asegurar una razonable continuidad en la granulometría de la arena, las especificaciones de agregados para concreto requieren que en cada fracción exista una proporción de partículas comprendida dentro de ciertos límites establecidos empíricamente.

En general, el agregado fino o arena no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales. El agregado fino deberá estar bien gradado entre los límites fino y grueso y deberá llegar a tener la granulometría siguiente:

Tamiz U.S.Standard	Dimensión de la malla (mm.)	Porcentaje en peso que pasa
Nº 3/8"	9.52	100
Nº 4	4.75	95 - 100
Nº 8	2.36	80 - 100
Nº 16	1.18	50 - 85
Nº 30	0.60	25 - 60
Nº 50	0.30	10 - 30
Nº 100	0.15	2 - 10

Tabla I.1. Granulometría ideal para un agregado fino.

I.3 CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS.

Al examinar la aptitud física de los agregados en general, es conveniente diferenciar las características que son inherentes a la calidad esencial de las rocas constitutivas, de los aspectos externos que corresponden a sus fragmentos. Entre las características físicas que contribuyen a definir la calidad intrínseca de las rocas, destacan su peso específico, sanidad, porosidad y absorción, resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, módulo de elasticidad y propiedades térmicas.

I.3.1. PESO ESPECÍFICO.

El ***peso específico*** de una sustancia se define como el peso por unidad de volumen. En el caso de los agregados, para la evaluación de su densidad se emplea la Gravedad Específica, que es el resultado de:

El peso en el aire del volumen de agregado en estado SSS (Saturado Superficialmente Seco) entre el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada libre de aire, a la misma temperatura (adimensional). De acuerdo con esto, los agregados se clasifican de la siguiente forma:

- Baja densidad
- Ligeros
- Ligeros estructurales
- Normal
- Pesado

I.3.2. POROSIDAD Y ABSORCIÓN.

La porosidad de un cuerpo sólido es la relación de su volumen de vacíos entre su volumen total, incluyendo los vacíos, y se expresa como porcentaje en volumen. Todas las rocas que constituyen los agregados de peso normal son porosas en mayor o menor grado, pero algunas poseen un sistema de poros que incluye numerosos vacíos relativamente grandes, que en su mayoría se hallan

interconectados, y que las hace permeables. De este modo algunas rocas, aunque poseen un bajo porcentaje de porosidad, manifiestan un coeficiente de permeabilidad comparativamente alto, es decir, más que el contenido de vacíos influye en este aspecto su forma, tamaño y distribución.

Absorción es el incremento en la masa de un cuerpo sólido poroso como resultado de la penetración de un líquido dentro de sus poros permeables.

La cuantificación de esta característica de los agregados, permite evaluar el porcentaje de agua que permanecerá en el núcleo de estos cuando se integren a una mezcla de concreto; en otras palabras sabremos que porcentaje de agua le quitarán los agregados a la pasta y si esto afectará la relación agua/cemento.

Para obtener el porcentaje de absorción de un agregado, se sumerge en agua, al término de 24 horas de saturación, se saca del agua para llevarlo a su estado SSS (Saturado Superficialmente Seco). Se toma el peso del agregado en estado SSS y se deja secar completamente para tomar su peso seco y obtener la diferencia en pesos.

La siguiente formula nos proporciona la absorción de un agregado en porcentaje:

$$\%ABS = \frac{M_{SSS} - M_{MS}}{M_{MS}} * 100$$

Donde:

%ABS: es la absorción del agregado expresada en porcentaje

M_{SSS}: es la masa del agregado en estado Saturado Superficialmente Seco.

M_{MS}: es la masa de la muestra seca.

I.3.3. SANIDAD.

En la terminología aplicable, la sanidad se define como la condición de un sólido que se halla libre de grietas, defectos y fisuras. Particularizando para el caso de los agregados, la sanidad se describe como su aptitud para soportar la acción agresiva a que se exponga el concreto que los contiene, especialmente la que corresponde al intemperismo. En estos términos, resulta evidente la estrecha

relación que se plantea entre la sanidad de los agregados y la durabilidad del concreto en ciertas condiciones.

Para evaluar esta característica, se somete el agregado a ciclos consecutivos de saturación de sulfato de sodio (NaSO_4) o sulfato de magnesio (MgSO_4) y secado acelerado en horno.

Al término de cinco ciclos se criba el material y se cuantifica la cantidad que resultó afectado.

1.3.4. RESISTENCIA MECÁNICA

En el concreto las partículas de los agregados permanecen dispersas en la pasta de cemento y de este modo no se produce cabal contacto permanente entre ellas. Es por ello que la resistencia mecánica del concreto endurecido, depende más de la resistencia de la pasta de cemento y de su adherencia con los agregados, que de la resistencia propia de los agregados.

Sin embargo, cuando se trata del concreto de muy alta resistencia, con valores superiores a los 500 kg/cm², o del concreto compactado con rodillo (CCR) en que sí se produce contacto entre las partículas de los agregados, la resistencia mecánica de éstos adquiere mayor influencia en la del concreto.

El ensaye más representativo de la resistencia mecánica es la evaluación de la resistencia por aplastamiento, la cual se evalúa de acuerdo a:
La aplicación de una carga de 40 Ton a un conjunto confinado de partículas de 10-14mm. y posterior cuantificación de los finos producidos cribando el material por una malla N° 8 (2.36mm.).

1.3.5. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN.

La resistencia que los agregados gruesos oponen a sufrir desgaste, rotura o desintegración de partículas por efecto de la abrasión, es una característica que

suele considerarse como un índice de su calidad en general, y en particular de su capacidad para producir concretos durables en condiciones de servicio donde intervienen acciones deteriorantes de carácter abrasivo. Asimismo, se le considera un buen indicio de su aptitud para soportar sin daño, las acciones de quebrantamiento que frecuentemente recibe el agregado grueso en el curso de su manejo previo a la fabricación del concreto.

La resistencia a la abrasión es la estimación de la cantidad de finos generados, por los efectos combinados del impacto y la abrasión, producidos por una carga de esferas metálicas (11 ó 12 esferas) dentro de un cilindro giratorio (Máquina de los Ángeles), con revoluciones fijas (de 500-1000 revoluciones) dependiendo de los tamaños de los agregados a caracterizar. Los finos producidos se separan por medio de cribado, empleando la malla Nº 12.

1.3.6. MÓDULO DE ELASTICIDAD.

Es la relación del esfuerzo normal (σ) y su correspondiente deformación (ϵ) para el esfuerzo de compresión bajo el límite del material.

Las propiedades elásticas del agregado grueso, son características que interesan en la medida que afectan las correspondientes del concreto endurecido, en particular su módulo de elasticidad y su relación de Poisson.

Al igual que para la resistencia mecánica no hay una especificación definida para esta propiedad, evaluándose su comportamiento en forma directa en el concreto que los contiene.

1.3.7. PROPIEDADES TÉRMICAS.

El comportamiento del concreto sometido a cambios de temperatura, resulta notablemente influido por las propiedades térmicas de los agregados; sin embargo, como estas propiedades no constituyen normalmente una base para la selección de los agregados, lo procedente es verificar las propiedades térmicas que manifiesta el

concreto, para tomarlas en cuenta al diseñar aquellas estructuras en que su influencia es importante. Entre las propiedades térmicas del concreto, la que interesa con mayor frecuencia para todo tipo de estructuras sujetas a cambios significativos de temperatura, es el coeficiente de expansión térmica lineal, que se define como el cambio de dimensión por unidad de longitud, que ocurre por cada grado de variación en la temperatura, y que se expresa de ordinario en millonésima/°C.

	COEFICIENTES TÉRMICOS PROMEDIOS
Agregados	1-16 millonésimas/°C
Pasta de Cemento	10-21 millonésimas/°C
Concreto convencional	6-14 millonésimas/°C

Tabla I.2. Coeficientes térmicos aproximados de agregados y concreto.

I.4 CARÁCTERÍSTICAS MODIFICABLES.

I.4.1. GRANULOMETRÍA.

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma NMX-C-077-1997 ONNCCE)². El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar para agregado fino tienen aberturas que varían desde la malla No. 100(150 micras) hasta 3/8" (9.52 mm). En cuanto al agregado grueso, las aberturas de las mallas varían desde la malla 2½" (63.5 mm.) hasta la malla No.8 (2.36mm) dependiendo de su tamaño máximo o nominal.

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto. Por ello, cuando se pretenda modificar la granulometría de

² Norma Mexicana para la Industria de la Construcción (Agregados para concreto - Análisis Granulométrico) emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., México 1997.

un agregado se debe analizar cuidadosamente la manera de ajustar la curva granulométrica mediante cambios en el proceso de trituración (si se trata de agregados manufacturados o artificiales) ó si se requiere hacer una combinación de agregados en proporciones adecuadas a los requerimientos de la estructura de concreto.

1.4.2. TAMAÑO MÁXIMO.

En un conjunto de partículas de agregados para concreto, es pertinente distinguir entre el tamaño máximo efectivo y el que se designa como tamaño máximo nominal.

El primero se identifica con la malla de menor abertura en que alcanza a pasar efectivamente el total de las partículas del conjunto, cuando se le criba sucesivamente en mallas cuyas aberturas se incrementan gradualmente. La determinación de este tamaño máximo es necesaria cuando se analizan granulométricamente muestras representativas de depósitos naturales, a fin de conocer el tamaño máximo disponible en el depósito en estudio; y su verificación es una medida de control indispensable durante el suministro del agregado grueso ya clasificado, previamente a su empleo en la fabricación del concreto, para prevenir que se le incorporen partículas mayores de lo permitido, que pueden ocasionar dificultades en su elaboración, manejo y colocación.

El tamaño máximo nominal del agregado es el que se designa en las especificaciones como tamaño máximo requerido para el concreto de cada estructura en particular, y se define de acuerdo con diversos aspectos tales como las características geométricas y de refuerzo de las estructuras, los procedimientos y equipos empleados para la colocación del concreto, el nivel de la resistencia mecánica requerida en el concreto, etc. Debido a la dificultad práctica de asegurar una dimensión máxima precisa en el tamaño de las partículas durante la clasificación y el suministro del agregado grueso, es usual conceder una tolerancia dimensional con respecto al tamaño máximo nominal, pero limitando la proporción de partículas que pueden excederlo. De esta manera, no basta con especificar el tamaño máximo nominal, sino que también es necesario definir el tamaño máximo efectivo permisible y la proporción máxima de partículas que puede admitirse entre el tamaño máximo nominal y el efectivo, es decir, lo que constituye el sobretamaño nominal tolerable.

El ACI recomienda que para elegir el tamaño máximo del agregado se tomen en cuenta las siguientes consideraciones:

- No exceder de $1/5$ de la menor dimensión entre lados de cimbra.
- No exceder de $1/3$ el peralte de las losas.
- No exceder de $3/4$ partes el espaciamiento libre entre varillas.

I.4.3. FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL.

La forma puede ser definida por el radio de los tres ejes principales.

La textura superficial se define como el grado de rugosidad o tersura superficial. Es la estimación visual por medio del estudio petrográfico.

La forma de los agregados puede definirse mediante el coeficiente de forma, el cual es la relación entre el volumen de la partícula y el volumen de la esfera en que resulta inscrita.

MAGNITUD	CLASIFICACIÓN
< 0.15	Forma inconveniente
0.15 - 0.20	Forma regular
>0.20	Buena forma

Tabla I.3. Clasificación de los coeficientes de forma de los agregados.

I.4.4. MATERIALES CONTAMINANTES.

Existen diversos materiales que con cierta frecuencia acompañan a los agregados, y cuya presencia es inconveniente por los efectos adversos que producen en el concreto. Entre dichos materiales contaminantes, los más comunes son los finos indeseables (limo y arcilla), la materia orgánica, el carbón, el lignito, las partículas ligeras y los terrones de arcilla y otras partículas desmenuzables.

Si bien lo deseable es disponer de agregados completamente libres de estas materias perjudiciales, en la práctica esto no siempre es factible, por lo cual se

hace necesario tolerarlas en proporciones suficientemente reducidas para que sus efectos nocivos resulten poco significativos.

Partículas inconvenientes.

Entre los contaminantes más comunes de los agregados, hay fragmentos de materiales de calidad inadecuada que con cierta frecuencia se encuentran estos, principalmente en los de origen natural. Entre dichos materiales inconvenientes cabe mencionar las partículas suaves y desmenuzables, como los terrones de arcilla y los fragmentos de rocas alteradas, las partículas ligeras como las de carbón y lignito y las de rocas muy porosas y débiles.

El limo es el material granular fino, sin propiedades plásticas, cuyas partículas tienen tamaños normalmente comprendidos entre 2 y 60 micras aproximadamente, en tanto que la arcilla corresponde al material más fino integrado por partículas que son menores de 2 micras y que sí posee propiedades plásticas.

Si bien, los agregados no determinan completamente la resistencia del concreto, el alto contenido de limos y arcillas, si afectan la resistencia mecánica del concreto, la resistencia a la abrasión y al desgaste por intemperismo. Por ello estas partículas se deben evitar en concretos para pavimentos y en estructuras que estén expuestas a la erosión por el agua.

Materia orgánica.

La materia orgánica que contamina los agregados suele hallarse principalmente en forma de humus, fragmentos de raíces y plantas, y trozos de madera. La contaminación excesiva con estos materiales, básicamente en la arena, ocasiona interferencia en el proceso normal de hidratación del cemento, afectando la resistencia y durabilidad del concreto.

Sales inorgánicas.

Las sales inorgánicas que ocasionalmente pueden hallarse como contaminación en los agregados de origen natural son los sulfatos y los cloruros, principalmente estos últimos, como ocurre en los agregados de procedencia marina.

La presencia excesiva de estas sales en el seno del concreto es indeseable por los daños que pueden ocasionar, si bien difieren en su forma de actuar y en la manifestación e intensidad de sus efectos.

Los porcentajes de sustancias dañinas en cada fracción del agregado grueso, en el momento de la descarga en la planta de concreto, no deberán superar los siguientes límites:

SUSTANCIA	NORMA	LÍMITE MÁXIMO (%)	
		GRAVAS	ARENAS
Material que pasa por el tamiz No. 200 (Por medio de lavado)	NMX C-084-ONNCCE-2006 ³	máx. 2	Máx. 5
Contracción lineal	NMX C-416 -ONNCCE-2003 ⁴	máx. 2	Máx. 2
Partículas deleznales	NMX C-071 - 1983 ⁵	máx. 3	Máx. 3
Pérdida por intemperismo (Con solución de sulfato de sodio Na ₂ SO ₄)	NMX C-075-1997-ONNCCE ⁶	máx. 12	Máx. 12
Pérdida por abrasión en la máquina de Los Ángeles (Concreto estructural / Concreto para Pavimentos)	NMX C-196-1984 ⁷	máx. 50/50	No aplica.

Tabla I.4. Límites permisibles de propiedades y sustancias dañinas en los agregados.

³ Norma Mexicana para la Industria de la Construcción (Agregados para concreto – Partículas más finas que la criba 0.075 mm No. 200) emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., México 2006.

⁴ Norma Mexicana para la Industria de la Construcción (Agregados para concreto – Muestreo de estructuras terreas) emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., México 2003.

⁵ Norma Mexicana para la Industria de la Construcción (Agregados para concreto – Determinación de Terrones de arcilla y partículas deleznales) emitida por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México 1983.

⁶ Norma Mexicana para la Industria de la Construcción (Agregados para concreto – Determinación de la Sanidad por medio de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio) emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., México 2006.

⁷ Norma Mexicana para la Industria de la Construcción (Agregados para concreto – Resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregado grueso usando la máquina de los ángeles) emitida por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México 1983.

Capítulo II.

LÍMITES DE CONSISTENCIA Y CONTRACCIÓN LINEAL DE LOS AGREGADOS.

II.1. LÍMITES DE CONSISTENCIA Y PLASTISIDAD.

En este subtema se presentan teoría general y conceptos de la mecánica de suelos que son aplicables en el estudio y caracterización de los agregados utilizados en mezclas de concreto, pues su origen y comportamiento mecánico no es muy distinto entre sí, aunque los fines para los cuales sirvan sí lo sean.

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los agregados o suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua.

Según su contenido de agua en orden decreciente, un agregado fino susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia:

1. Estado Líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
2. Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
3. Estado plástico, en el que el agregado se comporta plásticamente.
4. Estado semisólido, en el que el agregado tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye su volumen por estar sujeto a secado.
5. Estado sólido, en que el volumen del suelo no varía con el secado.

Los estados anteriores son fases por las que pasa un agregado o un suelo al irse secando y no existen criterios estrictos para distinguir sus fronteras. Dichas fronteras se establecen únicamente en forma convencional. Mediante estudios hechos en laboratorio se han establecido los arreglos para ello, bajo el nombre de *límites de consistencia*.

En los agregados por ejemplo, el polvo de las gravas o las partículas más finas de las arenas, al agregarles agua, pueden pasar progresivamente del estado

sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido. La frontera convencional entre los estados semilíquido y plástico es conocida como *límite líquido*.

La frontera convencional entre los estados plástico y semisólido es conocida como *límite plástico*. Estas dos fronteras definen el intervalo plástico de un agregado y se les atribuye el nombre de *límites de plasticidad*, entendiéndose por plasticidad: la propiedad que tienen algunos agregados de deformarse sin agrietarse, ni producir rebote elástico y sin cambio de volumen.

Ahora bien, la transición de un estado al siguiente es gradual; sin embargo, es conveniente definir límites arbitrarios pero claros correspondientes a los cambios de contenido de humedad:

LL= *límite líquido*: el contenido de humedad con el cual el suelo deja de ser líquido y pasa a plástico.

LP= *límite plástico*: el contenido de humedad con el cual el suelo deja de ser plástico y se convierte en un sólido semiplástico.

Como es de notarse, los dos puntos más importantes son los límites líquido y plástico, ya que representan, respectivamente, los extremos superior e inferior del estado plástico; el intervalo del estado plástico está determinado por su diferencia y recibe el nombre de *índice de plasticidad (IP)*.

$$IP = LL - LP$$

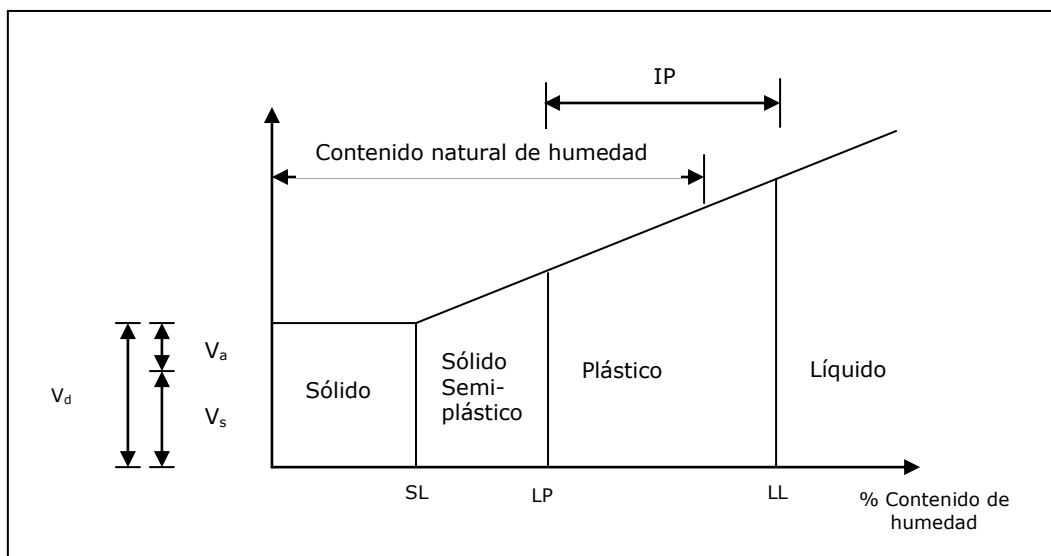


Figura II.1. Relaciones de consistencia.

Los agregados plásticos cambian su consistencia al variar su contenido de agua. De ahí que se puedan determinar sus estados de consistencia al variar dicho contenido si se conocen las fronteras entre ellas. Estos cambios se dan cuando la humedad en las masas de agregado varía.

II.2. CONTRACCIÓN LINEAL

Contracción lineal se define como la reducción en su mayor dimensión de un espécimen de forma prismática rectangular, elaborado con la porción de agregado que pasa la malla 0.425mm (No, 40) cuando su contenido de agua disminuye desde la correspondiente al límite líquido hasta la pérdida total de agua, expresada como un porcentaje de la dimensión inicial.

El conocer el porcentaje de contracción lineal que tienen las partículas finas de un agregado nos permite tener una idea del comportamiento que puede tener el agregado en el concreto, en especial durante su fraguado, ya que en esta etapa principalmente, la mezcla se encuentra bajo cambios constantes en su contenido de agua. Así mismo es conocido, que una característica indeseable del concreto es su predisposición a manifestar cambios volumétricos, particularmente contracciones, que suelen causar agrietamientos en las estructuras.

II.3. MÉTODOS Y PROTOCOLOS DE PRUEBA PARA OBTENER LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA Y CONTRACCIÓN LINEAL.

II.3.1. EQUIPOS APARATOS E INSTRUMENTOS.

1. Dispositivo de A. Casagrande calibrado para determinar el límite líquido, incluyendo la solera plana de 10mm y el ranurador plano.
2. Espátulas, capsula de porcelana, vidrios de reloj o equivalente, mortero, pizeta y gotero.
3. Horno eléctrico a temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
4. Balanza o báscula con aproximación de 0.01g.

5. Desecador de provisto con tapa hermética.
6. Molde de lámina galvanizada rígida del No. 16, con una sección cuadrada de 20mm por 20mm y 100mm de longitud.
7. Cribas No. 40 (0.425mm) y No. 4 (4.75mm)
8. Dispositivo de lucita para la determinación del límite de contracción.
9. Placa plana y lisa no absorbente, de 300mm por 300mm \pm 30mm mínimo.

II.3.2. MATERIALES AUXILIARES.

1. Alambre de 3.2mm (1/8") de ancho.
2. Brocha de cerda fina.
3. Frasco de vidrio de 100ml a 200ml.
4. Grasa grafitada.

II.3.3. CONDICIONES AMBIENTALES.

Para la realización de esta prueba se recomienda, que sea en un lugar que no este expuesto a cambio brusco de temperatura ambiente, siendo la mas recomendable entre los 15°C y 35 °C si es en otras condiciones anotarlos en el registro de la prueba correspondiente.

II.3.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Las pruebas de consistencia se hacen solamente con la fracción de agregado que pasa por la malla 0.425mm (No. 40).

Para determinar cuál proceso conviene, se seca al horno una muestra húmeda de material y se presiona con los dedos. Si se desmorona fácilmente, se usa el método de separación en seco (indica que el material es areno-limoso o limoso). En cambio, si la muestra ofrece considerablemente resistencia y los granos no pueden separarse, se requiere hacer la preparación con ayuda de agua (indica que el material es arcilloso).

II.3.4.1. MÉTODO SECO.

1. El material que pasa la malla No. 4 (4.75mm), se disgrega con ayuda de un mortero, teniendo cuidado de no llegar a romper los granos.
2. Se pasa el material a través de la malla No. 40 (0.425mm), desechando el que quede retenido.
3. Se pone en una capsula el material que ha pasado por dicha malla.
4. Se agrega agua y, con una espátula de cuchillo, se mezcla perfectamente hasta obtener una pasta suave y espesa.
5. Se guarda la muestra humedecida en un frasco durante 24 horas mínimo para que la humedad se distribuya uniformemente en todos los granos de la muestra.

II.3.4.2. MÉTODO CON CONTENIDO DE AGUA.

Cuando convenga aplicar este método, se sigue el mismo procedimiento que se usa en el análisis granulométrico por vía húmeda, con la diferencia que, en vez de colocar la malla No. 200 (0.074mm), se utiliza la No. 40 (0.425mm) y el material que se recoge no se introduce en el horno, sino que se deja evaporar hasta que tome la consistencia de una pasta suave, y en la misma forma que se explicó en el paso 5 del método seco, se guardan en frascos las muestras, incluyendo la porción que corresponde al límite plástico.

II.3.5 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO.

1. La copa de Casagrande antes de usarse, debe de ser ajustada para que ésta tenga una altura de caída de 1 cm, exactamente. Esta distancia se mide con la solera que tiene ese espesor.
2. Se da vuelta a la manija hasta que la copa esté elevada a su mayor altura y tomando como referencia el centro de percusión, se verifica la distancia entre ésta y la base; cuando la copa esté tangente a la solera en

el centro de percusión, se fija con los tornillos para evitar que se modifique esta altura.

3. La muestra ya preparada con anticipación (24 h mínimo), se pone en la placa de 300mm por 300mm, con ayuda de la espátula se homogeniza y se divide en partes aproximadamente iguales por medio de un cuarteo (evitando formar taludes).
4. De la muestra ya homogenizada, procurando utilizar los extremos opuestos del cuarteo realizado, se pone en la copa del aparato una cantidad de 150 g., aproximadamente; con una espátula se dispone el material de modo que, siendo la superficie superior plana, su espesor máximo sea del orden de 1 cm.
5. Se pone la punta del ranurador en la parte superior y al centro de la muestra, colocando la herramienta perpendicular a la superficie de la copa.
6. Se hace una ranura en el centro de la muestra, inclinando el ranurador de manera que permanezca perpendicular a la superficie inferior de la copa.
7. Después de asegurarse de que la copa y la base están limpias y secas, se da vuelta a la manija uniformemente a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes requerido hasta que cierre el fondo de la ranura una distancia de 13mm.
8. Se repiten las operaciones indicadas en los puntos 4 a 7 con los dos extremos opuestos sobrantes de la muestra cuarteada. Si el número de golpes coincide con la muestra anterior determinación o su diferencia es de un golpe, se anota el resultado en el registro respectivo, promediando el segundo caso. En caso de que la diferencia sea mayor de un golpe, se repite el proceso hasta lograr una coincidencia en los intervalos sucesivos.
9. Se determina la masa de los vidrios de reloj (o equivalente).
10. Se coloca una porción del material que esté próximo a la ranura en el vidrio de reloj para determinar su contenido de agua.
11. Se determina su masa con una aproximación de 0.01 g., en la columna tara muestra con contenido de agua ($W_m + t$) en el registro correspondiente.
12. Se repiten los pasos 3 a 11 para ir variando la consistencia del material. Se debe contar con cuatro determinaciones como mínimo, procurando estén comprendidas entre 5 golpes y 40 golpes.

13. Todos los vidrios de reloj conteniendo las muestras tomadas se introducen el horno a 110°C durante un periodo mínimo de 20 h \pm 4 h, para que sequen hasta masa constante. Una vez secos y fríos, se colocan dentro de un desecador para que no obtengan humedad, después se determina su masa y se anota en la columna tara + muestra seca (Wd+t) en su respectivo renglón del registro de prueba.
14. Se siguen los pasos necesarios para obtener el contenido de agua en por ciento (%), correspondiente a cada número de golpes y se construye la curva número de golpes contra contenido de agua en (%) en el rayado semi - logarítmico del registro de prueba.
15. El límite líquido se encuentra donde cruza la línea al contenido de agua en por ciento correspondiente a 25 golpes (LL).

II.3.6 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO.

1. Se toma aproximadamente la mitad de la muestra preparada en el frasco, según se indicó en la preparación de la muestra (punto 5 de apartado II.3.3.1.) procurando que tenga un contenido de agua uniforme, cercano al contenido de agua óptimo para poder realizar la prueba; se rueda con la mano en una superficie limpia y lisa no absorbente como una placa de vidrio, hasta formar un rollo cilíndrico de 3.2 mm de diámetro.
2. Se amasa la tira y se vuelve a rodar, repitiendo la operación tantas veces como sea necesario para reducir, gradualmente, el contenido de agua por evaporación, hasta que el rollo cilíndrico empiece a endurecer.
3. El límite plástico se alcanza cuando el rollo cilíndrico se agrieta al ser reducido aproximadamente a 3.2 mm de diámetro.
4. Inmediatamente se divide el rollo cilíndrico y se ponen los trozos del material en una cápsula de material no absorbente en 2 vidrios de reloj (o equivalente) y se determina su masa en la báscula de 0.01 g de aproximación y se registra este valor en la columna de prueba; así mismo se anota el número de la tara y su masa en sus respectivas columnas.
5. con la otra mitad de la muestra se repiten los pasos 1 a 4 para comprobar la determinación anterior.

6. Se introducen los vidrios de reloj con sus determinaciones obtenidas en el horno a 110 °C.

II.3.7 DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN LINEAL.

1. La muestra se prepara para que el material contenga la humedad correspondiente al límite líquido obtenido en el golpe 25.
2. Se introduce el material en tres capas a un molde de 20mm x 20mm x 100mm previamente engrasado, colocándolo con la espátula y golpeando contra una superficie dura cada capa hasta lograr la expulsión del aire contenido en el material colocado.
3. Se enrasa el material utilizando la espátula y se deja orear hasta que cambie ligeramente de color y después se seca al horno a una temperatura de 110°C ± 5°C durante un periodo de 20 h ± 4 h.
4. Logrado lo anterior se deja enfriar y se saca la barra del molde y se mide con el vernier tanto la longitud de la barra (Lf) como la del molde (Li) con una aproximación de 0.1mm y se registra.

$$CL = \left[\frac{L_i - L_f}{L_i} \right] \times 100$$

Donde:

CL: es la contracción lineal aproximada al décimo más cercano al porcentaje (%)

Li: es la magnitud inicial de la barra del suelo húmedo, que corresponde a la longitud interior del molde (mm)

Lf: es la longitud media de la barra del suelo seco (mm)

5. Una vez realizadas las pruebas se verifica que los resultados cumplan con las especificaciones de la Norma NMX-C-111-ONNCCE-2004 "Agregados para Concreto Hidráulico – Especificaciones y Métodos de Prueba" en donde se establecen las cantidades de material máximo permisible menor que la criba 0.075mm (No. 200) en el agregado fino.

En el capítulo cuatro se hablará sobre las especificaciones que hace la norma mencionada en el punto 5 en cuanto al contenido de partículas menores a la criba 0.075 mm (No. 200) en los agregados finos y a las pruebas antes mencionadas.

Capítulo III.

CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS FINAS DE LOS AGREGADOS.

III.1. PROPIEDADES GENERALES DE LAS PARTÍCULAS FINAS.

La arcilla constituye la fracción más fina de los agregados y está en el rango de los coloides.

Todas las partículas menores de 0.1 micrómetro tienen propiedades coloidales, cualquiera que sea el tipo de sustancia. El límite superior del tamaño de las partículas con características coloidales varía de 2.0 y 0.1 micrones. Los diámetros medios de las arcillas son de 0.001 mm.

Por medio de los rayos X, se ha demostrado que las partículas que componen a las arcillas son cristales de especies mineralógicas bien identificadas.

Un cristal es un sólido cuyos átomos están dispuestos según una rígida ordenación, y las posiciones de los átomos se encuentran formando retículas en diversos planos, llamados planos reticulares.

Las arcillas generalmente son partículas cristalinas cuya estructura consiste en capas de distinta composición y que tienden a la forma laminar, lo cual tiene su explicación en que la adición de átomos en las aristas de las capas ya formadas, es más sencilla que la formación de nuevas capas. Según se encuentran dispuestos y combinados los estratos, las arcillas pueden clasificarse en tres grupos: el de las montmorillonitas, el de las kaolinitas y el de las illitas.

Las montmorillonitas son mucho más activas que cualquiera de los otros grupos, sus cristales están formados por grupos de estratos, de tal manera que las ligaduras entre estratos son muy fuertes, pero las ligaduras entre un grupo de estratos y el adyacente son débiles. Esto hace que sus cristales tengan la propiedad de hincharse por la admisión de moléculas de H₂O entre los grupos de estratos.

Las kaolinitas son menos activas por tener una estratificación de capas continuas y apretadas a base de silicio y aluminio.

Las illitas se caracterizan por contener potasio y su actividad es intermedia entre los grupos anteriores.

En los cristales de arcilla, los iones interiores están dispuestos ordenadamente, de tal manera que sus campos eléctricos se neutralizan mutuamente. En cambio, los átomos que permanecen en la superficie no se encuentran más que parcialmente neutralizados y, por lo tanto, las arcillas poseen carga negativa. Si en el medio que rodea la partícula se encuentran cationes, estos pueden quedar fijados.

Este fenómeno de fijación de ciertas sustancias, recibe el nombre de adsorción. Su intensidad, por ser un fenómeno superficial, se incrementará al aumentar la superficie, es decir, cuanto más dividido se encuentra un material, más importancia adquiere el fenómeno. La adsorción tiene más importancia cuanto más arcilloso es el agregado.

En las montmorillonitas y, en menor grado, en las illitas, el fenómeno es positivamente intenso, pues la adsorción se manifiesta entre grupos de capas, lo que las hace muy expansivas.

III.1.1. HIDRATACIÓN DE LA ARCILLA.

Cuando un ion está sumergido en un líquido polar¹, atrae a su alrededor la molécula del líquido por el polo de signo opuesto. En este estado se dice que el ión está hidratado.

Generalmente son los iones de las capas externas, de los cristales de arcilla, los que se hidratan, ocasionando un aumento de volumen. Esto es más acentuado en las montmorillonitas donde además de las capas externas, se hidratan los cationes que se encuentran entre los grupos de capas de cristales. Esta es la razón por la cual las montmorillonitas al ser sumergidas en agua, se hinchan o expanden.

¹ Las moléculas del líquido tienen un polo positivo y otro negativo, que se orientan en campo eléctrico de igual manera que un imán en un campo magnético. Por esta razón se les llama líquido polar. Ejemplo de este tipo líquidos son: el agua, nitrobenzol, acetona, alcohol etílico.

La película de agua lubrica la superficie de las partículas de arcilla, volviéndolas más plásticas y más fáciles de moldear. La arcilla moldeada con un líquido polar se vuelve más plástica; en cambio, si se hace esta operación con benzol (no polar), no aumenta su plasticidad.

El espesor de la película de agua depende de los cationes que contenga la arcilla. El sodio proporciona una película de agua muy gruesa, el hidrógeno una menor y todavía una más diminuta el calcio. Esto hace que las arcillas sódicas sean plásticas, viscosas e impermeables, ya que al expandirse se reducen los poros del suelo ocasionando mal drenaje y, por lo tanto, difícilmente se consolidan.

III.1.2. COHESIÓN DE LA ARCILLA.

A consecuencia de las acciones fisicoquímicas anteriores, se establecen ligaduras que se rompen y que pueden tardar mucho en volverse a manifestar.

Si se quieren separar dos partículas se tendrán que vencer las fuerzas de atracción que las une; el conjunto de fuerzas que une estas partículas reciben el nombre de cohesión verdadera.

III.1.3. TIXOTROPÍA².

Si se moldea una arcilla las ligaduras fisicoquímicas quedarán momentáneamente rotas y tendrá menos resistencia al esfuerzo cortante; si reposa un tiempo, se restablecerá la arcilla, aunque parcialmente la cohesión presentará mayor resistencia al esfuerzo cortante.

Este fenómeno que ocasiona que la arcilla recupere después de remodelada, su antigua consistencia al corte, recibe el nombre de **tixotropía**.

Es importante la valuación de este fenómeno para evitar la pérdida de resistencia de ciertas arcillas que es ocasionada por el remodelado de las mismas o por vibraciones violentas que rompen la cohesión.

² Del griego *thixis*: contacto y *trepo*: cambio.

Esta evaluación se hace por medio de la susceptibilidad tixotrópica. Para determinarla se toma el valor de la resistencia al corte en compresión simple, tal como se encuentra la arcilla en el terreno, y se divide por la resistencia de la misma, después de remodelada. A esta relación también se le llama sensibilidad.

III.2. ESTRUCTURA DE LAS ARCILLAS.

La estructura se define como la cualidad que tienen las partículas de un agregado para agruparse en una u otra forma, según sus propiedades y las características de su origen y formación. Es decir que es un término referente a la forma en que las partículas están dispuestas en el agregado.

La estructura se clasifica según la importancia que tengan los esfuerzos entre los granos del agregado y pueden ser granular, apanalada o floculenta.

III.2.1. ESTRUCTURA GRANULAR.

Es una acumulación de partículas sin atracción entre ellas. Se observa frecuentemente en arenas y gravas. En el proceso de sedimentación y formación de esta estructura, se considera que las únicas fuerzas de importancia que intervienen son los pesos de cada una de las partículas.

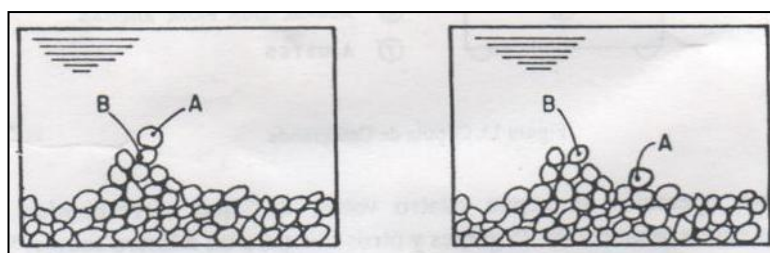


Figura III.1. Estructura granular.

III.2.2. ESTRUCTURA APANALADA.

Se presenta en los agregados con cohesión. Para fijar las ideas de su formación considérese la sedimentación del fondo de un lago.

Cuanto más finos son los granos de un agregado, más se nota el efecto de la cohesión

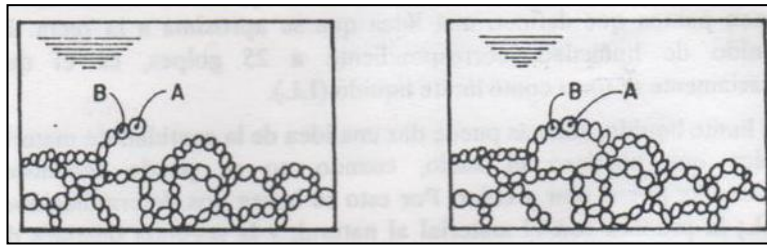


Figura III.2. Estructura apanalada.

III.2.3. ESTRUCTURA FLOCULENTA.

Cuando en una suspensión coloidal cesa el movimiento browniano³ por el efecto de la hidratación o por la acción de un electrolito, las partículas se sedimentan, originando una estructura del tipo panal secundario, formando floculaciones agrupadas. Cada pequeña agrupación recibe el nombre de flóculo, de aquí la denominación de floculenta

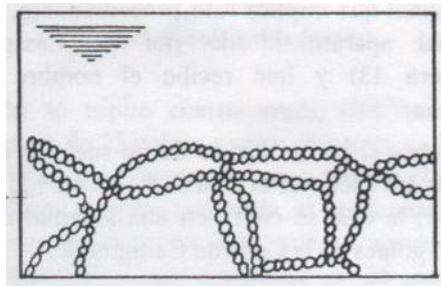


Figura III.3. Estructura floculenta.

III.3. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PARTÍCULAS FINAS EN LOS AGREGADOS.

El material mineral extremadamente fino (arcilla, limo, polvo o margas) que se presenta en la mayoría de los agregados requiere aumentos relativamente grandes en la cantidad de agua de mezclado y tiende a aflorar en la superficie del concreto, ocasionando agrietamiento, por la contracción por secado. Por otra parte, si los finos se adhieren a las partículas más grandes de agregado, tienden a interferir las adherencias entre estas y la pasta agua-cemento. Debido a esto las especificaciones limitan la cantidad de tal material a un pequeño porcentaje.

³ Es el movimiento aleatorio que se observa en algunas partículas nanoscópicas que se hallan en un medio fluido.

Con propósito de especificación y prueba, se considera que el material que pasa la malla No. 200 (0.075 mm) es el que se denominaba limo. La prueba para determinar el porcentaje de finos en el agregado es comúnmente conocida como pérdida por lavado y está reglamentada por la norma NMX-C-084-ONNCCE-2006⁴. Las partículas de arcilla y otras que se disgregan por el agua de lavado y las que son solubles en el agua, son separadas durante esta prueba.

A partir de una muestra seca de agregado, cuyo peso se ha determinado, se coloca en un recipiente y se agrega agua hasta cubrir totalmente la muestra. Se agita con la mano para que las partículas finas queden en suspensión y posteriormente se vierte el agua sobre las mallas No. 16 (1.18mm) y No. 200 (0.075mm). Esta operación se repite tantas veces sea necesaria hasta que el agua de lavado se observe limpia. Se recupera todo el material que se halla retenido en las cribas.

Una vez lavado, el agregado remanente se seca de nuevo al horno a temperatura constante de 110 ± 5 °C y se pesa para encontrar la cantidad removida de finos.

La cantidad de partículas finas que pasan la malla No. 200 por medio de lavado se determinan con la formula siguiente:

$$A = \frac{B - C}{B}$$

Donde

- A Es el porcentaje que pasa la criba No. 200 (0.075mm) determinado por lavado
- B Es la masa en gramos de la muestra seca antes del lavado.
- C Es la masa en gramos de la muestra seca después del lavado.

⁴ Norma Mexicana para la Industria de la Construcción (Agregados para concreto – Partículas más finas que la criba 0.075 mm No. 200 por medio de lavado-método de prueba) emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., México 2006.

Capítulo IV.

LÍMITES PERMISIBLES RESPECTO AL CONTENIDO DE FINOS EN LOS AGREGADOS PARA CONCRETO.

IV.1. NORMA NMX C-111, ESPECIFICACIONES.

Esta norma mexicana, emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C., establece los requisitos de calidad que deben cumplir los agregados naturales y procesados de uso común para la producción de concretos de masa normal (usualmente de 1800 kg/m³ a 2400 kg/m³).

Materiales finos que pasan por la criba 0.075 mm (No. 200).

Para determinar si los agregados finos satisfacen este requisito, se debe cumplir con las condiciones establecidas en la tabla IV1:

CONCEPTO	MATERIAL MÁXIMO PERMISIBLE EN MASA DE LA MUESTRA TOTAL EN %
En concreto sujeto a abrasión.	5.0 ⁽¹⁾
En concretos presforzados	8.0 ⁽¹⁾
En otros concretos	15.0 ⁽²⁾

Tabla IV.1¹. Materiales finos que pasan por la criba 0.075 mm (No. 200).

⁽¹⁾En caso de agregados triturados, si el material que pasa por la criba 0.075 mm (malla No.200) es el resultado de la pulverización de rocas exentas de arcilla y/o pizarras, este límite puede incrementarse a 6% y 10% respectivamente.

⁽²⁾ Este valor, queda condicionado por los parámetros de contracción por secado y deformación diferida del concreto cuando así se solicite en el proyecto, y por la naturaleza de estos finos como se establece en la tabla II.1.

¹ Datos obtenidos de la norma mexicana NMX-C-111-2004 emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE)

El contenido máximo de material fino que pasa por la criba 0.075 mm (No. 200), está en función de los límites de consistencia (Límites de Atterberg, obtenidos de acuerdo a lo indicado en la NMX-C-416-ONNCCE), los cuales determinan las propiedades de plasticidad de estos finos. Los límites permisibles se muestran en la tabla

Esta norma establece que la contracción lineal de las partículas finas no debe ser mayor al 2%.

LÍMITE LÍQUIDO	INDICE PLÁSTICO	MATERIAL MÁXIMO PERMISIBLE EN MASA QUE PASA POR LA CRIBA 0.075 mm EN POR CIENTO %
Hasta 25	Hasta 5	15.0
Hasta 25	6 - 10	13.0
Hasta 25	11 - 15	6.0
26 - 35	Hasta 5	13.0
26 - 35	6 - 10	10.0
26 - 35	11 - 15	5.0
36 - 40	Hasta 5	10.0

Tabla IV.2¹. Cantidades de material máximas permisibles menor que la criba 0.075mm (No.200) en agregados finos.

Nota. La aceptación del material en base a estos límites de plasticidad está condicionado al cumplimiento del contenido de materia orgánica, (NMX-C-111 2004, apartado 6.3.1.2).

IV.2. CASO DE ESTUDIO.

El siguiente caso de estudio, está enfocado al análisis de la problemática que pudiese ocasionar el exceso de partículas finas menores a 0.075 mm en arenas utilizadas para la producción de concreto de baja contracción destinado para pisos industriales, que estén expuestos a un intemperismo no apreciable.

Es de importancia mencionar que existe una relación razonablemente directa entre la contracción de un agregado y su capacidad de absorción. Si estos se contraen más que la pasta, incrementan la contracción del concreto significativamente; es decir, los agregados de buena calidad y baja contracción

generalmente están caracterizados por una baja absorción. Si el agregado se contrae menos que la pasta, entonces el agregado restringe la contracción, y ésta disminuirá al incrementarse la fracción del volumen del agregado. El efecto de la fracción de volumen de agregado en la contracción por secado se muestra en la figura IV.1.

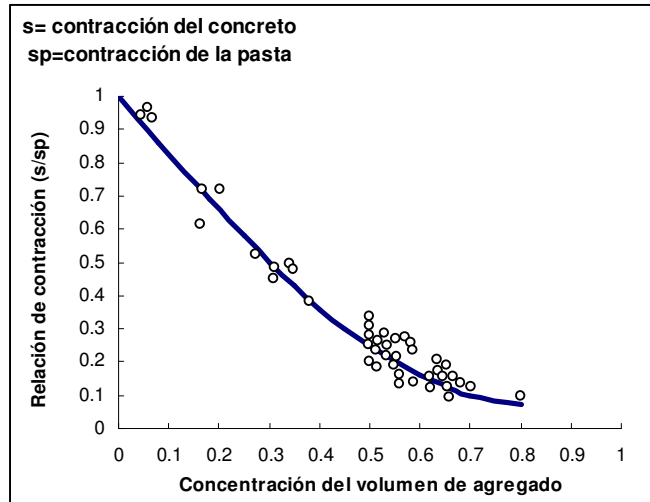


Figura IV.1 Efecto de la concentración del volumen de agregado en la contracción.

Los agregados pueden estar contaminados por otros materiales como sedimentos, arcilla, carbón, madera o materia orgánica. La mayoría de estos materiales no restringe la contracción y, de hecho, puede incrementarla, especialmente en el caso de la arcilla que absorbe la humedad y se contrae considerablemente al secarse. La mayoría de estos materiales contaminantes pueden ser removidos lavando el agregado.

Otras propiedades del agregado, tales como la granulometría, el tamaño máximo, la forma y la textura, afectan la contracción por secado indirectamente.

En la práctica, la variación en cualquiera de estas propiedades puede conducir a un cambio en la demanda de agua y/o el contenido de pasta y su efecto sobre la contracción por secado sólo es medible en términos de los cambios que causan a la mezcla del concreto.

En resumen, los agregados duros y densos, con poca absorción y alto módulo de elasticidad, son importantes para la producción de concreto de baja contracción por secado.

El efecto del agregado en la restricción de la contracción por secado del concreto está regido por:

- La fracción de volumen del agregado
- El módulo de elasticidad del agregado
- La contracción del agregado al secarse

A continuación se presentan resultados de los estudios realizados en arenas de distintos orígenes y modos de fragmentación, con la finalidad de determinar el peso en porcentaje del material que pasa la malla No. 200 (Limos o arcillas); así como los límites de consistencia y contracción lineal de cada uno de ellos.

Estos agregados serán los utilizados posteriormente en la elaboración de concreto, con lo cual finaliza el estudio al obtener las propiedades en estado fresco y endurecido.

IV.3. PRUEBAS REALIZADAS EN DIFERENTES TIPOS DE AGREGADOS FINOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

Mediante las pruebas realizadas se pretende obtener características de los agregados que nos permitirán prever el posible comportamiento de estos en el concreto en estado fresco y endurecido.

Mediante la prueba de pérdida por lavado, son separadas todas las partículas mas finas de la malla 0.075mm (No. 200), arcillas y otras que se disgregan por el agua de lavado.

Los límites de consistencia (líquido y plástico) nos servirán para determinar el comportamiento plástico de los finos presentes en los agregados. La prueba de contracción lineal nos dará un panorama previo de la contracción que puedan ocasionar las partículas finas en el concreto por el secado de éste.

La absorción como ya se mencionó, también es un parámetro que nos servirá para saber si el agregado contrarrestará la contracción por secado de la pasta en el concreto, o si el agregado que se está empleando ocasionará un aumento en ésta.

TIPO DE ARENA	LÍMITE LÍQUIDO %	LÍMITE PLÁSTICO %	ÍNDICE DE PLASTICIDAD %	CLASIFICACIÓN DE FINOS	PÉRDIDA POR LAVADO %	CONTRACCIÓN LINEAL %	ABSORCIÓN %
Río I	23.37	18.60	4.77	Arenas finas con Limos de baja plasticidad, mal graduada	2.56	0.00	4.21
Andesita Triturada I	21.00	14.44	6.56	Arenas finas con Limos de baja plasticidad, mal graduada	17.45	0.00	3.97
Andesita Triturada II	19.20	17.68	1.52	Arenas finas con Limos de baja plasticidad, bien graduada	6.82	0.03	5.97
Río II	25.23	19.84	5.39	Arenas con finos Limo arcillosos de baja plasticidad, bien graduada	3.19	0.0	4.82
Caliza Triturada I	12.52	10.27	2.25	Arenas finas con Limos de baja plasticidad, bien graduada	17.98	0.12	2.66
Caliza Triturada II	18.22	17.12	1.10	Arenas finas con Limos de baja plasticidad, bien graduada	11.20	0.49	1.66
Basalto Triturado I	17.62	14.66	2.96	Arenas finas con Limos de baja plasticidad, bien graduada	11.55	1.25	4.27
Basalto Triturado II	15.32	15.00	0.31	Arenas finas con Limos de baja plasticidad, bien graduada	14.83	0.82	2.59
Andesita Triturada III	17.81	13.15	4.67	Arenas con finos Limo arcillosos de baja plasticidad, bien graduada	14.27	0.00	4.10
Basalto Triturado III	19.39	15.87	3.52	Arenas con finos Limo arcillosos de baja plasticidad, bien graduada	20.11	1.64	4.56

Tabla IV.2. Resultados de pruebas realizadas en agregados finos.

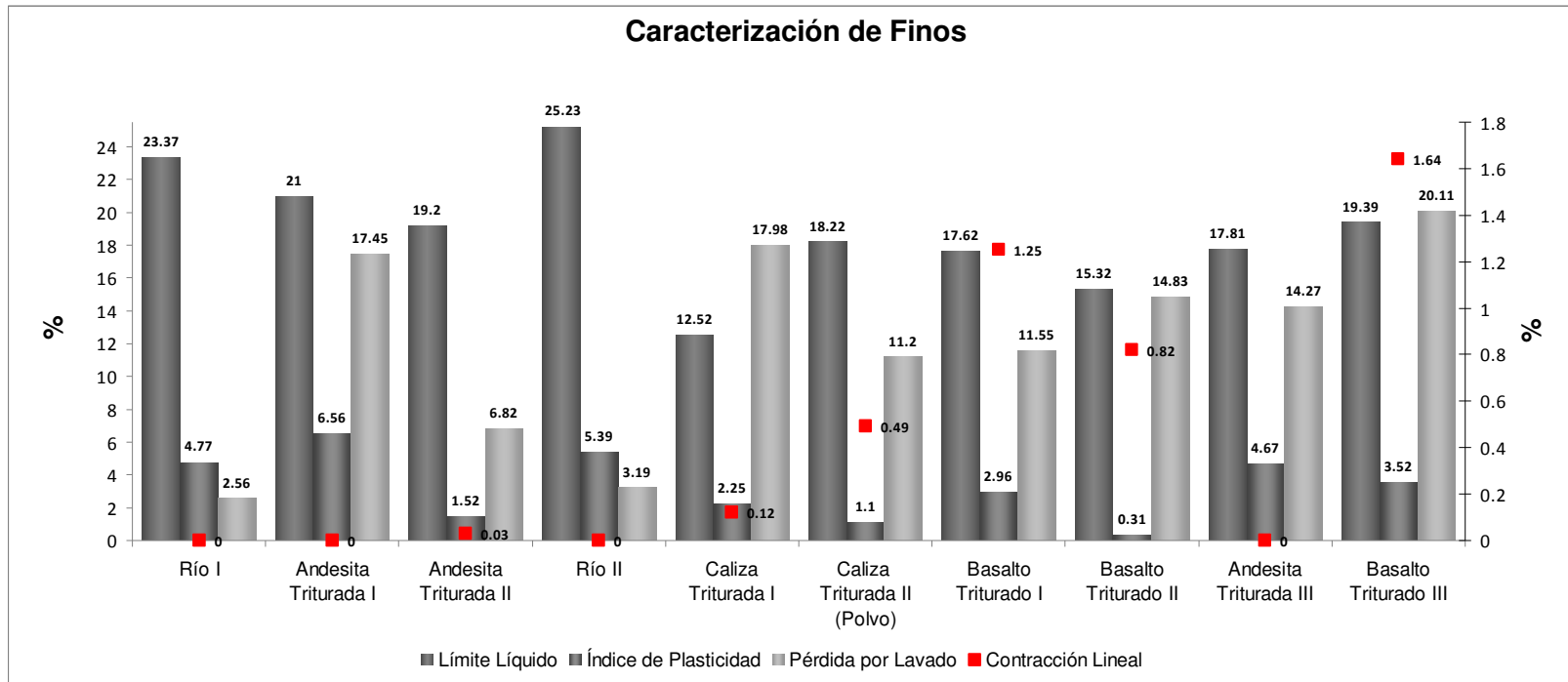


Figura IV.2 Comparativa de las propiedades de las partículas finas de los agregados empleados

Capítulo V.

ESTUDIO PRÁCTICO EN MEZCLAS DE CONCRETO.

V.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA UN DISEÑO DE MEZCLAS.

La granulometría de los agregados favorece la gradación o acomodamiento de los agregados en la masa de concreto, y se relaciona con la cantidad de superficie en la interfase con la pasta de cemento en la mezcla en estado fresco. En general, si la relación agua – cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango de granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía.

El módulo de finura de los agregados, es la proporción de los valores de retenidos acumulados en las mallas desde la No.4 (U.S. Standard, 4.75mm) hasta el tamiz No.100 (U.S. Standard, 0.150mm), dividido por 100. El módulo de finura es un índice de la finura del agregado; entre mayor sea, más grueso será el agregado. El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

Las densidades aparentes de los agregados incluyen la humedad con porcentajes de humedades en los poros de las partículas de los agregados sobre el volumen total del agregado. Es la característica principal para optimizar tiempos de mezcla, tiempos de fraguado y curado de las mezclas, como también en el proceso constructivo los empujes a tener sobre las superficies de contacto en la obra falsa de los encofrados de los elementos de concreto.

Absorciones de los agregados: Son el determinante de la capacidad de adhesión mecánica entre la superficie de los agregados y la pasta de cemento, y como consecuencia propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión, a la tensión y dureza del concreto terminado.

Las masas unitarias de los agregados: Las masas de los agregados por unidad de volumen, relacionan la capacidad de acomodamiento de los agregados, en el caso de las densidades compactadas, y las densidades en estado aparentemente seco las condiciones de manejabilidad y consistencia de la mezcla de concreto en estado fresco.

Las humedades de los agregados: Las humedades se convierten en el factor modificador de la relación agua cemento de las mezclas para evitar excesos de fluidez y consistencias inmanejables en las mezclas frescas.

El tipo de cemento y densidad del cemento: El tipo de cemento según las condiciones especiales de uso al elemento constructivo que se ejecuta, y su densidad para corroborar con exactitud su consumo por metro cúbico a construir o por kilogramo a vaciar.

V.2. DISEÑO DE MEZCLAS PARA CONCRETOS DE BAJA CONTRACCIÓN.

V.2.1. CONCRETO DE BAJA CONTRACCIÓN.

El concreto de Baja Contracción se puede emplear para la construcción de: pisos en naves industriales, elementos pretensados y postensados, patios de maniobras, hangares, pavimentos de tráfico intenso, losas y pisos postensados, por mencionar algunos usos, o en cualquier elemento que requiera mayor estabilidad volumétrica que la del concreto convencional.

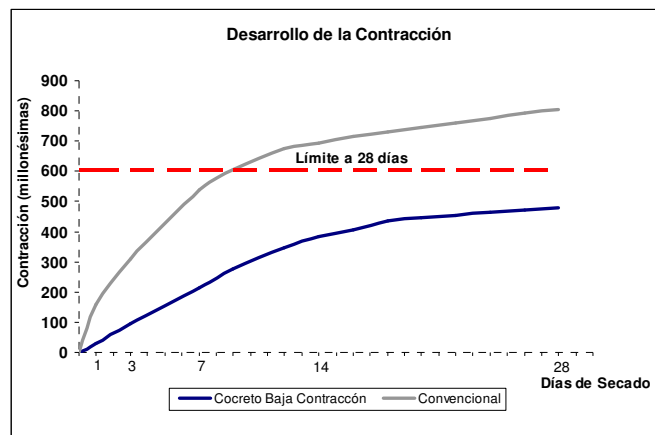


Figura V.1. Comparativa de contracción por secado entre un concreto convencional y un concreto de baja contracción

La figura V.1 muestra el desarrollo de la contracción a 28 días, ocasionada por el secado del concreto convencional y de baja contracción. Se observa que el límite permisible para un concreto de baja contracción es de 600 millonésimas a los 28 días.

V.2.2. DISEÑO DE MEZCLAS.

Generalmente las especificaciones de los materiales a emplear en una estructura las indica el proyectista en los planos y memorias del proyecto; en particular las propiedades del concreto endurecido son especificadas por el proyectista de la estructura, mientras que las propiedades del concreto en estado fresco están regidas por el tipo de construcción y las condiciones de transportación y colocación.

Estos dos tipos de requerimientos permiten determinar la composición de la mezcla, teniendo en cuenta el grado de control de calidad aplicado en el lugar o en la obra. Por lo tanto, se puede decir que el diseño de la mezcla es el proceso de selección de los componentes adecuados del concreto, determinando sus cantidades relativas con el propósito de producir un concreto económico, con ciertas propiedades mínimas, como trabajabilidad, resistencia y durabilidad.

La dosificación del concreto debe basarse en los datos obtenidos de pruebas o en la experiencia adquirida con los materiales que serán empleados. Es muy importante tener información de los agregados, tal como:

1. Análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos (NMX-C-077-1997-ONNCCE¹)
2. Masa volumétrica (NMX-C-073-2004-ONNCCE²)
3. Masa específica y absorción de agua de los agregados (NMX-C-165-ONNCCE-2004³ y NMX-C-164-ONNCCE-2002⁴)

¹ Norma Mexicana para la Industria de la Construcción (Agregados para concreto - Análisis granulométrico - Método de prueba) emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., México 1997.

² Norma Mexicana para la Industria de la Construcción (Agregados - Masa volumétrica - Método de prueba) emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., México 2004.

³ Norma Mexicana para la Industria de la Construcción (Agregados - Determinación de la Masa Específica y Absorción de agua del Agregado Fino - Método de prueba) emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., México 2004.

⁴ Norma Mexicana para la Industria de la Construcción (Agregados - Determinación de la Masa Específica y Absorción de agua del Agregado Grueso - Método de prueba) emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., México 2002.

4. Requisitos de agua de mezclado para el concreto, desarrollados a partir de la experiencia con agregados disponibles

El procedimiento para la dosificación de mezclas que se expone en este trabajo es aplicable al concreto de peso normal, no está dentro del objetivo y del alcance del mismo presentar proporciones de concretos pesados y masivos.

La estimación de los pesos de mezclas de concreto requeridos implica una secuencia de pasos lógicos y directos que, de hecho, ajustan las características de los materiales disponibles a una mezcla adecuada para el trabajo. El aspecto de la adaptabilidad no siempre permite al individuo seleccionar las proporciones. Las especificaciones de la obra pueden dictar todas o algunas de las siguientes recomendaciones.

1. Relación máxima agua/cemento.
2. Contenido mínimo de cemento.
3. Contenido de aire.
4. Revenimiento.
5. Tamaño máximo de agregado.
6. Resistencia.
7. Otros requisitos relacionados sobre el diseño de resistencia, aditivos y tipos especiales de cemento o agregado.

Independientemente de que las características del concreto estén prescritas en las especificaciones o de que se deje la dosificación a criterio del ingeniero, la determinación de los pesos de las mezclas por metro cúbico de concreto se lleva a cabo más satisfactoriamente de acuerdo con la siguiente secuencia:

V.2.2.1. Elección del revenimiento.

Cuando no se especifica el revenimiento, puede seleccionarse un valor apropiado para la obra de los que aparece una tabla V.1 en la que se recomiendan diferentes valores de revenimiento de acuerdo con el tipo de construcción que se requiera. Los valores son aplicables cuando se emplea el vibrado para compactar el concreto, en caso contrario dichos valores deben ser incrementados en dos y medio centímetros.

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	REVENIMIENTO, cm	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	8	2
Zapatas, campanas y muros de subestructura sencillos	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas para edificios	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo	5	2

Tabla V.1. Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.

V.2.2.2. Elección del tamaño máximo de agregado.

Los tamaños más grandes de agregados bien graduados tienen menos huecos que los tamaños más pequeños. Por esto, los concretos con agregados de tamaños mayores requieren menos mortero por volumen unitario de concreto. Por regla general, el tamaño máximo de agregado debe ser el mayor disponible económicamente y guardar relación con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo debe exceder de $1/5$ de la menor dimensión entre los costados de las cimbras, $1/3$ del espesor de las losas, ni $3/4$ del espacio libre mínimo entre varillas de refuerzo individuales. 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.

V.2.2.3. Calculo del agua de mezclado y el contenido de aire.

La cantidad de agua por volumen unitario de concreto requerida para producir determinado revenimiento depende del tamaño máximo de la forma de la partícula y granulometría de los agregados, así como de la cantidad de aire incluido. No le afecta significativamente el contenido de cemento en la tabla V.2 aparecen valores de agua de mezclado requerida para concretos hechos con diversos tamaños máximos de agregados, con o 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 los suficientemente precisos para el 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. Por ejemplo, de un

agregado redondeado y otro angular, ambos gruesos, bien graduados y de buena calidad, se espera que puedan producir concretos de aproximadamente la misma resistencia a la compresión por el mismo factor de cemento, a pesar de la diferencia en la relación agua cemento (a/c) resultante de los diferentes requerimientos de agua de mezclado. La forma de la partícula no indica por sí misma que el agregado estará por encima o por debajo del promedio en cuanto a su capacidad para obtener resistencia.

Revenimiento, cm	Agua, kg/m ³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado, mm							
	10 ⁵	12.5 ⁵	20 ⁵	25 ⁵	40 ⁵	50 ^{6,5}	70 ^{6,7}	150 ^{6,7}
Concreto sin aire incluido								
De 3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
De 8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
De 15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	--
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin inclusión de aire, expresado como un porcentaje.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
De 3 a 5	180	175	165	160	154	140	135	120
De 8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
De 15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	--
Promedio recomendado ⁸ del contenido total de aire, porcentaje de acuerdo con el nivel de exposición:								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5 ^{9,10}	1.0 ^{9,10}
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5 ^{9,10}	3.0 ^{9,10}
Exposición severa ¹¹	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5 ^{9,10}	4.0 ^{9,10}

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

⁵ Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento en mezclas de prueba. Son cantidades máximas de agregados gruesos angulares, con granulometría dentro de los límites de especificaciones aceptadas.

⁶ Los valores de revenimiento para concreto con agregado mayor de 40mm están basados en pruebas de revenimiento después de la remoción de las partículas mayores de 40mm, mediante tamizado húmedo.

⁷ Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento para mezclas de prueba, cuando se utilizan agregados de tamaño máximo nominal de 70 ó 150 mm. Son promedios para agregados con buena granulometría de agregado grueso a fino.

⁸ En varios documentos del ACI tales como 201, 345, 318, 301 y 302 aparecen recomendaciones adicionales con respecto al contenido de aire y a las tolerancias necesarias de contenido de aire para el control en el campo. La norma ASTM C94 para concretos premezclados también proporciona los límites de contenido de aire. Al proporcionar concreto debe prestarse atención a la selección de un contenido de aire que se ajuste a las necesidades de la obra, así como a las especificaciones aplicables.

⁹ Para concretos que contienen agregados grandes que serán tamizados en húmedo a través de una malla de 1½ pulgadas antes de someterse a la prueba de contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en el material de tamaño inferior a 40 mm debe ser como el tabulado en la columna de 40 mm. Sin embargo, los cálculos iniciales de proporción deben incluir el contenido de aire como un porcentaje total.

¹⁰ Cuando se emplea agregado grande en concretos con bajo factor de cemento, la inclusión de aire no debe ir en detrimento de la resistencia. En la mayoría de los casos el requerimiento de agua de mezclado se reduce lo suficiente para mejorar la relación agua/cemento y de esta manera, compensar el efecto reductor de resistencia del concreto con inclusión de aire.

¹¹ Estos valores se basan en el criterio de que es necesario un 9% de aire en la fase de mortero del concreto. Si el volumen del mortero va a ser sustancialmente diferente del determinado en esta obra, puede ser conveniente calcular el contenido de aire necesario tomando un 9% del volumen real del mortero.

Exposición ligera. Cuando se desee la inclusión de aire por otros efectos benéficos que no sean la durabilidad, por ejemplo, para mejorar la cohesión o trabajabilidad, o para incrementar la resistencia del concreto con bajo factor de cemento, pueden emplearse contenidos de aire inferiores a los necesarios para la durabilidad. Esta exposición incluye servicio interior o exterior en climas en los que el concreto estará expuesto a agentes de congelación o deshielo.

Exposición moderada. Implica servicio en climas donde es probable la congelación, pero en los que el concreto no estará expuesto continuamente a la humedad o al agua corriente durante largos períodos antes de la congelación, ni a agentes descongelantes u otros productos químicos agresivos, o bien, cuando el concreto pueda resultar altamente saturado por el contacto continuo con humedad o agua corriente antes de la congelación. Ejemplos de lo anterior son: pavimentos, pisos de puentes, guarniciones, desagües, aceras, revestimiento para canales, tanques exteriores para agua.

El empleo de cantidades normales de aire incluido en concretos con resistencia especificada a 350 kg/cm^2 o aproximada, puede no ser factible debido al hecho de que cada porcentaje de aire adicional reduce la resistencia máxima que se puede obtener con determinada combinación de materiales. En estos casos la exposición al agua, sales descongelantes y temperaturas de congelación deben ser cuidadosamente evaluadas. Si un elemento no va a estar continuamente mojado ni expuesto a sales descongelantes, con apropiados los valores de contenido de aire más bajos, como los que se señalan en la tabla V.2 para exposición moderada, aunque el concreto esté expuesto a temperaturas de congelación-deshielo. Sin embargo, en condiciones de exposición en las que el elemento puede estar saturado antes de la congelación, no debe sacrificarse el aire incluido a favor de la resistencia.

Cuando se emplean mezclas de prueba con el fin de establecer las relaciones de resistencia o verificar la capacidad de producir resistencia de una mezcla, debe emplearse la combinación menos favorable de agua de mezclado y aire incluido; es decir, el contenido de aire debe ser el máximo permitido, y el concreto se debe mezclar para un revenimiento lo más elevado posible. Esto evitará la elaboración de un cálculo demasiado optimista de la resistencia, basado en la suposición de que en el campo prevalecerán las condiciones promedio en vez de presentarse condiciones extremas.

V.2.2.4. Selección de la relación agua/cemento.

La relación agua/cemento (a/c) requerida se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por factores como la durabilidad y las propiedades de acabado. Puesto que diferentes agregados y cementos producen, distintas resistencias empleando la misma relación agua/cemento.

En la tabla V.3 se muestran valores aproximados para concretos que contengan cemento Pórtland Tipo 1. Dichos valores son resistencias promedio estimadas para concreto que no contiene más del porcentaje de aire que se indica en la tabla V.2. Para una relación agua/cemento constante se reduce la resistencia del concreto conforme se incrementa el contenido de aire; así mismo, La relación supone un tamaño máximo de agregado de 3/4 a 1"; para un banco dado, la resistencia producida por una relación agua/cemento dada se incrementará conforme se reduce el tamaño máximo 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 V.3. Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto

Con materiales comunes las relaciones agua/cemento tabuladas anteriormente deben producir las resistencias indicadas, con base en pruebas a los 28 días de muestras curadas en condiciones normales de laboratorio. La resistencia promedio seleccionada debe exceder la resistencia especificada por un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con bajos valores.

Cuando se emplean materiales puzolánicos en el concreto, debe considerarse una relación agua/cemento más puzolana por peso en vez de la tradicional relación

V.2.2.5. Cálculo del contenido de cemento.

La cantidad de cemento por volumen unitario de concreto se rige por las determinaciones expuestas en V.2.2.3 y V.2.2.4. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado (V.2.2.3) dividido entre la relación agua

cemento (V.2.2.4). Si, no obstante, la especificación incluye un límite mínimo separado sobre el cemento, además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en el criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento.

V.2.2.6. Estimación del contenido de agregado grueso.

Los agregados con tamaño máximo y granulometría esencialmente iguales producen concretos con 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 V.4 aparecen valores apropiadas para estos volúmenes de agregado. Puede observarse que, para igual trabajabilidad, el volumen de 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 quedan compensadas automáticamente por las diferencias en la cantidad de huecos en el varillado en seco.

En la tabla V.4 se muestra el volumen de agregados, en metros cúbicos, con base en el 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 la masa volumétrica varillada en seco por metro cúbico de agregado grueso.

Tamaño máximo de agregado, 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
10 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
13 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
20 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
40 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
70 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla V.4. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

V.2.2.7. Estimación del contenido de agregado fino.

Hasta el momento se han estimado todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se determina por diferencia. Puede emplearse cualquiera de los dos procedimientos siguientes: el método de peso o el método de volumen absoluto.

V.2.2.7.1. Método de peso.

Si el peso del concreto por volumen unitario se supone o puede estimarse por experiencia, el peso requerido de agregado fino es, simplemente, 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 unitario del concreto, por experiencia previa con los materiales. En ausencia de dicha información puede emplearse la tabla V.5. para hacer el cálculo tentativo. Aun si el cálculo del peso del concreto por metro cúbico es aproximado las proporciones de la mezcla serán suficientemente precisas para permitir un ajuste fácil con base en mezclas de prueba.

Cuando se desea un cálculo teóricamente exacto del peso del concreto fresco por metro cúbico, puede emplearse la siguiente formula:

$$U=10.0G_a(100-A) + C(1-G_a/G_c) - W(G_a-1) (V.1)$$

Donde,

U= Peso del concreto fresco por metro cúbico, kg

G_a= Promedio pesado del peso específico de la combinación de agregado fino y grueso.

G_c= Peso específico del cemento (generalmente 3.15)

A= Porcentaje de contenido de aire.

W= Requerimiento de agua de mezclado, kg por metro cúbico.

C= Requerimiento de cemento, kg por metro cúbico.

Tamaño máximo de agregado, mm	Cálculo tentativo del peso del concreto kg/m ³ ¹²	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
10 (3/8")	2285	2190
13 (1/2")	2315	2235
20 (3/4")	2355	2280
25 (1")	2375	2315
40 (1 1/2")	2420	2355
50 (2")	2445	2375
70 (3")	2465	2400
150 (6")	2505	2435

Tabla V.5. Cálculo tentativo del peso de concreto fresco.

V.2.2.7.2. Método de volumen absoluto.

Un procedimiento más exacto para calcular la cantidad requerida de agregados finos, implica el empleo de volúmenes desplazados por los componentes. En este caso, el volumen total desplazado por los componentes conocidos – agua, aire, cemento y agregado grueso – se resta del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de 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).

V.2.2.8. Ajustes por humedad del agregado.

Las cantidades de agregado que realmente deben pesarse para el concreto deben considerar la humedad del agregado. Los agregados están generalmente húmedos, y sus pesos secos deben incrementarse por el porcentaje de agua, tanto absorbida como superficial que contienen. El agua de mezclado que se añade al lote debe reducirse en cantidad igual a la humedad libre contenida en el agregado, es decir, humedad total menos absorción.

V.2.2.9. Ajustes en mezclas de prueba.

Las proporciones calculadas de la mezcla deben verificarse mediante mezclas de prueba, preparadas y probadas de acuerdo con la NMX C 159 ¹³ "Concreto – Elaboración y Curado de Especímenes en el Laboratorio" o por medio de mezclas reales en el campo. Solo debe usarse el agua suficiente para producir el

¹² Valores calculados por medio de la ecuación V.1 para concreto de riqueza mediana (330 kg de cemento por m³) y revenimiento medio con agregado de peso específico de 2.7. Los requerimientos de agua se basan en valores de la tabla V.2, para revenimiento de 8 a 10 cm.

¹³ Norma Mexicana emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

revenimiento requerido, independientemente de la cantidad supuesta al dosificar los comportamientos de la prueba. Deben verificarse la masa unitaria y la fluencia (NMX C 162 ¹³), así como el contenido de aire (NMX C 162 ¹³, NMX C 158 ¹³, NMX C 157 ¹³) del concreto. También debe tenerse cuidado de lograr la trabajabilidad apropiada, ausencia de segregación, así como las propiedades de acabado. Deben efectuarse los ajustes necesarios en las proporciones de las mezclas subsecuentes, de acuerdo con los siguientes procedimientos

V.2.2.9.1. Ajuste de agua.

La cantidad estimada de agua de mezclado para producir el mismo revenimiento que en la mezcla de prueba, sería igual a la cantidad neta de agua de mezclado empleada, dividida por fluencia de la mezcla de prueba en m³. Si el revenimiento se la mezcla de prueba no es el correcto, increméntese o redúzcase el contenido nuevamente estimado de agua a 2 kg por metro cúbico de concreto para cada centímetro de incremento o reducción de revenimiento.

V.2.2.9.2. Contenido de aire.

Si no se obtiene el contenido de aire deseado (para concreto con aire incluido), debe estimarse de nuevo el contenido requerido de aditivo para lograr el contenido apropiado de aire, y reducirse o incrementarse el contenido de agua de mezclado que se indica en el punto anterior, en 3 kg pr cada 1% en que debe reducirse o incrementarse el contenido de aire respecto al de la mezcla de prueba previa.

V.2.2.9.3. Masa unitaria.

La masa unitaria de concreto fresco estimada nuevamente para el ajuste de proporciones de la mezcla de prueba, es igual a la masa unitaria en kg/m³ medido en la mezcla de prueba, reducido o incrementado por el porcentaje de incremento o reducción del contenido de aire de la mezcla ajustada respecto a la primera mezcla de prueba.

Deben calcularse nuevos pesos de mezcla, comenzando por la selección de la relación agua/cemento; si es necesario, se modificará el volumen de agregado grueso de la tabla V.4 para obtener una trabajabilidad adecuada.

V.2.3. DISEÑO DE MEZCLA EMPLEADO PARA EL CASO DE ESTUDIO.

Identificación	Tipo de Cemento	Consumo de Cemento (kg/m ³)	Consumo de Agua (kg/m ³)	Relación a/c	Grava (TMA)	Consumo de Grava (kg/m ³)	Tipo de Arena	Consumo de Arena (kg/m ³)	Relación g/a	Revenimiento teórico (cm)
TST ¹⁴	CPC 40 ¹⁵	360	180	0.50	Caliza 20mm	1043	Río I	745	1.40	16
Mezcla 2	CPC 40	360	180	0.50	Caliza 20mm	1028	Andesita Triturada I	734	1.40	16
Mezcla 3	CPC 40	360	180	0.50	Caliza 20mm	1017	Andesita Triturada II	726	1.40	16
Mezcla 4	CPC 40	360	180	0.50	Caliza 20mm	1028	Río II	734	1.40	16
Mezcla 5	CPC 40	360	180	0.50	Caliza 20mm	1070	Caliza Triturada I	764	1.40	16
Mezcla 6	CPC 40	360	180	0.50	Caliza 20mm	1072	Caliza Triturada II	766	1.40	16
Mezcla 7	CPC 40	360	180	0.50	Caliza 20mm	1058	Basalto Triturado I	756	1.40	16
Mezcla 8	CPC 40	360	180	0.50	Caliza 20mm	1065	Basalto Triturado II	761	1.40	16
Mezcla 9	CPC 40	360	180	0.50	Caliza 20mm	1009	Andesita Triturada III	721	1.40	16
Mezcla 10	CPC 40	360	180	0.50	Caliza 20mm	1067	Basalto Triturado III	762	1.40	16

Tabla V.6. Proporción base por m³ de las mezclas para el caso de estudio.

¹⁴ Mezcla testigo de comparación.

¹⁵ CPC 40 = Cemento Portland Compuesto, Clase Resistente 40.

V.3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS CUANTIFICABLES DEL CONCRETO FRESCO PARA EL CASO DE ESTUDIO.

V.3.1. Revenimiento.

El propósito del ensayo de revenimiento (asentamiento) del concreto es determinar la consistencia del concreto fresco y verificar la uniformidad de la mezcla. Este ensayo está basado en el método establecido en la norma NMX C-156 1997-ONNCCE ¹³ "Determinación del revenimiento del concreto fresco". También refiérase a la norma NMX C-155-ONNCCE-2004 ¹³ "Concreto hidráulico industrializado - especificaciones".

El revenimiento es, hasta ahora, la propiedad del concreto con que se busca correlacionar la facilidad de colocación del material y la correcta consolidación en la estructura. Sin embargo, esta característica no ha garantizado la homogeneidad y consolidación del concreto en la estructura debido a que en el proceso de colocación interviene la mano de obra.

Para que el concreto cumpla con el requisito de revenimiento, el valor determinado debe concordar con el nominal especificado en la tabla V.7, con sus respectivas tolerancias.

Revenimiento nominal [mm]	Tolerancia [mm]
menor de 50	±15
de 50 a 100	±25
mayor de 100	±35

Tabla V.7. Valor nominal del revenimiento y tolerancias según NMX-C-155-ONNCCE-2004 ¹⁶.

V.3.1.1. Pérdida de Revenimiento.

Pérdida de revenimiento es un término que se acostumbra usar para describir la disminución de consistencia, o aumento de rigidez, que una mezcla de concreto experimenta desde que sale de la mezcladora hasta que termina colocada y compactada en la estructura. Lo ideal en este aspecto sería que la mezcla de

¹⁶ Norma Mexicana emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Industria de la Construcción y la Edificación, S.C., "Concreto Hidráulico Industrializado - Especificaciones"

concreto conservara su consistencia (o revenimiento) original durante todo este proceso, pero usualmente no es así y ocurre una pérdida gradual cuya evolución puede ser alterada por varios factores extrínsecos, entre los que destacan la temperatura ambiente, la presencia de sol y viento, y la manera de transportar el concreto desde la mezcladora hasta el lugar de colado, todos los cuales son aspectos que configuran las condiciones de trabajo en obra.

Para unas condiciones de trabajo dadas, la evolución de la pérdida de revenimiento también puede resultar influida por factores intrínsecos de la mezcla de concreto, tales como la consistencia o fluidez inicial de ésta, la humedad de los agregados, el uso de ciertos aditivos y las características y contenido unitario del cemento. La eventual contribución de estos factores intrínsecos, en el sentido de incrementar la pérdida normal de revenimiento del concreto en el lapso inmediato posterior al mezclado, es como se indica:

1) Las mezclas de consistencia más fluida tienden a perder revenimiento con mayor rapidez, debido a la evaporación del exceso de agua que contienen.

2) El empleo de agregados porosos en condición seca tiende a reducir pronto la consistencia inicial, por efecto de su alta capacidad para absorber agua de la mezcla.

3) El uso de algunos aditivos reductores de agua y superfluidificantes acelera la pérdida de revenimiento, como consecuencia de reacciones indeseables con algunos cementos.

4) El empleo de cementos portland-puzolana cuyo componente puzolánico es de naturaleza porosa y se muele muy finamente, puede acelerar notablemente la pérdida de revenimiento del concreto recién mezclado al producirse un resecado prematuro provocado por la avidéz de agua de la puzolana.

En relación con esos dos últimos factores, lo conveniente es verificar oportunamente que exista compatibilidad entre el aditivo y el cemento de uso previsto y, en el caso del cemento Portland-puzolana, realizar pruebas comparativas de pérdida de revenimiento con un cemento Portland simple de uso alternativo.

Es importante no confundir la pérdida normal de revenimiento que toda mezcla de concreto exhibe en la primera media hora subsecuente al mezclado, con la rápida rigidización que se produce en pocos minutos como consecuencia del

fenómeno de falso fraguado en el cemento. Para evitar esto último, es recomendable seleccionar un cemento que en pruebas de laboratorio demuestre la inexistencia de falso fraguado (NMX-C-132-1997-ONNCCE¹³ "Determinación del fraguado falso del cemento Pórtland – Método de pasta"), o bien especificar al fabricante el requisito opcional de que el cemento no presente falso fraguado.

V.3.2. Masa Unitaria.

La masa unitaria se define como la cantidad de materia contenida en un metro cúbico de concreto fresco (kg/m^3).

De acuerdo con lo establecido en la norma NMX-C-155-ONNCCE-2004¹³ "Concreto Hidráulico Industrializado-Especificaciones" el concreto en estado fresco, debe tener una masa unitaria entre $1\ 800\ \text{kg}/\text{m}^3$ y $2\ 400\ \text{kg}/\text{m}^3$. Su determinación se hará de acuerdo con la norma NMX-C-162-ONNCCE-2000 "Determinación de la Masa Unitaria, Rendimiento y Contenido de Aire del Concreto Fresco por el Método Gravimétrico".

La prueba de la masa volumétrica es una herramienta importante utilizada para controlar la calidad del concreto recién mezclado. Después de que se ha establecido un proporcionamiento para la mezcla de concreto, un cambio en la masa volumétrica indicará un cambio en uno o más de los otros requisitos del desempeño del concreto. Una masa volumétrica más baja puede indicar:

1. Que los materiales han cambiado
2. Un mayor contenido de aire
3. Un mayor contenido de agua
4. Un cambio en las proporciones de los ingredientes y/o,
5. Un menor contenido de cemento.

Inversamente, la masa volumétrica más alta indicará lo contrario de las características del concreto antes mencionadas.

Una masa volumétrica más baja que las proporciones de la mezcla de concreto establecidas, en general indicará un "sobre rendimiento"; esto significa

que el contenido de cemento requerido para un metro cúbico disminuye para producir un mayor volumen de concreto. Por lo tanto, son de esperarse resistencias más bajas así como una reducción de las otras cualidades deseables del concreto. Si la reducción de la masa unitaria del concreto se debe a un incremento en el contenido de aire, posiblemente el concreto será más durable en su resistencia a ciclos de congelación y deshielo, pero las cualidades de resistencia a la compresión, a la abrasión, al ataque de químicos, a la contracción y al agrietamiento se verán adversamente afectadas.

Cabe señalar que, esta prueba se debe usar para controlar concretos ligeros y pesados, ya que un cambio en la masa unitaria podría afectar inversamente la bombeabilidad, colocación, acabado y resistencia de todos los tipos de concreto. Debido a que la prueba de la masa volumétrica es tan importante para regular la calidad del concreto, es fundamental que la prueba se realice de acuerdo con los procedimientos estándar especificados. Se debe conocer el volumen exacto del contenedor; después de que la muestra de concreto se enrase al nivel del recipiente, todo el concreto adherido a la parte exterior del recipiente debe removerse antes de pesar la muestra.

En el laboratorio la prueba de la masa unitaria se puede usar también para determinar el contenido de aire (porcentaje de vacíos) del concreto, puesto que se conoce el peso teórico del concreto libre de aire (kg/m^3).

V.3.3. Contenido de aire.

La determinación del contenido de aire de una muestra representativa, se hará de acuerdo con la norma NMX C-157-ONNCCE-2006 "Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión".

Se sabe que mientras más aire tenga internamente el concreto, su resistencia a compresión disminuirá. Pero también es necesario en caso de tener un clima con temperaturas muy bajas, ya que el aire incorporado en ciertas cantidades favorece la resistencia a las bajas temperaturas, sobre todo en casos en que el agua atrapada internamente aumente su volumen cuando entra en congelamiento.

El contenido de aire en el concreto se traduce en las siguientes mejoras:

- Mayor resistencia al daño causado por ciclos de congelamiento y deshielo.
- Mayor resistencia a la descamación por sales deshielantes.
- Menor permeabilidad.
- Reduce la segregación y exudación.
- Produce una plasticidad y trabajabilidad superiores.
- Mejora las propiedades de las mezclas usadas para fabricar block y tubos de concreto, así como otros productos de concreto precolado.

Investigaciones sobre la durabilidad del concreto han demostrado que la mejor protección del concreto contra los efectos adversos de ciclos de congelamiento y deshielo, así como la descamación de sales deshielantes, proviene de: un contenido adecuado de aire en el concreto endurecido, un sistema correcto de espacios con aire, en términos del tamaño de las burbujas y su espacio; una resistencia del concreto adecuada, asumiendo el uso de buenos agregados y técnicas apropiadas de mezclado, colocación, manejo y curado del concreto.

Para mejorar la resistencia al congelamiento y deshielo, según el tamaño máximo nominal de agregado, se recomiendan los porcentajes de contenido de aire total indicados en la tabla V.7.

Los contenidos de aire menores a los indicados en la tabla V.7 no mejoran la resistencia al congelamiento y deshielo. Contenidos superiores pueden reducir la resistencia mecánica sin lograr una protección adicional.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO [mm]	Cantidad de aire recomendado, total en %, según tipo de exposición		
	Ligera	Moderada	Severa
75	1.5	3.5	4.5
50	2.0	4.0	5.0
40	2.5	4.5	5.5
25	3.0	4.5	6.0
20	3.5	5.0	6.0
13	4.0	5.5	7.0
10	4.5	6.0	7.5

Tabla V.8. Cantidad de aire recomendado según NMX-C-155-ONNCCE-2004 ¹⁶.

V.3.4. Temperatura.

Se ha visto que un aumento en la temperatura de curado acelera las reacciones químicas de la hidratación y, de esta manera, afecta benéficamente la resistencia temprana del concreto sin dañar la resistencia posterior. No obstante, una temperatura más alta durante el colado y el fraguado, aunque aumenta la resistencia muy temprana, puede ejercer efectos adversos sobre la resistencia a partir de los 7 días. La respuesta radica en que una hidratación inicial rápida aparentemente forma productos con una estructura física más pobre, y quizás más porosa, de tal forma que siempre quedará sin llenarse una proporción más grande de poros.

La rápida velocidad de hidratación inicial a altas temperaturas retarda la hidratación subsecuente, y produce una distribución no uniforme de los productos de hidratación que contiene la pasta. La razón para que esto suceda es que, cuando la velocidad inicial de hidratación es rápida, no hay tiempo suficiente para la difusión de los productos de hidratación que están alejados de los granos de cemento, ni para que ocurra una precipitación uniforme dentro de los espacios intersticiales (como sucede a temperaturas menores). Como consecuencia de ello se acumula una alta concentración de productos de hidratación en las cercanías de los granos de hidratación, lo cual retrasa la hidratación subsecuente y afecta de forma adversa la resistencia a largo plazo.

Se ha demostrado mediante pruebas que una temperatura más alta produce una mayor resistencia durante los primeros días posteriores al colado, pero después de una a cuatro semanas de edad, la situación cambia radicalmente (véase figura V.2)

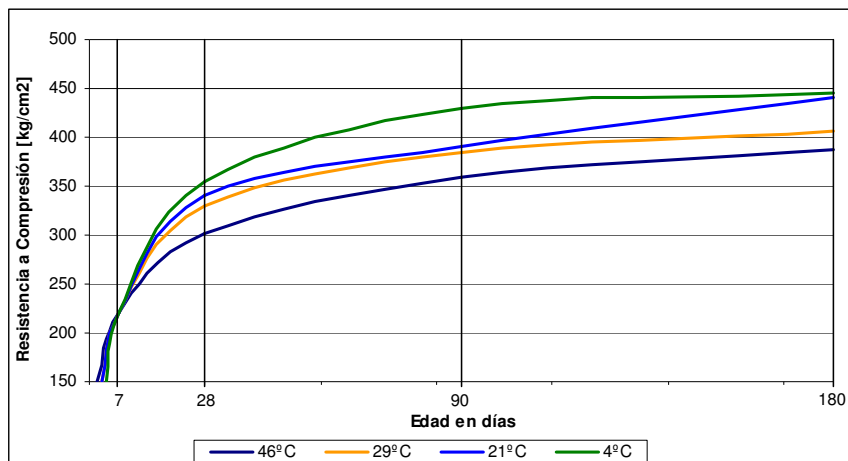


Figura V.2. Efecto de la temperatura del colado de concreto en el desarrollo de resistencia

Para efectos del control de la temperatura y obtener los mejores resultados en cuanto a hidratación, resistencia, trabajabilidad, etc., la norma NMX-C-155-ONNCCE-2004 16 establece las siguientes recomendaciones:

1. En el caso de climas fríos, el consumidor debe procurar mantener la temperatura del concreto arriba de los límites indicados en la tabla V.9.

Dimensión de la sección, en [mm]	Temperatura mínima del concreto, [°C]
Menos de 300	13
300 a 900	10
901 a 1800	7
Mayor que 1800	5

Tabla V.9. Temperatura del concreto fresco durante su colocación en el clima frío.

2. Para aquellos casos en que se proceda a calentar los materiales para compensar las bajas temperaturas ambientales, la temperatura máxima del concreto en el momento de la producción y colocación no debe exceder en ningún momento de 32°C.
3. En climas cálidos, la temperatura del concreto hidráulico en el momento de su producción y colocación debe ser la más baja posible alcanzable en forma práctica.
4. No es conveniente exceder la temperatura de 38°C.
5. Para contrarrestar el efecto de las temperaturas ambientales altas el director responsable de obra debe determinar la pertinencia de enfriar los materiales y la posibilidad de enfriar el agua, sin que la temperatura del concreto fresco descienda a menos de 10°C.

V.4. PROPIEDADES MECÁNICAS ANALIZADAS PARA EL CASO DE ESTUDIO.

V.4.1. Resistencia a la compresión.

El índice de resistencia más común del concreto es el obtenido del ensaye a compresión simple. Esto se debe a que mide una característica fundamental del concreto.

Dicho índice evalúa la resistencia del concreto tal como es producido. Comúnmente se considera este índice como indicativo de resistencia del concreto en la estructura. Sin embargo, esta última puede ser muy diferente de la resistencia de los especímenes de control, ya que depende de los métodos de transporte, colocación y curado, así como el tipo de elemento al que está destinado el concreto en cuestión.

El índice de resistencia a compresión se puede obtener de tres tipos de especímenes: cilindros, cubos y prismas. La tendencia actual se inclina hacia el uso de cilindros con una relación de esbeltez (ó relación de altura a diámetro) igual a 2. Los cilindros se cargan longitudinalmente a una tasa lenta de deformación para alcanzar la deformación máxima en 2 o 3 minutos. El cilindro estándar normal tiene 30cm de altura por 15cm de diámetro y la resistencia a compresión que se logra a los 28 días. En estructuras construidas con concreto en masa, donde se emplean agregados de gran tamaño (10 a 15cm), se usan cilindros de 30x60 cm o de 60x120 cm.

Idealmente, el índice de resistencia debe ser representativo del fenómeno que se quiere cuantificar. Así, en estructuras de concreto donde el trabajo predominante sea la compresión, la resistencia de un espécimen sometido a compresión simple será un índice satisfactorio. Pero el concreto queda sujeto frecuentemente a otras sollicitaciones en las que la compresión no es el fenómeno esencial. Por ejemplo en pavimentos de concreto se usa un prisma de concreto simple ensayado a flexión, como índice de resistencia deseable del concreto.

Para lograr una prueba a la compresión aceptable, es necesario que las cabezas de la máquina de ensaye estén totalmente en contacto con las superficies del espécimen en ambos extremos, de manera que la presión ejercida sea lo más uniforme posible.

Por otra parte, los cilindros se fabrican por lo general en moldes de acero apoyados en una placa en su cara inferior, y libres en su parte superior, donde es necesario dar un acabado manualmente. Éste queda con frecuencia demasiado rugoso para que pueda apoyarse directamente la cabeza de la maquina de ensaye, por lo que es necesario dar una preparación a los extremos del cilindro para poder asegurar que la presión queda uniformemente distribuida y que la dirección de carga es paralela al eje del cilindro. Esta operación, llamada *cabeceado* y que consiste en aplicar un cierto material, generalmente azufre o pasta de cemento, a los extremos del cilindro para producir una superficie lisa de apoyo, prolonga el

tiempo necesario para la preparación del ensaye e introduce variables adicionales en los resultados: el material y la forma de cabeceado.

La norma NMX-C-083-ONNCCE-2002 "Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto – Método de prueba" especifica con detalle las condiciones de muestreo, fabricación, curado y ensaye de los especímenes. Así mismo establece que la resistencia a compresión se calcula, dividiendo la carga máxima soportada durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal.

Por ultimo, debe tenerse en cuenta siempre que frecuentemente se da demasiada importancia al valor de la resistencia a la compresión de un espécimen de concreto. Si no se posee la debida perspectiva, se puede llegar a pensar erróneamente que la resistencia a la compresión de un espécimen de concreto representa la resistencia del concreto en la estructura ante cualquier combinación de solicitaciones.

V.4.2. Módulo de Ruptura.

La resistencia a la tensión del concreto es relativamente baja. Una buena aproximación para la resistencia a la tensión f_{ct} es $0.10f'_c < f_{ct} < 0.20f'_c$. Sin embargo, debido a las dificultades experimentales de lograr la tensión axial en los especímenes y a las incertidumbres respecto a los esfuerzos secundarios inducidos por los dispositivos de sujeción, rara vez se utiliza la prueba a tensión directa.

Es posible medir de manera indirecta la resistencia a tensión del concreto en términos del esfuerzo calculado de tensión a que se rompe un espécimen colocado horizontalmente en una maquina de prueba y cargado a lo largo de un diámetro (prueba brasileña).

También es posible evaluar la resistencia a tensión del concreto por medio de pruebas de flexión realizadas en vigas de concreto simple. Normalmente las vigas tienen una sección transversal cuadrada de 6 plg (150 mm) por lado, con 18 plg de claro (500 mm). La resistencia a la tensión por flexión, conocida como el **módulo de ruptura** f_r se calcula de la formula de flexión M/Z , en que M es el momento flexionante en el momento de la falla del espécimen y Z es el módulo de sección de la sección transversal. Por lo general la resistencia a tensión del cilindro obtenida en la prueba brasileña va de 50 a 75% del módulo de ruptura. La diferencia se debe primordialmente a que la distribución de esfuerzos en el concreto

del miembro a flexión no es lineal cuando la falla es inminente. Una relación aproximada para el módulo de ruptura es:

$$f_r = K\sqrt{f'_c} \dots \dots (V.2)$$

El ACI especifica un valor de $f_r = 7.5\sqrt{f'_c}$ para el módulo de ruptura del concreto de peso normal.

La NMX-C-191-ONNCCE-2004 "Ensayo a la flexión en vigas de concreto con carga en los tercios del claro" establece las especificaciones en cuanto a aparatos y equipo, preparación del espécimen, muestreo y el procedimiento para llevar a cabo la prueba; así mismo estipula que el módulo de ruptura se calcule del siguiente mediante las siguientes formulas:

$$f_r = \frac{P \cdot L}{b \cdot d^2} \dots \dots (V.3)$$

$$f_r = \frac{3P \cdot a}{b \cdot d^2} \dots \dots (V.4)$$

En donde:

f_r = Módulo de ruptura de KPa (kgf/cm²)

P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de prueba en N (kgf).

L = Largo del claro, en cm.

b = Ancho promedio del espécimen, en cm.

d = Peralte promedio del espécimen, en cm.

a = distancia en cm entre la sección de rotura y el apoyo más próximo, medido a lo largo del eje central de la superficie inferior de la probeta.

Notas:

Si la fractura se produce en el tercio central de la luz d ensayo, calcular la resistencia a tensión por flexión del concreto, por la fórmula V.3.

Si la fractura se produce fuera del tercio central del claro libre, pero en la zona comprendida entre el plano de aplicación de la carga y una distancia de 0,005 L de ese plano, calcular la resistencia a tensión por flexión del concreto por la fórmula V.4.

V.4.3. Contracción por secado.

Existen dos tipos básicos de contracción: contracción plástica y por desecación. La contracción plástica ocurre durante las primeras horas después de colocar el concreto fresco en los moldes. Las superficies expuestas tales como losas de piso son las más afectadas por la exposición al aire seco debido a su gran superficie de contacto. En tales casos la humedad de la superficie de concreto se evapora más rápidamente antes de ser reemplazada por el agua exudada por las capas más bajas de los elementos de concreto. La contracción por desecación ocurre después de que el concreto ha alcanzado su fraguado final y se ha completado una buena parte del proceso químico de hidratación en el gel-cemento.

La contracción por desecación es la disminución en el volumen de un elemento de concreto cuando éste pierde humedad por evaporación. En otras palabras, la contracción representa un movimiento de agua fuera o dentro de la estructura del gel de un espécimen de concreto debido a la diferencia en los niveles de humedad o saturación entre el espécimen y el medio prescindiendo de la carga externa.

La contracción no es un proceso del todo reversible. Si un elemento de concreto se satura con agua después de haber tenido contracción total, éste no se expandirá a su volumen original. La figura V.3., muestra la relación del aumento en la deformación por contracción ϵ_{sh} respecto al tiempo. La relación disminuye con el tiempo ya que los concretos más viejos son más resistentes a esfuerzos y en consecuencia experimentan menos contracción, de tal modo que la deformación por contracción viene a ser casi asintótica con el tiempo.

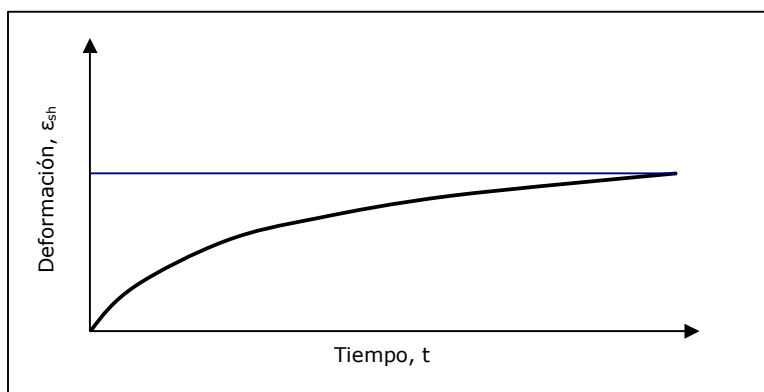


Figura V.3. Curva contracción - tiempo.

V.5. CONTRACCIÓN POR SECADO OCACIONADA POR EL CONTENIDO EN EXCESO DE FINOS EN EL CONCRETO.

V.5.1. Causas principales de la contracción.

Ya se ha mencionado que, las deformaciones por contracción se deben esencialmente a cambios en el contenido de agua en el concreto a lo largo del tiempo, el agua de la mezcla se va evaporando e hidrata el cemento. Esto produce cambios volumétricos en la estructura interna del concreto, que a su vez produce deformaciones.

Es por ello que se los agregados deben estar libres de arcillas y otras partículas que se disgreguen ya que estas tienen una gran capacidad de absorción, pues los factores que más afectan la contracción son la cantidad original de agua en la mezcla y las condiciones ambientales especialmente a edades tempranas.

Para la misma relación agua/cemento (a/c), la contracción varía con la cantidad de pasta por unidad de volumen. Una mezcla rica en pasta se contraerá más que otra pobre.

La contracción tiende a producir esfuerzos debidos a las restricciones al libre desplazamiento del elemento que existen en general en la realidad. Si el concreto pudiera encogerse libremente, la contracción no produciría ni esfuerzos ni grietas.

Si el curado inicial del concreto se hace muy cuidadosamente, disminuirá el efecto de la contracción. Se puede estimar que las deformaciones unitarias debidas a contracción varían entre el 0.0002 y 0.0010. Normalmente, la mayor parte de la deformación por contracción ocurre en los primeros meses.

V.5.2. Mecanismo de contracción.

El cambio volumétrico del concreto en proceso de secado no es igual al volumen de agua perdido. La pérdida de agua libre, que es la primera en ocurrir, causa muy poca o ninguna contracción. Conforme continúa el secado, se pierde el agua adsorbida y el cambio de volumen en la pasta de cemento no restringida en

esa etapa es, aproximadamente, igual a la pérdida de una capa de agua con espesor de una molécula de la superficie de todas las partículas del gel. Puesto que el espesor de una molécula de agua es del orden de 1% de la dimensión de la partícula de gel, es de esperarse que un cambio de tamaño lineal de la pasta de cemento completamente seca sea del orden de $10\ 000 \times 10^{-6}$ se han llegado a observar valores hasta 4000×10^{-6} .

La influencia que ejerce el tamaño del agregado en el secado se demuestra por baja contracción que presentan las piedras naturales de construcción de grano grueso (aunque sean muy porosas) y por la alta contracción de las partículas finas. También sucede que la pasta de cemento curada con vapor a alta presión, que es microcristalina y tiene una superficie específica baja, se contrae de 5 a 10 veces, y en ocasiones hasta 17 veces menos que una pasta similar curada normalmente.

En especímenes de concreto, la pérdida de agua con relación al tiempo depende del tamaño del espécimen del mismo, pero en este caso no existe una relación sencilla por la influencia que ejercen los bordes en el comportamiento. La tabla V.10 indica los datos del tiempo que se requiere para que el concreto (al secarse sólo en una de sus superficies) pierda el 80% del agua evaporable.

Temperatura	Resistencia	Humedad relativa	Conductividad de la humedad	Duración del secado para distancias a partir de la superficie expuesta, mm		
				50	100	200
°C						
5	Baja	Baja	Baja	3 m	1 a	4 a
	Media	Media	Media	5 a	20 a	80 a
	Alta	Alta	Alta	50 a	200 a	800 a
5	Baja	Baja	Baja	1 m	5 m	1 ½ a
	Media	Media	Media	2 ½ a	10 a	40 a
	Alta	Alta	Alta	25 a	100 a	400 a
5	Baja	Baja	Baja	10 d	1 m	5 m
	Media	Media	Media	1 a	4 a	15 a
	Alta	Alta	Alta	10 a	40 a	150 a
5	Baja	Baja	Baja	1 d	4 d	0.5
	Media	Media	Media	1 m	5 m	1.5 a
	Alta	Alta	Alta	1 a	6 a	25 a

Tabla V.10. Períodos indicativos del secado del concreto.

Para los propósitos de esta tabla el secado se define como la pérdida del 80% del agua evaporable
d= días, m= meses, a= años.

V.5.3. Factores que afectan la contracción.

Los agregados son los que ejercen la influencia más importante, puesto que incrementan o restringen la cantidad de contracción que puede ocurrir realmente.

La relación entre la contracción del concreto S_c , y la contracción de la pasta de cemento limpia, S_p , depende del contenido de agregados del concreto, a , y es:

$$S_c = S_p(1-a)^n \quad \text{(V.3)}$$

Los valores experimentales de n varían entre 1.2 y 1.7 y algunas de estas variaciones se derivan de la liberación de esfuerzo que ocurre en la pasta de cemento a causa de la fluencia. La figura V.3 muestra los resultados típicos y proporciona un valor de $n=1.7$.

El tamaño y la granulometría de los agregados no influyen por sí mismos en la magnitud de la contracción, pero los agregados de un tamaño mayor permiten utilizar mezclas más pobres en pasta y, por ello presentan menor contracción. Si el cambiar el tamaño máximo de agregado de 6.3 mm a 152 mm significa que el contenido de agregado puede aumentar del 60 al 80% del volumen total de concreto, entonces, como muestra la figura V.3, puede haber una triple disminución de la contracción.

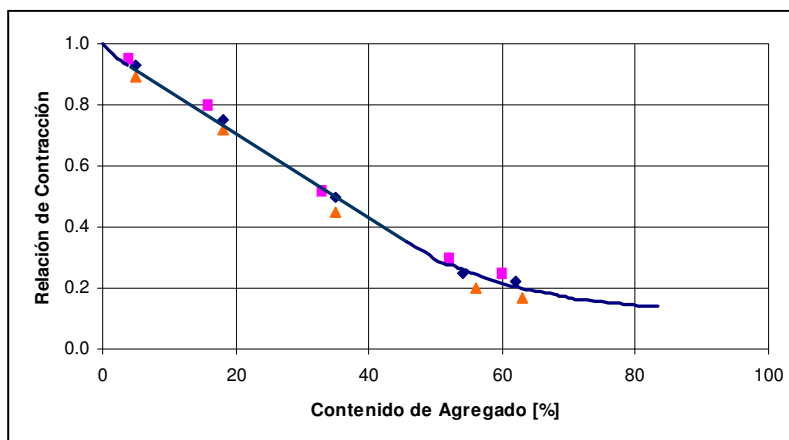


Figura V.4. Influencia del contenido de agregado del concreto (por volumen) en la Relación de la contracción del concreto y la contracción de la pasta pura de cemento.

Asimismo, para determinada resistencia, el concreto de poca trabajabilidad contiene más agregado que una mezcla muy trabajable hecha con un agregado del mismo tamaño y, en consecuencia, la primera de las mezclas tendrá menos contracción. Por ejemplo, el aumentar el contenido de agregado de determinado concreto del 71 al 74% (con la misma relación agua/cemento) reducirá la contracción en un 20% aproximadamente (Véase la figura V.3).

A manera de ejemplo presentan en la tabla V.11 valores típicos de contracción por secado de especímenes de concreto con sección transversal cuadrada de 127 mm, almacenados a una temperatura de 21°C y a una humedad

relativa del 50% durante seis meses, pero dichos valores no son más que una guía, ya que hay muchos factores que influyen en la contracción.

Relación agregado/cemento	Contracción después de 6 meses (10^{-6}) para relaciones agua cemento de:			
	0.4	0.5	0.6	0.7
3	800	1200	-	-
4	550	850	1 050	-
5	400	600	750	850
6	300	400	550	650
7	200	300	400	500

Tabla V.11. Valores típicos de la contracción de especímenes de concreto de 127 mm por lado y de sección transversal cuadrada, almacenado a una humedad relativa del 50% y a 21°C.

Las propiedades plásticas del agregado determinan el grado de restricción existente; por ejemplo el agregado con acero causa una tercera parte menos de contracción, la presencia de arcilla en el agregado disminuye su efecto restrictivo sobre la contracción y, puesto que la arcilla misma se contrae, el recubrimiento de ésta sobre el agregado puede aumentar la contracción hasta en un 70%. Los agregados sujetos a contracción, por lo general tienen una alta absorción, y esto se debe considerar como una advertencia para investigar bien el agregado, a fin de determinar sus propiedades de contracción antes de utilizarlo. Un medio posible de tratar con dichos agregados es mezclar los de alta contracción con los de baja contracción.

Por lo general, el agregado ligero produce mayor contracción, principalmente porque este agregado, que tiene un módulo de elasticidad menor, ofrece menos restricción a la contracción potencial de la pasta de cemento. El agregado ligero que tiene mayor proporción de material fino que la malla 0.075mm (No 200) se contraen aún más, puesto que los finos hacen que haya más huecos.

El contenido de agua del concreto afecta la contracción en cuanto a que reduce el volumen de agregado restrictivo. Por consiguiente, en general, el contenido de agua de una mezcla determinaría el orden de contracción esperado, pero en general el contenido de agua no se considera por sí mismo un factor primordial.

Capítulo VI.

ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN CONCRETO.

Para poder realizar un análisis de los resultados obtenidos en concreto, es imperativo analizar en primer término las características que se estudiaron mediante diferentes pruebas en los agregados finos. Esto con la finalidad de llevar una secuencia en desarrollo del presente trabajo.

VI.1. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE PARTÍCULAS MÁS FINAS QUE LA CRIBA 0.075MM (NO. 200) POR MEDIO DE LAVADO.

La prueba para la determinación del contenido de partículas menores a la criba 0.075mm (No. 200), también conocida como pérdida por lavado, se realizó en los distintos agregados conforme al método de prueba establecido por la norma NMX-C-084-2006 del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

El objetivo de esta prueba es determinar el porcentaje en peso de material que pasa por la malla No.200 (limos o arcillas) de los agregados finos que posteriormente se van a emplear en la fabricación de concreto. Comparar los resultados obtenidos con los límites que establece en este rubro por la norma NMX-C-111-ONNCCE y verificar en que aspectos el exceso de finos es nocivo para el concreto. Así mismo determinar si se pueden rebasar los límites establecidos sin afectar las características del concreto.

En la figura VI.1 se puede observar que únicamente los agregados provenientes de ríos cumplen con el límite convencional del contenido de partículas menores a la criba No 200, por lo que es indispensable realizar el análisis de dichas partículas mediante los límites de consistencia y contracción lineal para determinar la plasticidad de esa porción del material.

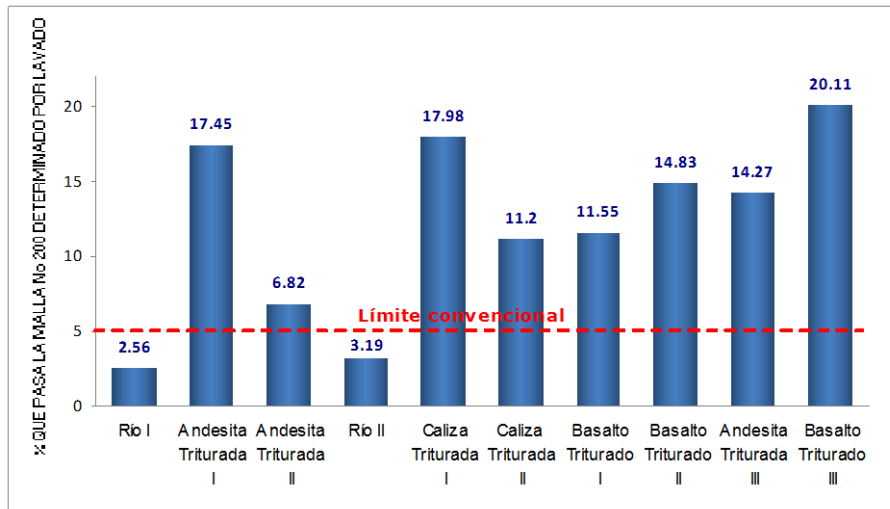


Figura VI.1. Comparativa del % de pérdida por lavado de las distintas arenas analizadas.

VI.2. LIMITES DE CONSISTENCIA Y CONTRACCIÓN LINEAL OBTENIDOS.

VI.2.1. Límites de consistencia.

Los resultados obtenidos en la prueba de pérdida por lavado muestran que las arenas, a excepción de las provenientes de ríos, no cumplen con el límite convencional establecido, sin embargo esto no significa que estos materiales no sean aptos para la fabricación de concreto. Los límites de consistencia nos permiten determinar si la fracción de agregado que pasa a través de la malla No 40 (0.420 mm) tiene o no propiedades plásticas, y, con base en los resultados obtenidos, poder emitir un juicio respecto a su comportamiento en el concreto.

La tabla VI.1 muestra los resultados obtenidos en las pruebas que se realizaron para caracterizar las partículas finas de las arenas que posteriormente se emplearon en las mezclas de concreto.

IDENTIFICACIÓN	TIPO DE ARENA	LÍMITE LÍQUIDO %	LÍMITE PLÁSTICO %	ÍNDICE DE PLASTICIDAD %	CLASIFICACIÓN DE FINOS
A 1	Río I	23.37	18.60	4.77	Arenas finas con Limos de baja plasticidad
A 2	Andesita Triturada I	21.00	14.44	6.56	Arenas finas con Limos de baja plasticidad
A 3	Andesita Triturada II	19.20	17.68	1.52	Arenas finas con Limos de baja plasticidad
A 4	Río II	25.23	19.84	5.39	Arenas con finos Limo arcillosos de baja plasticidad
A 5	Caliza Triturada I	12.52	10.27	2.25	Arenas finas con Limos de baja plasticidad
A 6	Caliza Triturada II	18.22	17.12	1.10	Arenas finas con Limos de baja plasticidad
A 7	Basalto Triturado I	17.62	14.66	2.96	Arenas finas con Limos de baja plasticidad
A 8	Basalto Triturado II	15.32	15.00	0.31	Arenas finas con Limos de baja plasticidad
A9	Andesita Triturada III	17.81	13.15	4.67	Arenas con finos Limo arcillosos de baja plasticidad
A 10	Basalto Triturado III	19.39	15.87	3.52	Arenas con finos Limo arcillosos de baja plasticidad

Tabla VI.1. Límites de consistencia y clasificación obtenida en agregados finos analizados.

Analizando los resultados presentados en la tabla VI.1 podemos observar que las partículas finas contenidas en las arenas, son de baja plasticidad, por lo que aún y cuando no cumplen con la pérdida por lavado convencional, su presencia en demasía no se considera perjudicial para la fabricación de concreto, sin embargo es necesario tomar en cuenta los resultados de contracción lineal, puesto que el concreto para el cual se van a utilizar estos agregados debe cumplir con determinados requerimientos de contracción por secado.

En la tabla VI.2 se presentan las cantidades de material máximas permisibles menores que la criba 0.075mm (No.200) en agregados finos en función de los límites de consistencia e índice de plasticidad de cada una de las arenas estudiadas. De acuerdo con los valores de plasticidad obtenidos, se permite hasta un 13% de contenido de finos para la muestra dos (arena andesita triturada) y un 15% para el resto de las muestras.

LÍMITE LÍQUIDO	ÍNDICE PLÁSTICO	MATERIAL MÁXIMO PERMISIBLE EN MASA QUE PASA POR LA CRIBA 0.075 MM EN POR CIENTO %	UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS BASANDOSE EN SUS VALORES DE PLASTICIDAD (LL - LP)
(%)	(LL - LP) (%)	(%)	
Hasta 25	Hasta 5	15.0	A1, A3, A4, A5, A5, A7, A8, A9, A10
Hasta 25	6 - 10	13.0	A2
Hasta 25	11 - 15	6.0	
26 - 35	Hasta 5	13.0	
26 - 35	6 - 10	10.0	
26 - 35	11 - 15	5.0	
36 - 40	Hasta 5	10.0	

Tabla VI.2. Material máximo permisible menor a 0.075mm en arenas de acuerdo a valores de plasticidad

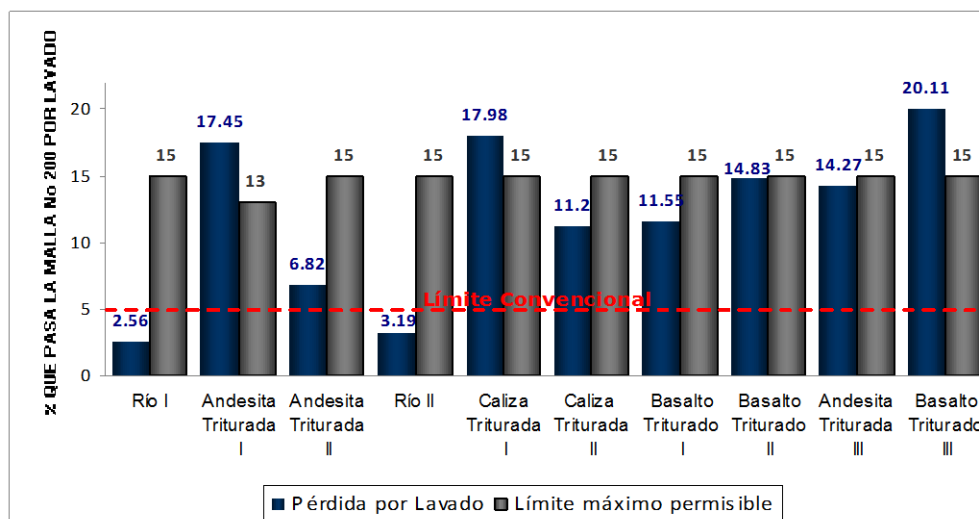


Figura VI.2. Comparativa del porcentaje de partículas menores a la criba 0.075mm Obtenido con el Límite Convencional y el Máximo permisible con base en resultados de plasticidad.

En la figura VI.2 se puede ver que aún y cuando los resultados de plasticidad indican que los agregados en estudio tienen partículas finas de baja plasticidad, la presencia de estas partículas excede el porcentaje en peso permitido, tal es el caso de las arenas Andesita triturada I, Caliza triturada I y Basalto triturado III, por lo que se debe tener mayor atención en el comportamiento de estos agregados en el concreto y verificar que dichas partículas no afecten las propiedades tanto en estado fresco como en endurecido del concreto, ya que de ello depende la aceptación o rechazo de estos materiales.

VI.2.2. Contracción Lineal.

La Contracción Lineal de la fracción de agregado que pasa por la malla 0.420 mm (No 40) aunada a los límites de consistencia ya comentados, nos permite tener un panorama más amplio sobre el comportamiento plástico que las arenas en estudio puedan tener en el concreto. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada arena en esta prueba.

IDENTIFICACIÓN	TIPO DE ARENA	CONTRACCIÓN LINEAL (%)
A1	Río I	0.00
A2	Andesita Triturada I	0.00
A3	Andesita Triturada II	0.03
A4	Río II	0.00
A5	Caliza Triturada I	0.12
A6	Caliza Triturada II	0.49
A7	Basalto Triturado I	1.25
A8	Basalto Triturado II	0.82
A8	Andesita Triturada III	0.00
A10	Basalto Triturado III	1.64

Tabla VI.3. Resultados obtenidos de contracción lineal.

La norma NMX-C-111-ONNCCE establece que en ningún caso los agregados deben tener una contracción lineal mayor al 2%. De acuerdo con los resultados obtenidos, las arenas en estudio cumplen con el límite permisible, por lo que se espera que la contracción de los agregados no sea un factor que influya en la contracción por secado del concreto.

VI.3. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES EN CONCRETO FRESCO OBTENIDAS.

Las propiedades del concreto fresco que se examinan en este trabajo son revenimiento, temperatura, contenido de aire y masa volumétrica. Estas propiedades son las más importantes y representativas para el caso de estudio que es la elaboración de concreto para su uso en pisos industriales.

Es de importancia vigilar y controlar estas propiedades, ya que de estas se puede deducir información sobre su posible comportamiento en estado endurecido, además de estar directamente relacionadas con la calidad, trabajabilidad y rendimiento del mismo. La obtención de valores muy altos o bajos en alguna de estas características puede significar deficiencias o baja calidad de los materiales

utilizados así como fallas en el proceso de elaboración y muestreo. Los resultados obtenidos en esta etapa se presentan en la tabla VI.4.

IDENTIFICACIÓN	TIPO DE ARENA EMPLEADA	A/C DISEÑO	AJUSTE AGUAS (+,-)	A/C REAL	REVENIMIENTO [CM]	MASA UNITARIA [KG/CM ³]	CONTENIDO DE AIRE [%]	T [°C]
TST	Río I	0.5	(-) 1,8	0.44	17	2298.80	4.30	20
Mezcla 2	Andesita Triturada I	0.5	(-) 1,8	0.44	18	2263.76	6.00	20
Mezcla 3	Andesita Triturada II	0.5	(-) 1,8	0.44	16	2252.75	5.00	20
Mezcla 4	Río II	0.5	(-) 1,8	0.44	16	2273.77	5.30	19
Mezcla 5	Caliza Triturada I	0.5	(-) 1,8	0.44	16	2331.83	3.50	19
Mezcla 6	Caliza Triturada II	0.5	(-) 1,8	0.44	18	2391.89	2.30	17
Mezcla 7	Basalto Triturado I	0.5	(-) 1,8	0.44	16	2386.88	1.30	18
Mezcla 8	Basalto Triturado II	0.5	(-) 1,8	0.44	18	2376.87	2.60	18
Mezcla 9	Andesita Triturada III	0.5	(-) 1,8	0.44	15	2310.81	4.20	19
Mezcla 10	Basalto Triturado III	0.5	(+) 1,8	0.57	15	2394.89	0.80	21

Tabla VI.4. Resultados obtenidos en las propiedades en fresco del concreto.

De los resultados que se presentan en la tabla VI.4 se puede decir que:

Como ya se mencionó en el capítulo V, el revenimiento es una característica cuantitativa que busca medir la consistencia y uniformidad del concreto fresco. En cuanto esto, se cumple con la tolerancia permisible que es de +/- 2cm respecto al revenimiento teórico establecido en el diseño de mezclas (Tabla V.6., Cap.V). Para ello se utilizó un aditivo fluidificante en proporciones adecuadas para cada mezcla.

A continuación se presentan otras características cualitativas que se observaron durante la elaboración del concreto y que al igual que el revenimiento son representativas de la consistencia y uniformidad de la mezcla (Tabla VI.5).

IDENTIFICACIÓN	ASPECTO	COHESIÓN
TST	Pastoso	Buena
Mezcla 2	Pastoso	Buena
Mezcla 3	Pastoso	Regular
Mezcla 4	Pastoso	Buena
Mezcla 5	Pastoso	Buena
Mezcla 6	Pastoso	Buena
Mezcla 7	Pastoso	Regular
Mezcla 8	Pastoso	Regular
Mezcla 9	Ligeramente gravado	Regular
Mezcla 10	Ligeramente gravado	Mala

Tabla VI.5. Aspecto y cohesión de las mezclas.

La masa unitaria es un indicativo de la cantidad de materiales que constituyen un metro cúbico de concreto fresco. Como ya se vio en el capítulo V este dato es importante, ya que su disminución o aumento representa repercusiones importantes en las propiedades del concreto endurecido.

La norma NMX-C-155-ONNCCE, establece que el concreto debe tener una masa unitaria entre 1800 kg/cm³ y 2400 kg/cm³, es recomendable que el concreto utilizado para pisos industriales ó pavimentos, tenga una masa unitaria de 2200 kg/cm³. Los resultados obtenidos en esta prueba están dentro de este rango (ver tabla VI.4)

Un dato importante que se obtiene a partir de la relación de la masa total de los materiales empleados (cemento, agregados, agua) y la masa unitaria del concreto fresco es el rendimiento, que se define como el volumen de concreto producido por una cantidad de ingredientes.

IDENTIFICACIÓN	Cemento kg	grava kg	Arena kg	Agua kg	Masa total kg	Masa unitaria kg/m ³	Rendimiento m ³
TST	27.720	79.776	56.540	12.060	176.096	2298.80	0.077
Mezcla 2	28.800	81.717	58.739	12.600	181.856	2263.76	0.080
Mezcla 3	28.800	80.821	56.881	12.600	179.102	2252.75	0.080
Mezcla 4	28.800	81.709	57.688	12.600	180.797	2273.77	0.080
Mezcla 5	28.800	85.057	61.691	12.600	188.148	2331.83	0.081
Mezcla 6	28.800	85.292	60.935	12.600	187.627	2391.89	0.078
Mezcla 7	28.800	84.219	61.040	12.501	186.560	2386.88	0.078
Mezcla 8	28.800	84.760	61.700	12.232	187.492	2376.87	0.079
Mezcla 9	28.800	80.299	55.886	12.600	177.585	2310.81	0.077
Mezcla 10	27.000	79.588	57.792	15.098	179.478	2394.89	0.075

Tabla VI.6. Rendimiento del concreto fresco producido.

La determinación del contenido de aire de una muestra representativa, se realizó de acuerdo con la norma NMX C-157 "Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión". La muestra se aceptará con una tolerancia de ±2% del valor requerido.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO [MM]	CANTIDAD DE AIRE RECOMENDADO, TOTAL EN %, SEGÚN TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Ligera	Moderada	Severa
20	3.5	5.0	6.0

Tabla VI.7. Cantidades de aire recomendado por la NMX-C-155-ONNCCE para un tamaño máximo de agregado de 20 mm.

De acuerdo con el tamaño máximo de agregado que se empleó (grava caliza de 20mm), y tomando en cuenta que la exposición del concreto es ligera se permite un contenido de aire de 3.5% (Tabla VI.6) con una tolerancia de +/- 2%. En la siguiente tabla se comparan los resultados obtenidos con la cantidad permitida de aire y el cumplimiento con este requisito.

IDENTIFICACIÓN	CONTENIDO DE AIRE %	CANTIDAD DE AIRE RECOMENDADO %	TOLERANCIA %	CUMPLE (SÍ / NO)
TST	4.30	3.5	2	Sí
Mezcla 2	6.00	3.5	2	No
Mezcla 3	5.00	3.5	2	Sí
Mezcla 4	5.30	3.5	2	Sí
Mezcla 5	3.50	3.5	2	Sí
Mezcla 6	2.30	3.5	2	Sí
Mezcla 7	1.30	3.5	2	No
Mezcla 8	2.60	3.5	2	Sí
Mezcla 9	4.20	3.5	2	Sí
Mezcla 10	0.80	3.5	2	No

Tabla VI.8. Verificación del cumplimiento en el contenido de aire máximo recomendado.

La temperatura del concreto fresco se puede especificar como medida opcional, dentro de ciertos límites para condiciones especiales, ésta fue medida a través de una muestra representativa obtenida de acuerdo con la norma NMX C-161 "Muestreo del concreto fresco". En la industria de la construcción, este requisito podrá establecerse por parte del productor mediante previo convenio especial.

Se considerará adecuado el volumen de concreto representado por la muestra si tiene una temperatura de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ del valor especificado.

VI.4. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS OBTENIDAS EN CONCRETO ENDURECIDO.

Las mezclas se realizaron en laboratorio, mediante un mezclado mecánico, incorporando los materiales conforme a la siguiente secuencia:

1. Agregados

2. Agua para llevar al estado SSS a los agregados.
3. Cemento
4. Agua de mezclado con aditivos especiales.
5. Aditivo fluidificante.

Es necesario mencionar que una vez que se agregó el agua de mezclado, se permitió un tiempo de 3 minutos para la incorporación de todos los materiales y la formación de una mezcla uniforme, 3 minutos de reposo y posteriormente 2 minutos de mezclado. Durante estos últimos se adicionó el aditivo fluidificante en cantidades adecuadas, según lo fuera requiriendo la consistencia presentada por la mezcla, esto con la finalidad de obtener el revenimiento establecido en el diseño de mezclas.

Una vez obtenido el revenimiento adecuado se procedió a realizar la medición de las propiedades en fresco y el llenado de moldes para la determinación de las propiedades mecánicas. Se realizaron vigas de 15x15x50 cm (4 por mezcla) para probarlas a tensión por flexión, cilindros de 15 x 30 cm (8 por mezcla) para la obtención de la resistencia a compresión y barras de contracción de 75x75x285 mm (3 por mezcla) para la prueba de contracción por secado.

VI.4.1. Resistencia a compresión.

La evaluación de de esta propiedad se realizó conforme al procedimiento establecido en la norma NMX-C-083-ONNCCE-2002 "Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto – Método de Prueba". Para asegurar que la carga aplicada fuese uniformemente distribuida y paralela al eje de los especímenes, se realizó el cabeceo de los mismos conforme a la norma NMX-C-109-2004 "Cabeceo de especímenes cilíndricos". Los resultados obtenidos a 3, 7, 14 y 28 días son los siguientes:

IDENTIFICACIÓN	TIPO DE ARENA EMPLEADA	F'C 3 DÍAS KG/CM ²	F'C 7 DÍAS KG/CM ²	F'C 14 DÍAS KG/CM ²
TST	Río I	337	414	461
Mezcla 2	Andesita Triturada I	328	417	466
Mezcla 3	Andesita Triturada II	321	393	437
Mezcla 4	Río II	317	375	433
Mezcla 5	Caliza Triturada I	311	389	450
Mezcla 6	Caliza Triturada II	291	412	443
Mezcla 7	Basalto Triturado I	315	425	477
Mezcla 8	Basalto Triturado II	336	456	507
Mezcla 9	Andesita Triturada III	383	438	491
Mezcla 10	Basalto Triturado III	296	324	378

Tabla VI.9. Resultados obtenidos en resistencia a compresión a 3, 7 y 14 días.

IDENTIFICACIÓN	TIPO DE ARENA EMPLEADA	CONTENIDO DE AIRE %	AJUSTE AGUA L (+,-)	A/C REAL	F'C 28 DÍAS KG/CM ²
TST	Río I	4.30	(-) 1,8	0.44	495
Mezcla 2	Andesita Triturada I	6.00	(-) 1,8	0.44	509
Mezcla 3	Andesita Triturada II	5.00	(-) 1,8	0.44	467
Mezcla 4	Río II	5.30	(-) 1,8	0.44	456
Mezcla 5	Caliza Triturada I	3.50	(-) 1,8	0.44	493
Mezcla 6	Caliza Triturada II	2.30	(-) 1,8	0.44	488
Mezcla 7	Basalto Triturado I	1.30	(-) 1,8	0.44	532
Mezcla 8	Basalto Triturado II	2.60	(-) 1,8	0.44	554
Mezcla 9	Andesita Triturada III	4.20	(-) 1,8	0.44	528
Mezcla 10	Basalto Triturado III	0.80	(+) 1,8	0.57	404

Tabla VI.10. Resultados obtenidos en resistencia a compresión a 28 días y variables que influyen.

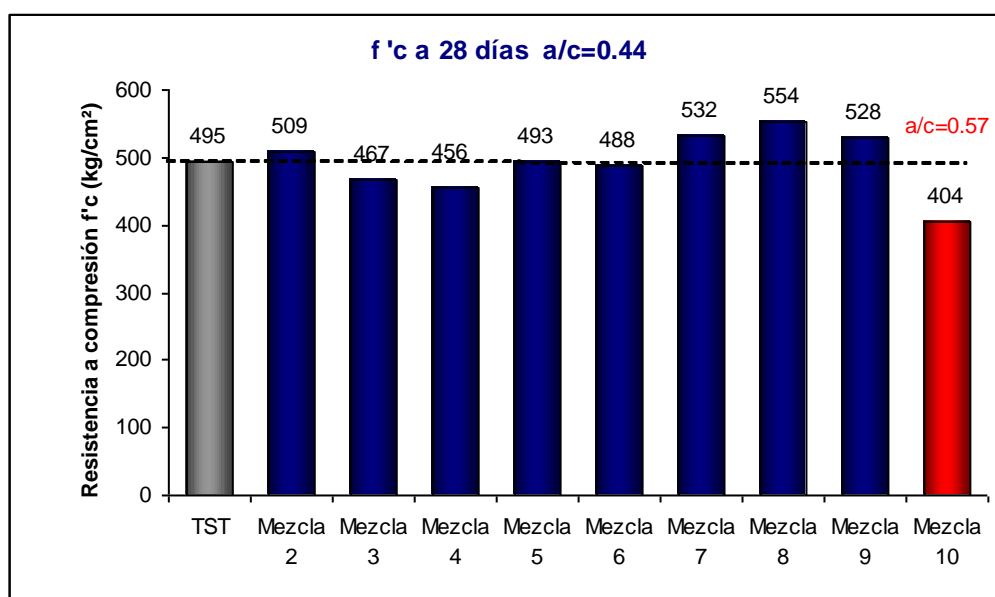


Figura VI.3. Comparativa de resistencia a compresión a 28 días de las mezclas en estudio.

En la figura VI.3 se observa la resistencia que alcanzaron los diferentes especímenes a los 28 días, en comparación con el testigo. Si bien lo ideal era obtener resistencias mayores o iguales a la del testigo esto no fue posible, debido a diferentes variables entre las que destacan el contenido de aire. Este parámetro fue mayor respecto al testigo en las mezclas 3 y 4 (5.00 y 5.30% respectivamente), siendo que la cantidad de aire recomendado es del 3.50%.

Por otra parte, se puede ver como en el caso de la mezcla 10 el aumento en la relación agua/cemento (a/c) fue lo que repercutió directamente en la disminución de la resistencia a compresión, esto también puede repercutir en una baja resistencia al desgaste.

Es necesario aclarar que la determinación de aumentar la relación agua/cemento, se tomó en base a que el revenimiento no estaba dentro del rango establecido en el diseño de mezcla y a la trabajabilidad de esta no era la adecuada para su muestreo. A pesar de no agregar mayor cantidad de agua a la establecida en el diseño de mezclas, los resultados obtenidos en la mezcla 10 no fueron satisfactorios.

VI.4.2. Módulo de ruptura.

El concreto hidráulico que se utiliza en pisos industriales o en pavimentos se especifica por su resistencia a la flexión, medida por el Módulo de Ruptura a los 28 días (f_r) expresado en kg/cm^2 . Los valores de módulo de ruptura que comercialmente se frecuentan son:

38 kg/cm^2 40 kg/cm^2

42 kg/cm^2 45 kg/cm^2

48 kg/cm^2 50 kg/cm^2

La resistencia a la tensión se determinó a través de la prueba de Módulo de Ruptura (f_r) de acuerdo con la norma NMX-C-191-ONNCCE-2004 "Determinación de la resistencia a la flexión en vigas de concreto con carga en los tercios del claro". Los resultados obtenidos se m

uestran en la siguiente tabla.

IDENTIFICACIÓN	TIPO DE ARENA EMPLEADA	A/C REAL	F_R 3 DÍAS (KG/CM ²)	F_R 28 DÍAS (KG/CM ²)
TST	Río I	0.44	47.6	58.8
Mezcla 2	Andesita Triturada I	0.44	44.9	64.6
Mezcla 3	Andesita Triturada II	0.44	41.5	56.1
Mezcla 4	Río II	0.44	46.2	54.4
Mezcla 5	Caliza Triturada I	0.44	46.2	57.8
Mezcla 6	Caliza Triturada II	0.44	48.3	61.2
Mezcla 7	Basalto Triturado I	0.44	48.9	57.1
Mezcla 8	Basalto Triturado II	0.44	51.6	57.4
Mezcla 9	Andesita Triturada III	0.44	44.9	60.1
Mezcla 10	Basalto Triturado III	0.57	31.3	46.2

Tabla VI.11. Resultados obtenidos en modulo de ruptura a 3 y 28 días.

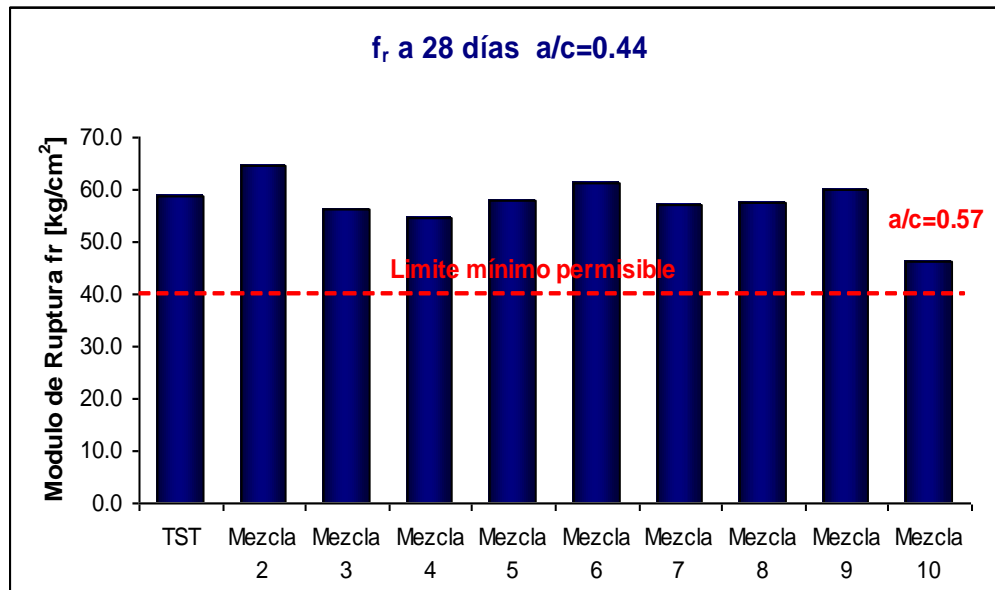


Figura VI.4. Comparativa de módulo de ruptura obtenido a 28 días.

En la figura VI.4, se presentan gráficamente los resultados de la prueba de ensaye a la flexión en vigas con carga en los tercios del claro. Los módulos de ruptura obtenidos están por encima de límite mínimo establecido, lo que significa que el concreto producido tiene una alta resistencia a la flexión y a las solicitaciones propias de un piso industrial. Los resultados en esta prueba se consideran satisfactorios.

VI.4.3. Contracción por secado.

Esta prueba se realizó conforme a la norma NMX-C-173-1990 "Determinación de la variación en longitud de especímenes de mortero de cemento y de concreto endurecidos". Con ella se pretende obtener un panorama de la variación de longitud que pueda tener el concreto y los problemas que esto le pueda ocasionar. Además de examinar el comportamiento en cuanto a la contracción de los agregados finos utilizados y la relación que ello pueda tener con los resultados de las pruebas de pérdida por lavado en función de los límites de consistencia y contracción lineal.

Los resultados de esta prueba se presentan en la siguiente tabla:

IDENTIFICACIÓN	TIPO DE ARENA EMPLEADA	CXS DÍAS [MILLONÉSIMAS]
TST	Río I	457
Mezcla 2	Andesita Triturada I	437
Mezcla 3	Andesita Triturada II	457
Mezcla 4	Río II	457
Mezcla 5	Caliza Triturada I	353
Mezcla 6	Caliza Triturada II	460
Mezcla 7	Basalto Triturado I	680
Mezcla 8	Basalto Triturado II	573
Mezcla 9	Andesita Triturada III	487
Mezcla 10	Basalto Triturado III	670

Tabla VI.12. Resultados obtenidos en contracción por secado (CXS) a 28 días.

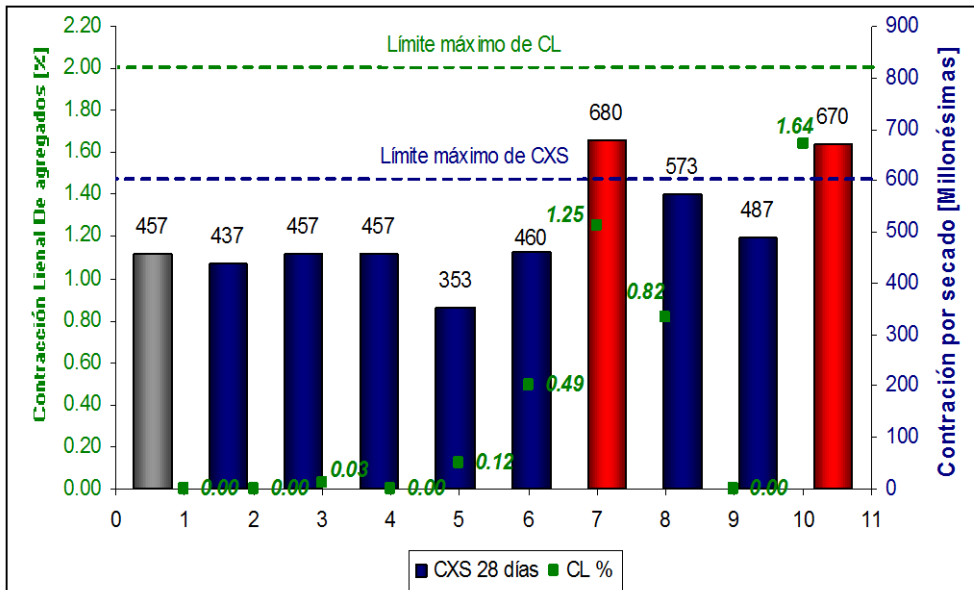


Figura VI.5. Comparativa de Contracción por Secado a 28 días (CXS) y Contracción Lineal (CL).

En la gráfica VI.4 se grafican los valores correspondientes a los resultados de Contracción por secado y Contracción Lineal. Se puede ver que los agregados finos, cumplen con el porcentaje de contracción lineal máximo permisible establecido en la norma NMX-C-111. Por otra parte, en el caso de las mezclas 7 y 10, en las que se empleó basalto triturado, no cumplen con el límite máximo de contracción por secado. Cabe recordar que las arenas empleadas en dichas mezclas (7 y 10) no cumplieron con el porcentaje de pérdida por lavado convencional,

(5%), no obstante la arena utilizada en la mezcla 7 cumplió de forma muy cerrada con la pérdida por lavado en función de los límites de consistencia con un 14.83% de pérdida, mientras que del basalto de la mezcla 10 se obtuvo 20.15% de pérdida, siendo que para ambos casos, se permitía 15% de partículas menores a la malla No 200, de acuerdo con los resultados de plasticidad.

A pesar de que todas las arenas tuvieron una contracción lineal menor al 2%, la figura VI.5 deja ver en claro que las mezclas hechas con arenas que presentaron una contracción lineal mayor al 1%, no cumplen con el límite máximo de contracción por secado.

Es necesario aclarar que en el caso de la mezcla 10, además del exceso de finos y las características de plasticidad de estos, influyó el aumento de la relación agua/cemento en la contracción por secado.

Conclusiones.

Los agregados representan el mayor volumen absoluto de todos los componentes del concreto hidráulico, es debido a ello que sus características y propiedades influyen de manera importante en las correspondientes del concreto.

Una característica de los agregados en la que se debe poner interés, es el contenido de partículas finas que pudiesen estar en exceso, pues estas pueden afectar la hidratación y adherencia de la pasta de cemento con los agregados. Además, dependiendo del tipo de partículas de que se trate estas al no permitir una hidratación adecuada pueden ocasionar cambios volumétricos significativos en el concreto.

La prueba conocida comúnmente en la industria del concreto como pérdida por lavado nos permite conocer el porcentaje de partículas finas que pudiesen ser dañinas para el concreto, que se encuentran presentes en los agregados.

Si bien, lo ideal es contar con agregados libres de terrones de arcilla y partículas que sean desmenuzables, esto no es posible conseguirlo siempre. Para tales casos, existen diferentes métodos de prueba que nos permiten tener un panorama más amplio de las características y propiedades de los agregados, así como una visión para tomar decisiones en cuanto a la aceptación o rechazo de los agregados para su uso en la fabricación de concreto.

Los límites de consistencia que son propiedades índices de las partículas finas, con que se define la plasticidad y se utilizan para su identificación y clasificación, nos permitieron conocer el rango de humedades para el cual los finos en los agregados presentan un comportamiento que puede afectar las características del concreto, en su estado fresco o endurecido.

La contracción lineal por su parte nos indicó las reducciones que se presentan en la porción fina de los agregados al disminuir su contenido de agua desde el correspondiente al límite líquido, hasta su pérdida total de agua. Así mismo, aunque los agregados utilizados cumplieron con el porcentaje máximo de contracción lineal permitido, esta prueba nos alertó sobre los agregados en los que se pudiese presentar problema alguno en la prueba de contracción por secado en concreto.

A continuación se presenta la siguiente tabla en la que se indican a manera de resumen las conclusiones a las que se llegaron con este estudio, los rangos de valores que se obtuvieron de las diferentes pruebas en las arenas y su ubicación con respecto al cumplimiento de contracción por secado del concreto.

CL (%)	IP (%)	PÉRDIDA POR LAVADO %	CXS	UBICACIÓN DEL TIPO DE ARENA
> 1	< 5	> 15	No cumple	Basalto Triturado III
> 1	< 5	≥ 10 < 15	No cumple	Basalto Triturado I
< 1	< 2.5	< 10	Cumple	Caliza Triturada II
< 1	< 2.25	≤ 18	Cumple	Caliza Triturada I
< 1	> 1 < 2	> 6.5 < 7	Cumple	Andesita Triturada II
< 1	> 1	> 10 < 15	Cumple	Basalto Triturado II
0	≤ 6.5	≤ 17	Cumple	Andesita Triturada I Andesita Triturada III
0	> 4.5 < 5.5	≥ 2.5 < 3.2	Cumple	Río I Río II

Tabla VII.1. Resumen de conclusiones.

BIBLIOGRAFÍA

WHITLOW R., *Fundamentos de Mecánica de Suelos*. Compañía editorial continental, México 1994.

COSTET, J.; Sanglerat G. *Curso práctico de mecánica de Suelos*, Ediciones Omega, S.A., Barcelona 1975.

FLAMAND Rodríguez Carlos L., *Introducción a la mecánica de suelos*, Universidad Autónoma Chapingo, Dirección General de Difusión Cultural. 2ª Edición, México 1995.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, *Mecánica de Suelos, Instructivo para ensaye de Suelos*, México 1990.

JUÁREZ Badillo Eulalio, Rico Rodríguez Alfonso., *Mecánica de Suelos*, Tomo I. 3ª Edición, Editorial Limusa, México 1982.

IGLESIAS Pérez Celso, *Mecánica del Suelo*, Editorial Síntesis, S.A. Madrid España.

GONZÁLEZ Cuevas Oscar M., *Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado*, 3ª edic., Editorial Limusa, México 1995.

PHELAN S. WILLIAM, *Construcción de Losas y Pisos de Concreto*, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México 1992.

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A.C., *Práctica para dosificar Concreto Normal, Concreto Pesado y Concreto Masivo*, Editorial Limusa, México 1989.

PARK R. y PAULAY T., *Estructuras de Concreto Reforzado*, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Canterbury Christchurch, Nueva Zelandia, Editorial Limusa 1996.

NEVILLE M ADAM, *Tecnología del Concreto*, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto 1984.

REFERENCIAS

NMX-C-073-ONNCCE-2004 "Agregados – Masa volumétrica – Método de prueba"

NMX-C-077-1997-ONNCCE "Agregados para concreto – Análisis granulométrico"

NMX-084-ONNCCE-2006 "Partículas más finas que la criba 0.075mm (no. 200) por medio de lavado-Método de Prueba-Agregados"

NMX-C-083-ONNCCE-2002 "Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto"

NMX-C-111-ONNCCE-2004 "Agregados para concreto hidráulico-especificaciones y métodos de prueba"

NMX-C-164-ONNCCE-2002 "Masa Específica y Absorción de agua del Agregado Grueso"

NMX-C-165-ONNCCE-2004 "Masa Específica y Absorción de agua del Agregado Fino"

NMX-C-416-ONNCCE-2003 "Muestreo de estructuras térreas y métodos de prueba"

NMX-C-132-1997-ONNCCE "Determinación del Fraguado falso del Cemento Portland-Método de pasta"

NMX-C-155-ONNCCE-2004 "Concreto Hidráulico Industrializado - especificaciones"

NMX-C-156-1997-ONNCCE "Determinación del revenimiento del concreto fresco"

NMX-C-157-1987 "Concreto - Determinación contenido de aire del concreto fresco-método de presión"

NMX-C-158-1987 "Concreto - Determinación del contenido de aire del concreto - método volumétrico"

NMX-C-159-ONNCCE-2004 "Concreto-Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio"

NMX-C-162-ONNCCE-2000 "Concreto- Determinación de la Masa unitaria, rendimiento y contenido de aire del concreto fresco-método gravimétrico"