

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA



SEMINARIO PARA OPTAR AL TITULO DE:
TÉCNICO SUPERIOR EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
CONSTRUCCIÓN

TEMA:
DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

ELABORADO POR:

Br. Yeral David Briones Blandón.

Br. Luis Antonio Ríos Sánchez.

TUTOR:

Ing. Oswaldo Balmaceda.

Managua, Junio del 2016.

Dedicatoria

Dedicada especialmente al amigo incondicional “tu mi Dios”, sin tí no hubiese podido superar todos los obstáculos y llegar a este momento maravilloso de terminar mi tesis, miles de gracias por haberme dado sabiduría para culminar mis estudios universitarios y así mismo por dirigirme siempre por el camino del bien.

Así mismo, dedico mi tesis a ustedes “Geisell Liseth Blandón Rodríguez y Boanerge David Briones Herrera” por ser los padres ejemplares que nunca se han dado por vencidos y siempre han luchado por sacar adelante a cada uno de nosotros sus hijos; gracias por darnos el fruto de su trabajo y así alimentar nuestra vida para crecer como personas profesionales.

A mi esposa quien fue quien me animó cada día para seguir con esta lucha, por tus desvelos y tus aportes ingenieriles. Gracias por tu apoyo incondicional EKGZ!

**** Yeral David Briones Blandón. ****

Le doy infinitas gracias a mi Dios por enseñarme a encarar las adversidades de la vida y posicionarme sobre ellas. Agradecido porque nunca dejaste que me faltaran las fuerzas para seguir adelante y superar cada obstáculo de mi camino.

A mis maestros que nunca desistieron de enseñarme, aún sin importar que muchas veces no prestaba atención en clases. Gracias por ese apoyo incondicional.

**** Luis Ríos Sánchez ****



INDICE

Descripción	No. Pág.
INTRODUCCION.....	1
ANTECEDENTES.....	3
JUSTIFICACION.....	5
OBJETIVOS.....	6
CAPITULO I: GENERALIDADES SOBRE EL CONCRETO.....	7
1.1 El Concreto.....	7
1.2 Característica del concreto fresco y endurecido.....	8
CAPITULO II: CEMENTO HIDRÁULICO PORTLAND.....	12
2.1 Características esenciales del cemento.....	13
2.2 Composición Química.....	14
2.2.1 Finura de molienda.....	16
2.3 Cementos recomendables por sus efectos en el concreto.....	16
2.4 Efectos del cemento en el concreto fresco.....	18
2.4.1 Cohesión y Manejabilidad.....	19
2.4.2 Pérdida de revenimiento.....	19
2.4.3 Asentamiento y Sangrado.....	20
2.4.4 Tiempo de fraguado.....	21
2.5 Efectos del cemento en el concreto endurecido.....	21
2.5.1 Resistencia.....	21
2.5.2 Generación de calor.....	22
2.5.3 Estabilidad Volumétrica.....	22



INDICE

Descripción	No. Pág.
CAPITULO III: AGUA PARA CONCRETO.....	23
3.1 Conceptos Generales.....	23
3.2 Tipos de agua.....	24
3.3 Ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua.....	26
3.4 Requisitos de calidad.....	28
3.5 Efectos de las sustancias disueltas.....	29
CAPITULO IV: AGREGADOS.....	32
4.1 Tipos de agregados.....	33
4.2 Clasificación de los agregados de peso normal.....	34
4.2.1 Por el origen de las rocas.....	34
4.2.1.1 Agregados naturales.....	34
4.2.1.2 Agregados artificiales.....	34
4.2.2 Por su densidad.....	34
4.2.2.1 Agregados ligeros.....	34
4.2.2.2 Agregados normales.....	35
4.2.2.3 Agregados pesados.....	35
4.2.3 Por su forma.....	35
4.2.3.1 Canto rodado.....	35
4.2.3.2 Triturado.....	35
4.2.3.3 Canto rodado y triturado (mixto).....	35
4.2.4 Por el tamaño de las partículas.....	35
4.2.4.1 Agregados finos (arena).....	35
4.2.4.2 Agregados gruesos (grava).....	35
4.3 Propiedades físicas del agregado.....	35
4.3.1 Peso específico y peso volumétrico.....	36



INDICE

Descripción	No. Pág.
4.3.2 Porosidad y Absorción.....	37
4.3.3 Peso unitario de los Agregados.....	38
4.3.4 Granulometría.....	40
4.3.4.1 Curvas granulométricas.....	40
4.3.4.2 Parámetros que se obtienen del análisis granulométrico.....	41
4.3.5 Formas de las partículas del agregado.....	42
4.3.6 Textura.....	43
4.3.7 Expansión o abultamiento.....	43
4.4 Propiedades mecánicas de los agregados.....	44
4.4.1 Resistencia.....	44
4.4.2 Tenacidad.....	45
4.4.3 Adherencia.....	45
4.4.4 Dureza.....	45
4.4.5 Sanidad de los agregados.....	46
4.5 Efectos de los agregados en el concreto.....	47
4.5.1 Manejabilidad.....	47
4.5.2 Segregación.....	48
4.5.3 Exudación.....	48
4.5.4 Temperatura.....	48
4.5.5 Resistencia mecánica.....	49
4.5.6 Permeabilidad.....	49
4.5.7 Durabilidad.....	50
4.5.8 Apariencia.....	50
4.5.9 Reacción química de los agregados.....	50
4.5.9.1 Reacción álcali – sílice.....	50
4.5.9.2 Reacción álcali – carbonato.....	51
4.6 Normativa aplicable.....	51



INDICE

Descripción	No. Pág.
CAPITULO V: DISEÑO Y PROPORCIONAMIENTO DE LA MEZCLA DE CONCRETO.....	52
5.1 Proporcionamiento de mezclas de concreto normal.....	52
5.2 Elección de las características de la mezcla.....	54
5.2.1 Relación agua – cemento vs Resistencia.....	55
5.2.2 Durabilidad.....	56
5.2.2.1 Relación agua – cemento vs exposición del concreto.....	56
5.2.3 Relación agua – cemento.....	58
5.2.4 Resistencia.....	60
5.2.5 Revenimiento.....	61
5.2.6 Contenido de agua y aire.....	64
5.2.7 Contenido de cemento.....	68
5.2.8 Contenido de agregados.....	69
5.2.9 Peso teórico del concreto.....	72
CAPITULO VI: CONTROL DE CALIDAD.....	73
6.1 Pruebas realizadas para controlar la calidad del concreto en su estado fresco y endurecido.....	73
6.2 Tipos de pruebas.....	74
6.2.1 Pruebas realizadas a los agregados.....	74
6.2.1.1 Muestreo de los agregados.....	74
6.2.1.2 Granulometría.....	75
6.2.1.3 Peso volumétrico y vacíos.....	76
6.2.1.4 Absorción, humedad superficial y peso específico.....	77
6.2.2 Ensayes al concreto fresco.....	77
6.2.2.1 Muestreo del concreto fresco.....	77



INDICE

Descripción	No. Pág.
6.2.2.2 Consistencia (revenimiento).....	78
6.2.2.3 Medición de la temperatura.....	79
6.2.2.4 Peso volumétrico y rendimiento.....	79
6.2.2.5 Contenido de aire.....	79
6.2.2.6 Elaboración de especímenes.....	80
6.2.3 Ensayes al concreto endurecido.....	82
6.2.3.1 Prueba de resistencia a la compresión.....	82
6.2.4 Frecuencia de las pruebas.....	83
CAPITULO VII: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.....	84
7.1 Resultados de los ensayos realizados a los agregados.....	84
7.1.1 Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.....	84
7.1.2 Pesos unitarios y vacíos en los agregados.....	87
7.1.3 Gravedad específica y absorción de agregados.....	93
7.1.4 Partículas planas, partículas alargadas y partículas planas – alargadas.....	96
7.1.5 Caras fracturadas en el agregado grueso.....	98
7.1.6 Desgaste y abrasión en la máquina de los ángeles.....	100
7.1.7 Equivalente de arena.....	101
7.1.8 Impurezas orgánicas.....	102
7.2 Combinación de agregados.....	102
7.3 Dosificación de mezclas de concreto hidráulico.....	104
7.4 Ensayos al concreto endurecido.....	106
7.4.1 Resistencia a la compresión.....	106



INDICE

Descripción	No. Pág.
CAPITULO VIII: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.....	109
8.1 Revenimiento.....	109
8.2 Resistencia a la compresión.....	110
CONCLUSIONES.....	112
RECOMENDACIONES.....	116
BIBLIOGRAFÍA.....	118
ANEXOS: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.....	119



INDICE DE FIGURAS

Descripción	No. Pág.
Fig. 1: Componentes del concreto.....	7
Fig. 2: Cemento Portland.....	12
Fig. 3: Agua natural.....	23
Fig. 4: Efecto del ácido tánico sobre la resistencia.....	31
Fig. 5: Agregado Fino.....	32
Fig. 6: Agregado grueso.....	33
Fig. 7: Estados en que se encuentran las partículas que conforman el agregado.....	37
Fig. 8: Esquematación del peso volumétrico.....	39
Fig. 9: La pasta de cemento y agua cubre completamente cada partícula de agregado y llena todos los espacios entre las partículas.....	53
Fig. 10: Variación de las proporciones usadas en concreto en volumen absoluto.....	54
Fig. 11: Relación aproximada entre resistencia a la compresión y relación agua – cemento para el concreto.....	60
Fig. 12: Prueba de revenimiento del concreto.....	62
Fig. 13: Forma que adopta el cono de la mezcla de concreto.....	63
Fig. 14: Especímenes con la misma cantidad de cemento pero mezclados con distintas relaciones de agua – cemento.....	65
Fig. 15: Demanda de agua aproximada para varios revenimientos y tamaños de agregados.....	67
Fig. 16: Resultados de revenimientos con los tres tipos de cementos.....	110
Fig. 17 y 18: Ganancia porcentual de la resistencia del concreto vs edad.....	111



INDICE DE TABLAS.

Descripción	No. Pág.
Tabla 1: Análisis Típicos del Agua de Abastecimiento de las Ciudades y Agua de Mar. Partes Por Millón. Pág. 95 “Diseño y Control de mezclas de concreto PCA”.....	24
Tabla 2: Criterios de Aceptación para Abastecimiento de Aguas Dudosas (ASTM C 94 o AASHTO M 157) Pág. 96 “Diseño y Control de mezclas de concreto PCA”.....	28
Tabla 3: Límites Químicos para aguas de lavado usadas como agua de mezcla (ASTM C 94 o AASHTO M 157) Pág. 96 “Diseño y Control de mezclas de concreto PCA”.....	28
Tabla 4: Resistencia a la compresión simple y módulo de elasticidad de algunas rocas. Fuente: www.google.com.ni.....	44
Tabla 5: clasificación de las rocas según su resistencia a la compresión simple.....	44
Tabla 6: Relación A/C vs Exposición del Concreto. Fuente: ACI 318.....	58
Tabla 7: Relación agua – cemento para distintas resistencias a la compresión. Fuente ACI 211.....	59
Tabla 8: Revenimientos recomendados para varios tipos de Construcción. Fuente: Pág. 191 “Libro Diseño y Control de mezclas de concreto PCA”.....	64
Tabla 9: Cálculo tentativo del peso del concreto fresco. Fuente: Tabla 6.3.7.1 del ACI.....	72
Tabla 10: Consideraciones de consistencia y trabajabilidad. Fuente: www.google.com.ni.....	78



INTRODUCCIÓN.

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

El concreto se hace a base de diseños, con trabajos de ingeniería y por ésta condición están sujetos a cambios y modificaciones para optimizarlo. Para su elaboración se deben tener en cuenta que éste proceso implica el diseño, elaboración, colocación, curado y protección; de los cuales depende si éste es un concreto bueno o malo. El proceso de estimación de las cantidades requeridas de la materia prima para un adecuado proporcionamiento de mezcla, debe seguir una secuencia lógica que permita adecuarse a las características propias del cemento a utilizar y de los agregados.

El concreto es un material durable y resistente pero, dado a que se trabaja en su forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular, ya que proporciona solidez y permanencia en las obras tanto verticales como horizontales, donde es utilizado.

Se puede decir, que el comportamiento mecánico del concreto y su durabilidad en servicio, depende de tres aspectos básicos:

- 1) Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento endurecida.
- 2) La calidad propia de los agregados, en el sentido más amplio.
- 3) La afinidad de la pasta de cemento con los agregados.



Para diseñar concreto se debe tener conocimiento básico sobre sus componentes (cemento, agua, agregados). En este trabajo se describirán las principales características y funciones de dichos componentes para comprender de mejor manera la influencia de cada uno de ellos en el comportamiento final del concreto.

El método de diseño de volumen absoluto descrito en este trabajo es el indicado por el American Concrete Institute, para concretos de tipo normal. Además se abordan los diferentes ensayos estándar para determinar las características físicas y mecánicas de los agregados y del concreto en estado fresco y endurecido; así como la evaluación estadística de los resultados de resistencia a la compresión del concreto endurecido.

El cemento utilizado en la elaboración del diseño de mezcla de concreto es del tipo GU de acuerdo a la norma ASTM C 1157 (American Society for Testing and Materials), con las marcas CANAL, HOLCIM y MOCTEZUMA.

El diseño desarrollado en el presente documento es con el propósito de comparar el comportamiento y las características de la mezcla en estado fresco y endurecido con los tres tipos de cementos usando una misma dosificación.



ANTECEDENTES

Los constructores antiguos usaban la arcilla para unir piedras y formar una estructura sólida de protección. El concreto más antiguo descubierto data aproximadamente de 7,000 años A.C y fue encontrado en 1985, cuando se destapó un piso de concreto durante la construcción de una carretera en Yiftah El, en Galilea - Israel. Éste consiste en un concreto de cal, preparado con caliza calcinada para producir cal rápida (cal viva, cal virgen), la cual mezclada con el agua y la piedra, se endureció formando el concreto.

En aproximadamente 2,500 años AC, se empleó un material cementante entre los bloques de piedras en la construcción de la gran pirámide en Giza, en el Egipto antiguo. Algunos informes dicen que era un mortero de cal, mientras que otros dicen que el material cementante se produjo por la quema de sulfato de calcio. En el año 500 AC, el arte de la producción de morteros a base de cal llegó a la Grecia antigua. Los griegos usaban materiales a base de cal como aglomerantes (conglomerantes) entre piedras y ladrillos y como material para una capa de revestimiento de calizas porosas normalmente usadas en la construcción de sus templos y palacios.

El cemento "Portland" tiene sus orígenes en la cal u óxido de calcio, a partir del cual y luego de cientos de años de estudios empíricos y científicos, se llega a lo que hoy se conoce como cemento. A través de la historia de los pueblos egipcios, griegos y romanos, se utilizó la cal como ligante en sus construcciones. En la América Prehispánica los aztecas la emplearon también en la fabricación de tabiques y techos armados con caña y bambú.

En 1824, un albañil Inglés llamado Joseph Aspdin, patentó un producto que él llamó cemento Portland, pues al endurecerse adquiría un color semejante al de una piedra de la isla Portland en Inglaterra. En 1838, este cemento se utilizó por primera vez en una construcción de importancia en uno de los túneles construidos



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

bajo el río Támesis en Londres. David Saylor, un técnico norteamericano, fue el primero en fabricar cemento en América, así nació en 1850 la industria cementera en Norteamérica. El uso del cemento Portland continuó extendiéndose hasta convertirse en el material de construcción más utilizado en el mundo.

El primer embarque de cemento portland para los EE.UU. fue en 1868. El primer cemento portland producido en EE.UU. se fabricó en una planta en Coplay, Pensilvania, en 1871. La producción de cemento en Latinoamérica empezó al final del siglo XIX y principio del siglo XX: 1888 en Brasil, 1897 en Guatemala, 1898 en Cuba, 1903 en México, 1907 en Venezuela, 1908 en Chile, 1909 en Colombia, 1912 en Uruguay, 1916 en Perú, 1919 en Argentina, 1923 en Ecuador, 1926 en Paraguay, 1928 en Bolivia y más recientemente en 1936 en Puerto Rico, **1941 en Nicaragua** y 1949 en El Salvador (Bowles, Taeves 1946).

La aparición de este cemento y de su producto resultante “**el concreto**”, ha sido un factor determinante para que el mundo adquiriera una fisionomía diferente.



JUSTIFICACIÓN

El diseño de mezclas de concreto, es un proceso que consiste de pasos dependientes entre sí, tales como la selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos) y la determinación de sus cantidades relativas “proporcionamiento” para producir un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada.

Aunque se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada así como una trabajabilidad apropiada. Además, es asumido que si se logran estas dos propiedades, las otras propiedades del concreto también serán satisfactorias (excepto la resistencia al congelamiento y deshielo u otros problemas de durabilidad tales como resistencia al ataque químico).

Sin embargo, será de mucha utilidad revisar, en más detalle, las consideraciones básicas de diseño utilizadas para realizar una comparación de mezcla de concreto hidráulico de 3,000 psi realizada con tres diferentes tipos de cemento.



OBJETIVOS

➤ Objetivo general

Realizar una mezcla comparativa de concreto hidráulico de 3000 PSI, evaluando tres tipos de cemento (Canal, Holcim y Moctezuma).

➤ Objetivos específicos

- a) Enunciar las normas por las cuales se rigen estos tipos de ensayos que determinan la calidad del concreto.
- b) Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados a utilizar en el diseño de concreto.
- c) Diseñar la mezcla de concreto hidráulico y verificar la resistencia a la compresión a los 3, 7, 14, 28 y 56 días de los especímenes realizados con los 3 tipos de cemento.
- d) Comparar los resultados obtenidos entre los tres tipos de cementos utilizados.



CAPITULO I: GENERALIDADES SOBRE EL CONCRETO

1.1 El Concreto.

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: Agregado y pasta. Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.



Fig. 1 Componentes del concreto: cemento, agua, agregado fino, agregado grueso, son combinados para formar el concreto. Pág. 1 “Diseño y control de mezclas de concreto PCA”

La pasta está compuesta de Cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 % del



volumen total del concreto. El volumen absoluto del Cemento está comprendido usualmente entre el 7 y el 15 % y el agua entre el 14 y el 21 %.

El contenido de aire y concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Como los agregados constituyen aproximadamente el 60 al 75 % del volumen total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

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

Para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua usada con relación a la cantidad de cemento. Cuando grandes cantidades de agua son innecesariamente empleadas, ellas diluyen la pasta de cemento.

1.2 Características del concreto fresco y endurecido

Suele llamársele así a la etapa del concreto que abarca, desde la mezcla de todos los materiales que lo integran, permaneciendo trabajable durante un tiempo, hasta que el concreto comienza a endurecer desarrollando la resistencia que soporta la estabilidad de las estructuras. Durante este periodo de tiempo, el concreto debe ser colocado en su posición final, consolidado, terminado y curado adecuadamente.



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

Durante la etapa del concreto fresco se genera el proceso de hidratación, el cual consiste en la reacción del agua con el cemento, formándose algunos compuestos químicos que ocasionan el proceso de endurecimiento de las mezclas y la generación de calor. Las reacciones químicas de éste proceso son exotérmicas, esto es, generan calor en la pasta de cemento y en el concreto.

Los productos de hidratación que van formándose con el tiempo, son el cementante que une a la grava y la arena, desarrollando así la resistencia del concreto.

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano. En una mezcla de concreto plástico, todas las partículas de arena y grava quedan encerradas y en suspensión, la mezcla fluye como líquido viscoso, sin segregarse ni desmoronarse durante el transporte y colocación; y cuando éste endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes.

Durante la etapa del concreto fresco se puede identificar algunas características muy importantes en el comportamiento del concreto, tales como:

- ↳ **Sangrado:** es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto en estado fresco, provocada por el asentamiento de los materiales sólidos; éste asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración durante la compactación y la gravedad, es decir, el sangrado es un tipo de segregación en la que parte del agua de la mezcla tiende a subir a la superficie del concreto recién colado, lo que puede ocasionar demasiada humedad en la capa superficial del concreto y si el agua queda atrapada entre elementos superpuestos del concreto, el resultado puede ser un concreto poroso, débil y poco durable. En algunas formas de colocación de concreto, es recomendable que se presente el sangrado para facilitar el acabado del elemento.



- ↪ **Cohesión:** representa la propiedad del concreto que describe la facilidad o dificultad que tiene la pasta de cemento y la mezcla con los agregados, de atraerse para mantenerse como suspensión en el concreto, evitando así la disgregación de los materiales.
- ↪ **Segregación:** separación de los materiales del concreto, provocada por falta de cohesión de la pasta de cemento con el resto de los componentes de la mezcla, de tal modo que su distribución ya no es uniforme.
Existen dos tipos de segregación, en el primero de ellos las partículas más gruesas tienden a desplazarse hacia fuera de la mezcla y en el segundo tipo se manifiesta una separación de la lechada de la mezcla.
- ↪ **Trabajabilidad:** es una propiedad del concreto, asociada al grado de facilidad o dificultad con la que una mezcla de concreto puede ser mezclada, transportada, colocada y terminada (acabado final). Está condicionada al equipo que se utilice en las actividades de cada etapa, es decir, la trabajabilidad adecuada para el concreto masivo no es siempre suficiente cuando se trate de secciones delgadas, de difícil acceso o con mucho acero de refuerzo.

El grado de trabajabilidad de una mezcla debe ser congruente con el equipo usado para colocarlo y consolidarlo. La energía proporcionada por una regla vibratoria será muy diferente a la energía que se aplicará con una regla manual.

Durante la etapa del concreto endurecido se pueden identificar algunas características importantes en el comportamiento del concreto, tales como:

- ↪ **Estado endurecido:** se inicia después del fraguado final, el cual se determina con el Penetrómetro, al presentar el concreto una resistencia a la penetración de 282 kg/cm².



- ↪ **Resistencia:** la resistencia de un material se define como la habilidad para resistir esfuerzos sin llegar a la falla. La resistencia al concreto es la propiedad más valorada por los ingenieros.

- ↪ **Resistencia a compresión:** la resistencia a compresión del concreto se puede definir como la máxima resistencia medida en un espécimen de concreto a carga axial. Generalmente se expresa en kg/cm^2 a la edad de 28 días y se le designa con el símbolo $f'c$.

- ↪ **Durabilidad:** la durabilidad de un material es el atributo que lo identifica con el tiempo que puede prestar el servicio requerido en forma satisfactoria. La durabilidad del concreto se define como su habilidad para resistir las acciones de intemperismo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Un concreto será durable si mantiene su forma original cuando es expuesto a su medio ambiente.

**CAPITULO II: CEMENTO HIDRÁULICO PORTLAND.**

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio (Fig. 2). Los cementos hidráulicos se fraguan y se endurecen por la reacción química con el agua. Durante la reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta. Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra triturada, piedra machacada, pedrejón u otro material granular), la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados para formar el concreto, el material de construcción más versátil y más usado en el mundo.



Fig. 2. Cemento portland. Pág. 25 “Diseño y control de mezclas de concreto PCA”.

La hidratación empieza desde que el cemento entra en contacto con el agua. En la superficie de cada partícula de cemento se forma una camada fibrosa que gradualmente se propaga hasta que se enlace con la camada fibrosa de otra partícula de cemento o se adhiera a las sustancias adyacentes.

El crecimiento de las fibras resulta en rigidización, endurecimiento y desarrollo progresivo de resistencia. La rigidización del concreto puede reconocerse por la pérdida de trabajabilidad, la cual normalmente ocurre después de 3 horas de mezclado, pero es dependiente de la composición y finura del cemento, de



cualquier aditivo usado, de las proporciones de la mezcla y de las condiciones de temperatura. Consecuentemente, el concreto fragua y se endurece.

2.1 Características esenciales del Cemento

La influencia del cemento en las características del concreto son de manera general las siguientes:

La finura es la única característica del cemento que puede aportar beneficio a la cohesión y la manejabilidad de las mezclas de concreto; sin embargo, existen otros factores con efectos más decisivos para evitar que las mezclas se segreguen durante su manejo y colocación, como son: la distribución granulométrica y el tamaño máximo del agregado, el consumo unitario de cemento, la adición de aditivos inclusores de aire y el diseño de la mezcla de concreto.

Respecto a la estabilidad volumétrica, el primer cambio importante de volumen que se manifiesta en el concreto, es la llamada contracción plástica, la cual ocurre en la etapa de fraguado y es responsable de agrietamientos tempranos en estructuras con gran superficie expuesta como son los pavimentos. Suele relacionarse principalmente con el exceso de agua en la mezcla de concreto y su rápida pérdida por evaporación.

El segundo cambio volumétrico de importancia es la contracción térmica, la cual se origina por el enfriamiento gradual del concreto después de haberse sobrecalentado por efecto del calor de hidratación acumulado, ya sea porque éste fue excesivo o por no haber tenido facilidad para su disipación. En cualquier caso, la influencia del cemento puede ser significativa, por lo que debe elegirse el cemento adecuado en función de su calor de hidratación.

Algunos concretos son propensos a sufrir daños debido a la contracción por secado, principalmente los que contienen puzolana natural como parte del material cementante, ya que ésta al estar finamente molida incrementa la



demanda de agua de mezclado, trasladando sus efectos al concreto endurecido, aumentando su contracción.

También la estabilidad química del cemento y de los agregados juega un papel importante en el desempeño del concreto. Ningún agregado es completamente inerte al permanecer en contacto con la pasta de cemento, debido a los diversos procesos y reacciones químicas que en distinto grado suelen producirse entre ambos. Algunas de estas reacciones son benéficas porque contribuyen a la adhesión del agregado con la pasta, pero otras son perjudiciales porque generan expansiones internas que causan daño y pueden terminar por destruir al concreto y que están representadas por los álcalis, óxidos de sodio y de potasio, que normalmente proceden del cemento.

Estas reacciones se designan genéricamente como reacciones álcali-agregado, pudiendo presentarse en tres modalidades: álcali-sílice, álcali-silicato y álcali-carbonato.

2.2 Composición Química

Durante la calcinación del Clinker para fabricar cemento portland, el óxido de calcio se combina con los demás componentes de la materia prima para formar cuatro compuestos fundamentales que constituyen el 90% de la masa del cemento, los cuales se presentan a continuación junto a sus fórmulas químicas y abreviaturas:

- ✓ Silicato tricálcico = $3\text{CaO SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$
- ✓ Silicato dicálcico = $2\text{CaO SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$
- ✓ Aluminato tricálcico = $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$
- ✓ Alúminoferrito tetracálcico = $4\text{CaO Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$

Como se observa, el cemento está constituido por silicatos de calcio que son responsables de la resistencia mecánica a compresión. El **silicato tricálcico (C3S)** se hidrata y endurece rápidamente, aportando al concreto resistencia



mecánica a corto y mediano plazo, el cual se incrementa mientras mayor sea su concentración. Este compuesto, en gran medida es responsable del fraguado inicial.

El **silicato dicálcico (C2S)**, se hidrata y endurece lentamente y contribuye en gran parte al incremento de resistencia a edades mayores de una semana.

El **aluminato tricálcico (C3A)**, propicia mayor velocidad en el fraguado y libera gran cantidad de calor durante los primeros días de hidratación y endurecimiento. También contribuye levemente al desarrollo de la resistencia temprana. Su presencia hace al concreto más susceptible de sufrir daño, ya que puede reaccionar con sulfatos externos para dar sulfoaluminato de calcio hidratado, cuya formación gradual se acompaña de expansiones que lo desintegran paulatinamente. El yeso, que se agrega al cemento durante la molienda final, retrasa la velocidad de hidratación del C3A.

El **Alúminoferrito tetracálcico (C4AF)**, contribuye poco a la resistencia del concreto, sin embargo sirve como fundente durante la calcinación del Clinker y favorece la hidratación de los otros compuestos. El cemento también contiene óxidos de sodio y de potasio, cuyo contenido suele limitarse para evitar reacciones dañinas del cemento.

Otro aspecto importante relativo a la composición química del Clinker (y del cemento Portland) se refiere a los álcalis, óxidos de sodio (Na_2O) y de potasio (K_2O), cuyo contenido suele limitarse para evitar reacciones dañinas del cemento con ciertos agregados en el concreto.

El **clinker** se convierte en cemento cuando se le agrega **yeso**, éste le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse. El **Yeso**, es la roca natural denominada aljez (sulfato de calcio dihidrato: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).



2.2.1 Finura de molienda

La influencia que el cemento portland ejerce en el concreto, está en función de la composición química del clinker, de su finura de molienda y en caso de contener puzolana de las características físicas, químicas y contenido de ésta.

Al aumentar la finura del cemento éste se hidrata más rápido, propiciando que el concreto adquiera resistencia con mayor rapidez y que sus partículas puedan mantenerse en suspensión en la mezcla, lo que mejora su cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua. En contrapartida, una mayor finura representa incremento en la generación de calor y mayor demanda de agua de mezclado en el concreto, lo que se traduce en mayores cambios volumétricos de éste y posibles agrietamientos en las estructuras. Para evitar este efecto, se recomienda utilizar mezclas de concreto con menor contenido de agua.

2.3 Cementos recomendables por sus efectos en el concreto.

- a) **Cemento Portland Normal u Ordinario.** Éste es un cemento para uso general, empleado cuando no sean necesarias propiedades especiales. Se puede utilizar en concreto armado, pavimentos, prefabricados, mampostería, concreto pos tensado y concreto pretensado.

- b) **Moderada Resistencia a los Sulfatos.** Ha sido diseñado para estructuras que necesiten moderada resistencia a los sulfatos o bajo calor de hidratación. Se recomienda en edificios y construcciones industriales, puentes, estructuras expuestas a suelos, al agua con concentración moderada de sulfatos o al agua del mar o estructuras con gran volumen de concreto. En estos cementos el contenido de C3A se limita a 8%.



- c) **Alta Resistencia Inicial.** Normalmente se le conoce como ARI. La alta resistencia inicial de este cemento normalmente es resultado de la mayor área superficial Blaine y no de los productos de hidratación del C3A. En la mayoría de los países, este cemento se compone de clínker e yeso, pero en Costa Rica puede recibir también pequeñas cantidades de caliza. Se utiliza en estructuras de concreto que necesitan de alta resistencia a edades tempranas, tales como pavimentos “fast-track”, concreto prefabricado, concreto de alto desempeño, concreto colocado en tiempo frío, concreto pos tensado y concreto pretensado.

- d) **Bajo Calor de Hidratación.** Esta es una propiedad encontrada en cementos indicados para estructuras de concreto masivo. Como el C3A y el C3S producen alto calor de hidratación, el contenido de estos compuestos se limita a 7% y 35%, respectivamente.

- e) **Alta Resistencia a los Sulfatos.** Este cemento se usa cuando la estructura va a estar en contacto con ambientes con alto contenido de sulfatos solubles, tales como cimentaciones en suelos agresivos, pavimentos, estructuras en contacto con el agua del mar, plantas industriales, plantas de tratamiento de agua potable y de aguas residuales. Normalmente el contenido de C3A permitido es 5%, a excepción de Argentina que limita el C3A a 4%.

- f) **Blanco.** Este cemento puede seguir los requisitos de otros cementos, por ejemplo del cemento portland común, pero diferenciándose en su color. Se utiliza en elementos prefabricados de concreto, concreto arquitectónico, pisos y acabado de fachadas.

- g) **Cementos Portland Modificados.** Estos cementos se producen por la molienda conjunta del clínker y pequeñas cantidades de adiciones, tales



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

como calizas, puzolanas y escorias. Son para uso general, cuando el concreto no necesite desarrollar alta resistencia inicial.

h) **Cementos Portland Adicionados (Mezclados).** La diferencia entre un cemento adicionado y uno modificado es la mayor cantidad de adición mineral en los adicionados, la cual influye en las principales propiedades del concreto:

- ✓ menor calor de hidratación
- ✓ desarrollo más lento de la resistencia
- ✓ menor permeabilidad
- ✓ mayor durabilidad.

El cemento portland de escoria se usa en construcciones en general, cuando sea necesaria resistencia a la reacción álcali-agregado o cuando se deseen baja permeabilidad y bajo calor de hidratación. Además, su uso es indicado en estructuras expuestas al agua del mar o a sulfatos. Ejemplos de empleo de este cemento son las presas y las estructuras de concreto masivo. Colombia es el país que permite el mayor contenido de escoria (85%), seguido de México y Paraguay (80%), Argentina y Chile (75%), Perú (70%) y Uruguay (65%).

El cemento portland puzolánico se usa en concretos expuestos a condiciones severas, tales como sulfatos y también cuando agregados potencialmente reactivos se van a emplear. El concreto expuesto al agua del mar y el concreto prefabricado sometido al curado térmico son ejemplos de utilización de este tipo de cemento.

2.4 Efectos del cemento en el concreto fresco

El efecto de estos materiales sobre las mezclas de concreto varía considerablemente. Los atributos de estos materiales, cuando adicionados separadamente a la mezcla de concreto, se los pueden encontrar también en los cementos adicionados con materiales cementantes suplementarios.



2.4.1 Cohesión y Manejabilidad

La cohesión y manejabilidad de las mezclas de concreto son características que contribuyen a evitar la segregación y facilitar el manejo previo y durante su colocación en las cimbras. Adquieren relevancia en las obras donde se requiere manipular extraordinariamente el concreto, o donde las condiciones de colocación son difíciles y se hace necesario el uso de bomba o el vaciado por gravedad. La finura es la única característica del cemento que puede aportar beneficio a la cohesión y la manejabilidad de las mezclas de concreto.

Sin embargo, existen otros factores con efectos más decisivos para evitar que las mezclas de concreto se segreguen durante su manejo y colocación. Entre tales factores puede mencionarse la composición granulométrica y el tamaño máximo del agregado, el consumo unitario de cemento, los aditivos inclusores de aire y el diseño de la mezcla de concreto.

2.4.2 Pérdida de revenimiento

Este es un término que se acostumbra usar para describir la disminución de consistencia (revenimiento), 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. Ocurre una pérdida gradual cuya evolución puede ser alterada por varios factores:

- ✓ **Extrínsecos:** la temperatura ambiente, la presencia de sol, viento y la manera de transportar el concreto desde la mezcladora hasta el lugar de colado.
- ✓ **Intrínsecos:** la consistencia inicial de la mezcla, la humedad de los agregados, el uso de aditivos, las características y contenido unitario de cemento, provocan los siguientes efectos:



- 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, tienden a reducir 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 modificados 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 resecamiento prematuro.

Es importante no confundir la pérdida normal de revenimiento que toda mezcla de concreto exhibe en la primera media hora subsiguiente al mezclado, con la rápida rigidización que se produce en pocos minutos como consecuencia del fenómeno de falso fraguado en el cemento.

2.4.3 Asentamiento y Sangrado

Cuando el concreto queda en reposo, después de colocarlo y compactarlo dentro del espacio cimbrado, se inicia un proceso natural mediante el cual los componentes más pesados (cemento y agregados) tienden a descender en tanto que el agua, componente menos denso, tiende a subir. A estos fenómenos simultáneos se les llama respectivamente asentamiento y sangrado. Cuando estos se producen en exceso se les considera indeseables porque provocan cierta estratificación en la masa de concreto, según la cual se forma en la superficie una capa menos resistente y durable por su mayor concentración de agua.

2.4.4 Tiempo de Fraguado



La duración del tiempo de fraguado del concreto depende de diversos factores extrínsecos dados por las condiciones de trabajo en la obra, entre los que destaca por sus efectos: la temperatura. En condiciones fijas de temperatura, el tiempo de fraguado puede experimentar variaciones de menor cuantía, derivadas del contenido unitario, la clase y la finura del cemento.

2.5 Efectos del cemento en el concreto endurecido

2.5.1 Resistencia

Conforme se expuso anteriormente, la velocidad de hidratación y adquisición de resistencia de los diversos tipos de cemento portland, depende básicamente de la composición química del Clinker y de la finura de molienda. De esta manera, un cemento con alto contenido de silicato tricálcico (C3S) y elevada finura puede producir mayor resistencia a corto plazo, y tal es el caso del cemento tipo III de alta resistencia rápida.

En el extremo opuesto, un cemento con alto contenido de silicato dicálcico (C2S) y finura moderada debe hacer más lenta la adquisición inicial de resistencia y consecuente generación de calor en el concreto, siendo este el caso del cemento tipo IV. Dentro de estos límites de comportamiento, en cuanto a la forma de adquirir resistencia, se ubican los otros tipos de cemento portland.

En cuanto a los cementos portland-puzolana, su adquisición inicial de resistencia suele ser un tanto lenta debido a que las puzolanas no aportan prácticamente resistencia a edad temprana. Por otra parte, resulta difícil predecir la evolución de resistencia de estos cementos porque hay varios factores que influyen y no siempre se conocen, como son el tipo de clinker con que se elaboran y la naturaleza, calidad y proporción de su componente puzolánico.



2.5.2 Generación de calor

En el curso de la reacción del cemento con el agua, o hidratación del cemento, se produce desprendimiento de calor porque se trata de una reacción de carácter exotérmico. Si el calor que se genera en el seno de la masa de concreto no se disipa con la misma rapidez con que se produce, queda un remanente que al acumularse incrementa la temperatura de la masa.

El calentamiento del concreto lo expande, de manera que posteriormente al enfriarse sufre una contracción, normalmente restringida, que genera esfuerzos de tensión capaces de agrietarlo. La posibilidad de que esto ocurra tiende a ser mayor a medida que aumenta la cantidad y velocidad de generación de calor y que disminuyen las facilidades para su pronta disipación.

Es decir, el riesgo de agrietamiento de origen térmico se incrementa cuando se emplea un cemento de alta y rápida hidratación, como el tipo III, y las estructuras tienen gran espesor. Obviamente, la simultaneidad de ambos factores representa las condiciones pésimas en este aspecto.

2.5.3 Estabilidad Volumétrica

Una característica indeseable del concreto hidráulico es su predisposición a manifestar cambios volumétricos particularmente contracciones, que suelen causar agrietamientos en las estructuras. Para corregir este inconveniente, en casos que lo ameritan, se han desarrollado los cementos expansivos que se utilizan en los concretos de contracción compensada, pero que todavía no se producen localmente, por lo que se puede hacer un concreto con una relación agua – cemento baja, un alto contenido de agregados y uso de aditivos reductores de agua de alto rango.



CAPITULO III: AGUA PARA CONCRETO.

3.1 Conceptos Generales

El agua necesaria para la producción de concreto debe ser limpia y libre de sustancias nocivas, contaminantes, sedimentos, aceites, azúcares o químicos que puedan afectar la resistencia y el fraguado del cemento. Dada la necesidad de hidratar el cemento, es la cantidad de agua con relación a la cantidad de cemento, la cifra clave para determinar la calidad del concreto que se obtiene medido en peso. La relación agua / cemento, es determinante para la calidad del concreto, ya que al agregar agua adicional a la mezcla diluye la pasta y la debilita.

Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se puede usar como agua de mezcla (de mezclado, de amasado) para el preparo del concreto (Fig. 3). Sin embargo, también se pueden emplear en concreto algunas aguas que no se consideran potables.



Fig. 3. El agua que es buena para beber es buena para el concreto.

La Tabla 1, muestra seis análisis típicos de abastecimiento (suministro) de agua de algunas ciudades y agua de mar. Estas aguas poseen composición similar al agua de abastecimiento doméstico para la mayoría de las ciudades



Tabla 1. Análisis Típicos del Agua de Abastecimiento de las Ciudades y Agua de Mar. Partes Por Millón. Pág. 95 “Diseño y Control de mezclas de concreto PCA”.

Sustancia química	Análisis No.						Agua de mar*
	1	2	3	4	5	6	
Sílice (SiO ₂)	2.4	0.0	6.5	9.4	22.0	3.0	—
Hierro (Fe)	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	—
Calcio (Ca)	5.8	15.3	29.5	96.0	3.0	1.3	50 a 480
Magnesio (Mg)	1.4	5.5	7.6	27.0	2.4	0.3	260 a 1410
Sodio (Na)	1.7	16.1	2.3	183.0	215.0	1.4	2190 a 12,200
Potasio (K)	0.7	0.0	1.6	18.0	9.8	0.2	70 a 550
Bicarbonato (HCO ₃)	14.0	35.8	122.0	334.0	549.0	4.1	—
Sulfato (SO ₄)	9.7	59.9	5.3	121.0	11.0	2.6	580 a 2810
Cloruro (Cl)	2.0	3.0	1.4	280.0	22.0	1.0	3960 a 20,000
Nitrato (NO ₃)	0.5	0.0	1.6	0.2	0.5	0.0	—
Total de sólidos disueltos	31.0	250.0	125.0	983.0	564.0	19.0	35,000

* Diferentes mares contienen diferentes cantidades de sales disueltas.

El agua de cualquiera de estas fuentes es adecuada para el preparo de concreto. Una fuente de agua con análisis equivalente a cualquiera de las aguas en la tabla es probablemente satisfactoria para el uso en concreto.

3.2 Tipos de Agua.

El agua es el componente con el cual el cemento experimenta reacciones químicas que le permiten fraguar, endurecer y formar un sólido único con los agregados. Se habla básicamente de dos tipos de agua: el agua de mezclado y el agua de curado. A su vez el agua de mezclado se divide en agua de hidratación y agua evaporable. El agua evaporable se compone de agua de absorción o activa, capilar y libre. A continuación se explica cada una de ellas:

Agua de mezclado: es la cantidad de agua por volumen de concreto que requiere el cemento para hidratarse de manera que la pasta adquiere fluidez que le permita la lubricación a los agregados en estado plástico. En el momento en que se forma la pasta se encuentra dos formas básicas de agua: de hidratación y evaporable.



- **Agua de hidratación:** es aquella que hace parte de la fase sólida del gel. Se llama no evaporable porque se conserva a 110⁰ C de temperatura y 0% de humedad del ambiente.

- **Agua evaporable:** el gel estable atrae el agua evaporable mediante tensión superficial ejercida por las partículas del cemento. Está compuesta por dos tipos de agua:
 - a) Agua de absorción o activa: están más débilmente sujetas al gel.
 - b) Agua libre: puede evaporarse con facilidad.

El agua de mezclado puede variar por las siguientes razones:

- ✓ **Tamaño del agregado:** cuanto más grande sea este, menos agua se tendrá que utilizar debido a menor superficie expuesta.
- ✓ **Forma del agregado:** cuanto más angular, rugoso y poroso, mayor será la cantidad de agua requerida para obtener la trabajabilidad deseada.
- ✓ **Contenido del cemento en el concreto:** a mayor cantidad de cemento por metro cubico de concreto se requerirá más agua para alcanzar una consistencia dada, lo cual podría afectar la resistencia del concreto si no se toma en cuenta.
- ✓ **Consistencia o Trabajabilidad:** importante en la colocación ya que se debe tener un control estricto sobre la trabajabilidad original con la que fue diseñado el concreto, para que esta no sea modificada en la ejecución.
- ✓ **Características del cemento:** los cementos pueden variar en sus necesidades de agua y su calor de hidratación, el exceso de agua podría segregar el cemento hacia la superficie (sangrado).

Es importante entender que la **disminución del agua** de mezclado ayudará a:

- ✓ Incrementar resistencias a la compresión y flexión.



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

- ✓ Tener mayor impermeabilidad y por ende mayor hermeticidad a ataques exteriores.
- ✓ Menor cambio volumétrico y mejor unión entre el concreto y sus refuerzos.
- ✓ Reducir la tendencia de fisuramiento por retracción.

Agua de curado: está definida como el conjunto de agua adicional que necesita para que se hidrate la pasta completamente. La cantidad de agua depende de:

- ➔ Humedad del ambiente: a menor humedad, el agua libre se evapora más rápido
- ➔ La relación agua/cemento: si es baja, ocasiona que el gel no tiene espacio para desarrollarse.
- ➔ La densidad del agua no evaporable.

El curado es el periodo más importante durante el fraguado del concreto, ya que los silicatos cálcicos del cemento están reaccionando con el agua formando el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio, que son los responsables del fraguado, endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional del concreto.

Un curado pobre, es decir, un curado inconsistente en el humedecimiento del concreto puede ocasionar fisuras en formas de mapas, por lo que se recomienda un curado húmedo y continuo.

Este curado húmedo y continuo ayuda a terminar de hidratar las partículas de cemento y a controlar el calor de hidratación que puede ser generador de fisuras por alta retracción térmica.

3.3 Ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- a) Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
- b) Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

- c) Se incrementa la resistencia al intemperismo.
- d) Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y el esfuerzo.
- e) Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad de concreto, si es que la mezcla se puede consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezclado resultan en mezclas más rígidas; pero con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser fácilmente colocadas. Por lo tanto, la consolidación del concreto por vibración permite una mejoría en la calidad del concreto.

Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido, se puede modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante su dosificación.

Los aditivos se usan comúnmente para:

- ✓ Ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento
- ✓ Reducir la demanda de agua
- ✓ Aumentar la trabajabilidad
- ✓ Incluir intencionalmente aire
- ✓ Ajustar otras propiedades del concreto.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado, y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, con 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.



3.4 Requisitos de calidad.

Se puede emplear el agua dudosa en concreto, pero se debe verificar su desempeño. Por ejemplo, se aconseja que los cubos de mortero (ASTM C 109 o AASHTO T 106) preparados con el agua dudosa tengan la resistencia a los 7 días igual a por lo menos 90% de la resistencia de los especímenes de referencia preparados con agua potable o agua destilada. Además, se debe garantizar a través de ensayos del tiempo de fraguado que las impurezas en el agua de amasado no van a disminuir o aumentar adversamente el tiempo de fraguado del cemento.

Las normas ASTM C 94 (AASHTO M 157) y AASHTO T 26 presentan criterios de aceptación para el agua que será usada en el concreto (Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Criterios de Aceptación para Abastecimiento de Aguas Dudosas (ASTM C 94 o AASHTO M 157) Pág. 96 “Diseño y Control de mezclas de concreto PCA”.

	Limites	Método de ensayo
Resistencia a compresión, porcentaje mínima en relación al control, a los siete días	90	C 109* o T 106
Tiempo de fraguado, diferencia en relación al control, hr:min	De 1:00 más temprano a 1:30 más tarde	C 191* o T 131

* La comparación debe estar basada en proporciones fijas, así como en el mismo volumen de agua de ensayo comparado con una mezcla de control preparada con agua de la ciudad o agua destilada.

Tabla 3. Límites Químicos para aguas de lavado usadas como agua de mezcla (ASTM C 94 o AASHTO M 157) Pág. 96 “Diseño y Control de mezclas de concreto PCA”.

Sustancia química o tipo de construcción	Concentración máxima en ppm*	Método de ensayo**
Cloruro, como Cl		ASTM D 512
Concreto pretensado (presfuerzo, presforzado, precomprimido) o concreto para tablero de puentes	500†	
Otros tipos de concreto reforzado (armado) en ambiente húmedo o conteniendo elementos de aluminio o metales distintos inseridos o cimbras permanentes de metal galvanizado	1,000†	
Sulfato, como SO ₄	3,000	ASTM D 516
Álcalis, como (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O)	600	
Total de sólidos	50,000	AASHTO T 26

* El agua de lavado usada como agua para el preparo del concreto puede exceder a los límites de concentraciones de cloruros y sulfatos presentados si se puede mostrar que las concentraciones totales calculadas en el agua de mezcla, incluyendo agua de mezcla en los agregados y otras fuentes, no excedan a los límites establecidos.
 ** Se puede usar otros métodos de ensayos que han enseñado resultados semejantes.
 † Para las condiciones que permitan el uso de aditivos aceleradores a base de CaCl₂, los compradores pueden ignorar los límites de cloruros.



3.4 Efectos de las sustancias disueltas

El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y las resistencia del concreto, también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por lo tanto, se pueden establecer ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas sobre varias propiedades. Algunas impurezas pueden tener un pequeño efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado y aun afectar la durabilidad y otras propiedades.

Se puede utilizar satisfactoriamente el agua para el preparo del concreto con menos de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos. El agua que contiene más de 2000 ppm de sólidos disueltos se debe analizar para verificar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.

Efectos de ciertas impurezas del agua de mezcla sobre la calidad del concreto normal:

➤ Carbonato Alcalino y Bicarbonato.

Los carbonatos y los bicarbonatos de sodio y potasio tienen diferentes efectos sobre el tiempo de fraguado de diferentes cementos. El carbonato de sodio puede causar fraguado rápido, el bicarbonato puede tanto acelerar como retardar el fraguado. Estas sales, cuando se encuentran en grandes concentraciones, pueden reducir la resistencia del concreto.

Cuando la suma de las sales disueltas excede a 1000 ppm, se hacen necesarios ensayos para el estudio de su influencia sobre la resistencia y el tiempo de fraguado. También se debe considerar la posibilidad de la ocurrencia de reacciones álcali-agregado fuerte.

**➔ Sulfato**

La preocupación a respecto del alto contenido de sulfato en el agua usada para el preparo del concreto se debe a las reacciones expansivas potenciales y a la deterioración por el ataque de sulfatos, principalmente en áreas donde el concreto será expuesto a suelos o aguas con alto contenido de sulfatos. No obstante, se han usado satisfactoriamente aguas de mezcla conteniendo 10,000 ppm de sulfato de calcio, se debe considerar el límite de la Tabla 3-3, a menos que se tomen cautelas especiales.

➔ Otras sales comunes

Los carbonatos de calcio y magnesio no son muy solubles en agua y raramente se encuentran en concentraciones suficientes para afectar la resistencia del concreto. Los bicarbonatos de calcio y magnesio están presentes en algunas aguas municipales. No se consideran perjudiciales las concentraciones menores que 400 ppm.

El sulfato de magnesio y el cloruro de magnesio pueden estar presentes en altas concentraciones sin que causen daños sobre la resistencia. Se han obtenido buenas resistencias con el uso de agua con concentraciones de hasta 40,000 ppm de cloruro de magnesio. Las concentraciones de sulfato de magnesio deben ser menores que 25,000 ppm.

➔ Sales de Hierro

Las aguas subterráneas naturales raramente contienen más de 20 a 30 ppm de hierro, sin embargo las aguas ácidas de mina pueden contener grandes cantidades de hierro. Las sales de hierro en concentraciones de hasta 40,000 ppm normalmente no afectan las resistencias del concreto.

➔ Aguas Ácidas

La aceptación de aguas ácidas en la mezcla del concreto se debe basar en la concentración de los ácidos en el agua. Ocasionalmente, la aceptación se basa



en el pH, que es una medida de la concentración de los iones hidrógenos en una escala logarítmica. El valor de pH es un índice de intensidad y no es la mejor medida de la reactividad potencial de un ácido o de una base. El pH del agua neutra es 7.0; valores inferiores a 7.0 indican acidez y valores superiores a 7.0 indican alcalinidad (una base).

Normalmente el agua de amasado conteniendo ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones de hasta 10,000 ppm no tiene efecto perjudicial sobre la resistencia. Las aguas ácidas con pH menor que 3.0 pueden crear problemas de manoseo y, si posible, se deben evitar. Los ácidos orgánicos, tal como el ácido tánico, en altas concentraciones pueden tener un fuerte efecto sobre la resistencia (Fig. 4).

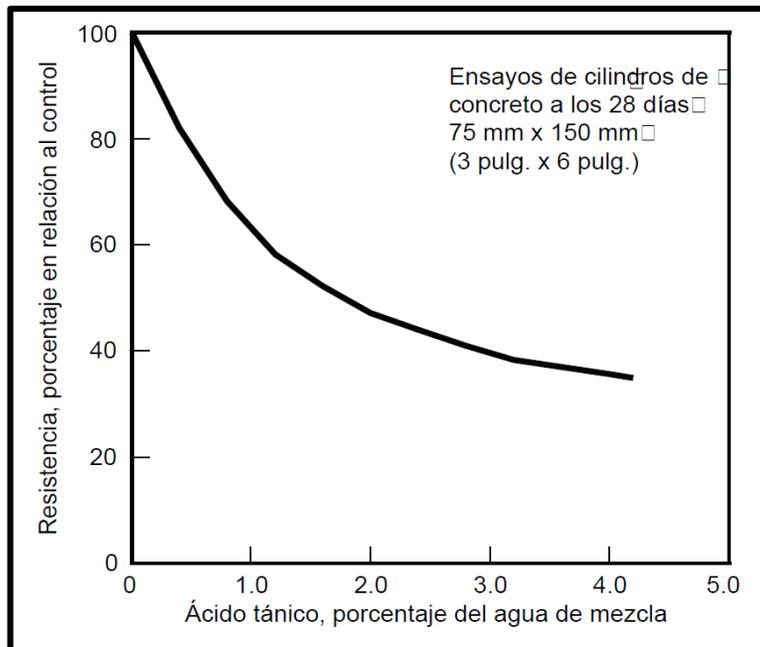


Fig. 4. Efecto del ácido tánico sobre la resistencia Pág. 98 "Diseño y Control de mezclas de concreto PCA".



CAPITULO IV: AGREGADOS

Agregado, también conocido como roca, material granular o agregado mineral, son aquellos materiales pétreos resultantes de la desintegración natural y desgaste de las rocas o que se obtienen mediante la trituración de rocas, con forma, y distribución de tamaños apropiados.

La importancia del uso del tipo y de la calidad correcta del agregado (árido) no se puede subestimar. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto.

Los agregados finos (Fig. 5) generalmente consisten en arena natural o piedra triturada (partida, machacada, pedrejón) con la mayoría de sus partículas menores que 5 mm (0.2 pulg.).



Fig. 5. Primer plano de agregado fino (arena). Pág. 103 “Diseño y Control de mezclas de concreto PCA”.



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

Los agregados gruesos (Fig.6), consisten en la combinación de gravas o piedras trituradas con partículas predominantemente mayores que 5 mm (0.2 pulg.) y generalmente entre 9.5 mm y 37.5 mm (3/8 y 1 1/2 pulg.) Algunos depósitos naturales de agregado, llamados gravas de mina, consisten en grava y arena que se pueden usar inmediatamente en el concreto, después de un procesamiento mínimo. La grava y la arena natural normalmente se excavan o dragan de la mina, del río, del lago o del lecho marino.

La piedra triturada se produce triturando la roca de cantera, roca redondeada, guijarros o gravas grandes. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se usa como agregados fino y grueso.



Fig. 6. Agregado grueso. Grava redondeada (izquierda) y piedra triturada (derecha). Pág. 103 “Diseño y Control de mezclas de concreto PCA”.

4.1 Tipos de Agregados

Los agregados deben ser partículas limpias, sólidas, fuertes y durables, libres de químicos y de recubrimientos de arcilla o material fino que pueden influenciar en la vida útil de la estructura.

Los agregados ocupan entre el 60% y el 75% del volumen total del concreto. Están constituidos por la parte fina (Arena) y la parte gruesa (Grava o piedra triturada),



las cuales pueden provenir de fuentes naturales o artificiales, cuyas finalidades específicas son abaratar la mezcla y dotarla de ciertas características favorables, entre las cuales se destaca la disminución de la retracción de fraguado o retracción plástica.

Como agregados para concreto se pueden considerar todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente, no perturban ni afectan las propiedades y características del concreto y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida de cemento Pórtland.

Las arenas o agregado fino es aquel cuyo diámetro varía entre 74 micras y 5 mm; los agregados gruesos se consideran sobre los 5 mm. El material de tamaño menor a 74 micras generalmente es limo ó arcilla y poseen características perjudiciales al proceso de hidratación del cemento y de allí que se considere también perjudiciales al concreto.

4.2 Clasificación de los agregados de peso normal

4.2.1 Por el origen de las rocas:

4.2.1.1 Agregados naturales

Son los que se encuentran en la corteza terrestre, y sus partículas se forman por la acción directa de la naturaleza o el proceso de trituración. A través de estos procesos se obtienen los agregados tradicionales como arena y grava.

4.2.1.2 Agregados artificiales

Son productos del aprovechamiento de residuos industriales, por fenómenos de licuefacción y pulverización.

4.2.2 Por su densidad:

4.2.2.1 Agregados ligeros

Son aquellos cuya densidad está entre 500-1000 kg/m³, se utilizan en concreto de relleno o en la fabricación de bloques para mampostería estructural.



4.2.2.2 Agregados normales

Son aquellos cuya densidad está entre 1300-1600 kg/m³, se utilizan en concretos normales.

4.2.2.3 Agregados pesados

Aquellos cuya densidad está entre 3000-7000 kg/m³ (son aquellos que poseen en su composición química; barita, magnetita, hematita o una mezcla entre ellas) se utilizan en hormigones pesados, como centrales nucleares, salas de radiología de hospitales, aceleradores de partículas, entre otros.

4.2.3 Por su forma:

4.2.3.1 Canto rodado

Proveniente de cauces de ríos, su forma es redondeada.

4.2.3.2 Triturado

Proveniente de piedra de cantera, su forma es angular.

4.2.3.3 Canto rodado y triturado (mixto)

Proveniente de trituración de canto rodado y mezclado con grava natural, su forma es redondeada con caras fracturadas.

4.2.4 Por el tamaño de las partículas

4.2.4.1 Agregados finos (arena)

Son aquellos con el 95% de sus partículas menores de 4.75 mm. (Tamiz N° 4).

4.2.4.2 Agregados gruesos (grava).

Son aquellos con el 95% de sus partículas mayores de 4.75 mm. (Tamiz núm. 4).

4.3 Propiedades Físicas del agregado

Las propiedades físicas de los agregados influyen en:

➤ Tipo de obra que se va a construir

- a) resistencia
- b) durabilidad
- c) economía



➤ **Tipo de concreto a fabricar**

- a) dureza
- b) resistencia
- c) graduación
- d) durabilidad
- e) limpieza
- f) tenacidad

Entre las características físicas del agregado se destacan:

- ✓ Peso específico y peso volumétrico
- ✓ Porosidad y Absorción
- ✓ Peso Unitario de los Agregados
- ✓ Granulometría
- ✓ Forma de las partículas del agregado
- ✓ Textura
- ✓ Expansión o Abultamiento

4.3.1 Peso específico y Peso Volumétrico

Dentro de las propiedades físicas de los agregados que dependen directamente de las propiedades de la roca original, se encuentra la densidad; la cual está definida como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada.

Para fines de estudio se considera la Densidad Aparente como herramienta para la determinación de factores de diseño. La densidad aparente, se define como la relación que existe entre el peso del material y el volumen que ocupan las partículas de este, incluyendo todos sus poros (saturables o no)

Este factor es de gran importancia en el diseño de la mezcla, en virtud de que este determina la cantidad de agregado requerido para un volumen unitario de concreto, debido a que los poros ocupan un volumen dentro de la masa de



concreto y porque el agua que se deposita dentro de los poros saturables del agregado, no hacen parte del agua de mezclado.

4.3.2 Porosidad y Absorción

La porosidad del agregado es una cualidad muy importante, directamente relacionada con la adherencia y resistencia a la compresión y flexión de las partículas, así como a su comportamiento frente a problemas de congelamiento, deshielo e intemperismo. La porosidad está asociada a la capacidad de absorción de agua u otro líquido que tienen los agregados, capacidad que depende del número y tamaño de los poros y de la continuidad de los mismos. Según su contenido de humedad, las partículas que conforman un agregado pueden estar en los siguientes estados que muestra la figura 7

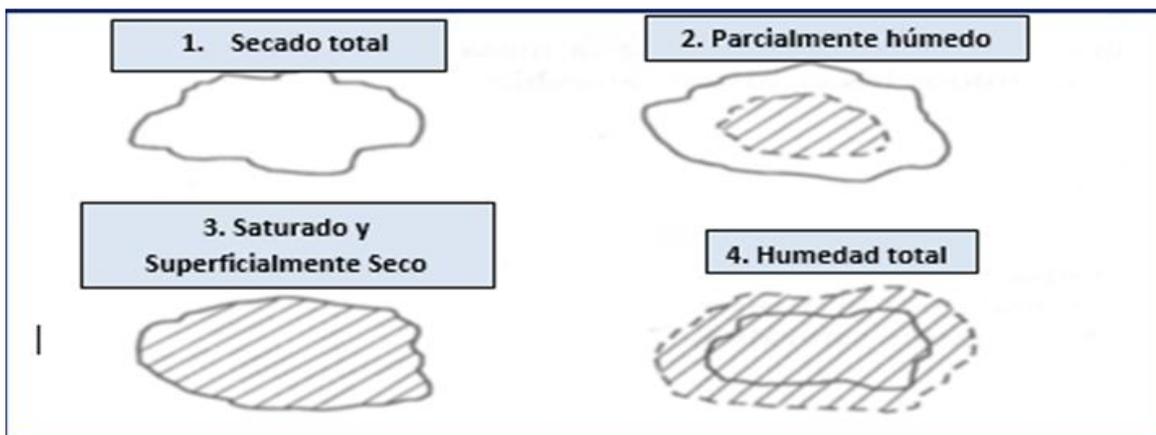


Figura 7. Estados en que se encuentran las partículas que conforman el agregado. Fuente: www.google.com.ni

En el caso 1, el material está seco, es decir, no tiene ni agua de absorción ni agua libre, sólo tiene el agua adsorbida, es decir el agua de constitución mineralógica, estado que se obtiene sólo cuando el material ha estado en el horno a una temperatura de 110 °C durante 24 horas o hasta que tenga peso constante.

En el caso 2 el material tiene alguna humedad, es decir los poros tienen agua absorbida; es el caso del material al medio ambiente.



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

En el caso 3 el material tiene todos los poros saturados pero está superficialmente seco. Este estado se logra cuando el material ha sido sumergido mínimo 24 horas y se seca superficialmente.

En el caso 4, el material está saturado y posee agua libre que da a las partículas una película brillante. Para determinar la absorción en agregados finos y gruesos se siguen las indicaciones que aparecen en las normas NTC 237 y 176 respectivamente.

$$\% \text{ absorción} = \frac{P_{ss} - P_s}{P_s} \times 100$$

Donde:

P_{ss} = Peso saturado y superficialmente seco

P_s = Peso seco.

4.3.3 Peso Unitario de los Agregados

Se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. Es decir, el material dentro del recipiente sufre un acomodo de las partículas dejando el menor espacio entre ellas; el mayor peso unitario se tendrá cuando quepa más material dentro del mismo volumen, lo que depende naturalmente de la granulometría, tamaño, forma y textura del agregado.

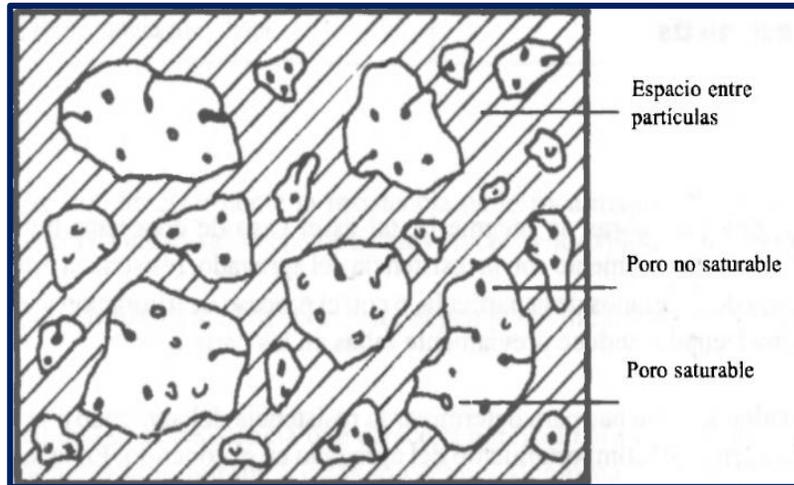


Figura 8. Esquematización del peso volumétrico. Fuente: www.google.com.ni.

Existen dos tipos de masa unitaria a saber:

- ✓ Peso unitario compactado: Se define como el peso compactado del material dividido entre el volumen que ocupa. La determinación de la masa unitaria compactada se hace según la norma NTC No. 92. El valor de la masa unitaria compactada se utiliza para determinar el volumen absoluto de agregado grueso en las mezclas de concreto.
- ✓ Peso unitario suelto: Es la relación que existe entre el peso del agregado suelto o en estado normal de reposo y el volumen que ocupa. El peso unitario suelto es menor que el peso unitario compactado porque el material en estado suelto ocupa un volumen mayor.

En el manejo del material se debe tener en cuenta el peso unitario suelto por cuanto el transporte se hace en volumen y en estado suelto, y por lo tanto el volumen del agregado para transportar y almacenar siempre es mayor que el volumen del material colocado y compactado en la obra.



4.3.4 Granulometría

La granulometría o graduación se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de las mismas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices standard, dispuestos de mayor a menor. Los tamices se disponen de acuerdo a la utilización. Así, por ejemplo, la serie de tamices que se usa para los agregados del concreto se ha escogido de tal forma que la abertura del tamiz esté en relación de 1 a 2 con la abertura del siguiente tamiz. La operación de tamizado debe realizarse según la norma NTC No.77 en la cual se describe el tamaño de la muestra a ensayar y los procedimientos adecuados para realizar un análisis granulométrico. Los resultados se consignan en una tabla en la que deben aparecer: Peso de la muestra ensayada, peso del material retenido en cada malla, % del material retenido, % retenido acumulado y % que pasa.

4.3.4.1 Curvas granulométricas

Para una mejor visualización de la distribución del agregado, los resultados de un análisis granulométrico se grafican mediante una curva granulométrica, en la cual aparece sobre las ordenadas, en escala aritmética, el porcentaje que pasa a través de los tamices y sobre las abscisas, en escala logarítmica o en escala aritmética, la abertura de los tamices.

Una curva tendida indica un material bien gradado o con todos los tamaños y corresponde a una gradación densa o cerrada, es decir, los espacios entre partículas son mínimos, no existe ni exceso ni defecto de un tamaño determinado.

En cambio una curva casi vertical indica un material mal gradado, en el que predominan solo unos pocos tamaños y corresponde a una gradación abierta donde aumentan los espacios vacíos.

4.3.4.2 Parámetros que se obtienen del análisis granulométrico



Además de determinar la distribución de los tamaños y la ausencia o exceso de los mismos dentro de una masa de agregados, de un análisis granulométrico se pueden sacar valores que luego son usados como parámetros en los diseños o como factores de calidad, ellos son:

- ✓ **Tamaño Máximo:** Se define como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra, indica la dimensión de la partícula más grande que hay en la muestra.

- ✓ **Tamaño Máximo Nominal:** Se define como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquél cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. Indica el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de una masa de agregado. Por lo general, un análisis granulométrico, el tamaño máximo y el máximo nominal no coinciden. Por lo tanto, en las especificaciones debe indicarse claramente de cuál de los dos se trata. Los términos tamaño máximo y tamaño máximo nominal se aplican exclusivamente al agregado grueso.

- ✓ **Módulo de finura:** Es un valor que permite estimar el grosor o finura de un material; se define como la centésima parte del número obtenido al sumar los porcentajes retenidos acumulados en los siguientes tamices empleados al efectuar un análisis granulométrico: No. 100, 50, 30, 16, 8, 4 3/8", 3/4", 1 1/2" y los tamices siguientes cuya relación de abertura sea de 1 a 2. El uso del módulo de finura se ha restringido al agregado fino y según este módulo las arenas se clasifican en:
 - 1) Arenas finas: Módulo de finura entre 0.5-1.5
 - 2) Arenas medias: Módulo de finura entre 1.5-2.5
 - 3) Arenas gruesas: Módulo de finura entre 2.5 - 3.5



Cuando la arena está mezclada con grava se obtienen módulos de finura mayores y a mayor proporción de grava en la arena mayor es el módulo de finura, en este caso la clasificación se hace así:

- 1) Arenas finas: Módulo de finura entre 2.2 - 2.6
 - 2) Arenas medias: Módulo de finura entre 2.6-2.9
 - 3) Arenas gruesas: Módulo de finura entre >2.9
- ✓ **Porcentaje de Finos:** Se define como el % que pasa el tamiz No. 200 (0.074 mm).

4.3.5 Forma de las partículas del agregado

Para determinar la forma de las partículas en los agregados es necesario definir:

- ✓ **Redondez:** Se aplica a la forma del filo; si la partícula tiene aristas bien definidas se dice que es angular, si por el contrario sus aristas están gastadas por la erosión o el rozamiento del agua se habla de partículas redondeadas.
- ✓ **Esfericidad:** Es función de la relación entre área superficial y volumen. Esta relación es menor en partículas esféricas incrementándose en partículas planas y alargadas, según la esfericidad las partículas pueden ser esféricas, cúbicas, tetraédricas, laminares y alargadas. La forma de las partículas se indica con dos términos, aduciendo a su redondez y a su esfericidad. Por ejemplo cúbica redondeada o cúbica angular.
- En general las gravas de río, glaciares, y conglomerados, así como las arenas de playa o desierto son materiales redondeados, y pueden ser esféricos (cantos rodados) y laminares. En cambio los agregados obtenidos por trituración y los provenientes de suelos residuales son angulares y su forma depende de la naturaleza de la roca y del equipo de trituración; así



serán cúbicos, tetraédricos, laminares y alargados. La norma NTC No. 174 define los términos partícula plana y partícula alargada.

- ✓ **Partícula alargada:** Es aquella cuya relación entre longitud y anchura es mayor de 1.5 es decir:
 $L/b > 1.5$ b donde: L = longitud de la partícula, b = ancho de la partícula.
- ✓ **Partícula plana:** Es aquella cuya relación entre el espesor y el ancho es menor de 0.5, es decir: $d/b < 0.5$ b donde: d = espesor de la partícula, b = ancho de la partícula.

4.3.6 Textura

Esta propiedad del agregado se deriva indirectamente de la roca madre y es responsable de la adherencia del agregado y de la fluidez de las mezclas de concreto. Según la textura superficial podemos decir que el agregado es liso o pulido (material de río) o áspero (material triturado). Esta textura está relacionada con la dureza, forma, tamaño y estructura de la roca original.

4.3.7 Expansión o Abultamiento

Conocida también como hinchamiento de la arena, consiste en un aumento de volumen, para un determinado peso de arena por la presión del agua entre las partículas de arena cuando ésta se encuentra con agua libre. Si el agua libre aumenta de un 5 a un 8%, el abultamiento puede llegar hasta un 20 ó 30%. La expansión puede ser máximo de un 40% para arenas finas y hasta un 20% para arenas gruesas. Cuando se aumenta el contenido de agua libre la expansión disminuye y si la arena está inundada no existe hinchamiento. Conviene tener esto en cuenta en el transporte y almacenamiento de la arena.



4.4 Propiedades Mecánicas de los Agregados

4.4.1 Resistencia

Al emplear los agregados en concretos hidráulicos, la resistencia de éstas, se relaciona directamente con la resistencia del agregado, resistencia estrechamente relacionada con la estructura de los granos de la partícula, o con el proceso de trituración y explotación; algunos procedimientos inadecuados induce previamente fallas en las partículas. Se han desarrollado algunas pruebas para determinar la resistencia del agregado a la trituración, que permiten dar una idea acerca del comportamiento del agregado en el concreto.

En la tabla No.4 se dan algunos valores típicos de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad de algunas rocas.

Tabla 4. Resistencia a la compresión simple y módulo de elasticidad de algunas rocas.
Fuente: www.google.com.ni.

ROCA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN kg/cm ²	MÓDULO DE ELASTICIDAD kg/cm ² x10 ⁵
Gabro	150 – 300	6 – 11
Granito	70 – 250	3 – 7
Basalto	100 – 300	2 – 10
Diabasa	60 – 130	3 – 9
Dolomita	150 – 250	2 – 8.4
Caliza	10 – 70	1 – 8.0
Arenisca	20	0.5 – 8.6
Lutita	20 – 90	0.8 – 3.0
Gnesis	40 – 70	2 – 6
Mármol	50 – 80	6 – 9
Cuarcita	30 – 50	2.5 – 10
Esquisto	70 – 200	4 – 7

Tabla 5: Clasificación de las rocas según su resistencia a la compresión simple,

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (kg/cm ²)
Resistencia muy alta	> 2250
Resistencia alta	1120 – 2250
Resistencia media	560 – 1120
Resistencia baja	280 – 560
Resistencia muy baja	< 280



Como se dijo anteriormente, la resistencia de la roca madre se comunica al agregado, aunque debe darse especial cuidado al hecho de que los procesos de explotación y triturado pueden disminuirla. El módulo de elasticidad del concreto, depende del módulo de elasticidad del agregado.

4.4.2 Tenacidad

La tenacidad es la resistencia que ofrece el agregado al impacto, y tiene mucho que ver con el manejo de los agregados, porque si estos son débiles al impacto pueden alterar su granulometría y por consiguiente la calidad de la obra.

4.4.3 Adherencia

Ya sea en el concreto hidráulico o en el concreto asfáltico la adherencia del agregado es una característica importante, porque la resistencia y durabilidad de estos concretos depende en gran parte del poder de aglutinamiento del agregado con el material cementante (pasta de cemento o asfalto). La adherencia del agregado depende de la forma, textura y tamaño de las partículas. No existe un método para medir la adherencia de un agregado con el cemento, pero la adherencia de un agregado con el asfalto si puede medirse mediante una norma británica que consiste esencialmente en determinar el grado de amarre del asfalto con los agregados que se van a utilizar en el campo.

4.4.4 Dureza

Es la resistencia que ofrece el agregado a la acción del roce y al desgaste diario. Los agregados empleados en carreteras, y pisos, deben ser especialmente resistentes al desgaste. Para determinar esta propiedad, se emplea el ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los Ángeles, ensayo descrito en las normas NTC 90 y 98, y que tiene en cuenta la gradación y tamaño del material, por lo que es necesario hacer una granulometría previa con el fin de determinar la gradación del ensayo que mejor represente al agregado.



Según la gradación serán los tamaños y pesos de las muestras de agregado que va a ensayarse y la carga abrasiva (número de esferas) y el total de revoluciones a las cuales se somete la muestra. Se obtiene así un porcentaje de desgaste, que se compara con el valor dado por la especificación. La dureza del agregado depende de su constitución mineralógica y de su procedencia.

4.4.5 Sanidad de los agregados

La sanidad de los agregados se refiere a su capacidad para soportar cambios excesivos de volumen por la acción del intemperismo.

La capacidad del agregado para soportar los cambios de condiciones ambientales depende de su procedencia, granulometría, forma, textura y porosidad. Para determinar la sanidad de los agregados, se realiza en el laboratorio una prueba, según la norma Icontec 126, que consiste esencialmente en someter los agregados separados por tamaños a la saturación en una solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio y después a un secado en el horno.

Estas acciones constituyen un ciclo, generalmente se efectúan cinco ciclos; al finalizar el último ciclo se elimina el sulfato y cuando está seco el material, se procede a hacer análisis cualitativo y cuantitativo para determinar el porcentaje del agregado no desgastado por la acción del sulfato.

El ensayo pretende reproducir en forma acelerada la acción de los procesos de calentamiento, enfriamiento, humedecimiento, secado, congelamiento y deshielo, pues cuando el agua se encuentra en un poro pequeño (diámetro menor de 4 micras) no puede salir fácilmente, pues ha aumentado su volumen en un 9% al congelarse y entonces produce presión en el interior de la partícula que puede agrietarla, así el sulfato presente en los poros cristaliza al evaporarse el agua por el secado, creando presiones en el interior de la partícula que pueden equipararse a la acción del congelamiento del agua. Una baja resistencia del agregado al intemperismo compromete la durabilidad de la obra, que no sólo afecta su aspecto superficial (descascamiento) sino su estabilidad por agrietamientos internos.



4.5 Efectos de los agregados en el concreto

4.5.1 Manejabilidad

Es aquella propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente, para ser terminado sin segregación dañina alguna.

La distribución granulométrica de los agregados es un factor que incide en la manejabilidad de un concreto, debido a que uno con una mala graduación presenta exceso de vacíos, que deben ser rellenados con pasta de cemento en el caso del agregado fino y con mortero en el caso del grueso, para que la mezcla sea trabajable y no quede porosa. Debe evitarse el uso de arenas muy finas o muy gruesas, ya que con la primera el requerimiento de agua es muy alto y fácilmente se segregan, con las segundas se obtienen mezclas muy ásperas y poco cohesivas. Se recomienda un valor del módulo de finura entre 2.2 - 3.0.

La forma y textura también influyen en la manejabilidad, es obvio que los agregados gruesos con partículas alargadas, aplanadas o de forma cúbica y textura rugosa requieren una mayor cantidad de arena, agua y pasta en una mezcla, comparados con los agregados de canto rodado y de textura lisa, debido a la fricción generada por la trabazón que existe entre las partículas.

En la medida que la relación pasta-agregados tenga un valor alto, los agregados se podrán mover libremente dentro de la masa, caso contrario se producirá una mezcla granulosa y áspera.

La relación arena-agregados es importante para la manejabilidad del concreto, una mezcla que tenga un bajo contenido de arena es difícil de manejar, colocar y terminar, con el inconveniente adicional de tendencia a la segregación y exudación por ser una mezcla poco cohesiva, con un exceso de agregado grueso.



Por el contrario si el contenido de la arena es elevado, hay necesidad de añadir más agua o pasta en exceso para que la mezcla sea manejable, presentándose también tendencia a la segregación y exudación.

4.5.2 Segregación

Se define como la separación de los materiales que constituyen una mezcla heterogénea (como el concreto), de manera que su distribución deja de ser uniforme por falta de cohesión. Puede ser ocasionada por la diferencia de tamaño de las partículas y la granulometría de los agregados. Se puede presentar de modo tal que las partículas gruesas tienden a separarse por desplazamiento sobre los taludes de la mezcla amontonada o porque se asientan más que las partículas finas por acción de la gravedad; generalmente ocurre en mezclas secas y poco cohesivas.

4.5.3 Exudación

Consiste en que parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie del concreto recién colocado o durante el proceso de fraguado. El agua queda atrapada bajo las partículas más gruesas de agregado o del acero de refuerzo, lo cual genera zonas de baja adherencia, adicionalmente al subir deja pequeños caminos capilares que aumentan la permeabilidad del concreto.

4.5.4 Temperatura

La temperatura del concreto fresco afecta todas sus propiedades en estado plástico, especialmente el asentamiento y contenido de aire. Se genera por el aporte calorífico de cada uno de sus componentes, ya que la influencia de cada material depende de su calor específico, masa y temperatura. El valor aproximado del calor específico de los ingredientes (cemento y agregados) secos, es de 0.2 kcal/kg/°C.

4.5.5 Resistencia mecánica



Hasta el momento no se ha encontrado una regla general válida que permita describir el comportamiento del concreto bajo todos los estados de esfuerzos, a que es sometido en una estructura. Las propiedades de los agregados que más influyen en la resistencia del concreto son las siguientes:

- ❖ Una granulometría continua permite la máxima compactación del concreto en estado fresco y por lo tanto, la máxima densidad en estado endurecido, con la consecuente máxima resistencia.
- ❖ La forma y textura de los agregados también influyen, debido a que los de forma cúbica y rugosa permiten una mejor adherencia de la interface matriz-agregado, aumentando la resistencia respecto a los agregados de canto rodado y lisos para una misma relación agua-cemento.
- ❖ La resistencia y rigidez de las partículas del agregado también inciden en la resistencia del concreto, ya que es muy diferente la resistencia y módulo de elasticidad de uno de baja densidad y poroso, a la de un agregado de baja porosidad y muy denso.
- ❖ El tamaño máximo del agregado también tiene una incidencia en la resistencia del concreto, debido a que la cantidad de cemento requerida para producir una resistencia a la compresión máxima, a una edad determinada con un agregado particular, varía según sea el tamaño máximo del agregado grueso utilizado.

4.5.6 Permeabilidad

Es la propiedad que permite que pueda ser atravesado por un fluido (agua, aire, vapor de agua) a causa de una diferencia de presión entre las dos superficies opuestas del material. Depende de la porosidad de la pasta y de la porosidad de los agregados.

4.5.7 Durabilidad



La mayoría de las rocas tienen poros más grandes que la de la pasta de cemento endurecida (con cualquier relación agua-cemento), se encontró que estas expelen agua durante la congelación, en este caso el daño se debe a la presión hidráulica que se genera en los poros debido al movimiento del agua.

4.5.8 Apariencia

El acabado con los agregados a la vista se está volviendo una práctica común, debido a la diversidad de tipos y tamaños, durabilidad y belleza arquitectónica del concreto, en estos casos el agregado grueso se deja expuesto, bien retirando el mortero de la superficie o colocando cuidadosamente el agregado en la superficie.

4.5.9 Reacciones químicas de los agregados

Son estudios que se realizan a los agregados para ver si éstos no tienen ni tendrán un efecto nocivo con los demás elementos que forman parte del concreto.

4.5.9.1 Reacción álcali-sílice.

Es una de las causas por las cuales se deterioran las estructuras de concreto, se le conoce como reacción álcali-agregado, necesita de la presencia de humedad para que se dé; ocurre entre los hidróxidos de álcali producidos por el cemento al hidratarse y ciertas rocas y minerales silicios presentes en los agregados utilizados para fabricar concreto, lo que causa presiones de expansión e hidráulicas suficientes para fracturarlo. Si ésta continúa puede dejar al concreto vulnerable a la corrosión del acero de refuerzo o al ataque de los sulfatos y se presenta entre los 5 y 15 años después de colocado el concreto.

Los factores que contribuyen a su origen son:

- ❖ Agregados reactivos.
- ❖ Cementos con alto contenido de álcalis.
- ❖ Fuentes de álcalis externas.



- ❖ Medios marinos.
- ❖ Condiciones climáticas (hielo/deshielo, ciclos de humedecimiento/secado.
- ❖ Agentes causantes de corrosión como sales de deshielo y cloruros.
- ❖ Cargas de tráfico.

Como mecanismos de prevención de la reacción álcali sílice, se pueden mencionar los siguientes:

- ❖ Empleo de agregados no reactivos.
- ❖ Reducción de la cantidad de cemento alcalino.
- ❖ Puzolanas y aditivos minerales.
- ❖ Aplicar tecnología del litio.

4.5.9.2 Reacción álcali-carbonato

Es una reacción de carácter expansivo, se produce por medio de un proceso de dolomitización que lleva a la formación de brucita y a la regeneración del álcali, generalmente ocurre con los agregados calizos, particularmente los dolomíticos.

4.6 Normativa aplicable

Se debe de considerar la diferente naturaleza de los agregados gruesos actualmente utilizados, que requieren en algunos casos de normativa particular para evaluar algunas de sus características como es el caso de la escoria.



CAPITULO V: DISEÑO Y PROPORCIONAMIENTO DE LA MEZCLA DE CONCRETO

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

- ✓ propiedades del concreto fresco
- ✓ propiedades mecánicas del concreto endurecido
- ✓ la inclusión, exclusión o límites de ingredientes específicos

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

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

Es importante el entendimiento de los principios básicos del diseño de mezclas, tales como los cálculos usados para establecer las proporciones de la mezcla. Las cualidades citadas arriba se pueden alcanzar en la construcción de concreto sólo con la selección adecuada de los materiales y de las características de la mezcla.

En la ASTM designación C 33-02a, indica las especificaciones estándares para la graduación y calidad de los agregados a utilizar en un diseño de concreto.

5.1 Proporcionamiento de mezclas de concreto normal.

El objetivo al diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la combinación más práctica y económica con los materiales que se dispone, para



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de su uso.

La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido (intencionalmente incorporado). La pasta constituye aproximadamente del 25% hasta 40% del volumen total del concreto. El volumen absoluto del cemento está normalmente entre 7% y 15% y el volumen del agua está entre 14% y 21%. El contenido de aire incorporado sin intención es de 1-3%, el aire incluido varía del 4% hasta 8% del volumen.

Como los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del concreto, su selección es muy importante. Los agregados deben componerse de partículas con resistencia mecánica adecuada y con resistencia a las condiciones de exposición y no deben contener materiales que puedan causar deterioro al concreto. La granulometría continua de tamaños de partículas es deseable para el uso eficiente de la pasta.

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre ambos. En un concreto adecuadamente confeccionado cada partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre los agregados se llenan totalmente con pasta, como se enseña en la siguiente imagen.

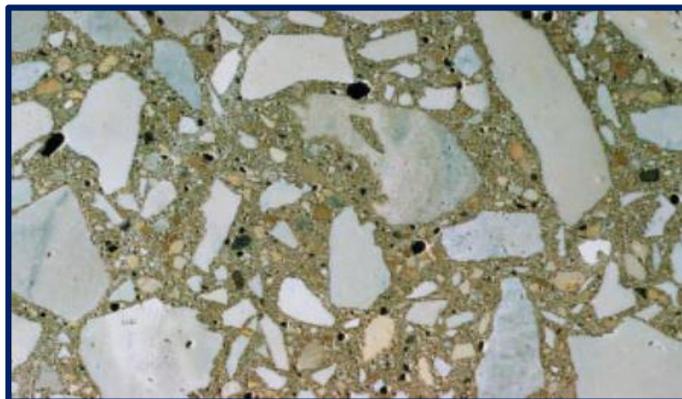


Fig. 9 La pasta de cemento y agua cubre completamente cada partícula de agregado y llena todos los espacios entre las partículas. Fuente: Pág. 2 "Diseño y Control de mezclas de concreto PCA".



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

La imagen a continuación, presenta diferentes tipos de mezclas el cual contienen aire incluido sin intención dado a que la reacción química entre el agua y el cemento provocan vacíos con más 1mm de diámetros, luego de la reacción química del cemento con el agua da como resultado en cada partícula de cemento una membrana con aspecto fibroso que adhiere a las partículas entre sí o a las superficies de los agregados. Cabe mencionar también que cuando la granulometría no es uniforme y existen excesos de tamaños máximos se producirán vacíos ya que la pasta y el agregado fino no es suficiente para cubrir estos vacíos.

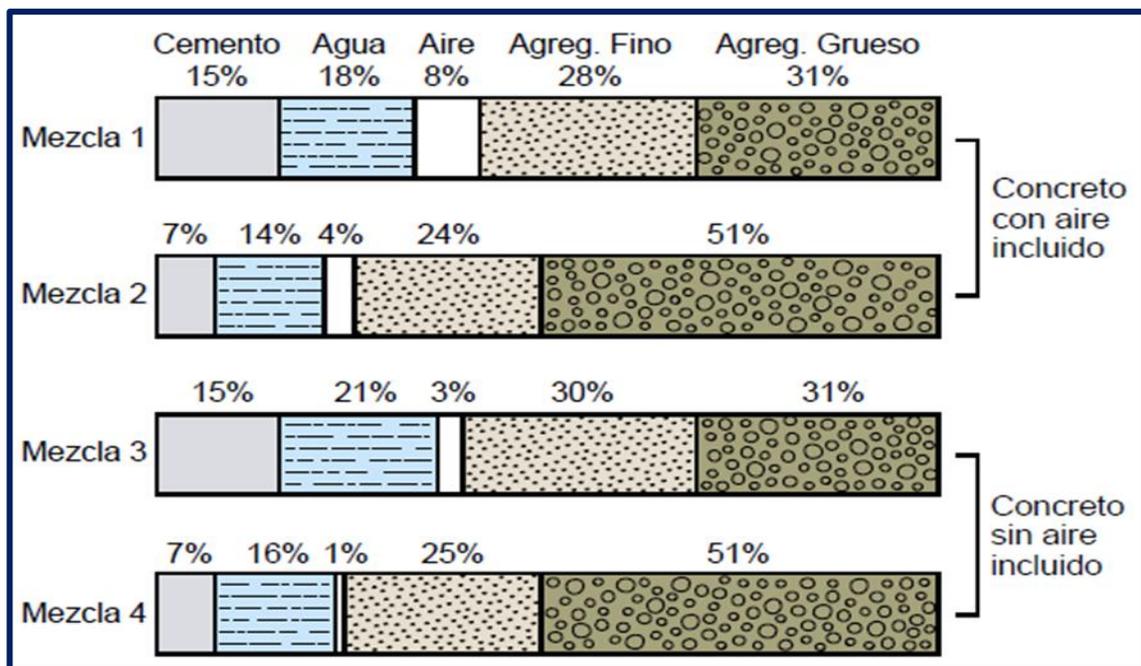


Fig. 10. Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes. Fuente: Pág. 1 "Diseño y Control de mezclas de concreto PCA".

5.2 Elección de las características de la mezcla

Es necesario enfocar el concepto de diseño de mezcla para producir un buen concreto, tan económico que sea posible, que cumpla con los requisitos requeridos para el estado fresco (mezclado, transporte, colocación, compactado y acabado, etc.) y en el estado endurecido (la resistencia a la compresión y durabilidad, etc.).



En general, se piensa que todas las propiedades del concreto endurecido están asociadas a la resistencia y, en muchos casos, es en función del valor de ella que se las clasifica. Sin embargo, debe siempre recordarse al diseñar una mezcla de concreto que muchos factores ajenos a la resistencia pueden afectar otras propiedades.

Antes que se pueda determinar las proporciones de una mezcla se debe tener conocimiento de la siguiente información:

- ✓ Los materiales.
- ✓ El elemento a vaciar, tamaño y forma de las estructuras.
- ✓ Resistencia a la compresión requerida.
- ✓ Combinaciones ambientales durante el colocado.
- ✓ Condiciones a la que estará expuesta la estructura.

Después que se hayan elegido las características, se puede proporcionar la mezcla a partir de datos de campo o de laboratorio. Como la mayoría de las propiedades deseadas en el concreto endurecido dependen principalmente de la calidad de la pasta cementante, la primera etapa para el proporcionamiento del concreto es la elección de la relación agua-material cementante apropiada para la resistencia y durabilidad necesarias. Las mezclas de concreto se deben mantener lo más sencillas posible, pues un número excesivo de ingredientes normalmente dificulta el control del concreto.

5.2.1 Relación Agua / Cemento vs Resistencia

La resistencia a la compresión se relaciona inversamente con la relación agua – cemento. Para un concreto plenamente compactado fabricado con agregados limpios y sanos; la resistencia y otras propiedades deseables del concreto bajo condiciones de trabajo dadas, están gobernadas por la cantidad de agua de



mezclado que se utiliza por unidad de cemento, lo que se denomina agua – cemento.

El concreto se vuelve más resistente con el tiempo, siempre y cuando exista humedad disponible y se tenga una temperatura favorable. Por tanto, la resistencia a cualquier edad particular no es tanto función de la relación agua – cemento como lo es del grado de hidratación que alcance el cemento. No hay que confundir esto, porque se conoce que relaciones A/C bajas producen concretos de altas resistencias, pero aún teniendo relaciones de A/C bajas no se logrará la resistencia esperada para ese factor, si el cemento no logra hidratarse completamente producto de un mal curado.

5.2.2 Durabilidad

La durabilidad del concreto depende mayormente de la estructura del mismo, especialmente en la superficie. Un concreto homogéneo, bien compactado, con baja porosidad y una baja relación agua–cemento, es atacada de forma más lenta y con ello se asegura una mayor durabilidad.

Las propiedades como la impermeabilidad, resistencia, uniformidad de mezcla, etc., están influenciadas por la relación A/C, que determina la calidad de la “pasta del cemento” en el concreto. La adición excesiva de agua, provocará un serio efecto de debilitamiento en la pasta ya que puede barrer con todas las partículas del cemento. También la cantidad de agua determinará la cantidad de poros que tendrá el concreto al evaporarse el agua en su interior (estos poros servirán de canales a los agentes agresivos como los álcalis o sulfatos).

5.2.2.1 Relación agua / cemento vs exposición del concreto.

Debido a que no hay ensayos de comportamiento que aseguren una evaluación cuantitativa de la durabilidad, se normaliza a exigencias de relación A/C y contenido mínimo de cemento, pero dado que en un concreto es muy difícil conocer si se respetó la cantidad de A/C y el cemento mínimo, la durabilidad se



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

puede valorar sometiendo una pieza a la medición de impermeabilidad por el ensayo de penetración de agua a presión. (Ensayo de comportamiento no exigible)

La durabilidad a la congelación y deshielo se puede determinar por el procedimiento de la ASTM C-666 (resistencias a la congelación y deshielo). A partir de esta prueba se calcula un factor de durabilidad que refleje el número de ciclos de congelamiento y deshielo requeridos para producir una cierta cantidad de deterioro. (Ensayo de comportamiento no exigible)

Los concretos que están sujetos al desgaste por abrasión como los pavimentos, pisos y estructuras hidráulicas, requieren de una elevada resistencia a la abrasión la cual es directamente proporcional a la de compresión. Estas resistencias dependen de una relación baja de A/C y de un curado adecuado (húmedo y continuo).

Un agregado duro también ayudará a mejorar estas resistencias y con ello la durabilidad del concreto en estas aplicaciones.

Existen tres normas que ayudan a realizar los ensayos para determinar la resistencia a la abrasión: ASTM 779, C418 y C944.

**Tabla 6: Relación A/C vs Exposición del Concreto. Fuente: ACI 318.**

Condición de Exposición	Relación A/C máxima para concreto de peso normal.
Concreto no expuesto a la acción de congelamiento y deshielo	Escoja la relación A/C basándose en los requisitos de resistencia, trabajabilidad y acabados.
Concreto que se pretende sea hermético: 1) Concreto expuesto a agua dulce 2) Concreto expuesto a agua salobre o a agua de mar	 0.50 0.45
Concreto expuesto a congelamiento y deshielo en condición húmeda (con aire incluido): 1) Cunetas, guardarrieles o secciones delgadas 2) En presencia de productos químicos descongelantes 3) Otros elementos	 0.45 0.45 0.50
Como protección contra la corrosión del concreto reforzado expuesto a sales descongelantes, aguas salobres, agua de mar o a rocío proveniente de estas fuentes.	0.40

5.2.3 Relación Agua – Cemento.

La relación agua – cemento, es simplemente la masa del agua dividida por la masa del material cementante (cemento portland, cemento adicionado, ceniza volante, escoria, humo de sílice y puzolanas naturales). La relación agua – cemento elegida para un diseño de mezcla, debe ser el menor valor necesario para resistir a las condiciones de exposición anticipadas.

Cuando la durabilidad no es el factor que gobierne, la elección de la relación agua-material cementante se debe basar en los requisitos de resistencia a compresión. En estos casos, la relación agua-material cementante y las proporciones de la mezcla para la resistencia requerida se deben basar en datos de campo adecuados o en mezclas de prueba que empleen los materiales de la obra, a fin de que se determine la relación entre la resistencia y la relación agua-material cementante.



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

Cuando no se disponga de más datos, se pueden utilizar la **Figura 11 y la Tabla 7** para elegir la relación agua-material cementante, con base en el promedio requerido de la resistencia, para mezclas de pruebas. En el diseño de mezclas, la relación agua-material cementante, a/mc , se usa frecuentemente como sinónimo de la relación agua-cemento (a/c).

La resistencia de este diseño es de 3000 psi y el aseguramiento o sobre diseño que se utilizó fue de 1000 psi. Debido a esto los resultados tienen que estar entre 3000 y 4000 psi.

La elección de la relación agua-cemento se tiene que determinar según la resistencia de sobrediseño.

Tabla 7: Relación agua – cemento para distintas resistencias a la compresión. Fuente ACI 211.

Resistencia a la compresión a los 28 días, Kg/cm ² (psi)	Relación agua - cemento en peso.	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420 (6,000)	0.41	-
350 (5,000)	0.48	0.40
280 (4,000)	0.57	0.48
210 (3,000)	0.68	0.59
140 (2,000)	0.82	0.74

Para nuestro diseño se tomará un valor de agua – cemento de 0.57, que es el que corresponde para una resistencia a la compresión a los 28 días de 4,000 psi.

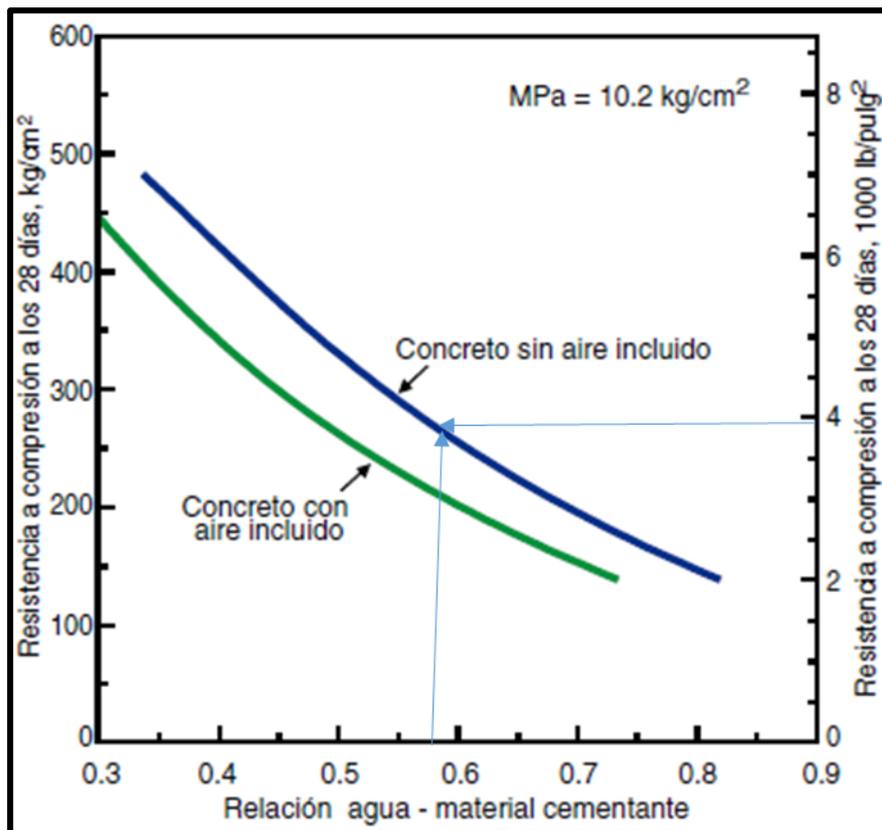


Figura 11. Relación aproximada entre resistencia a compresión y relación agua-material cementante para el concreto con agregado grueso, de tamaño máximo nominal de 19 mm a 25 mm (3/4 a 1 pulg.). La resistencia se basa en cilindros curados por 28 días en ambiente húmedo, de acuerdo con la ASTM C 33 (AASHTO T 23). Adaptado de la tabla 9-3 del ACI 211.1, ACI 211.3 y Hover 1995.

5.2.4 Resistencia.

La resistencia a la compresión es especificada a los 28 días (f'_c : entre 210 y 280 Kg/cm^2) y es la que se espera sea igualada o sobrepasada por el promedio del conjunto de tres ensayos de resistencia consecutivos, sin que ningún ensaye individual (promedio de dos cilindros) quede debajo de más de 35 Kg/cm^2 (500 Psi) de la resistencia especificada, cuando los especímenes hayan sido curados en condiciones de laboratorio, todo esto según norma del ACI 318 - capítulo 5.



5.2.5 Revenimiento

Siempre se debe producir el concreto para que tenga trabajabilidad, consistencia y plasticidad adecuadas con las condiciones de la obra. La trabajabilidad es la medida de la facilidad o de la dificultad de colocación, consolidación y acabado del concreto.

La consistencia, es la habilidad del concreto de fluir. Plasticidad es la facilidad de moldeado del concreto. Si se usa más agregado en el concreto o si se adiciona menos agua, la mezcla se vuelve más rígida (menos plástica y menos trabajable) y difícil de moldearse. Ni las mezclas muy secas y desmoronables, ni las muy aguadas y fluidas se pueden considerar plásticas. El ensayo de revenimiento (asentamiento) se usa para medir la consistencia del concreto.

Para una dada proporción de cemento y agregado, sin aditivos, cuanto mayor el revenimiento, más húmeda es la mezcla. El revenimiento es un indicador de trabajabilidad cuando se evalúan mezclas similares. Sin embargo, no se lo debe utilizar para comparar mezclas de proporciones totalmente diferentes. Si se lo usa en diferentes revolturas (bachadas, amasadas) del mismo diseño de mezcla, un cambio en el revenimiento indica un cambio en la consistencia y en las características de los materiales, de las proporciones de la mezcla, del contenido de agua, del mezclado, del tiempo del ensayo o de la propia prueba.

Son necesarios diferentes valores de revenimientos para los varios tipos de construcción. Generalmente, se indica el revenimiento en la especificación de la obra como un rango, de 50 a 100 mm (2 a 4 pulg.) o como un valor máximo que no se debe exceder. La ASTM C 94 e IRAM 1666 presentan en detalles las tolerancias para el revenimiento. Cuando no se especifica el revenimiento, un valor aproximado se puede elegir de la Tabla 8, para la consolidación mecánica del concreto. En el ajuste de la mezcla, se puede aumentar el revenimiento en



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

cerca de 10 mm con la adición de 2 kilogramos de agua por metro cúbico de concreto (1 pulgada con la adición de 10 libras por yarda cúbica de concreto).

El valor del revenimiento definido para nuestro diseño es de 3" a 4". Para realizar la prueba de revenimiento se utiliza un molde en forma de cono truncado de 12" de altura, con un diámetro inferior en su base de 8", y en la parte superior un diámetro de 4", tal como se muestra en la figura 12:

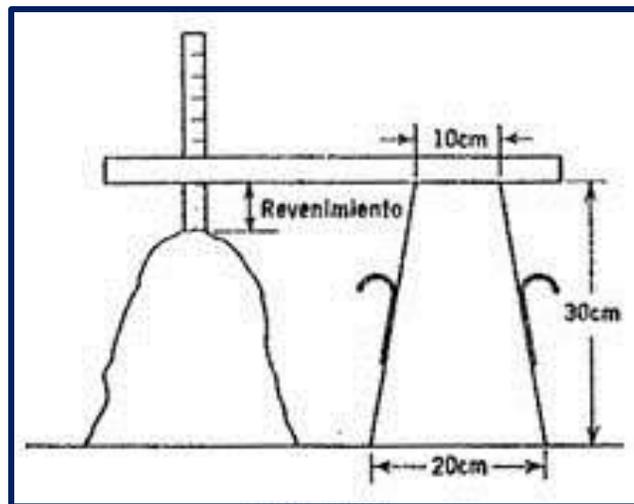


Fig. 12. Prueba de Revenimiento del concreto. Fuente: www.google.com.ni.

Una vez ya mezclado el concreto, se procede a llenar este molde con la mezcla. Se le llama revenimiento a la diferencia de altura que hay entre la parte superior del molde y la parte superior de la mezcla fresca cuando ésta se ha asentado después de retirar el molde.

Esta distancia se expresa generalmente en cm y varía según la fluidez del concreto. La forma que puede adoptar el cono de la mezcla de concreto se puede apreciar en la figura 13.

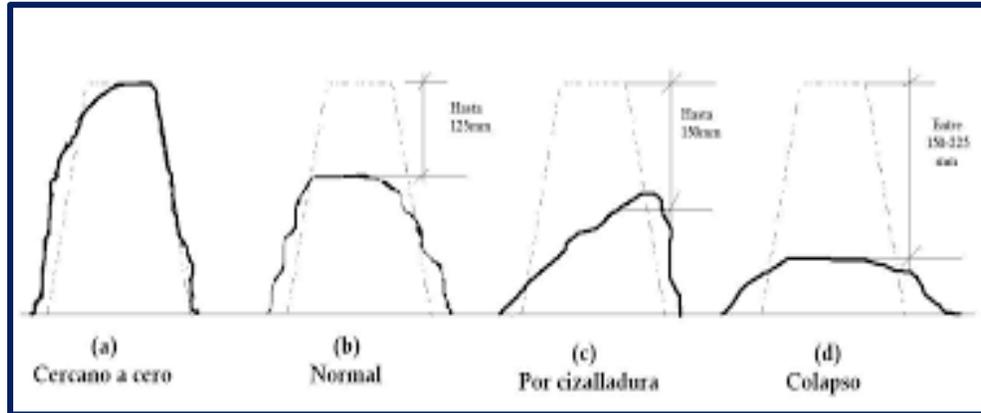


Fig. 13. Forma que adopta el cono de la mezcla de concreto. Fuente: www.google.com.ni.

El porcentaje de los resultados de los chequeos de revenimiento de las mezclas producidas es de:

- ✓ Las mezclas preparadas con cemento Canal presentaron una consistencia pastosa, con una fluidez moderada, sin presentar características de segregación y sangrado, el revenimiento de esta mezcla resultó en un 83.33mm% (3.27”).
- ✓ Las mezclas preparadas con cemento Holcim presentaron un porcentaje de revenimiento de 71.8mm (2.8”), ligeramente menor que las demás mezclas de cemento.
- ✓ Las mezclas preparadas con cemento Moctezuma en general mostraron un porcentaje de revenimiento de 84.58mm (3.32”), mayor que las demás mezclas de cemento ensayadas.

En la tabla 8, se denotan diferentes revenimientos según el tipo de elemento a construir.



Tabla 8: Revenimientos recomendados para varios tipos de Construcción. Fuente: Pág. 191 “Libro Diseño y Control de mezclas de concreto PCA”.

Construcción de Concreto	Revenimiento mm (pulg.)	
	Máximo*	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

5.2.6 Contenido de agua y aire

El aire atrapado es de 0.9% el cual lo determina la reacción química del cemento y el agua desde el periodo de hidratación de las partículas de cemento, provocando como resultado burbujas de aire de aproximadamente 1mm de diámetro, lo cual en un metro cubico después del calor de hidratación se reduce este a 0.2% por el crecimiento de las partículas de cemento.

Para la determinación del contenido de agua se tiene que tomar en cuenta la cantidad de aire atrapado en la mezcla, el cual proporcionara de forma inicial trabajabilidad y este será reemplazado por el crecimiento de las partículas de cemento cuando empiece la hidratación de las mismas.

El agua es un ingrediente clave de las pastas, morteros y concretos, pues las partículas en el cemento portland tienen que reaccionar químicamente con el agua para desarrollar resistencia. La cantidad de agua adicionada a la mezcla también controla la durabilidad. El espacio en la mezcla inicialmente lleno de agua, con el tiempo se sustituye parcial o completamente mientras que las reacciones de hidratación ocurren. Si se usa más que aproximadamente 35% de agua en masa de cemento, va a permanecer una porosidad en el material endurecido, incluso después de la hidratación completa. Ésta se llama porosidad capilar.



Para cualquier grupo de materiales y condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua usada con relación a la cantidad de cemento; la imagen nos muestra la variación por contenidos excesivos de agua. Cuando grandes cantidades de agua son innecesariamente empleadas, ellas diluyen la pasta de cemento (la cola o pegamento del concreto).

La imagen muestra dos espécimen con la misma cantidad de cemento pero mezclados con distintas relaciones de agua / cemento; dando como resultado mezclas con diferentes volúmenes y con el mismo peso. El ensayo se realiza una vez que el agua se ha evaporado.

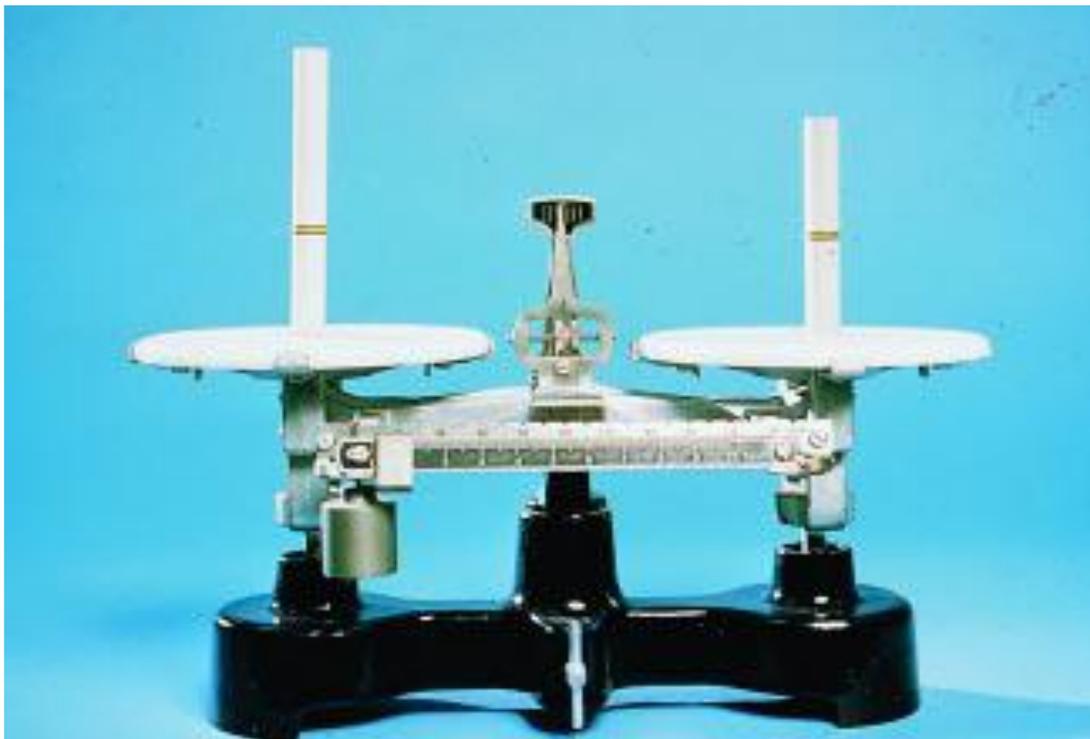


Fig.14. Especímenes con la misma cantidad de cemento pero mezclados con distintas relaciones de agua / cemento. Fuente: Pág. 56 “Libro Diseño y Control de mezclas de concreto PCA”



➤ **Las ventajas de la disminución de la cantidad de agua son:**

- Aumento de la resistencia a la compresión (resistencia en compresión) y de la resistencia a flexión.
- Disminución de la permeabilidad, entonces disminución de la absorción y aumento de la estanquidad (hermeticidad).
- Aumento de la resistencia a las intemperies.
- Mejor unión entre concreto y armadura.
- Reducción de la retracción (contracción, encogimiento) y de la fisuración (agrietamiento, fisuramiento).
- Menores cambios de volumen causado por la mojadura y el secamiento.

Cuanto menos agua se usa, mejor es la calidad del concreto, si es que la mezcla se puede consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezcla (mezclado) resultan en mezclas más rígidas (secas); pero, con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser fácilmente colocadas. Por lo tanto, la consolidación por vibración permite una mejoría de la calidad del concreto.

La cantidad de aire atrapado en la combinación del agua y el cemento es de 0.9% con un volumen absoluto de 0.009m^3 para 1 metro cúbico utilizando el método de volumen absoluto.

La cantidad de agua se determina por la relación entre el tamaño máximo del agregado y el revenimiento que se refleja en la Fig. 13. Considerando que el revenimiento debe estar entre 3 a 4 pulgadas y que el tamaño máximo nominal es de $\frac{1}{2}$ " (12.5 mm), se obtiene una cantidad de agua de 230 kg/m^3 .

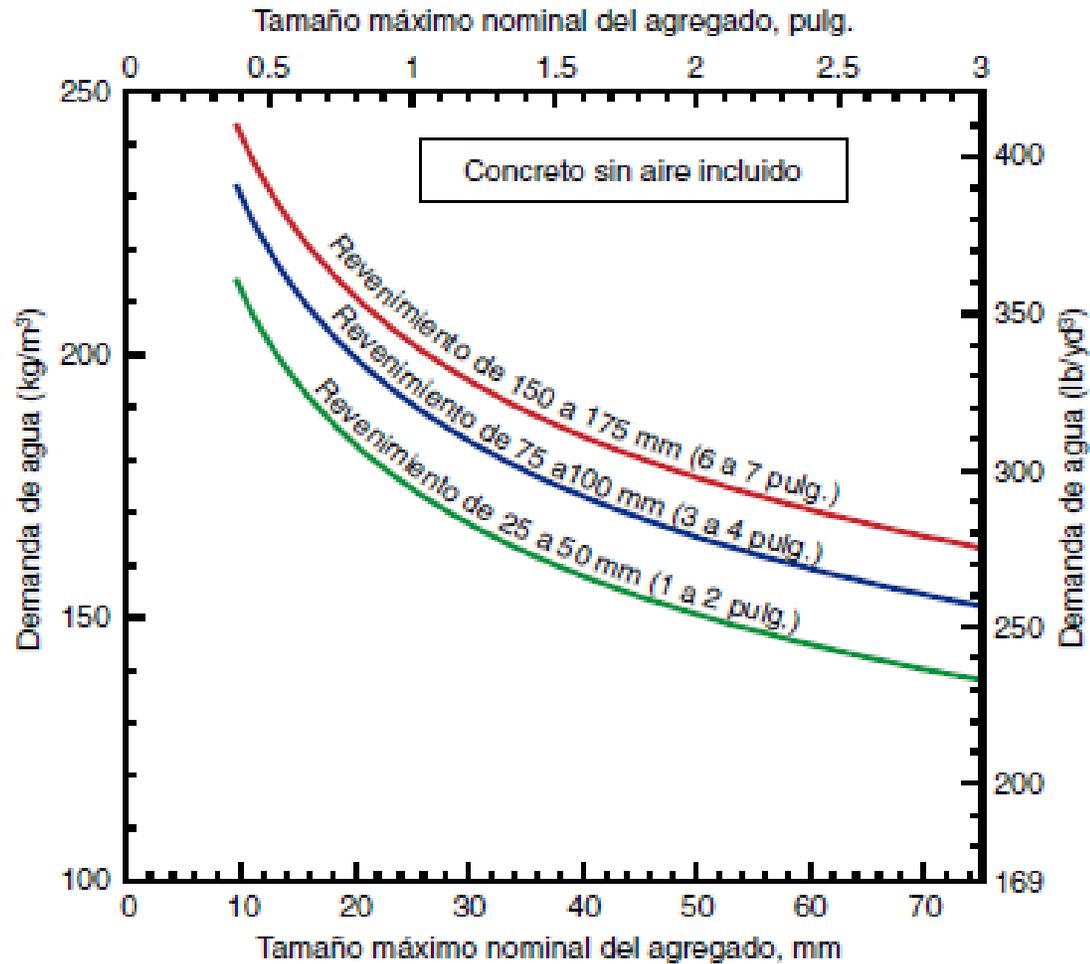


Fig. 15 Demanda de agua aproximada para varios revenimientos y tamaños de agregados triturados para concreto sin aire incluido. Fuente: Adaptado de la tabla 9-5, ACI 211.1 y Hover (1995 y 1998).

Para calcular el volumen absoluto del agua se realiza de la siguiente manera:

Va: masa de agua / (densidad relativa del agua * densidad del agua).

La densidad del agua es de 1,000 Kg/m³ y la densidad relativa es de 1, por lo tanto Va: 230 Kg / (1*1000 Kg/m³): **0.23 m³.**



5.2.7 Contenido de Cemento.

El contenido de materiales cementantes frecuentemente se determina a través de la relación agua-material cementante elegida y del contenido de cemento, a pesar que habitualmente se incluye un contenido de cemento mínimo en las especificaciones en conjunto con una relación agua-material cementante máxima.

Los requisitos de contenido mínimo de cemento tienen como objetivo asegurar durabilidad y acabado satisfactorios, mejorar la resistencia al desgaste y garantizar una apariencia adecuada para las superficies. Esto es importante aún cuando los requisitos de resistencia se cumplan con contenidos de materiales cementantes más bajos. Sin embargo, se deben evitar cantidades de materiales cementantes excesivamente elevadas, para que se mantenga la economía en la mezcla y no afecte adversamente la trabajabilidad y otras propiedades.

La cantidad de cemento se calcula de la siguiente manera:

$A/C=0.57$ de donde: $\frac{230 \text{ Kg/ m}^3}{C} = 0.57$, por lo tanto resulta $C=403.509 \text{ Kg/m}^3$
(Masa) C

Para el cálculo del volumen absoluto de cemento se realiza de la siguiente manera:

Vc: Masa / (Densidad relativa del cemento x Densidad del agua).

Generalmente la densidad relativa del cemento Portland es de aproximadamente 3.15. El cemento Portland de escoria de alto horno y los cementos Portland-puzolana pueden tener valores de pesos específicos de aproximadamente 2.90.

En los Estados Unidos un saco de cemento Portland pesa 94 libras (42.638 kg) y tiene un volumen de aproximadamente 1 pie cúbico (28.32 lt) cuando acaba de ser empacado. En México el cemento a granel se mide en toneladas métricas y los sacos de cemento tienen un peso de 50 kg. El peso del cemento de albañilería va impreso en el saco. La densidad real del cemento Portland a granel puede



variar considerablemente dependiendo de su manejo y almacenamiento. Un cemento Portland demasiado suelto puede pesar únicamente 833 kg/m³, mientras que si se compacta por vibración, el mismo cemento puede llegar a pesar 1,650 kg/m³.

Por este motivo, la práctica correcta consiste en pesar el cemento a granel para cada mezcla de concreto que se vaya a producir. De acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio se obtuvo una densidad relativa del cemento de 2.85, por lo tanto:

$$V_c = 403.509 \text{ Kg} / (2.85 * 1000 \text{ Kg/m}^3) = \mathbf{0.142 \text{ m}^3}$$

Se puede concluir que la cantidad de cemento utilizada es de 403.509 kg aproximadamente 9.5 bolsas de cemento y con un volumen absoluto de 0.142m³, para una resistencia menor que 4000 psi y mayor que 3000 psi aproximadamente.

5.2.8 Contenido de Agregados

Existen dos características de los agregados que tienen una influencia importante en el proporcionamiento de las mezclas de concreto porque afectan la trabajabilidad del concreto fresco:

- Granulometría (tamaño y distribución de las partículas)
- Naturaleza de las partículas (forma, porosidad, textura de la superficie)

La granulometría es importante para que se logre una mezcla económica, pues afecta la cantidad de concreto que se puede producir para una dada cantidad de material cementante y agua. Los agregados gruesos deben tener el mayor tamaño máximo posible para las condiciones de la obra.



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

La granulometría también influye en la trabajabilidad y la facilidad de colocación del concreto. Algunas veces, hay carencia del agregado de tamaño mediano, cerca de 9.5mm (3/8 pulg.), en el suministro de agregado. Esto puede resultar en un concreto con alta contracción, demanda elevada de agua y baja trabajabilidad. Su durabilidad también se puede ver afectada.

Hay muchas opciones para obtener una granulometría ideal del agregado, se pueden usar tamaños menores cuando la disponibilidad o alguna consideración económica lo requieran.

La cantidad de agua de mezcla necesaria para producir un volumen unitario de concreto, para un dado revenimiento (asentamiento), depende de la forma, del tamaño máximo y de la cantidad de agregado grueso. Los tamaños mayores minimizan los requisitos de agua y, por lo tanto, permiten la disminución del contenido de cemento.

Un agregado redondeado requiere menos agua de mezcla que un agregado triturado, en concretos con el mismo revenimiento. Pero se debe tener en consideración, que el tamaño máximo que se puede usar depende de factores tales como la forma y el tamaño del miembro de concreto que se va a colar, la cantidad y la distribución del acero de refuerzo (armadura) en el mismo.

El tamaño máximo del agregado grueso que producirá el concreto con la mayor resistencia, para un dado contenido de cemento, depende de la fuente del agregado, bien como de su forma y granulometría. En el concreto de alta resistencia (mayor que 700 kg/cm² o 70 MPa [10,000lb/pulg²]), el tamaño máximo es cerca de 19 mm (3/4 pulg.). Las resistencias más elevadas también se pueden lograr con el empleo de piedra triturada en vez de grava redondeada.

La granulometría más deseada para el agregado fino dependerá del tipo de obra, del contenido de pasta de la mezcla y del tamaño máximo del agregado grueso.



En mezclas más pobres, se desea una granulometría fina (módulo de finura más bajo) para lograrse una buena trabajabilidad. En mezclas más ricas, se usa una granulometría más gruesa (mayor módulo de finura) para aumentar la economía.

Debido a todos los aspectos señalados anteriormente, es la razón, por la cual para este diseño se utilizó la combinación de agregados de $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " y material cero; logrando de esta manera una mejor graduación del agregado. Los resultados que se obtuvieron para esta combinación de agregados es la siguiente: 28% de material de $\frac{3}{4}$ " , 15% de material de $\frac{1}{2}$ " y 57% de material cero.

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente, se tiene que para 1 m³ de concreto, estará compuesto de la siguiente manera:

- a) Volumen de aire: 0.009 m³
- b) Volumen de agua: 0.230 m³
- c) Volumen de cemento: 0.142 m³

La sumatoria de estos tres componentes es de: 0.381 m³.

Este método considera para el cálculo de los agregados a utilizar en un metro cubico de concreto, la cantidad faltante en volumen de la suma de todos los volúmenes absolutos de los materiales ya conocidos para completar el m³ de concreto. El volumen faltante es de 0.619 m³ y de acuerdo a los resultados obtenidos en la combinación de los agregados al realizar los diferentes ensayos granulométricos, este volumen faltante estaría distribuido de la siguiente manera:

- a) 28% de material de $\frac{3}{4}$ " = 0.1733 m³ (Agregado grueso)
- b) 15% de material de $\frac{1}{2}$ " = 0.0929 m³ (Agregado Intermedio)
- c) 57% de material cero = 0.3528 m³ (Agregado Fino)

**5.2.9 Peso teórico del concreto.**

Una vez obtenido todo el proporcionamiento del concreto, el método del ACI, brinda una tabla que indica el estimado del peso del concreto a obtener una vez realizada la mezcla, este valor se compara con la suma de los materiales obtenidos para un metro cúbico y con el peso volumétrico del concreto para realizar algunos ajustes al diseño de la mezcla.

Tabla 9: Cálculo tentativo del peso del concreto fresco. Fuente: Tabla 6.3.7.1 del ACI.

Tamaño máximo de agregado (mm)	Cálculo tentativo del peso del concreto (Kg/m ³)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
10 (3/8")	2285	2190
12.5 (1/2")	2315	2235
19 (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



CAPITULO VI: CONTROL DE CALIDAD

6.1 Pruebas realizadas para controlar la calidad del concreto en su estado fresco y endurecido.

Para garantizar un comportamiento satisfactorio del concreto durante y después de su fabricación, se requiere que el concreto posea ciertas propiedades específicas. El control de calidad y las pruebas son parte indispensable del proceso constructivo porque confirman que se están obteniendo las propiedades antes mencionadas.

La determinación de las características de los agregados se realizó bajo los procedimientos indicados en las siguientes normas:

- ♣ Análisis Granulométrico de Agregados Finos y Gruesos AASHTO T 27; 1999
- ♣ Pesos Unitarios y Vacíos en los Agregados AASHTO T 19; 2000 / ASTM C 29; 1997.
- ♣ Gravedad Específica y Absorción de Agregados AASHTO T 84 y T 85.
- ♣ Partículas planas, partículas alargadas o partículas planas y alargadas en el agregado grueso ASTM D 4791; 1999
- ♣ Determinación del Porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso ASTM D 5821
- ♣ Desgaste y abrasión en la máquina de Los Ángeles, Ensayo AASHTO T 96 (graduación B).
- ♣ Equivalente de arena, Ensayo AASHTO T 176.
- ♣ Impurezas orgánicas (Colorimetría), Ensayo AASHTO T 21.

Luego de graficar la curva de densidad seca máxima se calcula la dosificación por el método de tanteo aproximándonos a la curva de densidad máxima.

Los valores obtenidos por el método de tanteo son: 57% de material cero, 15% de material de 1/2" y 28% de material de 3/4"



6.2 Tipos de Pruebas

En general, las especificaciones para el concreto y para los materiales que lo componen dan requisitos detallados en cuanto a los límites de aceptabilidad.

Estos requisitos pueden afectar:

- ✓ Las características de la mezcla, tales como el tamaño máximo del agregado o el contenido mínimo de cemento.
- ✓ Las características del cemento, agua y agregados.
- ✓ Las características del concreto fresco y del concreto endurecido, como la temperatura, el revenimiento, el contenido de aire o la resistencia a la compresión.

Las pruebas de revenimiento, contenido de aire y resistencia, se exigen normalmente en las especificaciones de proyecto para el control de calidad del concreto, en tanto que la prueba para determinar el peso volumétrico se usa más para el proporcionamiento de las mezclas.

6.2.1 Pruebas realizadas a los Agregados

6.2.1.1 Muestreo de los Agregados

Los métodos para obtener muestras representativas de agregados se presentan en la norma ASTM D 75. La reducción de las muestras de campo de gran tamaño hasta obtener cantidades pequeñas para las pruebas individuales se debe realizar con precaución a fin de que las muestras finales sean realmente representativas.

Los agregados utilizados en el presente diseño fueron obtenidos en el complejo Industrial Nindiri (AGRENIC.S,A.), gracias a la excelente relación del personal de la empresa **Ingenieros Consultores Centroamericanos S,A. (ICC. S, A.)**, con los Ingenieros del Complejo. El ing. Luis de León López Poveda (Director de laboratorio de ICC. S, A.), hizo la solicitud de apoyo para la adquisición de los materiales al ing. Moisés Méndez, encargado del control de calidad del Complejo Industrial Nindiri.



El procedimiento del muestreo de los materiales en los bancos de acopio es el siguiente:

- ✓ Se debe homogenizar el material que se acopia en grandes cantidades para tomar una muestra representativa del agregado muestreado.
- ✓ Tomar las muestras en sacos, de diferentes puntos del material homogenizado.
- ✓ El traslado del material al laboratorio se tiene que realizar en un vehículo que no contenga sedimentos u otro tipo de material contaminante.
- ✓ Una vez este el material en el laboratorio de la empresa se realiza el cuarteo (Maquina Cuarteadora) para la reducción de muestra a volúmenes de ensayo, colocando estas en bolsas para evitar pérdida o ganancia de humedad.
- ✓ Registrar con códigos cada uno de los materiales resguardados, ejemplo: DIS-003-2015 y el tipo de agregado que corresponda AGR. $\frac{3}{4}$ " , AGR. $\frac{1}{2}$ " o AGR. 0")

6.2.1.2 Granulometría.

La granulometría del agregado afecta fuertemente al proporcionamiento del concreto y su trabajabilidad. De aquí que las pruebas de granulometría sean un elemento importante para asegurar la calidad del concreto

Se debe hacer el análisis de conformidad con la norma ASTM C 136 (AASHTO T27). Los resultados de los análisis de mallas se emplean de tres formas:

1. Para determinar si los materiales satisfacen o no las necesidades.
2. Para elegir el material más adecuado si se dispone de distintos agregados.
3. Para detectar variaciones en la granulometría que sean suficientes para justificar la mezclas de tamaños seleccionados o algún ajuste en las propiedades de la mezcla de concreto.



Según las normas antes mencionadas, se deberá evitar el uso de materiales que contengan cantidades excesivas o demasiado pequeñas de cualquier tamaño.

Algunas especificaciones demandan que se ajusten las propiedades de la mezcla si el módulo de finura promedio del agregado fino cambia en más de 0.20. Otras piden un ajuste en las proporciones de la mezcla si la cantidad retenida en dos mayas consecutivas cualesquiera, cambia en más de 10% en peso del total de la muestra de agregado fino.

Se presenta en Análisis y Discusión de resultados la curva granulométrica de los agregados utilizados en el diseño.

6.2.1.3 Peso Volumétrico y Vacíos

El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso de agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario específico.

Los métodos para determinar los pesos volumétricos de los agregados se dan en la norma ASTM C 29 (AASHTO T 19), se describen tres métodos para consolidar el agregado:

1. Varillado
2. Sacudido
3. Vaciado con pala

El peso volumétrico es de interés para realizar el proporcionamiento de la mezcla, se llevaron a cabo por el método de varillado (compacto) y vaciado con pala (suelto).

6.2.1.4 Absorción, humedad superficial y peso específico.

La absorción, la humedad superficial y el peso específico de los agregados se debe determinar de acuerdo con las normas ASTM C 70, C 127, C128 Y C 566



(AASHTO T 84 Y T 85), de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla.

Si el contenido de agua no se mantiene constante en la mezcla, la resistencia a la compresión, la trabajabilidad y otras propiedades variaran de una mezcla a otra.

6.2.2 Ensayes al Concreto Fresco

A continuación se hará una descripción de las diferentes pruebas realizadas, así como un planteamiento de otros métodos que se pueden aplicar para determinar alguna característica del concreto. Se indican las normas utilizadas y los requisitos o condiciones que estas exigen en cuanto a tamaños, dimensiones, volúmenes y equipos necesarios.

6.2.2.1 Muestreo del concreto fresco

Es importante obtener muestras de concreto fresco verdaderamente representativas para las pruebas de control. Ya que si no es así, los resultados de las pruebas pueden ser engañosos. Las muestras se deben obtener y manejar de acuerdo con las normas ASTM C172 Y AASHTO T 141.

Este método requiere que la muestra sea de por lo menos 28 litros, que se utilice dentro de los 15 minutos siguientes a su obtención, y que se proteja durante este periodo de la luz directa del sol, del viento, así como de otras fuentes de evaporación acelerada. No se deberá tomar la muestra ni de la primera ni de la última porción de descarga de la mezcla.

6.2.2.2 Consistencia (Revenimiento)

La prueba de revenimiento se ejecuta bajo las indicaciones de la norma ASTM C 143 y AASHTO T 119, es el método de mayor aceptación que generalmente se utiliza para medir la consistencia del concreto. El equipo de prueba consiste en un cono troncado metálico, con altura de 30cm, diámetro de base de 20cm y 10cm



de diámetro en el borde superior. Una barra metálica de 5/8" con una altura de 24" y una punta semiesférica.

El cono de revenimiento humedecido, colocado a plomo sobre una superficie plana y sólida, deberá llenarse en tres capas de aproximadamente igual volumen.

A cada capa se le aplican 25 golpes con la varilla (la segunda y tercera capa tienen que penetrar 1" de la capa anterior), luego de la última capa se enrasa y se retira el cono lenta y verticalmente en un lapso de 3-7 segundos, luego tomar la medida de asentamiento desde el borde del cono hasta el centro original de la mezcla asentada.

Un valor alto de revenimiento señala a un concreto fluido. La prueba de revenimiento deberá iniciarse dentro de los primeros 5 minutos a la obtención de la muestra y la prueba se deberá completar en 2.5 minutos, debido a que el concreto pierde humedad conforme el tiempo transcurre.

Tabla 10. Consideraciones de consistencia y trabajabilidad. Fuente: www.google.com.ni.

Consideraciones finales de consistencia (trabajabilidad) y la resistencia.		
Cuando aumente:	La trabajabilidad:	La resistencia:
La finura de la arena	Aumenta	Disminuye
La relación grava/arena	Disminuye	Disminuye
La cantidad de agua	Aumenta	Disminuye
El tamaño máximo del árido	Aumenta	Aumenta
El contenido de aire	Aumenta	Disminuye
La rugosidad del árido	Disminuye	Disminuye
A mayor coeficiente de forma	Aumenta	Aumenta

6.2.2.3 Medición de la Temperatura

Debido a la importante influencia que la temperatura que proporciona el cemento en la mezcla de concreto, este aporte tiene influencia sobre las propiedades del concreto fresco y endurecido. Muchas especificaciones delimitan a la temperatura del concreto fresco.



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

Los termómetros deben tener una precisión de 1° C y una vez colocado el termómetro registrar la temperatura inicial de la muestra y compararla en intervalos de 1º minutos máximos durante una hora (el termómetro deberá permanecer dentro de la muestra representativa hasta que la lectura se estabilice).

Para chequeos de temperatura (norma ASTM C 1064), a grandes volúmenes de mezclas colocadas en diferentes intervalos de tiempo se deberá medir dentro de los 5 minutos siguientes a la obtención de la muestra.

6.2.2.4 Peso Volumétrico y Rendimiento

El peso volumétrico y el rendimiento del concreto fresco se determinan de acuerdo con la norma ASTM 138

La prueba también da cierta indicación del contenido de aire si se conoce los pesos específicos de los ingredientes.

6.2.2.5 Contenido de Aire

Se puede hacer uso de un gran número de métodos para medir el contenido de aire del concreto fresco. La norma ASTM incluye al método de precisión (C 231), método (C 173) y método gravimétrico (C 138).

El método de presión se basa en la ley de Boyle, la relaciona a la presión con el volumen. Este tipo de medidores están calibrados para leer el contenido de aire directamente cuando se aplica una carga predeterminada. La presión aplicada comprime el aire dentro de la muestra de concreto, incluyendo al que se encuentra en los poros de los agregados. Por esta razón, las pruebas con este método no son adecuadas para determinar el contenido de aire de los concretos hechos con algunos agregados ligeros u otros materiales porosos.

El método volumétrico requiere la remoción del aire de un volumen conocido de concreto agitándolo dentro de un recipiente con exceso de agua. Este método puede usarse para los concretos que contengan cualquier tipo de agregado, no



se necesita conocer el peso específico de los materiales. Se debe tener la precaución de agitar suficientemente la muestra para remover el aire de los poros de los agregados.

Para el método gravimétrico se usa el mismo equipo de prueba que se emplea para la determinación del peso volumétrico del concreto. El peso volumétrico medido en el concreto se sustrae del peso volumétrico teórico determinado a partir de los volúmenes absolutos de los ingredientes, suponiendo que no exista aire.

Esta diferencia, expresada como un porcentaje del peso volumétrico teórico, es el contenido de aire. Tanto las propiedades de la mezcla como los pesos específicos de sus ingredientes deberán conocerse con gran exactitud, ya que de otra manera los resultados serán erróneos. Este método solamente es adecuado cuando se practique un control similar al de laboratorio. Los cambios de importancia en el peso volumétrico pueden ser una manera conveniente para detectar las variaciones en el contenido de aire.

Para el caso del diseño desarrollado se utilizó el método de presión.

6.2.2.6 Elaboración de especímenes

Los especímenes premoldeados para la prueba de resistencia se deberán elaborar y curar de acuerdo a la norma ASTM C31 (en campo) o ASTM C 192 (laboratorio). El moldeado de los especímenes para pruebas de resistencia deberá comenzar dentro de los 15 minutos que siguen a la obtención de la muestra.

El espécimen estándar para las pruebas con que se determina la resistencia a compresión de concreto con tamaño máximo de agregado de 51mm (2") o menor, se utiliza un cilindro de 6" de diámetro por 12" de altura. Para agregados de mayor tamaño, el diámetro del cilindro deberá ser, por lo menos tres veces el tamaño máximo del agregado y la altura deberá ser el doble del diámetro.

No obstante, aunque son preferidos los moldes rígidos de metal, se puede usar moldes de cartón parafinado, plástico u otros tipos de moldes desechables que cumplan con las especificaciones de la norma ASTM C 470. Deberán colocarse



sobre una superficie lisa no absorbente, nivelada y llenarse cuidadosamente para evitar su deformación.

Recientemente se han usado moldes de cilindros de 4" de diámetro por 8" de altura para concretos que contengan tamaños máximos de 25mm (1"). Estos cilindros son más fáciles de colar, requieren de una menor muestra, pesan considerablemente menos que los demás cilindros y por lo tanto son más fáciles de manejar y necesitan menos espacio de almacenamiento para su curado.

Aunque los cilindros de 4" de diámetro tienden a fallar con una carga ligeramente menor que los cilindros de 6" de diámetro, normalmente sucede en concretos de baja resistencia y en edades tempranas menores a tres días (normalmente las variaciones son insignificantes).

El fallado de los especímenes fabricados se realizó en una máquina de ruptura con lectura inicial de 25,000.00 libras. Las dos primeras edades de prueba fueron con especímenes fabricados en moldes de 6" por 12" y las demás edades se realizaron con especímenes fabricados en moldes de 4" por 8".

Los cilindros de prueba deberán llenarse en tres capas, aproximadamente iguales, varillando cada capa 25 veces con una varilla de punta semiesférica de 5/8" para los moldes de 6" por 12"; si la acción con la varilla de punta semiesférica deja huecos, los lados del molde deberán recibir golpes leves con un mazo de hule. Los concretos con revenimiento mayores de 7.5 cm deberán varillarse; los concretos con revenimientos menores de 2.5 cm deberán vibrarse; los concretos con revenimientos entre 2.5 y 7.5 cm se pueden varillar o vibrar (el varillado de la segunda y tercera capa deberán pasar 1" la capa antes colocada).

Los cilindros de prueba fabricados en moldes de 4" de diámetro deberán llenarse en dos capas relativamente iguales, varillando cada capa 25 veces con la varilla de punta semiesférica de 3/8", el varillado de la segunda capa deberá pasar 1" la capa antes colocada. Si el varillado deja huecos se debe dar leves golpes con un mazo de hule o con la misma varilla.



Los procedimientos normales exigen que los especímenes sean curados bajo condiciones controladas, ya sea en el laboratorio o en el campo. El curado controlado en el laboratorio en un cuarto húmedo da una indicación más precisa de la calidad del concreto a ser entregado.

6.2.3 Ensayes al Concreto Endurecido

6.2.3.1 Prueba de Resistencia a la Compresión.

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en PSI (lbs/in²) a una edad de 28 días, se le designa con el símbolo f'_c . Para determinar la resistencia a la compresión del concreto, los ensayes se efectúan en cilindros según el tamaño máximo del agregado.

Las pruebas de resistencia se hacen por varias razones:

- 1- Estudios de propiedades que pueden estar bajo investigación.
- 2- Determinar el tiempo de remoción del encofrado obteniendo un estimado de la resistencia del concreto en sitio.
- 3- Verificar la exactitud de los diseños de mezclas.
- 4- Control de calidad.

6.2.4 Frecuencia de las pruebas

En la designación T 22 de la AASHTO, sección 7.3; especifica los tiempos de tolerancias permisibles, así como también los tipos de moldes a utilizar. En esta especificación indica que la altura tiene que ser el doble del diámetro y que cada molde tiene que ser adecuado al tamaño máximo del agregado utilizado para el concreto fabricado.



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

El diseño desarrollado consta en 5 periodos de prueba los cuales fueron a los 3, 7, 14, 28 y 56 días después de la elaboración de los especímenes.

Cada periodo de prueba consta de 3 especímenes por tipo de cemento utilizado (Canal, Holcim y Moctezuma), los cuales se fallaron en la máquina a compresión y se promediaron (los especímenes con diferencias notables se descartan).



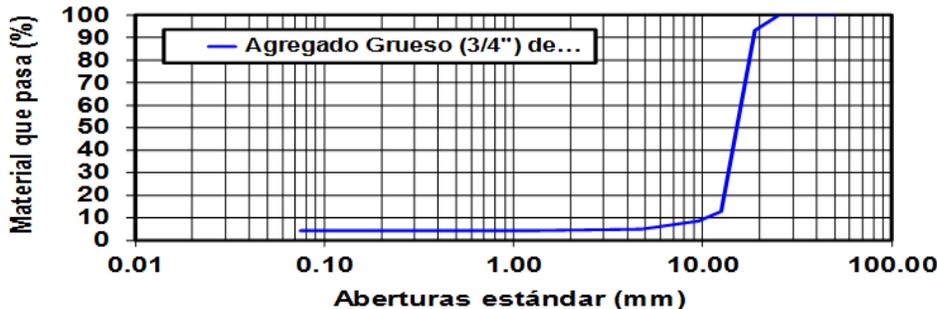
CAPITULO VII: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

7.1 Resultados de los Ensayos Realizados a los Agregados

7.1.1 Análisis Granulométrico de Agregados Finos y Gruesos AASHTO T 27; 1999

➔ **AGREGADO DE 3/4"**

	METODO DE ENSAYO		INFORME:		DIS 003-2015		
	Análisis Granulométrico de Agregados Finos y Gruesos						
Proyecto:	Diseño comparativo de concreto hidráulico		Fecha de ensayo:	09-abr-15			
Solicitado por:	UNAN-Managua		Tamaño máximo:	19.0 mm			
Actividad:	Concreto de 3000 psi		Clasificación SUCS:	Grava pobremente graduada (GP)			
Material:	Agregado Grueso (3/4") de Agrenic		Clasificación HRB:	A-1-a (0)			
Método de ensayo:	AASHTO T 27 ; 1999						
(A) Masa de la muestra inicial, g :		5635.0	TAMAÑO MINIMO DE LA MUESTRA A ENSAYAR				
(B) Masa de la muestra lavada, g :		5399.7	Tamaño máximo nominal (mm)	9.5	12.5	19	25
(A - B) Agregado lavado menor de 0.075 mm, g :		235.3	Masa mínima para ensayo (g):	1,000	2,000	5,000	10,000
(C) Agregado tamizado menor de 0.075 mm, g :		2.4	Tamaño máximo nominal (mm)	37.5	50	63	75
(D) Masa total de agregado menor de 0.075 mm, g :		237.7	Masa mínima para ensayo (g):	15,000	20,000	35,000	60,000
Tamiz Estándar	Aberturas Estándar mm	Masa retenida (g)	Masa retenida (%)	Masa ret. Acum (%)	Material que pasa (%)	Especificaciones	
						Esp Min	Esp Max
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100		100
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100		100
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100		100
3/4"	19.000	387.1	6.9	6.9	93		100
1/2"	12.500	4535.8	80.5	87.4	13		100
3/8"	9.500	224.4	4.0	91.3	9		
N.4	4.750	207.5	3.7	95.0	5		
N.8	2.360	29.0	0.5	95.5	4		
N.10	2.000	1.9	0.0	95.6	4		
N.16	1.180	1.8	0.0	95.6	4		
N.30	0.600	1.5	0.0	95.6	4		
N.40	0.425	0.8	0.0	95.6	4		
N.50	0.300	0.9	0.0	95.7	4		
N.100	0.150	2.3	0.0	95.7	4		
N.200	0.075	4.3	0.1	95.8	4.2		
	Pana	2.4	4.22	100.0	0.00	<= 0.3, ok	
Parámetros de graduación:							
Tamaño Máximo:							
19.0	mm	MUY UNIFORME Y BIEN GRADUADA					
Tamaño Máximo nominal:							
	mm	MUY UNIFORME Y BIEN GRADUADA					
Valoración de uniformidad y graduación del agregado:							
Cu :	1	D60 / D10					
Cg :	1.1	(D30) ² / D60 x D10					
Muy uniforme y bien graduada							
Técnico:		Briones & Ríos					





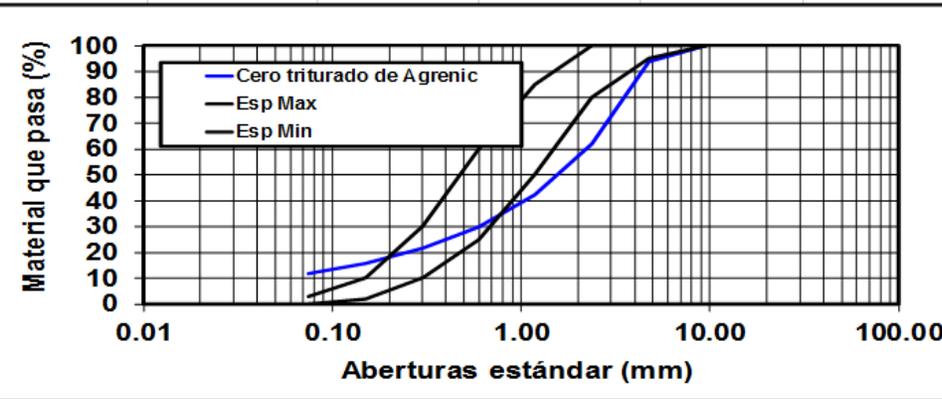
DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

➔ AGREGADO DE 1/2"

	METODO DE ENSAYO		INFORME:		DIS 003-2015		
	Análisis Granulométrico de Agregados Finos y Gruesos						
Proyecto:	Diseño comparativo de Concreto Hidraulico		Fecha de ensayo:	09-abr-15			
Solicitado por:	UNAN-Managua		Tamaño máxdmo:	19.0 mm			
Actividad:	Concreto de 3000 psi		Clasificación SUCS:	Grava bien graduada con arena (GW)			
Material:	Agregado Intermedio de Agrenic		Clasificación HRB:	A-1-a (0)			
Método de ensayo:	AASHTO T 27 ; 1999						
(A) Masa de la muestra inicial, g :	6854.2		TAMAÑO MINIMO DE LA MUESTRA A ENSAYAR				
(B) Masa de la muestra lavada, g :	6589.2		Tamaño máximo nominal (mm)	9.5	12.5	19	25
(A - B) Agregado lavado menor de 0.075 mm, g :	265.0		Masa mínima para ensayo (g):	1,000	2,000	5,000	10,000
(C) Agregado tamizado menor de 0.075 mm, g :	5.2		Tamaño máximo nominal (mm)	37.5	50	63	75
(D) Masa total de agregado menor de 0.075 mm, g :	270.2		Masa mínima para ensayo (g):	15,000	20,000	35,000	60,000
Tamiz Estándar	Aberturas Estándar mm	Masa retenida (g)	Masa retenida (%)	Masa ret. acum (%)	Material que pasa (%)	Especificaciones	
						Esp Min	Esp Max
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100		
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100		
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100		
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100		
1/2"	12.500	553.7	8.1	8.1	92		
3/8"	9.500	1673.3	24.4	32.5	68		
N.4	4.750	3103.8	45.3	77.8	22		
N.8	2.360	678.8	9.9	87.7	12		
N.10	2.000	95.2	1.4	89.1	11		
N.16	1.180	161.0	2.3	91.4	9		
N.30	0.600	135.1	2.0	93.4	7		
N.40	0.425	40.9	0.6	94.0	6		
N.50	0.300	35.2	0.5	94.5	6		
N.100	0.150	55.4	0.8	95.3	5		
N.200	0.075	51.6	0.8	96.1	3.9		
Pana		5.2	3.94	100.0	0.00	<= 0.3, ok	
Parámetros de graduación:							
Tamaño Máximo:							
19.0	mm						
Tamaño Máximo nominal:							
	mm						
Valoración de uniformidad y graduación del agregado:							
Cu :	5	D60 / D10					
Cg :	1.9	(D30) ² / D60 x D10					
no uniforme y bien graduada							
Técnico:	Briones & Rios		Ing. Control Calidad:		ing. Pedro H. Flores		



➤ MATERIAL CERO.

		METODO DE ENSAYO	INFORME:	DIS 003-2015			
Análisis Granulométrico de Agregados Finos y Gruesos							
Proyecto:	Diseño comparativo de concreto hidráulico		Fecha de ensayo:	09-abr-15			
Solicitado por:	UNAN.Managua		Tamaño máximo:	9.5 mm			
Actividad:	Concreto de 3000 psi		Clasificación SUCS:	Cena bien graduada con limo (SW-SM)			
Material:	Cero triturado de Agrenic		Clasificación HRB:	A-1-b (0)			
Método de ensayo:	AASHTO T 27 ; 1999						
(A) Masa de la muestra inicial, g :	4151.4		TAMAÑO MINIMO DE LA MUESTRA A ENSAYAR				
(B) Masa de la muestra lavada, g :	3673.3		Tamaño máximo nominal (mm)	9.5	12.5	19	25
(A - B) Agregado lavado menor de 0.075 mm, g :	478.1		Masa mínima para ensayo (g):	1,000	2,000	5,000	10,000
(C) Agregado tamizado menor de 0.075 mm, g :	18.6		Tamaño máximo nominal (mm)	37.5	50	63	75
(D) Masa total de agregado menor de 0.075 mm, g :	496.7		Masa mínima para ensayo (g):	15,000	20,000	35,000	60,000
Tamiz Estándar	Aberturas Estándar mm	Masa retenida (g)	Masa retenida (%)	Masa ret. acum (%)	Material que pasa (%)	Especificaciones AASHTO M 6	
						Esp Min	Esp Max
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100	100	100
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100	100	100
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100	100	100
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100	100	100
1/2"	12.500	0.0	0.0	0.0	100	100	100
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100	100	100
N.4	4.750	264.9	6.4	6.4	94	95	100
N.8	2.360	1316.3	31.7	38.1	62	80	100
N.10	2.000	249.1	6.0	44.1	56		
N.16	1.180	562.7	13.6	57.6	42	50	85
N.30	0.600	518.5	12.5	70.1	30	25	60
N.40	0.425	192.7	4.6	74.8	25		
N.50	0.300	149.9	3.6	78.4	22	10	30
N.100	0.150	242.2	5.8	84.2	15.8	2	10
N.200	0.075	158.4	3.8	88.0	12.0	0	3
	Pana	18.6	11.96	100.0	0.00	≤ 0.3, ok	
Parámetros de graduación:							
Tamaño Máximo:							
9.5	mm						
Tamaño Máximo nominal:							
4.8	mm						
Valoración de uniformidad y graduación del agregado:							
Cu :	22	D60 / D10					
Cg :	1.6	(D30) ² / D60 x D10					
no uniforme y bien graduada							
Técnico:	Briones & Rios		Ing. Control Calidad:		ing. Pedro H. Flores		



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

7.1.2 Pesos Unitarios y Vacíos en los Agregados AASHTO T 19; 2000 / ASTM C 29; 1997.

➔ MATERIAL GRUESO DE 3/4"

	METODO DE ENSAYO			REPORTE: DIS 003-2015		
	Pesos Unitarios y Vacios en los Agregados					
Proyecto:	Diseño comparativo de concreto hidráulico			Fecha de ensayo:	10-abr-15	
Solicitado por:	UNAN-Managua			Tamaño máximo:	19.0 mm	
Actividad:	Concreto de 3000 psi			Clasificación SUCS:	Grava pobremente graduada (GP)	
Material:	Agregado Grueso (3/4") de Agrenic			Clasificación HRB:	A-1-a (0)	
Método de ensayo: AASHTO T 19 ; 2000 / ASTM C 29 ; 1997						
REQUERIMIENTO DE ENSAYO EN FUNCION DEL TAMAÑO DEL AGREGADO (Sección 5.3 y 9.1)						
Tamaño máximo nominal del agregado (mm):	12.5	25.0	37.5	75.0	más de 75	
Capacidad de los recipientes de ensayo (cm ³):	2800	9300	14000	28000	100000	
Procedimiento recomendado:	Suelto y Varillado			Suelto y Golpeado		
Masa del recipiente de ensayo (T), g:	1753	Volumen del recipiente (V), cm ³ :		2821		
PROCEDIMIENTO:	VARILLADO			SUELTO		
	Tres capas, aplicando 25 golpes por capa			El agregado se deposita a 50 mm sobre el borde del recipiente		
Pruebas realizadas:	1	2	3	1	2	3
Masa de recipiente y agregado (G), g:	6302	6291	6357	5856	5795	5865
Masa de la muestra (G-T), g:	4549	4538	4604	4103	4042	4112
Peso Unitario 1000*(G-T) / V, kg/m ³ :	1613	1609	1632	1454	1433	1458
Peso Unitario promedio (kg/m ³):		1618		1448		
Gravedad especifica bruta (S) :						
Vacios 100 (998 x S - M) / 998 x S, %:						
PRECISION	UN OPERADOR			MULTILABORATORIO		
Agregado:	Grueso	Fino		Grueso	Fino	
Rango aceptable (kg/m ³):	40.0	40.0		85.0	125.00	
Comentarios :						
Técnico:	Briones & Rios					



➔ AGREGADO DE 1/2".

	METODO DE ENSAYO		REPORTE: DIS 003-2015			
	Pesos Unitarios y Vacios en los Agregados					
Proyecto:	Diseño comparativo de Concreto Hidraulico			Fecha de ensayo:	10-abr-15	
Solicitado por:	UNAN-Managua			Tamaño máximo:	19.0 mm	
Actividad:	Concreto de 3000 psi			Clasificación SUC S:	Grava bien graduada con arena (GW)	
Materia:	Agregado Intermedio de Agrenic			Clasificación HRB:	A-1-a (0)	
Método de ensayo: AASHTO T 19 ; 2000 / ASTM C 29 ; 1997						
REQUERIMIENTO DE ENSAYO EN FUNCION DEL TAMAÑO DEL AGREGADO (Sección 5.3 y 9.1)						
Tamaño máximo nominal del agregado (mm):	12.5	25.0	37.5	75.0	más de 75	
Capacidad de los recipientes de ensayo (cm ³):	2800	9300	14000	28000	100000	
Procedimiento recomendado:	Suelto y Varillado			Suelto y Golpeado		
Masa del recipiente de ensayo (T), g:	1753	Volumen del recipiente (V), cm ³ :		2821		
PROCEDIMIENTO:	VARILLADO			SUELTO		
	Tres capas, aplicando 25 golpes por capa			El agregado se deposita a 50 mm sobre el borde del recipiente		
Pruebas realizadas:	1	2	3	1	2	3
Masa de recipiente y agregado (G), g:	6663	6591	6557	6114	6179	6154
Masa de la muestra (G-T), g:	4910	4838	4804	4361	4426	4401
Peso Unitario $1000 \cdot (G-T) / V$, kg/m ³ :	1740	1715	1703	1546	1569	1560
Peso Unitario promedio (kg/m ³):		1719			1558	
Gravedad específica bruta (S) :						
Vacios $100 (998 \times S - M) / 998 \times S$, %:						
PRECISION	UN OPERADOR			MULTILABORATORIO		
Agregado:	Grueso	Fino		Grueso	Fino	
Rango aceptable (kg/m ³):	40.0	40.0		85.0	125.00	
Comentarios :						
Técnico:	Briones & Rios			Ing. Control de Calidad:	Ing. Pedro H Flores	



➤ MATERIAL CERO

	METODO DE ENSAYO		REPORTE: DIS 003-2015			
	Pesos Unitarios y Vacios en los Agregados					
Proyecto:	Diseño comparativo de concreto hidráulico			Fecha de ensayo:	10-abr-15	
Solicitado por:	UNAN.Managua			Tamaño máximo:	9.5 mm	
Actividad:	Concreto de 3000 psi			Clasificación SUCS:	Arena bien graduada con limo (SW-SM)	
Material:	Cero triturado de Agrenic			Clasificación HRB:	A-1-b (0)	
Método de ensayo: AASHTO T 19 ; 2000 / ASTM C 29 ; 1997						
REQUERIMIENTO DE ENSAYO EN FUNCION DEL TAMAÑO DEL AGREGADO (Sección 5.3 y 9.1)						
Tamaño máximo nominal del agregado (mm):	12.5	25.0	37.5	75.0	más de 75	
Capacidad de los recipientes de ensayo (cm ³):	2800	9300	14000	28000	100000	
Procedimiento recomendado:	Suelto y Varillado			Suelto y Golpeado		
Masa del recipiente de ensayo (T), g:	1753		Volumen del recipiente (V), cm ³ :	2821		
PROCEDIMIENTO:	VARILLADO			SUELTO		
	Tres capas, aplicando 25 golpes por capa			El agregado se deposita a 50 mm sobre el borde del recipiente		
Pruebas realizadas:	1	2	3	1	2	3
Masa de recipiente y agregado (G), g:	7318	7343	7297	6753	6768	6840
Masa de la muestra (G-T), g:	5565	5590	5544	5000	5015	5087
Peso Unitario $1000 \cdot (G-T) / V$, kg/m ³ :	1973	1982	1965	1772	1778	1803
Peso Unitario promedio (kg/m ³):	1973			1785		
Gravedad especifica bruta (S) :						
Vacios $100 (998 \times S - M) / 998 \times S$, %:						
PRECISION	UN OPERADOR			MULTILABORATORIO		
Agregado:	Grueso	Fino		Grueso	Fino	
Rango aceptable (kg/m ³):	40.0	40.0		85.0	125.00	
Comentarios :						
Técnico:	Briones & Rios		Ing. Control de Calidad:	ing. Pedro Hernandez Flores		



➔ CEMENTO CANAL

	METODO DE ENSAYO		REPORTE: DIS 003-2015			
	Pesos Unitarios y Vacios en los Agregados					
Proyecto:	Diseño comparativo de Concreto hidráulico			Fecha de ensayo:	09-abr-15	
Solicitado por:	UNAN-Managua			Tamaño máximo:		
Actividad:	Concreto de 3000 psi			Clasificación SUCS:		
Materia:	Cemento Canal			Clasificación HRB:		
Método de ensayo: AASHTO T 19 ; 2000 / ASTM C 29 ; 1997						
REQUERIMIENTO DE ENSAYO EN FUNCION DEL TAMAÑO DEL AGREGADO (Sección 5.3 y 9.1)						
Tamaño máximo nominal del agregado (mm):	12.5	25.0	37.5	75.0	más de 75	
Capacidad de los recipientes de ensayo (cm ³):	2800	9300	14000	28000	100000	
Procedimiento recomendado:	Suelto y Varillado			Suelto y Golpeado		
Masa del recipiente de ensayo (T), g:	1754	Volumen del recipiente (V), cm ³ :		2816.75		
PROCEDIMIENTO:	VARILLADO			SUELTO		
	Tres capas, aplicando 25 golpes por capa			El agregado se deposita a 50 mm sobre el borde del recipiente		
Pruebas realizadas:	1	2	3	1	2	3
Masa de recipiente y agregado (G), g:				4978	4965	4857
Masa de la muestra (G-T), g:				3224	3211	3103
Peso Unitario $1000 \cdot (G-T) / V$, kg/m ³ :				1145	1140	1102
Peso Unitario promedio (kg/m ³):					1129	
Gravedad específica bruta (S) :						
Vacios $100 (998 \cdot S - M) / 998 \cdot S$, %:						
PRECISION	UN OPERADOR			MULTILABORATORIO		
Agregado:	Grueso	Fino		Grueso	Fino	
Rango aceptable (kg/m ³):	40.0	40.0		85.0	125.00	
Comentarios :						
Técnico:	Briones & Rios		Ing. Control de Calidad:	ing. Pedro H. Flores		



➔ CEMENTO HOLCIM

	METODO DE ENSAYO			REPORTE: DIS 003-2015		
	Pesos Unitarios y Vacios en los Agregados					
Proyecto:	Diseño comparativo de Concreto hidraulico			Fecha de ensayo:	09-abr-15	
Solicitado por:	UNAN-Managua			Tamaño máximo:		
Actividad:	Concreto de 3000 psi			Clasificación SUCS:		
Material:	Cemento Holcim			Clasificación HRB:		
Método de ensayo: AASHTO T 19 ; 2000 / ASTM C 29 ; 1997						
REQUERIMIENTO DE ENSAYO EN FUNCION DEL TAMAÑO DEL AGREGADO (Sección 5.3 y 9.1)						
Tamaño máximo nominal del agregado (mm):	12.5	25.0	37.5	75.0	más de 75	
Capacidad de los recipientes de ensayo (cm ³):	2800	9300	14000	28000	100000	
Procedimiento recomendado:	Suelto y Varillado			Suelto y Golpeado		
Masa del recipiente de ensayo (T), g:	1752.4	Volumen del recipiente (V), cm ³ :		2821		
PROCEDIMIENTO:	VARILLADO			SUELTO		
	Tres capas, aplicando 25 golpes por capa			El agregado se deposita a 50 mm sobre el borde del recipiente		
Pruebas realizadas:	1	2	3	1	2	3
Masa de recipiente y agregado (G), g:				4765	4763	4737
Masa de la muestra (G-T), g:				3012	3011	2985
Peso Unitario $1000 \cdot (G-T) / V$, kg/m ³ :				1068	1067	1058
Peso Unitario promedio (kg/m ³):				1064		
Gravedad especifica bruta (S) :						
Vacios $100 \cdot (998 \cdot S - M) / 998 \cdot S$, %:						
PRECISION	UN OPERADOR			MULTILABORATORIO		
Agregado:	Grueso	Fino		Grueso	Fino	
Rango aceptable (kg/m ³):	40.0	40.0		85.0	125.00	
Comentarios :						
Técnico:	Briones & Rios			Ing. Control de Calidad: ing. Pedro H. Flores		



➔ CEMENTO MOCTEZUMA

	METODO DE ENSAYO			REPORTE: DIS 003-2015		
	Pesos Unitarios y Vacios en los Agregados					
Proyecto: Diseño comparativo de Concreto hidraulico			Fecha de ensayo: 09-abr-15			
Solicitado por: UNAN-Managua			Tamaño máximo:			
Actividad: Concreto de 3000 psi			Clasificación SUCS:			
Material: Cemento Moctezuma			Clasificación HRB:			
Método de ensayo: AASHTO T 19 ; 2000 / ASTM C 29 ; 1997						
REQUERIMIENTO DE ENSAYO EN FUNCION DEL TAMAÑO DEL AGREGADO (Sección 5.3 y 9.1)						
Tamaño máximo nominal del agregado (mm):	12.5	25.0	37.5	75.0	más de 75	
Capacidad de los recipientes de ensayo (cm ³):	2800	9300	14000	28000	100000	
Procedimiento recomendado:	Suelto y Varillado			Suelto y Golpeado		
Masa del recipiente de ensayo (T), g:	1754	Volumen del recipiente (V), cm ³ :		2816.75		
PROCEDIMIENTO:	VARILLADO			SUELTO		
	Tres capas, aplicando 25 golpes por capa			El agregado se deposita a 50 mm sobre el borde del recipiente		
Pruebas realizadas:	1	2	3	1	2	3
Masa de recipiente y agregado (G), g:				4491	4487	4474
Masa de la muestra (G-T), g:				2737	2733	2720
Peso Unitario 1000*(G-T) / V, kg/m ³ :				972	970	965
Peso Unitario promedio (kg/m ³):					969	
Gravedad especifica bruta (S) :						
Vacios 100 (998 x S - M) / 998 x S, %:						
PRECISION	UN OPERADOR			MULTILABORATORIO		
Agregado:	Grueso	Fino		Grueso	Fino	
Rango aceptable (kg/m ³):	40.0	40.0		85.0	125.00	
Comentarios :						
Técnico:	Briones & Rios			Ing. Control de Calidad: ing. Pedro H. Flores		



7.1.3 Gravedad específica y absorción de Agregados, Ensayos AASHTO T 85.

➔ AGREGADO DE 3/4"

	METODO DE ENSAYO		REPORTE: DIS 003-2015			
	Gravedad Específica y Absorción de Agregados					
Proyecto:	Diseño comparativo de concreto hidráulico		Fecha de ensayo:	11-abr-15		
Solicitado por:	UNAN-Managua		Tamaño máximo:	19.0 mm		
Actividad:	Concreto de 3000 psi		Clasificación SUCS:	Grava pobremente graduada (GP)		
Material:	Agregado Grueso (3/4") de Agrenic		Clasificación HRB:	A-1-a (0)		
Método de Ensayo: AASHTO T 85						
Pasa el tamiz:	25.4 mm	GRUESOS	Ensayos			
Retenido en el tamiz:	2.36 mm	Ecuación	1	2	3	Promedio
Masa de Muestra seca (g):		A	565.3	560.1		562.7
Muestra de Muestra Sat. Sup. Seca (g):		B	575.0	568.5		571.8
Masa de muestra sumergida a 23° C (g)		C	370.7	366.1		368.4
Gravedad Específica Bruta :		$A / (B - C)$	2.767	2.767		2.767
Gravedad Específica Aparente :		$A / (A - C)$	2.905	2.887		2.896
Absorción de agua (%):		$(B - A) * 100 / A$	1.72	1.50		1.61



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

➤ Gravedad específica y absorción de Agregados, Ensayos AASHTO T 84 Y 85. AGREGADO DE 1/2”

	METODO DE ENSAYO		REPORTE: DIS 003-2015			
	Gravedad Específica y Absorción de Agregados					
Proyecto: Diseño comparativo de Concreto Hidraulico		Fecha de ensayo:		11-abr-15		
Solicitado por: UNAN-Managua		Tamaño máximo:		19.0 mm		
Actividad: Concreto de 3000 psi		Clasificación SUCS:		Grava bien graduada con arena (GW)		
Material: Agregado Intermedio de Agrenic		Clasificación HRB:		A-1-a (0)		
Método de Ensayo: AASHTO T 85						
Pasa el tamiz:	19.0 mm	GRUESOS	Ensayos			
Retenido en el tamiz:	2.36 mm	Ecuación	1	2	3	Promedio
Masa de Muestra seca (g):		A	489.4	511.6		500.5
Muestra de Muestra Sat. Sup. Seca (g):		B	498.1	520.6		509.4
Masa de muestra sumergida a 23° C (g)		C	320.5	335.2		327.9
Gravedad Específica Bruta :		A / (B - C)	2.756	2.759		2.758
Gravedad Específica A parente :		A / (A - C)	2.898	2.900		2.899
Absorción de agua (%):		(B - A) * 100 / A	1.78	1.76		1.77
Pasa el tamiz:		INTERMEDIO	Ensayos			
Retenido en el tamiz:		Ecuación	1	2	3	Promedio
Masa de Muestra seca (g):		A				
Muestra de Muestra Sat. Sup. Seca (g):		B				
Masa de muestra sumergida a 23° C (g)		C				
Gravedad Especifica Bruta :		A / (B - C)				
Gravedad Especifica A parente :		A / (A - C)				
Absorción de agua (%):		(B - A) * 100 / A				
Método de Ensayo: AASHTO T 84						
Pasa el tamiz:	2.36 mm	FINOS	Ensayos			
Retenido en el tamiz:		Ecuación	1	2	3	Promedio
Masa de Muestra seca (g):		$A = B / (1 + (G / 100))$				
Muestra de Muestra Sat. Sup. Seca (g):		$B = D - G$				
Masa de Picnómetro, muestra y agua a 23° C (g):		C				
Masa de Picnómetro y muestra (g):		D				
Volumen bruto de muestra (cm 3):		$V1 = I - C + D$				
Volumen aparente de muestra (cm3):		$V2 = H + A - C$				
Gravedad Específica Bruta :		$Gbs = A / V1$				
Gravedad Específica A parente :		$Ges = A / V2$				
Masa de muestra saturada (g):		E				
Masa de muestra seca (g):		F				
Absorción de agua (%):		$G = (E - F) * 100 / F$				
Determinación del volumen del Picnómetro						
Masa del pignómetro (g) :		G				
Masa del pignómetro + agua a 23 °C (g) :		H				
Volumen del picnómetro (cm3) :		$I = H - G$				
Diferencia aceptable entre dos resultados :		Gravedad Esp. Bruta	Gravedad Esp. Aparente		Absorción	
AA SHTO T 84		0.032	0.027		0.31	
AA SHTO T 85		0.025	0.020		0.25	
Técnico:	Briones & Rios		Ing. Control Calidad:		Ing. Pedro H Flores	



➔ Gravedad específica y absorción de Agregados, Ensayos AASHTO T 84 Y 85. MATERIAL CERO

		METODO DE ENSAYO		REPORTE: DIS 003-2015			
		Gravedad Específica y Absorción de Agregados					
Proyecto:	Diseño comparativo de concreto hidráulico			Fecha de ensayo:	11-abr-15		
Solicitado por:	UNAN.Managua			Tamaño máximo:	9.5 mm		
Actividad:	Concreto de 3000 psi			Clasificación SUCS:	Arena bien graduada con limo (SW-SM)		
Material:	Cero triturado de Agrenic			Clasificación HRB:	A-1-b (0)		
Método de Ensayo: AASHTO T 85							
Pasa el tamiz:	9.5 mm	GRUESOS	Ensayos				
Retenido en el tamiz:	2.36 mm	Ecuación	1	2	3	Promedio	
Masa de Muestra seca (g):	A						
Muestra de Muestra Sat. Sup. Seca (g):	B						
Masa de muestra sumergida a 23° C (g)	C						
Gravedad Específica Bruta :	A / (B - C)						
Gravedad Específica Aparente :	A / (A - C)						
Absorción de agua (%):	(B - A) * 100 / A						
Pasa el tamiz:	9.5 mm	INTERMEDIO	Ensayos				
Retenido en el tamiz:	2.36mm	Ecuación	1	2	3	Promedio	
Masa de Muestra seca (g):	A		325.3	389.3		357.3	
Muestra de Muestra Sat. Sup. Seca (g):	B		332	397.3		364.7	
Masa de muestra sumergida a 23° C (g)	C		215.4	258		236.7	
Gravedad Específica Bruta :	A / (B - C)		2.790	2.795		2.792	
Gravedad Específica Aparente :	A / (A - C)		2.960	2.965		2.962	
Absorción de agua (%):	(B - A) * 100 / A		2.060	2.055		2.057	
Método de Ensayo: AASHTO T 84							
Pasa el tamiz:	2.36 mm	FINOS	Ensayos				
Retenido en el tamiz:	#200	Ecuación	1	2	3	Promedio	
Masa de Muestra seca (g):	A = B / (1 + (G / 100))		351.5	351.5		351.5	
Muestra de Muestra Sat. Sup. Seca (g):	B = D - G		352.2	352.1		352.2	
Masa de Picnómetro, muestra y agua a 23° C (g):	C		939.6	938.4		939.0	
Masa de Picnómetro y muestra (g):	D		534.7	534.6		534.7	
Volumen bruto de muestra (cm3):	V1 = I - C + D		120.1	121.2		120.7	
Volumen aparente de muestra (cm3):	V2= H + A - C		119.4	120.6		120.0	
Gravedad Específica Bruta :	Gbs = A / V1		2.927	2.900		2.913	
Gravedad Específica Aparente :	Ges = A / V2		2.944	2.914		2.929	
Masa de muestra saturada (g):	E		347.2	243.3		295.3	
Masa de muestra seca (g):	F		346.5	242.9		294.7	
Absorción de agua (%):	G = (E - F) * 100 / F		0.20	0.16		0.18	
Determinación del volumen del Picnómetro							
Masa del pignómetro (g) :	G		182.5	182.5			
Masa del pignómetro + agua a 23 °C (g) :	H		707.5	707.5			
Volumen del picnómetro (cm3) :	I = H - G		525.0	525			
Diferencia aceptable entre dos resultados :		Gravedad Esp. Bruta	Gravedad Esp. Aparente		Absorción		
AASHTO T 84		0.032	0.027		0.31		
AASHTO T 85		0.025	0.020		0.25		
Técnico:	Briones & Rios	Ing. Control Cali	ing. Pedro Hernandez Flores				



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

7.1.4 Partículas planas, partículas alargadas o partículas planas y alargadas en el agregado grueso ASTM D 4791; 1999.

➔ AGREGADO DE 3/4"

		METODO DE ENSAYO							INFORME: DIS 003-2015						
		Partículas Planas, Partículas Alargadas ó Partículas Planas y Alargadas en el Agregado Grueso													
Proyecto:		Diseño comparativo de concreto hidráulico							Fecha de ensayo:		12-abr-15				
Solicitado por:		UNAN-Managua							Descripción de la capa:		-				
Actividad:		Concreto de 3000 psi							Tamaño máximo del agregado (mm):		19.0 mm				
Material:		Agregado Grueso (3/4") de Agrenic							Espesor de capa (mm):		-				
Método de ensayo: ASTM D 4791 ; 1999															
Malla		Preparación de las fracciones a ensayar													
Pasa	Retiene	Masa	Masa (A)	Fracciones a ensayar	Muestra requerida para el ensayo	Masa de la muestra	Partícula Plana	Partícula Plana	Valor ponderado	Partícula Alargada	Partícula Alargada	Valor ponderado	Partícula Plana y Alargada	Partícula Plana y Alargada	Valor ponderado
		(g)	(%)	SI A>10 ENSAYAR	Partículas (Masa)	(g)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)
3"	2 1/2"	0	0.0	no ensayar	100 partículas										
2 1/2"	2"	0.0	0.0	no ensayar	100 partículas										
2"	1 1/2"	0.0	0.0	no ensayar	100 partículas										
1 1/2"	1"	0.0	0.0	no ensayar	100 partículas										
1"	3/4"	387.1	7.2	no ensayar	100 (1200 - 1500 g)										
3/4"	1/2"	4535.8	84.7	ensayar	100 (350 - 700 g)	500.8	3.2	0.6	0.5	0	0.0	0.0	78.8	15.7	13.3
1/2"	3/8"	224.4	4.2	no ensayar	100 (160 - 300 g)	0	1.8	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
3/8"	N.4	207.5	3.9	no ensayar	100 (50 - 120 g)	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
	Total:	5354.8	100.0			500.8			0.5			0.0			13.3
Comentarios :							Tamaño Mínimo de la Muestra a Ensayar					Relación de dimensiones:			
												2:1			
												3:1 <input checked="" type="checkbox"/>			
Técnico: Briones & Ríos		Ing. Control de Calidad:		ing. Pedro H. Flores										5:1	



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

AGREGADO DE 1/2"

		METODO DE ENSAYO					ORME: DIS 003-2015				
Partículas Planas, Partículas Alargadas ó Partículas Planas y Alargadas en el Agregado Grueso											
Proyecto: Diseño comparativo de Concreto Hidraulico						12-abr-15					
Solicitado por: UNAN-Managua						19.0 mm					
Actividad: Concreto de 3000 psi						Grava bien graduada con arena (GW)					
Material: Agregado Intermedio de Agrenic						A-1-a (0)					
Método de ensayo: ASTM D 4791 ; 1999											
Malla		Preparación de las fracciones a ensayar									
Pasa	Retiene	Masa	Masa (A)	Fracciones a ensayar	Muestra requerida para el ensayo	Masa de la muestra	Valor ponderado	Valor ponderado	Partícula Plana y Alargada	Partícula Plana y Alargada	Valor ponderado
		(g)	(%)	SI A>10 ENSAYAR	Partículas (Masa)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)
3"	2 1/2"	0	0.0	no ensayar	100 partículas						
2 1/2"	2"	0.0	0.0	no ensayar	100 partículas						
2"	1 1/2"	0.0	0.0	no ensayar	100 partículas						
1 1/2"	1"	0.0	0.0	no ensayar	100 partículas						
1"	3/4"	0.0	0.0	no ensayar	100 (1200 - 1500 g)						
3/4"	1/2"	553.7	10.4	ensayar	100 (350 - 700 g)	500	0.0	0.0	13.7	2.7	0.3
1/2"	3/8"	1673.3	31.4	ensayar	100 (160 - 300 g)	201.4	0.0	0.0	16.4	8.1	2.6
3/8"	N.4	3103.8	58.2	ensayar	100 (50 - 120 g)	91.1	0.0	0.0	10.8	11.9	6.9
	Total:	5330.8	100.0			792.5	0.0	0.0			9.7
Comentarios :											
Técnico: Briones & Rios						Ing. Control de Calidad: Ing. Pedro H Flores					



7.1.5 Caras fracturadas en el agregado grueso, Ensayo ASTM D 5821.

➔ AGREGADO DE 3/4"

		METODO DE ENSAYO		INFORME: DIS 003-2015	
Determinación del Porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso					
Proyecto: Diseño comparativo de concreto hidráulico			Fecha de ensayo: 13-abr-15		
Cliente: UNAN-Managua			Descripción de la capa:		
Actividad: Concreto de 3000 psi			Tamaño máximo del agregado (mm): 19.0 mm		
Material: Agregado Grueso (3/4") de Agrenic			Criterio de fractura evaluado: Una y dos caras fracturadas		
Método de ensayo: ASTM D 5821 ; 1995					
Tamaño Mínimo de Muestra a Ensayar			Tamaño máximo nominal (mm):	Masa mínima de ensayo (g):	Tamaño máximo nominal (mm):
Análisis de granulometría:	Masa (g)	Masa (%)	9.5	200	37.5
Agregado mayor de 9.5 mm:	5147.3	96.1	12.5	500	50
Agregado de 9.5 mm a 4.75 mm:	207.5	3.9	19	1500	63
Muestra total:	5354.8	100	25	3000	75
para una cara fracturada: 1500g		para dos o mas caras fracturadas: 1500 g			
Procedimiento A: Agregados con tamaño máximo nominal menor de 19.0 mm					
Pocedimiento de preparación de la muestra:			Secar el agregado y separarlo en el tamiz de 4.75 mm		
Particula con al menos:			Una cara fracturada		Dos caras fracturadas
Clasificación de los agregados		Ecuación	Masa (g)	Cantidad (No)	Masa (g)
Agregado que cumple con el criterio de fracturaz		F	1466.9		1463.4
Agregado que no cumple con criterio de fractur		N	0		3.5
Agregado cuestionable o dudoso :		Q	33.1		33.1
Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm : T = F + Q + N			1500		1500
Porcentaje de caras fracturadas (%) : P = (F + (Q / 2)) / T			98.9		98.7
Procedimiento B: Agregados con tamaño máximo nominal mayor de 19.0 mm					
Pocedimiento de preparación de la muestra:			Secar el agregado y separarlo en el tamiz de 4.75 mm		
Particula con al menos:			Una cara fracturada		Dos caras fracturadas
Fracción ensayada:			Agregado mayor de 9.5 mm		
Clasificación de los agregados		Ecuación	Masa (g)	Cantidad (No)	Masa (g)
Agregado que cumple con el criterio de fracturaz		F			
Agregado que no cumple con criterio de fractur		N			
Agregado cuestionable o dudoso :		Q			
Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm : T = F + Q + N					
Porcentaje de caras fracturadas (%) : P = (F + (Q / 2)) / T					
Fracción ensayada:			Agregado de 9.5 mm a 4.75 mm		
Clasificación de los agregados		Ecuación	Masa (g)	Cantidad (No)	Masa (g)
Agregado que cumple con el criterio de fracturaz		F			
Agregado que no cumple con criterio de fractur		N			
Agregado cuestionable o dudoso :		Q			
Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm : T = F + Q + N					
Porcentaje de caras fracturadas (%) : P = (F + (Q / 2)) / T					
Valor ponderado de porcentaje de caras fracturadas (%):					
Técnico: Briones & Rios		Ing. Control de Calidad:		ing. Pedro H. Flores	



➔ AGREGADO DE 1/2"

		METODO DE ENSAYO		INFORME: DIS 003-2015	
Determinación del Porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso					
Proyecto: Diseño comparativo de Concreto Hidraulico			Fecha de ensayo:		13-abr-15
Cliente: UNAN-Managua			Tamaño máximo:		19.0 mm
Actividad: Concreto de 3000 psi			Clasificación SUCS:		Grava bien graduada con arena (GW)
Material: Agregado Intermedio de Agrenic			Clasificación HRB:		A-1-a (0)
Método de ensayo: ASTM D 5821 ; 1995					
Tamaño Mínimo de Muestra a Ensayar			Tamaño máximo nominal (mm):	Masa mínima de ensayo (g):	Tamaño máximo nominal (mm):
Análisis de granulometría:	Masa (g)	Masa (%)	9.5	200	37.5
Agregado mayor de 9.5 mm:	2227	41.8	12.5	500	50
Agregado de 9.5 mm a 4.75 mm:	3103.8	58.2	19	1500	63
Muestra total:	5330.8	100.0	25	3000	75
Procedimiento A: Agregados con tamaño máximo nominal menor de 19.0 mm					
Pocedimiento de preparación de la muestra:			Secar el agregado y separarlo en el tamiz de 4.75 mm		
Particula con al menos:			Una cara fracturada		Dos caras fracturadas
Clasificación de los agregados			Ecuación	Masa (g)	Cantidad (No)
Agregado que cumple con el criterio de fracturaz			F	484.7	481.7
Agregado que no cumple con criterio de fractur			N	0	3.2
Agregado cuestionable o dudoso :			Q	15.3	15.1
Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm : T = F + Q + N			500	500	
Porcentaje de caras fracturadas (%) : P = (F + (Q / 2)) / T			98.5		97.9
Procedimiento B: Agregados con tamaño máximo nominal mayor de 19.0 mm					
Pocedimiento de preparación de la muestra:			Secar el agregado y separarlo en el tamiz de 4.75 mm		
Particula con al menos:			Una cara fracturada		Dos caras fracturadas
Fracción ensayada:			Agregado mayor de 9.5 mm		
Clasificación de los agregados			Ecuación	Masa (g)	Cantidad (No)
Agregado que cumple con el criterio de fracturaz			F		
Agregado que no cumple con criterio de fractur			N		
Agregado cuestionable o dudoso :			Q		
Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm : T = F + Q + N					
Porcentaje de caras fracturadas (%) : P = (F + (Q / 2)) / T					
Fracción ensayada:			Agregado de 9.5 mm a 4.75 mm		
Clasificación de los agregados			Ecuación	Masa (g)	Cantidad (No)
Agregado que cumple con el criterio de fracturaz			F		
Agregado que no cumple con criterio de fractur			N		
Agregado cuestionable o dudoso :			Q		
Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm : T = F + Q + N					
Porcentaje de caras fracturadas (%) : P = (F + (Q / 2)) / T					
Valor ponderado de porcentaje de caras fracturadas (%):					
Técnico: Briones & Rios			Ing. Control de Calidad: Ing. Pedro Hernandez Flores		



7.1.6 Desgaste y abrasión en la máquina de Los Ángeles, Ensayo AASHTO T 96 (graduación B).

➔ **AGREGADO DE 3/4"**

METODO DE ENSAYO					
Desgaste y abrasión en la máquina de Los Ángeles					
Proyecto: Diseño comparativo de concreto hidráulico			Fecha de ensayo:		13-abr-15
Cliente:		UNAN-Managua	Descripción de la capa:		
Actividad:		Concreto de 3000 psi	Tamaño máximo del agregado:		19.0 mm
Material:		Agregado Grueso (3/4") de Agrenic	Criterio de fractura evaluado:		
Método de ensayo:		AASHTO T 96	Una y dos caras fracturadas		
Abertura de las mayas		Masa para las fracciones de tamaños indicados			
pasa	retiene				
		A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	1250 + 25			
25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	1250 + 25			
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	1250 + 25	2500 + 10		
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	1250 + 25	2500 + 10		
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")			2500 + 10	
6.3 mm (1/4")	4.75 mm (N.4)			2500 + 10	
4.75 mm (N.4)	2.36 mm (N.8)				5000 + 10
Total		5000 + 10	5000 + 10	5001 + 10	5000 + 10
Carga a ser aplicada en base al tipo de graduación			ENSAYO		
Graduación	Cantidad de esferas	Masa de la carga (g)	1	2	
A	12	5000 + 25	Masa inicial (g):	2500	2500
B	11	4584 + 25	Masa final (g):	1385	1385
C	8	3330 + 20	Pérdida (%):	27.7	27.7
D	8	2500 + 15			



7.1.7 Equivalente de arena, Ensayo AASHTO T 176. "Material Cero"

	METODO DE ENSAYO		REPORTE:		DIS 003-2015	
	Equivalente de Arena					
Proyecto:	Diseño comparativo de concreto hidráulico			Fecha de ensayo:	12-abr-15	
Solicitado por:	UNAN.Managua			Tamaño máximo:	9.5 mm	
Actividad:	Concreto de 3000 psi			Clasificación SUCS:	Arena bien graduada con limo (SW-SM)	
Material:	Cero triturado de Agrenic			Clasificación HRB:	A-1-b (0)	
Método de ensayo: AASHTO T 176 - 02						
REQUERIMIENTOS DEL ENSAYO						
Procedimiento de ensayo :			Procedimiento de preparación de muestra :			
Método de agitación mecánica		Método alternativo No.1 (secado al aire):				
Método de agitación Manual		Procedimiento alternativo No. 2 (prehumedecido):				
Temperatura para la solución:	22 ± 3	Fracción de material ensayado:		Material menor de 4.75 mm		
PROCEDIMIENTO:						
Pruebas realizadas:		1	2	3	4	Promedio
Lectura de arena (in):	A	3.9	4.0	4.0	4.0	4.0
Lectura de arcilla (in):	B	4.8	4.9	4.9	4.9	5.0
Tiempo de sedimentación (min):		20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Equivalente de arena (%):	$C = A \times 100 / B$	82.0	82.0	82.0	82.0	82.0
PRECISION ACEPTABLE	UN OPERADOR			MULTILABORATORIO		
Rango mínimo de variación (%):	4.0			Colorimetría Color 1		
Comentarios :						
Los valores de equivalente de arena deben ser redondeados al número entero inmediato superior						
Si durante el periodo de 20 min de sedimentacion no se forma una linea de demarcación clara, permita que la muestra permanesca						
en reposo hasta que se pueda obtener una lectura de arcilla. Si el tiempo total de sidimentación excede 30 min, repita el ensayo.						
Técnico:	Briones & Rios		Ing. Control de Calidad:	ing. Pedro Hernandez Flores		



7.1.8 Impurezas Orgánicas (Colorimetría), Ensayo AASHTO T 21

I.C.C. INGENIEROS CONSULTORES CENTROAMERICANOS S.A.		METODO DE ENSAYO	INFORME:	DIS 003-2015
Impureza orgánica (colorimetría).				
Proyecto:	Diseño comparativo de Concreto Hidraulico		Fecha de ensayo:	13-abr-15
Cliente:	UNAN-Managua		Tamaño máximo:	2.36mm
Actividad:	Concreto de 3000 psi		Clasificación SUCS:	Grava bien graduada con arena (GW)
Material:	cero triturado de agrenic		Clasificación HRB:	A-1-a (0)
Método de ensayo:	AASHTO T 21			
Ensayo	Estándar	Fracción ensayada	Resultado	Especificación
Colorimetría	AASHTO T 21	Toda la muestra	Color 1	Color 3 o menos.

7.2 Combinación de Agregados

Para la dosificación del diseño base, con el cual se prepararían las batchadas con las distintas marcas de cementos, se partió de la determinación de una combinación de agregados que permitiera obtener una granulometría óptima, con una distribución de partículas bien graduada y no uniforme, que además dote a la mezcla de un aspecto pastoso y con el mínimo porcentaje de vacíos con aire posibles.

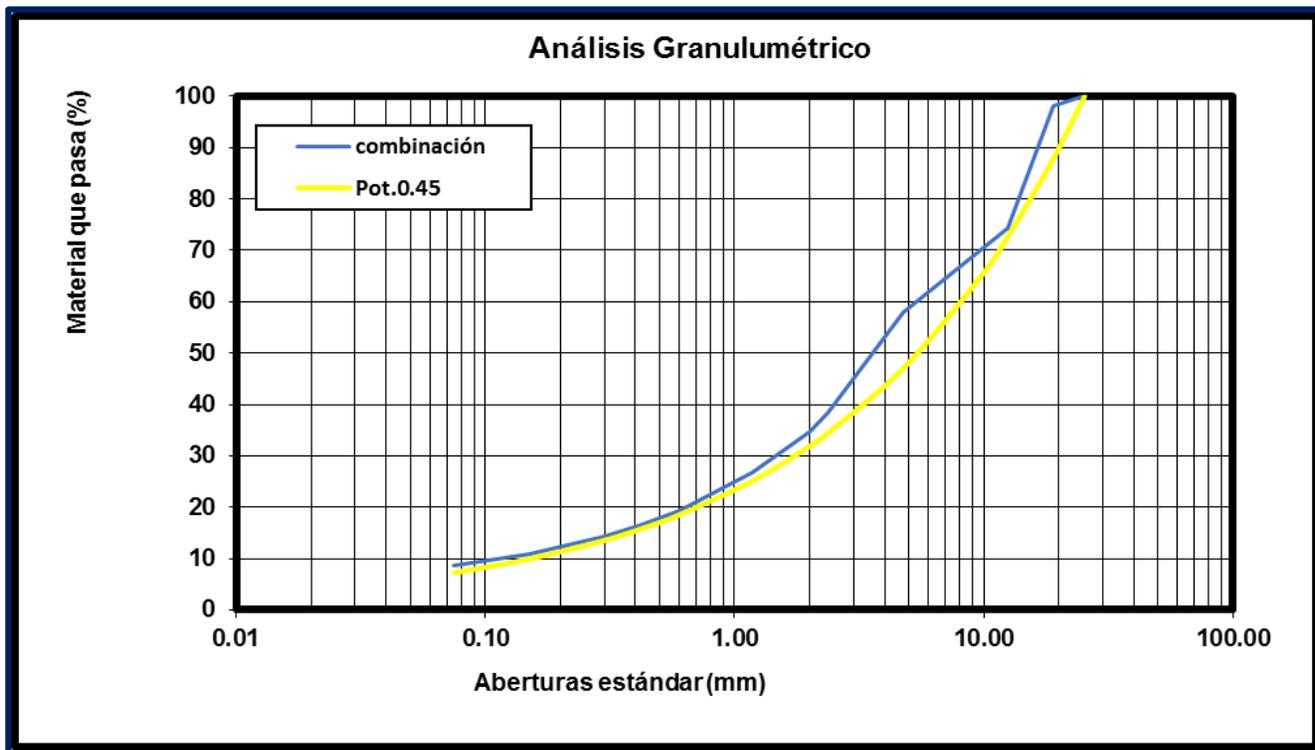
La granulometría descrita se obtuvo con una combinación de **28 % de agregado grueso, 15 % de agregado intermedio y 57 % de fino**. Dicha combinación produjo una granulometría que se aproxima a la curva de densidad máxima, y se describe como una arena bien graduada con limo y grava (SW-SM) en el sistema de clasificación SUCS. Como resultado de esta combinación de los agregados la graduación de los materiales resultante es la indicada en las siguientes tablas:



Tabla: Combinación de los Agregados

I.C.C. INGENIEROS CONSULTORES CENTROAMERICANOS S.A.		INGENIEROS CONSULTORES CENTRO AMERICANOS ICC SA. ICC S.A.					NIC 2000 - Tabla 1003 - 3		Pot.0.45
MANAGUA - NICARAGUA									
Tamiz Estándar	Aberturas Estándar	3/4"	1/2"	Cero	com binación			Esp Min.	Esp Max.
1"	25.400	100	100	100	100				
3/4"	19.000	93	100	100	98				
1/2"	12.500	13	92	100	74				
3/8"	9.500	9	68	100	70				
N.4	4.750	5	22	94	58				
N.8	2.360	4	12	62	38				
N.10	2.000	4	11	56	35				
N.16	1.180	4	9	42	27				
N.30	0.600	4	7	30	19				
N.40	0.425	4	6	25	16				
N.50	0.300	4	6	22	14				
N.100	0.150	4	5	16	11				
N.200	0.075	4	4	12	9				
Clasificación HRB:									

Curva de densidad máxima (Pot. 0.45)





7.3 Dosificaciones de mezclas de concreto hidráulico

Con la combinación de agregados descrita se efectuaron en laboratorio dosificaciones de mezclas de concreto, utilizando cemento Canal en un inicio, de modo que se pudiera establecer un diseño base que cumpliera con los requerimientos de trabajabilidad y resistencia del concreto. Una vez establecido el diseño base se prepararon batchadas con esta fórmula, utilizando los demás cementos objetos de este estudio, con el fin de moldear los especímenes que serían utilizados en el análisis comparativo.

A partir de los criterios estadísticos recomendados en ACI-318 se definió un valor de “Resistencia de diseño”, de 4000 psi (28 Mpa) mayor que el valor de “Resistencia nominal” especificado de 3,000 psi (21 Mpa) para las mezclas dosificadas. De este modo las dosificaciones poseerían un “Nivel de confianza” o “Factor de seguridad” de 1000 psi (7 Mpa). Este factor de seguridad tiene el propósito de que las mezclas producidas en campo alcancen la “Resistencia nominal” especificada cuando las condiciones se desvíen de las condiciones de laboratorio.

A continuación se muestra la información del proporcionamiento en peso de la mezcla estudiada, para la producción de 1 m³ de concreto:

Dosificaciones estudiadas para una proporción de 28 % de agregado grueso, 15 % de agregado intermedio y 57 % de fino de Agrenic.



		METODO DE ENSAYO			INFORME:		DIS 003-2015		
		Combinación de agregados							
Proyecto:		Diseño comparativo de Concreto Hidraulico				Fecha de ensayo:		13-abr-15	
Cliente:		UNAN-Managua				Tamaño máximo:			
Actividad:		Concreto de 3000 psi				Clasificación SUCS:			
Material:		3/4", 1/2" y material cero				Clasificación HRB:			
Método de ensayo:									
Cemento	Mezcla	Grava 19mm	Grava 12.5 mm	Cero	Contenido de agua	Contenido de cemento	Relación A/C	F'c Nominal	F'c Teórica
		(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(lt/m ³)	(bolsas/m ³)		(psi)	de diseño (psi)
Canal	CAN	487	261	991	230	9.5	0.57	3,000	4,000
Holcim	HOL	487	261	991	230	9.5	0.57	3,000	4,000
Moctezuma	MOC	487	261	991	230	9.5	0.57	3,000	4,000

En relación con la trabajabilidad de las mezclas frescas dosificadas se observó en general que con 9.5 bolsas de cemento por metro cubico de concreto, las mezclas mostraban un aspecto fino y pastoso. Debido a las diferencias en las características de los distintos cementos el revenimiento varió para el mismo contenido de agua en función de la marca de cemento empleada.

Al reproducir estas dosificaciones en el campo debe tenerse presente que se deben hacer correcciones al agua de mezclado indicada en este informe, para considerar el agua que pudiesen absorber los agregados (si se encontrasen en estado seco) o el agua que pudiesen aportar a la mezcla (si encontrasen en una condición de saturación por encima de su capacidad de absorción). Estas condiciones cambiantes y específicas del campo deben controlarse y ajustarse durante la producción.

**7.4 Ensayos al Concreto Endurecido.****7.4.1 Resistencia a Compresión.**

ESPECIMENES DE MEZCLA DE CONCRETO CON CEMENTO CANAL (CAN-A)								
Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto; AASHTO T 22-03.								
Cilindro	Fecha de fabricación	Fecha de ensayo	Revenimiento (mm)	Densidad (kg/m ³)	Edad (días)	Resistencia (PSI)	Resistencia (Kg/cm ²)	% Resistencia mínima
CAN-1	14-abr-15	17-abr-15	97.0	2,517	3	2,289	161.3	76
CAN-2	14-abr-15	17-abr-15	91.0	2,494	3	2,181	153.7	73
CAN-3	14-abr-15	17-abr-15	90.0	2,506	3	2,110	148.6	70
Promedio a 3 días:			92.7	2,506	3	2,193	154.5	73
CAN-4	16-abr-15	23-abr-15	76.2	2,505	7	3,079	216.9	103
CAN-5	16-abr-15	23-abr-15	97.0	2,398	7	2,304	162.4	77
CAN-6	16-abr-15	23-abr-15	81.3	2,489		2,151	222.0	105
Promedio a 7 días:			84.8	2,464	7	2,511	200.4	95
CAN-7	17-abr-15	01-may-15	85.0	2,445	14	3,916	275.9	131
CAN-8	17-abr-15	01-may-15	80.0	2,454	14	3,836	270.3	128
CAN-9	17-abr-15	01-may-15	80.0	2,415	14	3,994	281.4	133
Promedio a 14 días:			81.7	2,434	14	3,915	275.8	130
CAN-	17-abr-15	15-may-15	91.4	2,466	28	4,230	298.0	141
CAN-	17-abr-15	15-may-15	76.2	2,504	28	4,635	326.5	154
CAN-	17-abr-15	15-may-15	76.2	2,508	28	4,474	315.2	149
Promedio a 28 días:			81.27	2,493	28	4,446	313.3	148
CAN-	18-abr-15	13-jun-15	76.6	2,430	56	5,017	353.5	167
CAN-	18-abr-15	13-jun-15	76.2	2,399	56	4,534	319.4	151
CAN-	18-abr-15	13-jun-15	76.2	2,437	56	4,387	309.1	146
Promedio a 56 días:			76.2	2,422	56	4,646	327.3	155



ESPECIMENES DE MEZCLA DE CONCRETO CON CEMENTO MOCTEZUMA (MOC-A)								
Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto; AASHTO T 22-03.								
Cilindro	Fecha de fabricación	Fecha de ensayo	Revenimiento (mm)	Densidad (kg/m ³)	Edad (días)	Resistencia (PSI)	Resistencia (Kg/cm ²)	% Resistencia mínima
MOC-1	15-abr-15	18-abr-15	71.1	2,497	3	2,695	189.9	90
MOC-2	15-abr-15	18-abr-15	71.1	2,460	3	2,623	184.8	87
MOC-3	15-abr-15	18-abr-15	61.0	2,450	3	2,632	184.8	87
Promedio a 3 días:			67.7	2,469	3	2,647	186.5	88
MOC-4	16-abr-15	23-abr-15	106.7	2,380	7	2,929	206.4	98
MOC-5	16-abr-15	23-abr-15	114.3	2,489	7	3,115	219.5	104
MOC-6	16-abr-15	23-abr-15	104.1	2,456	7	3,043	214.4	101
Promedio a 7 días:			109.2	2,442	7	3,029	213.4	103
MOC-7	17-abr-15	01-may-15	81.3	2,391	14	3,222	227.0	107
MOC-8	17-abr-15	01-may-15	81.3	2,437	14	3,443	242.5	115
MOC-9	17-abr-15	01-may-15	81.3	2,384	14	3,376	237.9	113
Promedio a 14 días:			81.3	2,404	14	3,347	213.4	112
MOC-10	17-abr-15	15-may-15	78.5	2,419	28	3,679	259.2	123
MOC-11	17-abr-15	15-may-15	78.5	2,483	28	3,993	281.3	133
MOC-12	17-abr-15	15-may-15	78.0	2,434	28	3,993	281.4	133
Promedio a 28 días:			78.3	2,445	28	3,888	273.9	130
MOC-13	18-abr-15	13-jun-15	86.4	2,423	56	4,466	314.6	149
MOC-14	18-abr-15	13-jun-15	86.4	2,373	56	4,302	303.1	143
MOC-15	18-abr-15	13-jun-15	86.4	2,368	56	4,225	297.7	141
Promedio a 56 días:			86.4	2,388	56	4,331	305.1	144



ESPECIMENES DE MEZCLA DE CONCRETO CON CEMENTO HOLCIM (HOL-A)								
Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto; AASHTO T 22-03.								
Cilindro	Fecha de fabricación	Fecha de ensayo	Revenimiento (mm)	Densidad (kg/m ³)	Edad (días)	Resistencia (PSI)	Resistencia (Kg/cm ²)	% Resistencia mínima
HOL-1	15-abr-15	18-abr-15	66.0	2,446	3	1,679	118.0	56
HOL-2	15-abr-15	18-abr-15	66.0	2,472	3	1,643	116.0	55
HOL-3	15-abr-15	18-abr-15	78.7	2,450	3	1,607	113.0	54
Promedio a 3 días:			70.3	2,456	3	1,643	116.0	55
HOL-4	16-abr-15	23-abr-15	73.7	2,442	7	2,289	161.3	76
HOL-5	16-abr-15	23-abr-15	76.2	2,438	7	2,181	153.7	73
HOL-6	16-abr-15	23-abr-15	76.2	2,438	7	2,181	153.7	73
Promedio a 7 días:			75.4	2,439	7	2,217	156.2	74
HOL-7	17-abr-15	01-may-15	66.0	2,418	14	2,813	198.2	94
HOL-8	17-abr-15	01-may-15	66.0	2,419	14	2,892	203.7	96
HOL-9	17-abr-15	01-may-15	66.0	2,362	14	2,758	194.3	92
Promedio a 14 días:			66.0	2,399	14	2,821	198.7	94
HOL-10	17-abr-15	15-may-15	71.1	2,379	28	3,144	221.5	105
HOL-11	17-abr-15	15-may-15	71.1	2,405	28	2,970	209.3	99
HOL-12	17-abr-15	15-may-15	71.1	2,385	28	3,067	216.1	102
Promedio a 28 días:			71.1	2,390	28	3,061	215.6	109
HOL-13	18-abr-15	13-jun-15	76.2	2,367	56	4,148	292.2	138
HOL-14	18-abr-15	13-jun-15	76.2	2,364	56	3,762	265.0	125
HOL-15	18-abr-15	13-jun-15	76.2	2,419	56	3,757	264.7	125
Promedio a 56 días:			76.2	2,383	56	3,889	274.0	130



CAPITULO VIII: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

8.1 Revenimiento:

A partir del diseño inicial efectuado con cemento Canal se obtuvo la dosificación de materiales que habría de utilizarse con las mezclas preparadas con los demás cementos, sin embargo debido a las características particulares de cada uno de estos cementos los revenimientos obtenidos variaron.

Las mezclas preparadas con cemento Canal presentaron una consistencia pastosa, con una fluidez moderada, con poca tendencia a la segregación y sangrado; el revenimiento de esta mezcla resultó entre 76 y 92 mm (2.99 a 3.6 pulgadas). Las mezclas preparadas con cemento Holcim, presentaron un revenimiento ligeramente menor que el cemento Canal, siendo ésta entre 66 y 76 mm (2.6 a 3 pulgadas). Las mezclas preparadas con cemento Moctezuma, mostraron un revenimiento mayor que las dos primeras (Canal y Holcim), entre 67 y 109 mm (2.6 a 4.3 pulgadas).

Los revenimientos de cada batchadas tienen una mínima variación debido a que una partícula de agregado influye tanto en peso como en revenimiento, es decir que si en el porcentaje de cada agregado predominan las partículas gruesas la mezcla será menos fluida y por ende tendrá menos revenimiento; por otra parte cuando el porcentaje de partículas finas es predominante, la mezcla será más fluida y debido a esto obtendremos un mayor revenimiento.

Se decidió no efectuar ajustes que permitieran que los revenimientos de los tres tipos de mezclas fueran más similares, con el fin de evitar hacer cambios en la dosificación de los materiales que condujesen a variaciones en los resultados de resistencia. A continuación se puede observar gráficamente el comportamiento del revenimiento de los tres tipos de mezclas de cemento:

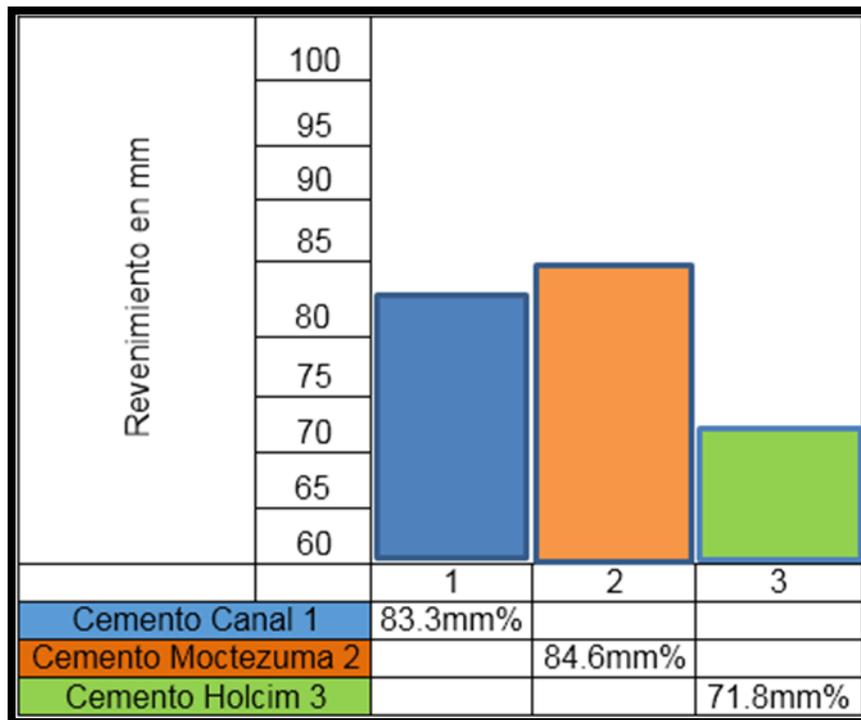


Fig. 16: Resultados de revenimientos de los tres tipos de cementos.

8.2 Resistencia a compresión:

A partir de los resultados de los ensayos de resistencia a compresión, se puede observar un comportamiento característico, para cada uno de los cementos estudiados. Al graficarse los datos se observa que el Cemento Moctezuma y el Cemento Canal gana un alto porcentaje de resistencia en los primeros días (más de 70 % de 3000 psi a 3 día de edad), en comparación con el cemento Holcim (que ganan alrededor del 50 % de la resistencia para la misma edad).

Este comportamiento se mantiene hasta los 7 días, después de los cuales la ganancia de resistencia en el tiempo descende, de modo que a los 28 días los tres cementos alcanzan resistencias mayores de los 3000 psi, con una ligera ventaja del cemento Canal. A continuación, se presenta gráficamente el comportamiento de la ganancia de resistencia (en unidades de psi y porcentaje) de los tres tipos de mezclas de cemento.



Fig. 17: Ganancia de la resistencia del concreto en PSI vs Edad.

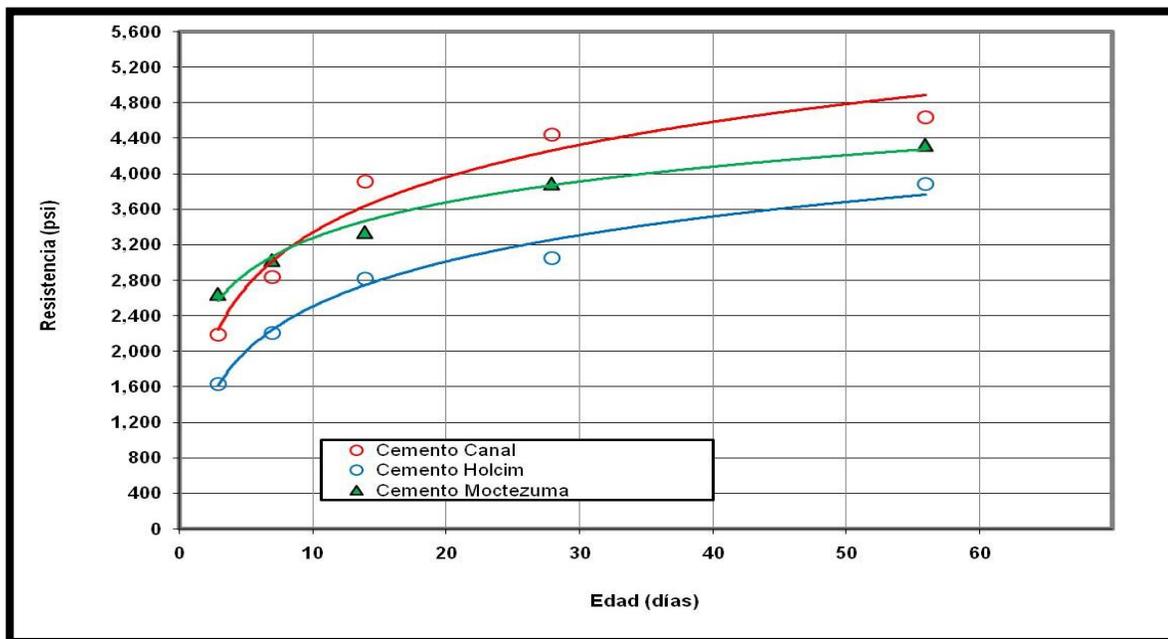
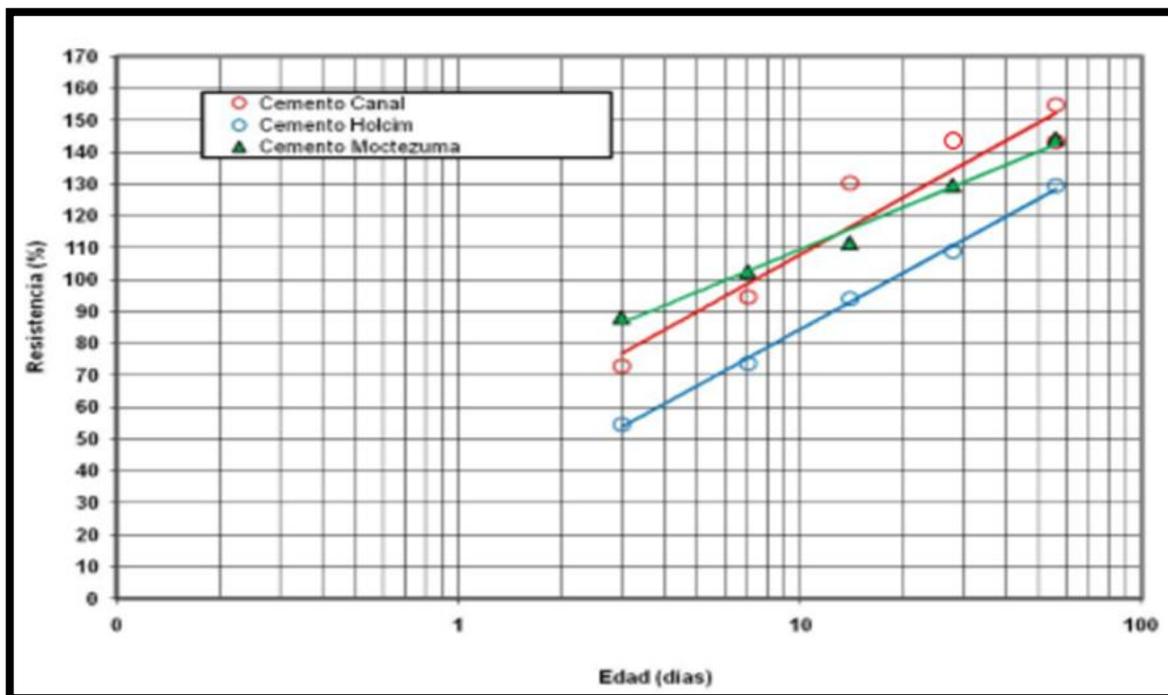


Fig. 18: Ganancia porcentual de la resistencia del concreto vs Edad.



**Conclusiones**

- a) Para la elaboración de los ensayos expuestos en este informe, se suministró al laboratorio de la Empresa Ingenieros Consultores Centroamericanos, S.A., tres muestras de agregados provenientes de la planta de Agrenic. Las cuales consistían en agregado grueso (tamaño máximo nominal 3/4”), agregado intermedio (tamaño máximo nominal 1/2”) y fino triturado (tamaño máximo nominal de 4.75 mm); observando un excelente comportamiento al verificar la compacidad de los agregados al combinarlos, lo cual adicionó resistencia a las mezclas de concreto producidas.
- b) Los ensayos practicados a los agregados indicaron que poseen buena calidad; con bajos porcentajes de daños ante el desgaste y sanidad, con altos porcentajes de partículas con caras fracturadas, prácticamente libres de partículas planas y alargadas, altas densidades y bajos porcentajes de absorción en el caso de los agregados gruesos.
- c) El fino triturado de Agrenic, de acuerdo con los análisis, está libre de materia orgánica o finos plástico, sin embargo, presenta un contenido alto de partículas más pequeñas de 0.075 mm (13 % de la muestra). Este alto contenido de finos conferiría a las mezclas fabricadas de un aspecto fino y pastoso; al mismo tiempo proporciona fluidez y evita los vacíos entre los agregados gruesos.
- d) La mejor combinación de los agregados finos y gruesos, determinada en laboratorio, fue 28 % de agregado grueso, 15 % de agregado intermedio y 57 % de fino. Esta combinación produce una granulometría que clasifica como arena bien graduada con limo y grava (SW-SM) en el sistema de clasificación SUCS.

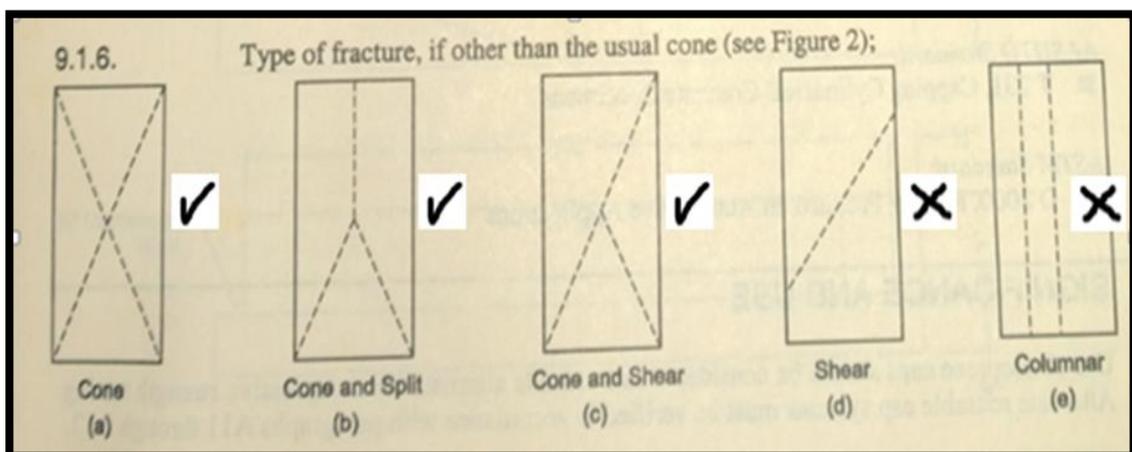


- e) Con la proporción de agregados descrita se dosificó y analizó en laboratorio mezclas de concreto utilizando cemento Canal, Holcim y Moctezuma, con una relación agua / cemento de 0.57 y un contenido de 9.5 bolsas de cemento por metro cúbico de concreto, con el fin de alcanzar y superar los 3,000 psi a los 28 días, utilizando un margen de seguridad de 1,000 psi.
- f) El utilizar agregados de buena calidad y con una combinación apropiada, nos da como resultado una mejor compactación produciendo un mayor aporte a la resistencia. Así también, la pureza de cada partícula libre de arcilla nos indica que la pasta solo unirá los agregados y no perderá resistencia por la presencia de partículas plásticas o arcillosas.
- g) De acuerdo con la sección 5.3.2.2 del ACI-318, se debe utilizar un factor o margen de seguridad de 900-1000 psi en el diseño de mezcla de concreto de 3000 psi.
- h) Los ensayos de revenimiento del concreto en estado fresco, mostraron que para la misma dosificación y contenido de agua, los distintos cementos producen mezcla con ligeras diferencias en su trabajabilidad (revenimiento). En general, las mezclas presentaron una consistencia pastosa, con una fluidez moderada, sin tendencia a la segregación y sangrado. El revenimiento de las mezclas de cemento Canal resultó entre 60 y 100 mm (2.4 a 4 pulgadas), las mezclas preparadas con cemento Holcim presentaron un revenimiento ligeramente mayor que con Canal, entre 87.5 y 109 mm (3.4 a 4 pulgadas). Las mezclas preparadas con cemento Moctezuma, mostraron un revenimiento menor que las otras dos marcas, entre 75 y 85 mm (3.0 a 3.3 pulgadas).
- i) Las densidades de los especímenes fabricados varían según las densidades de los cementos utilizados dando como resultado: cemento Canal un promedio de 2,464 kg/m³, cemento Moctezuma un promedio de



2,430 kg/m³ y por último el cemento Holcim con un promedio de 2,413 kg/m³. Por esta característica tan importante, se reflejan resultados satisfactorios en la prueba a compresión de cada espécimen dado a que el cemento más denso alcanzó el resultado más alto.

- j) A partir de los resultados de los ensayos de resistencia a compresión, se puede observar un comportamiento característico para cada uno de los cementos utilizados. Se observó que el Cemento Moctezuma gana un alto porcentaje de resistencia en los primeros días (más de 80% de 3000 psi a 3 días de edad), en comparación con el cemento canal que obtuvo 73% y el cemento Holcim 55% de la resistencia para la misma edad. Este comportamiento se mantiene hasta la segunda edad de prueba, después de la cual la ganancia de resistencia en la tercera, cuarta y quinta edad varía; obteniendo los mayores porcentajes de resistencia el cemento Canal, seguido por el cemento Moctezuma y posteriormente el cemento Holcim.
- k) Antes del ensayo a compresión de cada espécimen se realizó un cabeceo con yeso tipo IV en ambas superficies de contacto para que la carga fuese distribuida de forma homogénea sobre toda el área. El tipo de falla en cada espécimen se comparó con los aprobados por la norma AASHTO T 22-8, predominando el tipo a - b y muy pocas veces el tipo c.



*DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO*

- l) La resistencia de cada uno de los especímenes fabricados con los diferentes tipos de cemento, está influenciada por muchos aspectos y uno de los más notables es la diferencia del peso volumétrico entre los cementos. Dado a que el cemento canal es el más denso es el que mayor resistencia alcanzó, seguido del cemento Moctezuma y por último el cemento Holcim, el cual no logró alcanzar el aseguramiento de diseño o sobrediseño, faltándole 111 psi para alcanzar los 4,000 psi.

Tabla de resultados promedios de resistencias de diseño y sobrediseño.

Cementos	Resistencia promedio en PSI	% de resistencia alcanzada sobre 3, 000 PSI	% de resistencia alcanzada sobre 4, 000 PSI
CANAL	4,646	154.87	116.15
MOCTEZUMA	4,331	144.37	108.28
HOLCIM	3,889	129.63	97.23



Recomendaciones

- a) Realizar el muestreo a como lo indican las normas de diseño tomando las muestras de diferentes puntos del acopio de los agregados.
- b) El traslado de los agregados se debe realizar con la precaución de no contaminarlos.
- c) El cuarteo se debe realizar de acuerdo con la norma AASHTO T2, reduciendo la muestra a masas de ensayos.
- d) Los agregados, una vez cuarteados, se deben almacenar en bolsas plásticas para evitar la pérdida o ganancia de humedad.
- e) El tamizado de la muestra no debe exceder en diez minutos, para evitar segregación de los agregados mediante la fricción en las mallas de los tamices.
- f) El varillado para la realización del ensayo de pesos volumétricos secos compactos, no debe exceder los 50 mm de altura y el enrazado se debe realizar con la varilla punta de bala para obtener resultados confiables.
- g) El saturado de las muestras se debe realizar de acuerdo a las normas AASHTO T 84- T85, y verificar que las partículas finas del ensayo no pasen o queden retenidas en la cesta.
- h) Para confirmar la relación agua – cemento, se debe realizar bachadas pequeñas de pruebas, para verificar la fluidez de la mezcla y evitar el desperdicio de los agregados.



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

- i) Una vez determinado la relación agua – cemento, se debe realizar bachadas grandes con un porcentaje del 5% excedente al volumen de un molde de 6" X 12" - 4" X 8" y así mismo, realizarle a ésta mezcla el revenimiento para verificarlo según el diseño.
- j) Al llenar y compactar la capa superior, el concreto debe exceder la capacidad del molde; si durante el varillado la superficie del concreto queda debajo del borde del molde se debe agregar más concreto; con el propósito de mantener en todo momento un exceso sobre la superficie del molde para poder enzararlo, esto se efectúa al momento de la prueba de revenimiento con el cono troncado y al momento del llenado de los moldes para fabricar los especímenes. Luego de haber terminado la última capa para la prueba de revenimiento, se debe retirar el cono troncado, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical a una altura de 12 pulgadas (300 mm) en un intervalo de 5 ± 2 segundos con un movimiento ascendente uniforme sin movimientos laterales o de torsión.
- k) Una vez llenado los moldes y cumplido las 24 horas de fabricación, los especímenes se desencofran e inicia el periodo de curado sumergiéndolos completamente en agua a una temperatura ambiente.
- l) Antes del ensayo a compresión se debe realizar un cabeceo con yeso tipo IV en ambas superficies de contacto, para que la carga se distribuya de forma homogénea sobre toda el área de contacto.
- m) Utilizar agregados libre de impurezas y con características homogéneas por la compacidad que se produce entre sí.

**Bibliografía**

1. **Autores:** James C. Codell, Tom Stephens, Larry King.
Año: 2003
Título del Libro: Standard Specifications for transportation Materials and Methods of sampling and Testing.
Editora: American Association of State Highway and Transportation Officials.
Lugar: United States of America.
2. **Autores:** Sean Bailey, Nicole Baldini, Eleanor Barkley, Sheba King, Kathleen Peters and Jesica Rosiak.
Año: 2003.
Título del Libro: Annual Book of ASTM Standards 2003, Soil and Rock (I): D 420-D 5611.
Editora: Copyright 2003 ASTM.
Lugar: Baltimore, MD, USA.
3. **Autores:** Sean Bailey, Nicole Baldini, Eleanor Barkley, Sheba King, Kathleen Peters and Jesica Rosiak.
Año: 2003.
Título del Libro: Annual Book of ASTM Standards 2003, Concrete and Aggregates
Editora: Copyright 2003 ASTM.
Lugar: Baltimore, MD, USA.
4. **Autores:** Steven H. Kosmatka and Michelle L. Wilson.
Año: 2011
Título del Libro: Diseño y Control de Mezclas de Concreto.
Editora: Portland Cement Association.
Lugar: Washington, DC.
5. Página en internet www.google.com.ni

**ANEXOS:****REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.****➤ Cuarteo de los agregados AASHTO T 2.**

La realización del muestreo en campo y en laboratorio, en muchas ocasiones no se ejecuta con los mismos equipos; por lo tanto, los métodos cambian, pero conservan el mismo propósito que es tomar una muestra en la cual la cantidad de partículas finas y gruesas son representativas según la especificación del material muestreado, así como lo indica la norma AASHTO T 2.

Luego de realizar el muestreo en campo nuevamente se homogeniza cada tipo de agregado y se toman muestras con volúmenes para batchadas.



Posteriormente, se reduce la muestra a volúmenes de batchadas utilizando cuarteadora y realizándolo por el método manual para poder obtener una muestra representativa de cada agregado.





DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

Las muestras deben estar resguardadas de la temperatura ambiente para que puedan conservar la misma humedad, tal como se aprecian en las siguientes imágenes.



➤ Preparación de las muestras para ensayo de análisis granulométrico AASHTO T 27.

Se toma una muestra representativa, que sea suficiente para determinar la granulometría de cada tipo de material y posteriormente se lava por el tamiz # 200, separando los finos que no se necesitan reflejar en la curva granulométrica debido a que es una mínima cantidad por muestra.





DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

Cuando se termina el lavado del material se coloca al horno o cocina para secar completamente la muestra y así evitar que los agregados finos se adhieran a las caras fracturadas de los materiales más gruesos. Teniendo el material separado según las especificaciones de los tamices, podremos saber qué cantidad de agregados queda retenido en cada uno y así mismo definir una curva granulométrica que se asemeje a la que necesitamos para nuestro diseño.



En las siguientes imágenes, podemos apreciar el secado en cocina del material lavado por el tamiz número 200 y luego tamizado por una serie de tamices especificados.





DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

Una vez secado el material en la cocina o en el horno, se procedió a cribarlo para determinar el volumen de material retenido en cada tamiz; tal como se puede apreciar en las siguientes fotografías.



- Ensayos pesos unitarios secos sueltos y seco compacto en los agregados AASHTO T 19.

Determinando el volumen del molde que utilizamos para el pesado del material sabemos la relación peso-volumen, el peso suelto del material más el recipiente nos determina un volumen de material con vacíos atrapados entre las partículas y el peso varillado nos determina el acomodo o compacidad del agregado y así mismo se puede determinar un aproximado del vacío que queda entre las partículas sueltas.

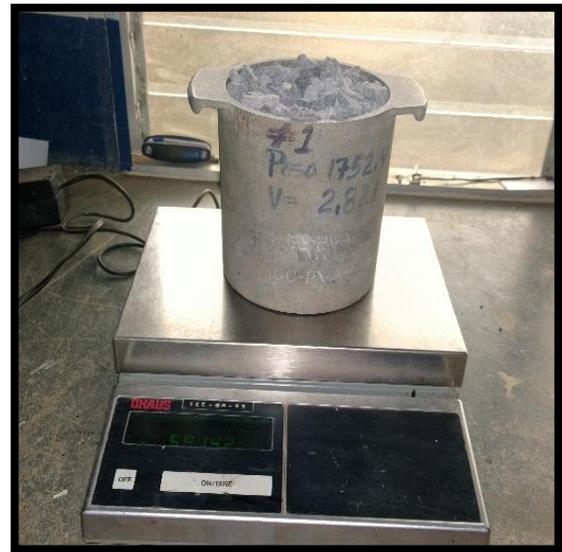


Relizando el varillado



DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

Luego del llenado y el varillado, se enraza el material y posteriormente, se registra su peso.



➤ Saturación de los agregados para el ensayo de gravedad específica en los agregados finos y gruesos AASHTO T 84-85.

La norma AASHTO T 84-85 (Densidad relativa), nos determina el volumen de agua y cemento que será utilizada para definir el diseño de concreto hidráulico, de igual manera, determina el volumen absoluto que ocupan los agregados en una mezcla de concreto hidráulico. En las siguientes fotografías se muestra el proceso de saturación de los agregados en el laboratorio.





DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

Una vez concluido el proceso de saturación se realiza una extracción del agua libre entre las partículas para agilizar el secado superficial del material cero.



En las siguientes imágenes se ve el proceso de secado superficial del material, utilizando un abanico y moviendo el agregado para que tenga un secado homogéneo para posteriormente comprobarlo con el método del cono truncado.





Peso del
Pignómetro +
placa de vidrio



Moderando la
temp. Del agua
a 23° C



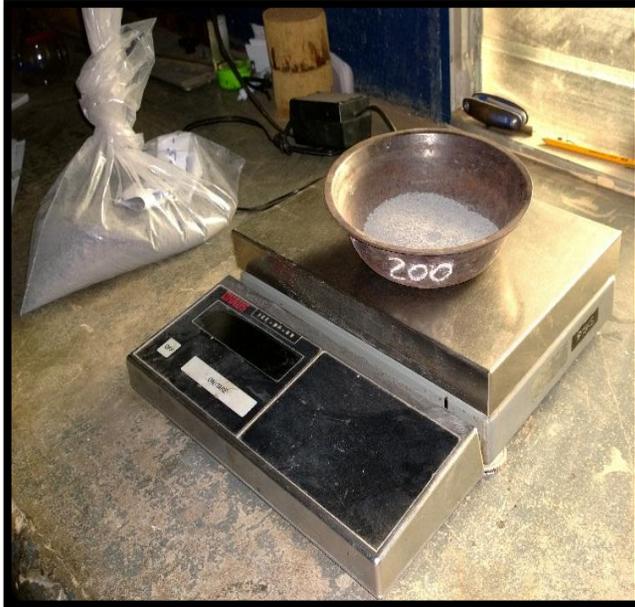
Luego de optimizar la temperatura del agua, se registró el peso del picnómetro con agua más la placa de vidrio, que es la que enraza el agua colocada en el picnómetro.



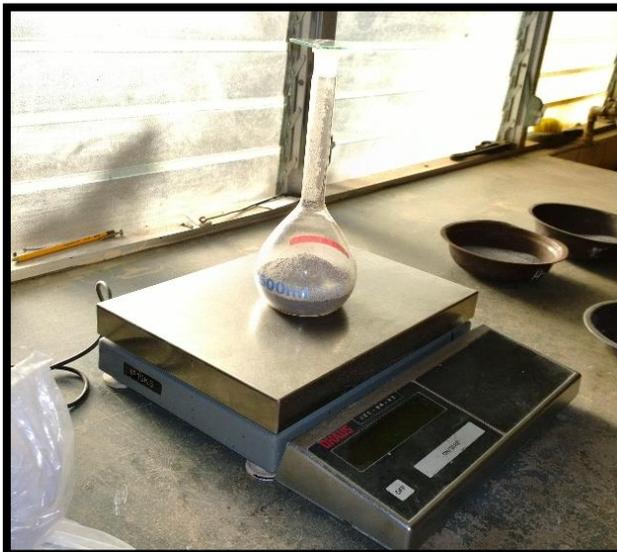


DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

Posteriormente, se procedió a pesar e incorporar el agregado fino dentro del picnómetro utilizando un embudo para evitar pérdida de material fino.



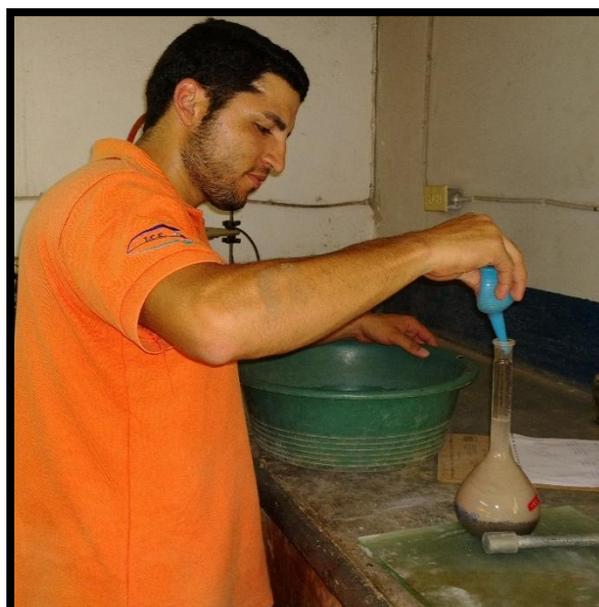
En la imagen de la izquierda se aprecia el registro del peso del picnómetro más agregado y placa metálica. En la imagen de la derecha se observa la incorporación de una cierta cantidad de agua denotada por la graduación del picnómetro para poder retirar el aire atrapado entre las partículas de agregado fino.



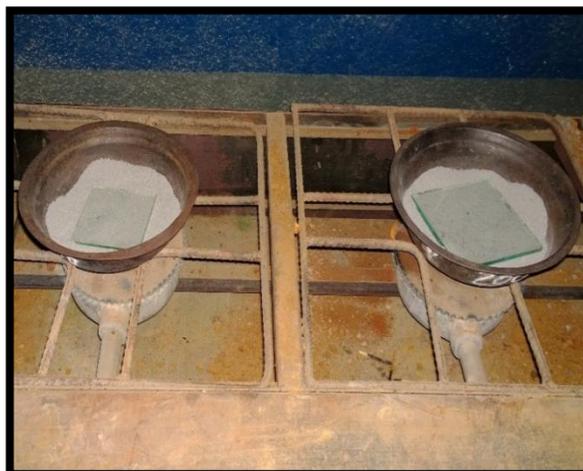


DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

Una vez incorporada el agua se procede al agitado manual para retirar el aire atrapado entre las partículas, además se retiran partículas de arcilla o material contaminante que salen a la superficie luego del agitado para poder obtener una muestra de material limpio de materiales contaminantes.



En la imagen de abajo a la izquierda, se observa la realización del pesado del picnómetro + el agregado saturado con agua + la placa de vidrio. Luego se retira el agregado del picnómetro y se coloca en la cocina por un determinado tiempo hasta que este esté libre de humedades, comprobándolo con una placa de vidrio que nos ayuda a verificar si todavía hay expulsión de vapores provocados por el agua atrapada dentro y fuera de las partículas (Imagen inferior derecha).





DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

Se toma una muestra representativa del agregado y se coloca cuidadosamente en la sesta sin que el agregado caiga fuera, se registra el peso del agregado sumergido y se retira para luego ser secado superficialmente y así mismo tener un peso superficialmente seco; esto se realiza a los agregados de $1/2''$ y $3/4''$.



En la siguiente imagen se muestra el secado de los agregados en la cocina utilizando una placa de vidrio para verificar si el agregado ya está completamente libre de humedad y poder determinar el porcentaje de absorción.

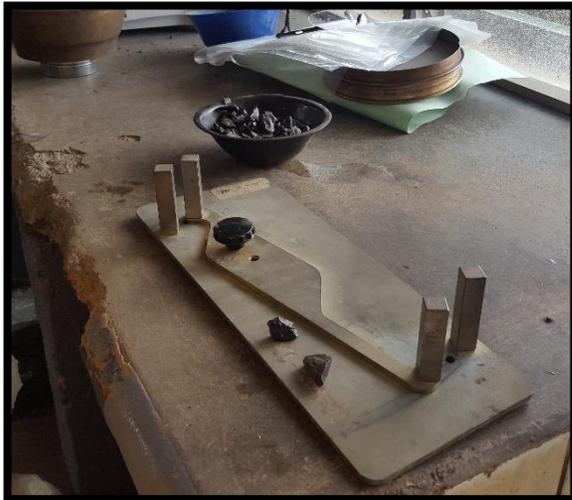




DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

➤ Determinación de partículas planas y alargadas en el agregado grueso ASTM D 4791.

Determinando la cantidad de partículas planas, partículas alargadas y partículas planas y alargadas nos ayudará a definir el revenimiento que necesitamos en nuestra mezcla; una mezcla de concreto hidráulico con cantidades excesivas de estas partículas se vuelve poco trabajable y con resistencia a la flexibilidad sumamente mínima.



➤ Ensaye porcentaje de partículas con una o dos caras fracturadas en el agregados grueso ASTM D 5821.

La determinación de estas partículas nos definirá la cantidad de caras equivalentes, lo cual hará que se entrelacen dándole la resistencia a la comparación y a flexión que debe tener un concreto hidráulico; se necesita que todas las partículas que componen la mezcla se entrelacen para que se trasmitan las cargas a las que serán sometidas.





DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

➔ Determinación del porcentaje de impurezas orgánicas en el agregado fino AASHTO T 21.

En esta imagen se aprecia cómo determinar el color que presenta el ácido muriático y compararlo con la tabla de colores para definir el grado de contaminación.



➔ Ensayo de equivalente de arena AASHTO T 176.

Se realiza el llenado de las probetas graduadas con solución ESTOK para poder agitar el agregado incorporado; en éste caso solo se realiza al material cero.





DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

Posteriormente, se coloca la probeta en el agitador mecánico durante un determinado tiempo y luego se deja reposar para realizar la medición de la arcilla que contiene el agregado.



➤ Ensayo de sanidad con sulfato de sodio AASHTO T 104.

El ensayo de **impurezas orgánicas, equivalente de arena y sanidad** tienen la función de especificar si el agregado es utilizable o no, debido a que se determina la cantidad de partículas orgánicas, plásticas e impureza de los agregados. Impureza, se le denomina a una grava que tiene partículas orgánicas y plásticas en su composición, provocando que la grava que esté contaminada no presente resistencia a la fricción, al desgaste y que al momento de cubrir sus caras fracturadas con lechada pierda adhesividad a la misma o se separen fácilmente cuando hayan sido expuestos a esfuerzos.



**➔ Preparación de agregados para batchadas de concreto hidráulico**

Para determinar la relación agua - cemento, se realizaron batchadas de prueba para verificar que la mezcla tenga manejabilidad y que no presente sangrado (exceso de agua).



Luego de determinar el porcentaje de cada agregado se colocaron en bolsas con la cantidad precisa y listas para ser mezcladas con la cantidad de agua especificada por las tablas de diseño utilizadas.





➔ **Medición de temperatura en la mezcla de concreto hidráulico ASTM C 1064.**

Chequeo de la temperatura para ver la diferencia de reacción química de los cementos utilizados; la variación es de 0.1, 0.3 hasta 1 grado de variación mínima debido a que la cantidad de cemento utilizada es mínima.



➔ **Mezclado de los agregados** para formar la pasta fluida que en un determinado tiempo por reacción química de uno de sus componentes se vuelve sólida.





DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO

- **Medición de revenimiento (asentamiento) del concreto hidráulico fresco ASTM C 143;** esto se realizó para ver la variación según el tipo de cemento utilizado.



- **Determinación del contenido de aire atrapado en la mezcla de concreto hidráulico fresco ASTM C 173.**

La medición del **revenimiento** y el **aire atrapado** en la mezcla se verifica para ver si el diseño está cumpliendo con lo calculado en los ensayos anteriores.





➔ **Fabricación de los especímenes cilíndricos de concreto hidráulico ASTM C 31.**

Las primeras dos edades se realizaron en moldes grandes de 6x12 pulgadas para poder determinar la resistencia, la primera lectura es de 25,000.00 libras que es igual a 884 psi para un espécimen de 6x12 pulgadas, después de la segunda edad se realizaron en moldes de 4x8 pulgadas porque a las dos primeras edades no llegarían a la resistencia que marca el equipo en su primera lectura así también para reducir cantidades de materiales (costos).



En estas imágenes se observa el llenado de los especímenes aplicando golpes leves con un mazo de hule para el acomodo de las partículas. Posteriormente, enrazando y colocando el distintivo inicial a cada espécimen fabricado (moldes de 12" por 6").



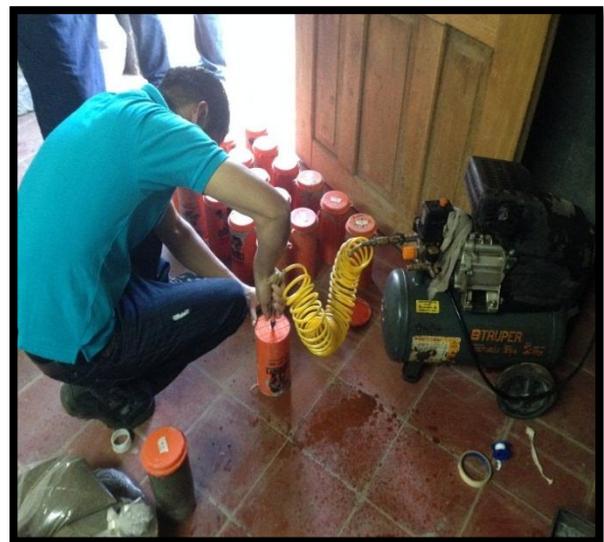


DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

Posteriormente, se realiza el llenado de moldes de 8" por 4" y se coloca el código distintivo; después son colocados bajo saturación para que alcancen la resistencia de diseño.



Se procede a realizar la extracción de los especímenes de cada uno de los moldes según edad establecida. A los dos tipos de moldes se les aplicaron aceite para evitar la adhesión del concreto y poder retirar los especímenes sin daño alguno, los especímenes de los moldes pequeños se extraen con un compresor inyectándoles aire por el orificio de la base del molde.





Definición del calendario de fallado de especímenes

No. Orden	Estrucura	Alcance	Características	Fecha de fabricación	Fecha de ensayo	Temperatura (°C)	Estado	Modo de falla	Comentarios	Resistencia (MPa)	Resistencia (psi)
21-7-2-2	D15-003	2015	Y	16/14/15	17/14/15						
21-7-2-6	D15-003	2015	Y	16/14/15	17/14/15						
21-7-2-4	D15-003	2015		16/14/15	17/14/15						
21-11-11-11	D15-003	2015		16/14/15	17/14/15						
21-12-14-15	D15-003	2015		16/14/15	17/14/15						

Inicio de curado de los especímenes de concreto después de su desencofrado ASTM C 31.

El desencofrado de los especímenes es después de 24 horas de su fabricación.

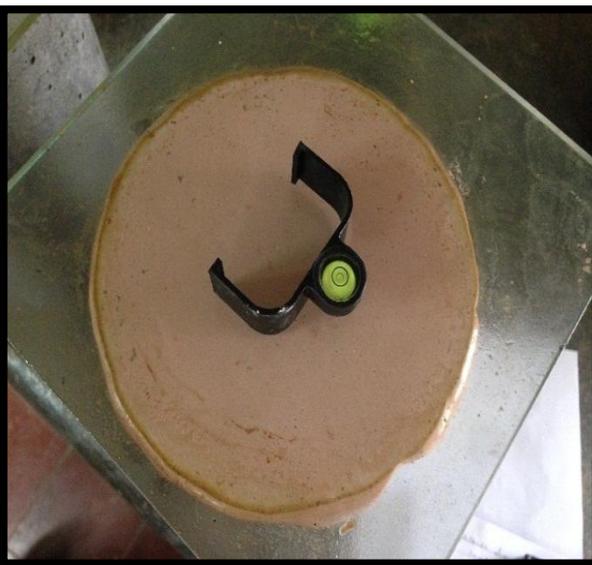


**➤ Cabeceo de especímenes con yeso tipo IV previo al ensayo**

Se determina el área de contacto cabeceando ambas bases con un espesor mínimo de 3 milímetros con un fraguado a temperatura ambiente de una hora posterior al fallado.



Se realiza un chequeo del nivel del material (yeso #4) colocado como base para distribución de la carga en ambas bases.



**↪ Ensayo de especímenes según edades**

Colocación de los especímenes en la máquina para medir la resistencia a la compresión.



Toma de lectura de la resistencia obtenida luego del fallado del espécimen y revisión del tipo de falla.





DISEÑO COMPARATIVO DE MEZCLA DE CONCRETO HÍDRÁULICO

Después de tener los especímenes cabeceados se procede a fallarlos para observar la resistencia alcanzada según las edades.



Luego de la ruptura de prueba de cada espécimen se verifica el tipo de falla y se determina si el agregado y demás componentes de la mezcla están trabajando adecuadamente según sus características.

