



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO OPTIMIZANDO LA
RELACIÓN AGUA – CEMENTO, GRAVA – ARENA Y
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS
PÉTREOS PARA PRODUCIR CONCRETOS DE
ALTO DESEMPEÑO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N:

MÁRQUEZ MORENO JOSÉ ROBERTO

PINTOR HIDALGO FRANCISCO JAVIER

DIRECTOR DE TESIS:

ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO

MÉXICO, D.F. CIUDAD UNIVERSITARIA 2012





DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/094/11

Señores
FRANCISCO JAVIER PINTOR HIDALGO
JOSÉ ROBERTO MÁRQUEZ MORENO
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO, que aprobó este Comité, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO OPTIMIZANDO LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO, GRAVA-ARENA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PARA PRODUCIR CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO"

- INTRODUCCIÓN
- I. NATURALEZA DEL CONCRETO HIDRÁULICO
- II. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS
- III. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO
- IV. DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS
- V. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE UN CONCRETO HIDRÁULICO DE ALTA COMPORTAMIENTO PARA ELEMENTOS DE CONCRETO
- VI. TABLAS ESPECIFICADAS PARA RESISTENCIA Y AUMENTO DE DURABILIDAD SEGÚN LA AGRESIVIDAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RESULTADOS DEL CONCRETO HIDRÁULICO ENSAYADOS EN EL LABORATORIO
- VII. CONCLUSIONES

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 14 Septiembre 2011.
EL PRESIDENTE

M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JTS/MTH*gar.

Francisco Javier Pintor Hidalgo, resulta tan agradable decir “GRACIAS” a todas aquéllas personas que me ayudaron a lograr este sueño que parecía, por momentos, no llegar nunca...

A DIOS, por permitirme vivir este momento, ..., gracias.

A MIS PADRES, Luis Mendoza y Matilde Hinojosa, por darme la vida y ser los mejores padres. Por estar conmigo incondicionalmente, apoyarme a lo largo de la carrera y permitir que lograra una de las más grandes metas de mi vida, concluir mis estudios profesionales. Gracias, lo logré.

A MIS HERMANOS, Alfredo, Liliana y Raúl Miguel, por su cariño, comprensión y apoyo sin condiciones ni medida en todo momento. Porque juntos hemos crecido y aprendido de la vida, quiero compartir con ustedes este logro.

A JIMENA, por todo el amor y comprensión que me brindas incondicionalmente. Por compartir conmigo todos mis momentos de felicidad, tristeza y enojo, apoyándome en cada paso que doy para lograr juntos nuestros sueños. Por llegar a mi vida y darle un mejor sentido. Por escucharme y aconsejarme en la mejor etapa de mi vida. Por llevar parte de mi en tu vientre. Eres lo mejor que me ha pasado.

A MI BEBÉ, por ser la personita que me motiva y da fuerza para buscar un mejor mundo que ofrecerle.

A MIS ABUELOS, Miguel Hinojosa[†] y Carmen Jacuinde[†], haberme dado la oportunidad de vivir con ellos en una etapa difícil de mi vida.

A MI TÍO, Martín Hinojosa, por el apoyo que me brindó al abrirme las puertas de su casa.

A MIS PRIMOS, Erik Iván y Miguel, por su alegría y cariño, pero sobre todo, por llenar un poco el gran hueco que me dejó el alejarme de mis padres y hermanos.

A ERNESTO MENCHACA Y JAVIER PINTOR, con quienes construí conocimiento, compartimos mañanas, tardes y noches de estudio y diversión. Gracias por haberse tomado la molestia de buscarme y encontrarme durante un momento de confusión en mi vida, y sobre todo, por brindarme uno de los tesoros más grandes, su amistad.

A KARINA CONTRERAS Y JOSÉ GUADALUPE GÓMEZ, gracias por permitirme conocerlos y ser parte de su vida. Por ayudarme y estar conmigo a lo largo de la carrera, y aun después...

AL ARQ. JOSÉ ANGEL MONTAÑO Y AL ING. SERGIO VÁZQUEZ, por su apoyo y colaboración para la realización de esta investigación, contribuyendo con sus implacables críticas, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

A MIS AMIGOS, Chucho, David, Eloisa y Wenceslao, quienes con sus consejos y motivaciones me ayudaron a lograr esta meta, porque gracias a ellos sé lo que es la amistad verdadera, valor importante en mi vida, gracias por estar conmigo, por aconsejarme, regañarme, compartir risas y llantos en todo este tiempo.

A MIS SINODALES, Carlos M. Chavarrí Maldonado, , Ernesto R. Mendoza Sánchez, Marcos Trejo Hernández y gracias por asesorarme a lo largo de la tesis, acompañarme en este camino que hoy culmina en el presente proyecto y por compartir su conocimiento conmigo.

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA, por brindarme los conocimientos que me permitieron obtener una formación profesional.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, por darme la oportunidad de estudiar y prepararme profesionalmente para lograr mis objetivos. Por el orgullo de formar parte de ella.

“SI SOY LO QUE SOY, ES POR MIS PADRES”

SINCERAMENTE GRACIAS

Gracias.....

A Dios.

Por permitirme llegar hasta este momento de mi vida y lograr una meta más en mi existencia.

A mis padres María de la Luz y Javier.

Por su amor, comprensión y apoyo, a ti mamá, porque has hecho de mí la persona que soy, con defectos y algunas virtudes, pero con lo más importante, el amor a toda mi familia. A ti papá, por aportarme esos valores de superación, a ti por comprenderme y aguantarme en los momentos de descarrío, pero finalmente mil gracias a ambos por esperarme tanto tiempo para poderles entregar esta pequeña alegría de mi parte, INFINITAMENTE GRACIAS.

A mi esposa Martha Alicia.

Por tu comprensión, apoyo, amor en las buenas y en las malas, permitirme lograr lo que me proponga, gracias por ser parte de mi vida, por darme esos hijos tan hermosos y aguantar mi mal genio, te quiero mucho

A mis hijos.

Cassandra, Camila y Rodrigo, quienes me impulsan a seguir. Los quiero mucho

A mi abuelita Tomasa[†].

Por todo ese gran cariño que siempre me profesaste, lamento no haber cerrado este círculo antes, para que lo disfrutaras conmigo, pero se que desde donde estés compartirás mi alegría junto a mi familia.

A mis primos Juan y Luís

Arq. Por haberme dado la oportunidad de pertenecer a tu equipo de trabajo y permitirme retomar el camino para concluir mis estudios mil gracias.

A ti **Dr.** por inculcarme que el estudio es la llave para triunfar en la vida, además del amor a la familia.

A mis padrinos Susana y Luís Ruelas[†]

Gracias por haberme apoyado a mi formación.

A mis amigos.

Todos aquellos que me brindaron su amistad y apoyo, mil gracias.

A mis compañeros de trabajo.

Quienes de una manera desinteresada me motivaron a concluir esta última etapa

A cada uno de los maestros

Que participaron en mi desarrollo profesional durante mi carrera, sin su ayuda y conocimientos no estaría en donde me encuentro ahora.

Al VMO

A la Facultad de Ingeniería y sobre todo, a mi amada Universidad Nacional Autónoma de México.

José Roberto Márquez Moreno, ser agradecido con todo lo que hay en la vida es algo que mis padres me han enseñado en todo momento, de tal manera con el sentimiento de gratitud menciono aquí aquellas personas más relevantes en la formación y culminación de este proyecto.

Gracias a...

Mi padre **Roberto Márquez González**, puesto que a través de su figura paterna en mi vida me dio fuerza, valor determinación, disciplina, carácter, gracias a esa aguerrida motivación he podido formarme en lo personal como en lo profesional, por el sacrificio económico, te quiero mucho y te amo padre.

Mi madre, **Yolanda Moreno Martínez**, por las palabras de amor, de cariño, por aquellas llamadas de atención en cuanto a conducta, que en los momentos más difíciles fueron cubetas de agua fría, para recapacitar y enderezar el camino, por el apoyo y el gran esfuerzo tanto económico como en lo familiar, el sacrificio que hubo entre nosotros a estar tan lejos, por todo esto, te amo madre.

A mis hermanas, **Estefany, Brenda, Fabiola**, quienes como joyas divinas me han acompañado en toda mi vida, siendo consejeras, siendo ejemplo de admiración, con esas muestras de amor que caracterizan a toda gran hermana, por ser mis hermanas, las amo de todo corazón.

A mi Sobrina **Sofía Orellana Márquez**, quien como rayo de luz vino a nuestras vidas, a iluminar con su alma de niña, por dar ese cambio y tener un miembro más en la familia, por darnos la oportunidad de verla crecer y darle todo el amor que ella se merece, con gran amor de tu tío te quiero y te amo Sofía.

A mis tíos **José Luis, Blanca, Esperanza**, cada quien en su tiempo han estado presentes, junto con su compañía y su ejemplo han sido figuras de motivación.

A mi Abuela **Julia**, por ser esa figura de hierro demostrando que en la vida hay que ser fuertes y no doblegarse ante situaciones que son comunes en la vida.

A mi Abuela materna **Regis** a quien solo pude disfrutar muy poco pero su cariño y amor quedaron plasmados en recuerdo hermosos y que siempre vivirás en mi corazón, te quiero mucho abuela.

A mi Abuelo paterno, **Rafael Márquez**, quien por recuerdos de mi padre y madre se que hubo mucho cariño, aunque ya no pude convivir contigo te agradezco mucho abuelo.

A **Dios**, padre solo existen palabras de gratitud en mi boca, saber de tu vida, saber que cambias corazones y que tienes un plan para mí, saber que me amas y que has dado todo para llegar a este momento, por las personas que has traído a mi vida, por la universidad y facultad a la cual me has llevado, enseñarme a ser sincero, amar y la amistad son sentimientos que solo se aprenden conociéndote, te amo y te quiero mucho bendito padre.

A mis amigos de la licenciatura:

Martha Alicia Ventosa, quien como una buena amiga, acompañada de palabras de sinceridad, compañía, apoyo en el mas mínimo detalle, ese espíritu de competencia, esa sonrisa que alienta, te deseo lo mejor en la vida Martha.

A **Manuel Cigarroa, Francisco Campos, Wendy y Laura** a esos amigos que apoyan, que acompañan, que disfrutan de nuestra compañía, quienes llegaron en su momento en este camino, a quienes aun se frecuentan a pesar del tiempo, les deseo paz y bendiciones en sus vidas.

A la Familia **López García**, Arturo, Letty, Roberto y Arturo hijo, muchas gracias por estos casi tres años en los cuales su compañía ejemplo, apoyo, pude ver que hay una vida, la cual dios nos ha puesto como ejemplo, lo quiero familia López García.

A mis sinodales, **Ingenieros: Carlos M. Chavarri Maldonado, Ernesto R. Mendoza Sánchez, Marcos Trejo Hernández, Juan Antonio del Valle Flores, Miguel Ángel Rodríguez Vega**, gracias por su apoyo ejemplo, y que adicionado a que fueron verdaderos maestros, también los considero ejemplos de vida.

A la **Facultad de Ingeniería de la UNAM**, a esta institución, en la que viví momentos que marcaron el rumbo de mi vida profesional y personal, que de manera más cariñosa me dio la formación correcta que todo ingeniero civil debe llevar, por la formación técnica como humana, por esas instalaciones llenas de naturaleza y áreas que permiten desarrollar el deporte, arte, por los académicos, siempre te llevare en el corazón F.I.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, como tú no hay nadie, nada se puede comparar con el sentimiento de recorrer tus instalaciones, con los espacios de expresión que hay en ti, el ambiente de naturaleza y cultura que expresas paso a paso, por llevar el sello de representarte en cada trabajo, el ser universitario, en espíritu y corazón quedaras marcada U.N.A.M.

ÍNDICE

Introducción	4
1 Naturaleza del concreto hidráulico	6
1.1 Generalidades	7
1.2 Cementos	7
1.3 Tipos de Cemento	8
1.4 Clase, Uso, Precauciones y Recomendaciones	12
1.5 Agregados Pétreos	14
1.6 Agua de Mezclado	16
1.7 Aditivos	19
2 Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados Pétreos	22
2.1 Origen de los Agregados Pétreos	23
2.2 Condiciones para uso Ingenieril	25
2.3 Propiedades Físicas	25
2.3.1 Peso Volumétrico Seco - Suelto	25
2.3.2 Peso Volumétrico Seco - Compactado	25
2.3.3 Módulo de Finura	25
2.3.4 Resistencia	26
2.3.5 Tamaño Máximo del Agregado Grueso	27
2.3.6 Granulometría	27
2.3.7 Peso Específico o Densidad	30
2.3.8 Porcentaje de Absorción y Humedad Superficial	30
2.3.9 Forma de la Partícula y Textura Superficial	30
2.3.10 Relación Grava – Arena y Peso Volumétrico Óptimo	31
2.3.11 Resistencia al Desgaste y al Derrapamiento	31
3 Propiedades Físicas y Mecánicas del Concreto Fresco y Endurecido	33

3.1	Definición de Concreto Fresco	34
3.2	Propiedades Físicas	33
3.2.1	Consistencia	34
3.2.2	Revenimiento	34
3.2.3	Uniformidad	35
3.2.4	Cohesividad	35
3.2.5	Manejabilidad	35
3.2.6	Trabajabilidad	35
3.2.7	Sangrado	37
3.2.8	Segregación	38
3.2.9	Contracción	39
3.3	Definición de Concreto Endurecido	41
3.4	Propiedades Mecánicas	42
3.4.1	Resistencia a la Compresión (f'c)	42
3.4.2	Durabilidad	43
3.4.3	Conductividad Térmica	43
3.4.4	Permeabilidad	43
4	Diseño y Dosificación de Mezclas	44
4.1	Definición de diseño de Mezclas	45
4.3	Características de los Métodos del P.C.A. y A.C.I.	45
	A.C.I.(American Concrete Institute)	45
	P.C.A.(Portland Cement Association)	55
	Capitulo 5.Descripcion del diseño y dosificación de un concreto hidráulico de alto comportamiento para elementos del concreto.	57

5.1 Ejemplo aplicado por A.C.I.	58
5.2 Ejemplo aplicado por P.C.A.	63
Capitulo 6.Tablas especificadas para resistencia y aumento de durabilidad según la agresividad del medio ambiente y resultados del concreto hidráulico ensayados en el laboratorio	70
6.1 Conclusiones.	75
6.2 glosario	77
Referencias bibliográficas	81

INTRODUCCIÓN

La necesidad de investigar y producir nuevos materiales que no contaminen el medio ambiente y que tengan un bajo costo en los mercados, que respondan a las normas de calidad para que sean resistentes y durables es una prioridad en este siglo XXI.

Este trabajo tiene como finalidad describir, analizar y evaluar un concreto hidráulico de alto desempeño que cumpla con las expectativas antes mencionadas para que el cliente quede satisfecho con su producto para que la supervisión pueda cumplir con sus programas de calidad y el constructor pueda producir un material que cumpla con las normas y especificaciones de los proyectos de obras civiles.

Entonces esta tesis tiene como fin describir en el capítulo 1, la naturaleza del concreto hidráulico, es decir dar una explicación completa de todas las condiciones, especificación y normas que regulan la calidad de cada componente del concreto, en el capítulo 2, describe las propiedades físicas y químicas de los agregados pétreos que son de gran relevancia en la dosificación y diseño de mezclas. En el capítulo 3, se describe las propiedades físicas y mecánicas del concreto fresco y endurecido que hay que supervisar, evaluar y verificar durante su colocación y después de su colocación. En el capítulo 4 se hace una mención de la importancia de un diseño, los métodos que existen para diseñar mezclas y las características de cada uno de ellos. En el capítulo 5 se indican los procedimientos de diseño y dosificaciones mediante el cálculo matemático que describe como se llega a ciertos resultados en cuanto a las cantidades de cada uno de los ingredientes que justifican una unidad de concreto.

Dichas dosificaciones están referidas a ejemplos aplicados de nuestro que hacer práctico en obra. Finalmente en el capítulo 6 se describen tablas especificadas para resistencia y aumento de durabilidad según la agresividad del medio ambiente.

1

NATURALEZA DEL CONCRETO HIDRÁULICO

1.1 Generalidades:

El concreto hidráulico es el material elaborado con cemento portland, agregados pétreos, agua, y en muchas ocasiones la adición de aditivos minerales o químicos. El concreto hidráulico es uno de los materiales de la construcción que más se usa a nivel mundial, es por esta razón que merece una especial atención en el concepto de su realidad porque nuestras estructuras de concreto deben de ser resistentes y durables a través de tiempo. Estas propiedades de resistencia y durabilidad están sustentadas en la naturaleza de cada uno y sus componentes y su disponibilidad en cuanto a usarlo en un diseño de mezclas donde cada uno de ellos tiene que cumplir con cada uno de los requisitos que indican las normas americanas y mexicanas ante la normalización, existente para poder producir un concreto hidráulico de calidad que responda a las especificaciones de los proyectos de obras civiles en el cual nuestro material debe cumplir con la calidad especificada de acuerdo a lo especificado de acuerdo a lo establecido a las pruebas que se le hacen al concreto fresco y endurecido. Por lo tanto nuestro concreto hidráulico estará apto para responder a las cargas de servicios que se presentan en nuestras estructuras de concreto siempre y cuando se tenga mucho cuidado en la selección de cada uno de sus componentes, vigilancia estrecha en el cumplimiento de sus propiedades físicas en estado fresco y también la verificación de sus propiedades físicas o mecánicas en estado endurecido.

1.2 Cementos:

Se define como cemento a un conglomerante hidráulico que, mezclado con agregados pétreos (Grava - arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, adquiriendo consistencia pétreo, denominado concreto hidráulico. Su uso está muy generalizado en el medio de la construcción y su principal función es la de aglutinante. En la industria de cementera se producen diversos tipos de cementos, pero se establecen dos tipos básicos que son los siguientes:

1. De origen arcilloso: Estos se obtienen a partir de arcilla y piedra caliza.
2. De origen puzolánico:

La puzolana del cemento puede ser de origen orgánico volcánico, desde el punto de vista químico, el cemento portland, es una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido de material calcáreo, arcilla y arena. Este material es molido muy finamente para que después se le agregue sulfato de calcio, yeso, con el propósito de mejorar sus propiedades físicas y finalmente se comercializan.

1.3 Tipos de cemento:

En la siguiente tabla (A) se relacionan una normativa para la calidad del cemento portland, es decir debe cumplir con la norma NMX-C-414-ONCCE-1999, la cual establece lo siguiente:

Tipo	Denominación
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
TPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno

Tabla (A): Relaciona tipos de cementos que se pueden presentar adicionalmente una o más características especiales.

También estas características especiales tienen ciertas nomenclaturas como se describe en la tabla (B).

RS	Resistente a los sulfatos
BRA	Baja reactividad álcali agregado
BCH	Bajo calor de hidratación
B	Blanco

Tabla (B): Indica la nomenclatura que puede añadirse a los cementos antes mencionados.

De acuerdo a su resistencia los cementos pueden ser de resistencia normal. La resistencia normal, es la resistencia mínima mecánica a la compresión con cierto número de días, dicha resistencia esta expresada en Kg/cm², como se observa en la tabla (C).

20	30	40
Resistencia a los 28 días	Resistencia a los 28 días	Resistencia a los 28 días
Mínima 204(Kg/cm ²)	Máxima de 510 (KG/cm ²),Mínima de 306 (KG/cm ²)	Mínima de 408 ([Kg/cm ²)

Tabla (C): Relaciona la resistencia normal de un cemento que es la resistencia mecánica a la compresión a los 28 días y se indica por clases resistentes 20, 30, 40. Existe una sub clasificación en relación a los cementos de resistencia rápida como se observa en esta tabla (D).

30R		
resistencia a		
3 días	28 días	
Mínima de 204 Kg/cm ²	Mínima de 306 Kg/cm ²	Máxima de 510 Kg/cm ²

Tabla (D): Cementos de resistencia inicial, temprana resistencia o resistencia mecánica a la compresión desarrollada a 3 días.

Información Técnica del Cemento:

Cemento Portland Ordinario (Norma de calidad NMX-C-144-ONNCCE-1999).

El cemento portland ordinario es excelente para construcciones en general, zapatas. Columnas, travesaños, castillos, dallas, muros, losas, pisos, pavimentos, guarniciones, banquetas, muebles municipales (bancas, mesas, fuentes, escaleras, etc. Ideal para la elaboración de productos prefabricado (tabicones, adoquines, bloques, postes de luz, etc.).

Cemento Portland Compuesto (Norma de calidad NMX-C-144-ONNCCE-1999).

Presenta excelente durabilidad en prefabricados para alcantarillados, a los concretos les proporciona una mayor resistencia química y menor desprendimiento de calor. Este cemento es compatible con todos los materiales de la construcción convencionales, como arenas, gravas, piedras, mármol, etc; así como con los pigmentos (preferentemente los que resisten la reacción, solar) y aditivos, siempre que se usen con los cuidados y dosificaciones que recomiendan sus fabricantes.

Cemento Portland Puzolánico (Norma de calidad NMX-C-144-ONNCE-1999)

Ideal para la construcción de zapatas, pisos, columnas, castillos, dallas, muros, losas, pavimentos, guarniciones, banquetas, muebles municipales (bancas, mesas, fuentes, escaleras), etc. Especialmente diseñado para la construcción sobre suelos salinos. El mejor para obras expuestas a ambiente químicamente agresivo. Alta durabilidad en prefabricados para alcantarillados como: brocales para pozos de visita, coladeras pluviales, registros y tuberías para drenaje.

Cemento portland Ordinario Blanco (Norma de calidad NMX-C-144-ONNCCE-1999). Excelente para obras ornamentales o arquitectónicas como fachadas monumentos lapidas, barandales, escaleras, etc.

Gran rendimiento en la producción de mosaicos, terrazas, balastradas monumentos, lavaderos, W.C., tiroles, pega azulejos, junte adoradores, etc.

En fachadas y recubrimiento de muros, ahorra gastos repetidos. Este producto puede pigmentarse con la calidad para obtener el color deseado se puede mezclar con los materiales de la construcción convencionales, siempre y cuando estén libres de impurezas. Por su alta resistencia a la compresión tiene los mismos usos estructurales que el cemento gris.

Cemento portland Ordinario Resistente a los sulfatos (Norma de calidad NMX-C-144-ONNCCE-1999).

El cemento portland ordinario resistente a los sulfatos proporciona mayor resistencia química para concretos en contacto con aguas o suelos agresivos (Aguas marinas, suelos con alto rendimiento de sulfatos y sales), recomendables para la construcción de presa, drenajes municipales y todo tipo de obras subterráneas.

Cemento para albañilería (Mortero) (Norma de calidad NMX-C-021-ONNCCE-1999).

Diseño especialmente para trabajos de albañilería junteo o pegado de bloques, tabiques, ladrillos piedra y mampostería; aplanado, entortado y repellado, resanes; firmes, plantillas y banquetas. No debe utilizarse en la construcción de elementos estructurales.

Propiedades del cemento Portland:

La mayor parte de las especificaciones para el cemento portland limitan su composición química y sus propiedades físicas. La compresión física del significado de algunas de estas propiedades físicas útil para interpretar los resultados de las pruebas que se efectúan al cemento. En general, las pruebas de las propiedades físicas del cemento deben ser utilizadas exclusivamente para evaluar las propiedades del cemento mas que para el concreto. Las normas ASTM C 150 y C 595 limitan las propiedades de acuerdo al tipo de cemento. El cemento debe ser muestreado de conformidad con la norma ASTM C 183.

Finura:

La finura del cemento influye con el calor liberado y en la velocidad de hidratación .A mayor finura del cemento .Mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que en una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros siete días. La finura se mide por medio del ensaye del turbidometro de Wagner (ASTM C 115), el ensaye

Blaine de permeabilidad al aire (ASTM C 204), o con malla No.325(45 micras) (ASTM C 430). Aproximadamente del 85% al 95% de las partículas de cemento son menores de 45 micras.

Sanidad:

La sanidad se refiere a la movilidad relativa de una pasta de cemento o mortero recién mezclado o bien a su capacidad de una pasta endurecida para conservar su volumen después del fraguado. La expansión destructiva retardada o falta sanidad es provocada por un exceso de las cantidades de cal libre o de magnesia. Casi todas las especificaciones para el cemento portland limitan los contenidos de magnesia (periclase-9, así como la expansión registrada en la prueba de autoclave. Desde que en 1943 se adoptó la prueba de expansión en autoclave (ASTM C 151), prácticamente no han ocurrido casos de expansión normal que puedan atribuirse a falta de sanidad.

Consistencia:

La consistencia se refiere a la movilidad relativa de una pasta de cemento o mortero recién mezclado o bien a su capacidad de influir. Durante el ensaye de cemento, se mezclan pastas de consistencia normal, misma que se define por una penetración de 10 +/- 1 mm de la aguja de vicat, mientras se mezclan morteros para obtener ya sea una relación agua – cemento fija o para producir una cierta fluidez dentro de un rango dado. La fluidez determina en una mesa de fluidez tal y como se describe en la norma ASTM C 230. Ambos métodos el de la consistencia normal y el de la prueba de fluidez sirven para regular los contenidos de agua de las pastas y morteros respectivamente, que serán empleados en pruebas subsecuentes. Ambos permiten comparar distintos ingredientes con la misma penetración y fluidez.

Tiempo de Fraguado:

Para determinar si un cemento fragua de acuerdo con los tiempos especificados en la norma ASTM C 150, se efectúan pruebas usando el aparato de Vicat (ASTM C 191) o la aguja de Gilmore. El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto: el fraguado final tampoco debe ocurrir demasiado tarde. Los tiempos de fraguado indican si la pasta está desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. El yeso regula el tiempo de fraguado en el cemento. También influyen sobre el tiempo de fraguado la finura del cemento la relación Agua – Cemento, y los aditivos usados. Los tiempos de fraguado de los concretos no están relacionados directamente con el tiempo fraguado de las pastas debido a la pérdida de agua en el aire (Evaporación) o en los lechos y debido a las diferencias de temperatura en la obra en contraste con la temperatura controlada que existe en el laboratorio.

Fraguado Falso:

El fraguado falso (Norma ASTM C 451 para el método de la pasta y norma ASTM C 359 para el método del mortero), se comprueba por una considerable pérdida de plasticidad sin que se desarrolle calor en gran abundancia poco tiempo después del mezclado. Desde el punto de vista de la colocación y del manejo, las tendencias del cemento portland a provocar fraguado falso no causaran dificultades si el concreto se mezcla un mayor tiempo de lo normal o si es remezclado sin agregarle agua antes de ser transportado y colado.

Calor de Hidratación:

El calor de hidratación, es el calor que se genera cuando reaccionan el agua y el cemento. La cantidad de calor generado depende principalmente de la composición química del cemento, siendo el C₃ A y el C₃ los compuestos particularmente responsables del elevado desarrollo de calor.

Perdida por Ignición:

La perdida por ignición del cemento portland se determina calentando una muestra de cemento de peso conocido a 900 C o 1000C, hasta que se obtenga un peso constante .Se determina entonces la perdida en peso de la muestra. Normalmente una perdida por ignición elevada indica prehidratación y carbonatación, que pueden ser causadas por un almacenamiento prolongado e inadecuado o por adulteraciones durante el transporte y la descarga .El ensaye para la perdida por ignición se lleva a cabo de acuerdo con la norma ASTM C 114.

Peso especifico:

Generalmente el peso especifico del cemento portland de escoria de alto horno y los cementos portland- puzolana pueden tener valores de pesos específicos de aproximadamente 2.90.El peso especifico de un cemento determinado con la norma ASTM C 188 no es indicador de la calidad del cemento; su uso principal se tiene en los cálculos de proporcionamiento de la mezclas.

1.4 Clase uso y recomendaciones:

Las condiciones que deben tomarse en cuenta para especificar el concreto idóneo y seleccionador el cemento adecuado para una obra, pueden determinarse por la indignación oportuna de dos aspectos principales:

1) Las características propias de la estructura y de los equipos y procedimientos previstos para construirla.

2) Las condiciones de exposición y servicio del concreto, dadas por las características del medio ambiente y del medio de contacto y por los efectos previsibles resultantes de uso destinado a la estructura.

Existen diversos aspectos del comportamiento del concreto en estado fresco o endurecido, que pueden ser modificados mediante el empleo de un cemento apropiado, para adecuar los requerimientos específicos dados por las condiciones de la obra.

Las principales características y propiedades del concreto que pueden ser influidas y modificadas por los diferentes tipos y clases de cemento, son las siguientes:

Concreto en Estado Fresco:

Cohesión y manejabilidad, concreto pérdida de revenimiento fresco, asentamiento, sangrado y tiempo de fraguado.

Concreto Endurecido:

Adquisición de resistencia mecánica, concreto generación de calor endurecido, resistencia al ataque de los sulfatos, estabilidad dimensional (cambios volumétricos) y estabilidad química (reacciones cemento- agregados). En algunos aspectos la influencia del cemento es fundamental, en tanto que otros resulta de poca importancia porque existen otros factores que también influyen y cuyos efectos son más notables.

Cementos con Siglas Americanas:

Tipo I: El cemento más regular u ordinario es un producto de empleo general, adecuado para todo uso cuando no se requieren las propiedades especiales de otros tipos. Se usa en la construcción de pavimentos y aceras, edificios de concreto reforzado, puentes, estructuras de ferrocarriles, tanques y depósitos, alcantarillas, tuberías para agua, unidades de mampostería y todo cemento o concreto no sujeto a condiciones especiales como el ataque por sulfatos contenidos en las aguas en los suelos, o a elevaciones objetables de temperatura causadas por la hidratación del cemento. Es el tipo de cemento que surtirá a menos que se especifique otro.

Tipo II: Es un cemento modificado que genera menos calor de hidratación y a una velocidad menor que el tipo también tiene una resistencia adecuada al ataque de los sulfatos. Puede usarse en estructuras de gran tamaño como por ejemplo grandes estribos, contrafuertes pesados, y muros de contención pesados para minimizar la elevación en la temperatura, especialmente cuando el concreto se coloca en tiempos de calor. El cemento tipo II también puede usarse cuando se requiera tomar precauciones contra moderados ataques de sulfatos, por ejemplo en estructuras de drenajes, donde las concentraciones de sulfatos de las aguas subterráneas sean más elevadas que lo normal, pero no extremadamente severas.

Tipo III: Es un cemento de alta resistencia temprana que se emplea cuando se desea tener elevadas resistencias a edades tempranas, generalmente a la semana o antes. Se usa cuando se van a quitar los moldes tan pronto como sea posible o cuando el concreto tiene que ponerse en servicio rápidamente.

En tiempo de frío, el uso del cemento tipo III permite que haya una reducción en el periodo de protección con las bajas temperaturas. También se usa cuando se busca resistencia a la compresión a los tres días más o menos igual que el concreto elaborado con cemento Tipo I a los siete días y la resistencia a los siete días es igual al concreto fabricado con cemento Tipo I a los 28 días. La tabla 3 corresponde a un reporte característico de un análisis del cemento tipo III.

Tipo IV: Este es un cemento especial de bajo calor de hidratación, que se genera menos calor durante la hidratación que el del tipo II. Este cemento se desarrolla una resistencia mucho más lenta que el tipo I. Se usa solamente en el concreto macizo como en el caso de las grandes presas, donde el ascenso de temperatura durante el fraguado es un factor crítico. Solo puede conseguirse por pedido especial y también requiere de mayor curado que el tipo I.

Tipo V:

Este es un cemento especial resistente a los sulfatos que se usa solamente en los concretos que se van a estar sujetos a una acción severa de sulfatos. Se emplea principalmente en agua o suelos marinos o en aguas freáticas con alto contenido de sulfatos. Adquiere su resistencia más lentamente que el tipo I. Solamente lo elaboran unos cuantos productores,

1.5 Agregados Pétreos:

Los agregados finos gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso) e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclados y endurecidos, en las proporciones de la mezcla y la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores de 5mm.

Agregado Grueso:

Consisten en una grava o una combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas sean predominantes mayores de 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 38 mm. Algunos depósitos naturales de agregado, a veces llamados gravas de mina, río, también se pueden obtener por procesos industriales como la grava triturada que proviene de rocas de cantera, piedra bola o piedra de río. La escoria de alto horno enfriado al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino.

Es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica de la grava en conjunto se le criba por mallas cuyas aberturas que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica, si bien los efectos que la granulometría de la grava produce sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena.

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

Un mineral es una sustancia sólida natural que tiene estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de los límites muy estrechos. Las rocas (que dependiendo de su origen se puede clasificar como ígneas sedimentarias o metamórficas), se componen generalmente de varios. Por ejemplo, el granito contiene cuarzo, feldespato, mica y otros cuantos minerales la mayor parte de las calizas consisten en calcita dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla.

El intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla. El concreto reciclado o concreto de desperdicio triturado, es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde escaseen agregados de calidad.

Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables; limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros minerales finos que pudieran afectar la hidratación y a la adherencia a la pasta del cemento.

Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de desquebrarse son indeseables. Los agregados que contengan materiales suaves y porosos puesto que tienen baja resistencia al intemperismo y pueden ser causa de efectos en la superficie tales como erupciones.

Agregado Fino:

La composición granulométrica de la arena se acostumbra analizar mediante su preparación en siete fracciones, cribándola a través de mallas normalizadas como “serie estándar” cuyas aberturas se duplican sucesivamente a partir de la más reducida que es igual a 0.150 (NOM M o. 150/ASTM No.100). de esta manera para asegurar una razonable continuidad en la granulometría de la arena , las especificaciones de

agregados para concreto(NOM-C-111//ASTM C 33)(42,43), requieren en cada fracción, exista una proporción de partículas comprendida dentro de ciertos límites establecidos empíricamente.

Mo. 150/ASTM No.100. De esta manera, para asegurar una razonable continuidad en la granulometría de la arena, las especificaciones de agregados para concreto (NOM C-111/ASTM C 33) (42,43) requieren que en cada fracción exista una proporción de partículas comprendida dentro de ciertos límites establecidos empíricamente. Dichos límites, que definen el uso de la granulometría.

Criterio rígido la aceptación de la arena con base a esta característica, sino de preferencia dejar abierta la posibilidad de que puedan emplear arenas con ciertas deficiencias granulométricas, siempre y cuando no exista la alternativa de una arena mejor graduada y se demuestre mediante pruebas que la arena en cuestión permite obtener concreto de las características y propiedades referidas a costo razonable.

1.6 Agua de Mezclado:

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas.

En el primer caso es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo se emplea exteriormente igual cuando el concreto se cura con agua, aunque en estas complicaciones las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear igual de una sola calidad en ambos casos.

Así normalmente, en las clasificaciones para concreto se hace referencia en primer término los requisitos, que debe cumplir al agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son mas importantes y después se indica que el agua se utilice para curarlo, debe ser el mismo origen, o similar para evitar que se subestime esta segunda aplicación y se emplee agua de curado con características inadecuadas.

En determinados casos requiere, con objeto de disminuir la temperatura del concreto al ser elaborado, que forma de hielo molido o en escamas. En tales casos, el agua que se utilice para fabricar el hielo debe satisfacer las mismas especificaciones de calidad del agua de mezclado.

Como componente del concreto convencional, el agua suele representar aproximadamente entre 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo de agregado que se utilice y del revenimiento que se

requiera. Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua del mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga aun en proporciones reducidas pueda tener efectos adversos significativos en el concreto.

Una práctica bastante común consiste en utilizar el agua, potable para fabricar concreto sin ninguna verificación previa, suponiendo que toda agua es potable también es apropiada para elaborar concreto; sin embargo, hay ocasiones en que esta presunción no se cumple, porque hay aguas potables aderezadas con pequeñas cantidades de azúcares que no afectan su potabilidad pero pueden hacerlas inadecuadas para la fabricación de concreto. En todo caso, la consideración contraria ser más conveniente, es decir que el agua para la elaboración del concreto si, debe satisfacer determinados requisitos mínimos de calidad.

Requisitos de Calidad:

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto no tiene ninguna relación obligada con respecto al bacteriológico (Como es el caso de las aguas potables), sino que básicamente se refieren a sus características físico-químicas y a sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto.

Características físico químicas., refiriéndose a las características físico-químicas del agua para concreto, no parece haber consenso general en cuanto a las limitaciones que deben imponerse a las sustancias e impurezas cuya presencia es relativamente frecuente, como pueden ser el caso de algunas sales inorgánicas (Cloruros, sulfatos) sólidos en suspensión materia orgánica, dióxido de carbono disuelto, etc. Sin embargo, en lo que si parece haber acuerdo es que no debe tolerarse la presencia de sustancia que son francamente dañinas, como grasas, aceites, azúcares y ácidos, por ejemplo la presencia de algunas de estas sustancias que por lo demás no es común, debe tomarse como un síntoma de contaminación que requiere eliminarse antes de considerar la posibilidad de emplear agua.

Cuando el agua de uso previsto es potable, cabe suponer en principio que sus características físico-químicas son adecuadas para hacer concreto excepto por la posibilidad de que contenga una sustancia saborizante, lo cual puede detectarse fácilmente al probarla. Así, por ejemplo, si el agua es clara y tiene sabor dulce, amargo puede ser usada como agua de mezclado o de curado para concreto, sin necesidad de mayores pruebas.

Si el agua no se produce de la fuente de suministro de agua potable, se puede juzgar su aptitud como agua para concreto mediante los requisitos físico-químicos contenidos

en la Norma Oficial Mexicana NOM-C-122, recomendados especialmente para aguas que no son potables.

Para el caso específico de la fabricación de elementos de concreto, preesforzado, hay algunos requisitos que son más estrictos en cuanto al límite tolerable de ciertas sales que pueden afectar al concreto y al acero de preesfuerzo, lo cual también se contempla en las NOM-C-252 y NOM-C-253.

Efectos en el concreto: En diversas especificaciones y prácticas recomendadas, al establecer la calidad necesaria en el agua de mezclado, se pone más énfasis en la evaluación de los efectos que produce en el concreto que en la cuantificación de las sustancias indeseables e impurezas que contiene. Esto aparentemente se justifica porque tales reglamentaciones, están dirigidas, principalmente a construcciones urbanas, industriales o similares, cuyo concreto se produce en las localidades donde normalmente se dispone de suministro de agua para uso industrial y doméstico.

No siempre ocurre así durante la construcción de las centrales eléctricas, particularmente de las hidroeléctricas, en donde es necesario acudir a fuentes de suministro de cuya calidad es desconocida y con frecuencia muestra señales de contaminación. En tal caso, es prudente determinar en primer término las características físico-químicas del agua y, si estas son adecuadas proceder a verificar sus efectos en el concreto.

Los efectos indeseables que el agua de mezclado de calidad inadecuado puede producir en el concreto, son a corto, mediano plazo. Los efectos a corto plazo, normalmente se relacionan con el tiempo de fraguado y las resistencias iniciales, lo de mediano plazo con las resistencias posteriores (a 28 días o más) y los de largo plazo pueden consistir en el ataque de sulfatos la reacción álcali-agregado y la corrosión del acero de refuerzo.

La prevención de los efectos a largo plazo se consigue por medio de análisis químico del agua antes de emplearla, verificando, que no contenga cantidades excedidas de sulfatos, álcalis, cloruros y dióxido de carbono disuelto, principalmente. Para prevenir los efectos a corto y mediano plazo se acostumbra a precalificar, el agua mediante pruebas comparativas de tiempo de fraguado y de resistencia a compresión a 7 y 28 días. Estas pruebas se comparan especímenes elaborados con mezclas idénticas, en las que solo cambiara la procedencia del agua de mezclado: agua destilada en la mezcla –testigo y el agua en estudio en la mezcla de prueba.

Las pruebas de tiempo de fraguado pueden efectuarse en pasta cemento, según los métodos de la NOM-C-58 o NOM-C-59 (ASTM-C-266 o C-191), o bien en mezclas de concreto conforme al Método NOM-C-177 (ASTM-C-403).

Para llevar a cabo las pruebas de resistencia a compresión, se emplean normalmente especímenes de mortero, elaborados y ensayados conforme a los Método NOM-C-159 y C-83(ASTM-C-192 y C-39).

1.7 Aditivos

Debido a que los componentes básicos del concreto hidráulico son el cemento, el agua y los agregados, cualquier otro ingrediente que se incluya en su elaboración puede ser considerado, literalmente hablando, como un aditivo.

Los aditivos son aquellas sustancias o productos (inorgánicos o orgánicos) que, incorporados al concreto en estado fresco (En una proporción no superior al 15 % del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido de alguna de sus características de sus propiedades habituales o de su comportamiento (Aditivo “Adición”).

Existen los tres tipos o clases de aditivos: Plastificantes, Fluidificantes y súper fluidificantes).

Plastificantes: Estos son los sólidos disueltos en el agua, sus propiedades permiten mas trabajabilidad, disminuye la relación entre el agua y el cemento y disminuye la segregación cuando el transporte es muy largo o cuando hay grandes masas de concretos .Estos pueden ser usados e inyectados.

Fluidificantes: Estas son formulaciones orgánicas liquidas al igual que la anterior sus propiedades permiten más trabajabilidad, disminuye la relación entre el agua y el cemento.

Superfluidificantes: Estos son formulaciones orgánicas liquidas.

Modificadores de fraguado: Retardador o acelerador del fraguado .Existen dos tipos: inorgánicos (Zn O, PB O,PO₄H₃,BO₄H₃), orgánicos (acido orgánico, glicerina). Estos dependen del tipo, cantidad de cemento, dosificación, y la relación entre el agua y el cemento, consiste en reacciones químicas en las que aparece una película alrededor del cemento, impidiendo que se hidrate.

Aceleradores: De endurecimiento, son los que modifican la resistencia mecánica, este a su vez puede producir efectos secundarios: bajan la resistencia final y puede originar retracciones.

*Acelerador<2.5% acelera.

*Acelerador>2.5% retarda.

Sin embargo, en la práctica del concreto hidráulico convencional, no se consideran aditivos las puzolanas, y las escorias cuando forman parte de un cemento portland-puzolana, portland-escoria, ni tampoco las fibras de refuerzo porque dan origen a concretos que no se consideran convencionales con estas salvedades, resulta válida la definición, propuesta por el comité ACI 116(26), según la cual un aditivo es un material distinto del agua, los agregados, el cemento, hidráulico y las fibras de refuerzo, que se utilizan como ingrediente del mortero o del concreto y que se añade a la revoltura inmediatamente antes o durante el mezclado.

La interpretación que puede darse a esta definición es que un material solo puede considerarse como aditivo cuando se incorpora individualmente al concreto, es decir, se puede ejercer control sobre su dosificación.

De esta manera, las puzolanas y las escorias solamente son aditivos si se les maneja y administra por separado del cemento portland. Lo cual no deja de ser más bien una

Cuestión de forma y a que cualitativamente sus efectos son los mismos que si se administran por conducto del cemento.

Para complementar la definición anterior, tal vez cabría añadir que los aditivos para concreto se utilizan con el propósito fundamental de modificar convenientemente el comportamiento del concreto en estado fresco y/o de inducir o mejorar determinadas propiedades deseables en el concreto endurecido.

El comportamiento y las propiedades de concreto hidráulico, en su estado fresco y endurecido, suelen ser influidos, en su estado fresco y endurecido, suelen ser influidos y modificados, por diversos factores intrínsecos y extrínsecos.

Los intrínsecos se relacionan esencialmente con las características los componentes y las cantidades en que estos proporcionan para elaborar el concreto, en cuanto a los extrínsecos pueden citarse, principalmente, las condiciones ambientales que prevalecen durante la elaboración y colocación del concreto, las prácticas constructivas que se emplean en todo el proceso desde su elaboración hasta el curado, y las condiciones de exposición y servicio a que permanece sujeta la estructura durante su vida útil.

Algunos de estos factores pueden ser objeto de maniobras por parte del usuario del concreto, pero otros no. Por ejemplo los aspectos referidos a la composición del concreto y a las prácticas constructivas son factores susceptibles de ajuste y adaptación en tanto a los que corresponden al medio ambiente y a las condiciones de exposición y servicio a que pertenece sujeta la estructura durante su vida útil.

De acuerdo con este planteamiento, para influir en el comportamiento y las propiedades del concreto, a fin de adaptarlos a las condiciones externas, se dispone principalmente de dos recursos:

- 1) La selección y uso de componentes idóneos en el concreto, combinados en proporciones convenientes.
 - 2) El empleo de equipos, procedimientos y prácticas constructivas en general, de eficacia comprobada y acordes con la obra que se construye.
- Su influencia se determina de acuerdo al agua y a la cantidad del agua que es necesario añadir a la mezcla para obtener la docilidad y compactación necesaria .Los áridos de baja densidad son poco resistentes y porosas.

Sirven para: Una mejor trabajabilidad, para regular el proceso de fraguado del concreto. Son útiles para: Concretos secos, concreto bombeados, concretos fuertemente armados. No se debe utilizar en concretos blandos, concretos fluidos.

El uso de aditivos queda comprendido dentro del primer recurso y normalmente representa una medida opcional, para cuando las otras medidas, no alcanzan a producir los efectos requeridos, en función de las condiciones externas actuales o

finuras. Es decir la practica recomendable para el uso de los aditivos en el concreto, consiste en considerarlos. Como un medio complementario y no como un sustituto de otras medidas primordiales, tales como el uso de un cemento apropiado una mezcla de concreto bien diseñado o prácticas constructivas satisfactorias.

Según los informes del comité ACI 212, los aditivos suelen emplearse en la elaboración de concretos, morteros o mezclas de inyección, no solo para modificar sus propiedades en los estados fresco y endurecido , sino también por economía , para ahorrar energía y porque hay casos en el que el uso del aditivo puede ser el único medio factible para obtener el resultado adquirido, citando como ejemplos la defensa contra la congelación y el deshielo el retardado o la aceleración en el tiempo de fraguado y la obtención de muy alta resistencia.

Así mismo, señalan que los principales efectos que se persiguen con el uso de los aditivos, son los que a continuación se mencionan para ambos estados del concreto.

2

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

Propiedades de los agregados pétreos:

Los agregados constituyen alrededor del 75% del volumen de una mezcla típica de concreto. El término agregados comprende las arenas gravas naturales y la piedra hidratada, utilizadas para preparar morteros y concretos y también se aplica a los materiales especiales utilizados para producir concretos ligeros pesados.

Considerándose que los agregados ocupan tal cantidad de volumen sus propiedades son muy importantes con relación a sus efectos sobre el concreto. Normalmente se considera que los agregados son inertes, es decir, que son inactivos.

Una vez que se han incorporados en el concreto no entran ya ninguna reacción física ni química dentro de la masa, hay sin embargo unos cuantos tipos de rocas y minerales que son inertes y que bajo ciertas condiciones, reaccionan en el concreto endurecido y originan grietas, reventones y desintegración de otra clase.

Todos los agregados naturales tienen orígenes en la roca sólida, de la corteza terrestre, que consiste en una mezcla de diferentes minerales.

Durante un periodo de muchos de miles de años, debido a la acción de la congelación y la descongelación, del calentamiento y el enfriamiento, del humedecimiento y el secado de los glaciales, de las corrientes de agua y de los ríos, de las raíces vegetales y de las sustancias químicas, la roca sólida se desintegra formando pedazos pequeños. A los pedazos grandes se les llama grava, y a las partículas finas que se les da nombre de arena, limo y arcilla, conforme se reduce su tamaño.

Las grandes masas de roca que comprenden la corteza terrestre consisten en tres clases fundamentales de las cuales, a través del proceso de intemperismo antes descrito provienen todas las gravas y suelos.

2.1 Origen de los agregados

Los agregados pétreos que son utilizados en la industria del concreto provienen de los minerales y de la disgregación de las rocas por efecto del intemperismo físico y químico.

A continuación se muestra una tabla (E) que relaciona los componentes mineralógicos y rocosos que dan origen a nuestros agregados pétreos.

Minerales	Rocas Ígneas	Rocas Metamórficas	Rocas sedimentarias
Sílice	Granito	Mármol	Conglomerado
Cuarzo	Sienita	Meta cuarcita	Arenisca
Ópalo	Diorita	Pizarra	Cuarcita
Calcedonia	Gabro	Filita	Grauvaca
Tridimita	Peridotita	Esquisto	Subgrauvaca
Cristobalita	Pegmatita	Anfibolita	Arcosa
Silicatos	Vidrio Volcánica	Horsfelsa	Piedra arcillosa, piedra de aluvión
Feldespatos	Obsidiana	Gneis	Arcilla esquistosa
Ferro magnesianos	Piedra Pómez	Serpentina	Carbonatos
Hornblenda	Tufa		Caliza
Piroxena	Cagafierro		Dolomita
Arcilla	Perlita		Marga
LLItas	Vidrio Volcánico		Greda
Caolines	Petrosilex		
Cloritas	Basalto		
Montmorillonitas			
Mica			
Caolines			
Carbonato			
Calcita			
Dolomita			
Sulfato			
Yeso			
Anhidrita			
Sulfuro de Hierro			
Pirita			
Marcasita			
Peridotita			
Oxido de Hierro			

Tabla (E). Esta tabla relaciona los componentes mineralógicos y rocosos que dan origen a los agregados.

2.2 Condiciones para uso ingenieril:

Nuestros agregados pétreos que se incorporan a la producción de concreto hidráulicos deben de provenir de una roca sana, tener tamaños y formas especificadas, estar limpios y cribados para que estén en condiciones de usarse en elaboración de un concreto de calidad.

2.3 Propiedades físicas:

Peso volumétrico seco- suelto:

El peso volumétrico seco-suelto es la relación que existe entre una unidad de peso de la masa en kilogramos y una unidad de volumen expresada en metros cúbicos (Kg/m^3) el peso volumétrico seco suelto puede estar referido a todos aquellos agregados de peso ligero, peso normal y pesado. En este trabajo me refiero a agregados de peso normal cuyo peso volumétrico suelto de acuerdo a la normatividad fluctúa entre $1360(\text{Kg/m}^3)$ y $1600(\text{Kg/m}^3)$ y que es un indicador de la calidad del agregado en relación a su porosidad que pudiera tener y también es útil en el diseño y dosificación del concreto hidráulico de alto desempeño porque optimiza la proporcionalidad de las cantidades óptimas que requiere una mezcla.

Peso volumétrico seco-compactado:

Uno de los fines del concreto fresco es que sea compactable o auto compactable para aumentar su trabajabilidad, de ahí que el peso volumétrico seco-compactado de los agregados se obtiene apisonando o variando una muestra de arena y grava en un recipiente volumétrico, con el propósito de medir el grado de acomodado que tienen los agregados para aumentar su compactación, de acuerdo y a la norma este peso fluctuara entre 1400 a $1650 (\text{Kg/cm}^3)$ en un agregado de peso normal y también es un indicador de la calidad de los agregados y es útil en el diseño y dosificación del concreto hidráulico.

Modulo de finura:

El modulo de finura de un agregado fino es un parámetro muy significativo en la dosificación de una mezcla de concreto y se obtiene de acuerdo a la norma del ensaye granulométrico en el cual se hace una suma del porcentaje acumulado de las mallas utilizadas hasta la número 100 y este resultado se divide entre 100 unidades obteniendo de esta manera el modulo de finura de la arena que es un indicador para clasificar nuestras arenas en muy finas, finas y gruesas.

M.F.= Σ % acumulados hasta la malla #100/100

Clasificación:

M.F. { 0-1.5-Arena muy fina.
1.5-2.5-Arena fina.
2.5-3.5-Arena gruesa

Resistencia:

Los agregados pétreos que se utilizan para producir concreto hidráulico de peso normal pueden presentar resistencia a la compresión que representa un índice de calidad. También los agregados de acuerdo a su composición mineralógica pueden ser resistentes al fuego, ácidos u otras sustancias nocivas.

Absorción:

Las partículas de los agregados pueden absorber agua por sus poros, a esto se le llama absorción. Una piedra dura y densa como por ejemplo el granito, puede tener una absorción de 0.2 por ciento, mientras que la absorción de una pizarra o pedernal poroso puede ser hasta de 2 ó 3 por ciento.

Normalmente la absorción de la arena no se debe exceder de 1.5 por ciento, y del agregado grueso no debe exceder del 3%, una absorción elevada indica que el agregado es poroso, de bajo peso específico y que posiblemente, si se usa, produzca un concreto de baja durabilidad con descascaramiento o reventones y tenga un posible índice de contracción y alta absorción debe ser objeto de mayores investigadores mediante pruebas de durabilidad o de abrasión, dependiendo de la exposición esperada debiendo así mismo estudiarse su registro de servicio para hacer el proporcionamiento y para llevar el control de las mezclas debe conocerse el dato de la absorción.

Contenido de agua:

Para el contenido de agua se presentan las siguientes condiciones:

- 1.-Secado del horno, que no contenga nada, de humedad.
- 2.-Secado al aire, que contenga menos humedad que la que el agregado sea capaz de absorber.

3.-Saturado, pero con su superficie seca, que contenga solamente la humedad absorbida, no más ni menos. Esta condición raramente llega a encontrarse salvo bajo condiciones de laboratorio.

4.-Húmedo o mojado, que contenga humedad libre en la superficie además de la absorbida.

Para hacer el proporcionamiento de la mezcla, y para control del campo, es absolutamente indispensable hacer la evaluación del contenido de humedad de los agregados.

La arena casi siempre se encuentra dentro de la condición 4 en el momento de hacerse la revoltura, para el agregado grueso por lo general se encuentra en la condición 2 ó 4. Raramente se halla dentro de la condición 1(excepto en situaciones raras y temporales), y nunca en la condición 3.

Tamaño Máximo del agregado Grueso:

Está bien establecido que el costo de un concreto resulta directamente influenciado por el tamaño máximo del agregado que se use, puesto que a mayor tamaño menor contenido de cemento. Como se observa en la tabla (F); Considerando lo anterior, es conveniente definir este aspecto, que permite obtener el concreto de la cantidad deseada con el costo mínimo. En consecuencia, lo que define el tamaño máximo del agregado esta en relación al tipo de la forma, amplitud de la misma, facilidad de manejo del concreto dentro de ella y especialmente del acero de refuerzo.

Dimensión mínima de la sección en metros.	Tamaño máximo del agregado en pulgadas			
	Columnas, traveses y muros reforzados	Muros sin refuerzo	losas muy reforzadas	losas ligeramente reforzadas
0.005 a 0.15	1/2 a 3/4	3/4	3/4 a 1	3/4 a 1 1/2
0.15 a 0.30	3/4 a 1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2 a 3
0.30 a 0.75	1 1/2 a 3	3	1 1/2 a 3	3
0.76 o mas	1 1/2 a 3	6	1 1/2 a 3	3 a 6

En la **tabla (F)**: Se muestran los tamaños máximos de agregados para distintos tipos de construcción.

Granulometría:

La importancia de la granulometría de los agregados radica ya que en estos dependerán de las propiedades de los diferentes tipos de concretos, mayor estabilidad volumétrica, resistencia, y por esto conviene que los agregados ocupen la mayor masa del concreto, compatible con la trabajabilidad para la construcción de visas terrestres, la

norma ASTM-D-448 en lista los ofrece números de la ASTM (33), mas otros seis números de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solo tiene un rango de tamaños de partícula.

La granulometría es la distribución de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM-C-136).El tamaño de la partícula del agregado se determina por medio de tamices de mallas de alambre con aberturas cuadradas.

Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tienen aberturas que varían desde la malla #100(150 Micras) hasta 9.52 mm. Los trece tamices estándar para agregado grueso enlistados en la tabla F que varían desde 1.18 mm. Hasta 102 mm.

En la norma ASTM E 11 se enlistan las tolerancias para los tamaños (tamaños de granulometría) para el agregado grueso se aplican las cantidades de agregado (en peso) en porcentajes que pasa a través de un arreglo de mallas para construcción de vías terrestres.

Las arena o agregado fino solo tiene un rango de tamaños de partículas. La granulometría y los limites de granulometría se expresan usualmente como el porcentaje de material que pasa cada malla en la tabla (G) muestra los limites para agregado fino y un tamaño de agregado grueso.

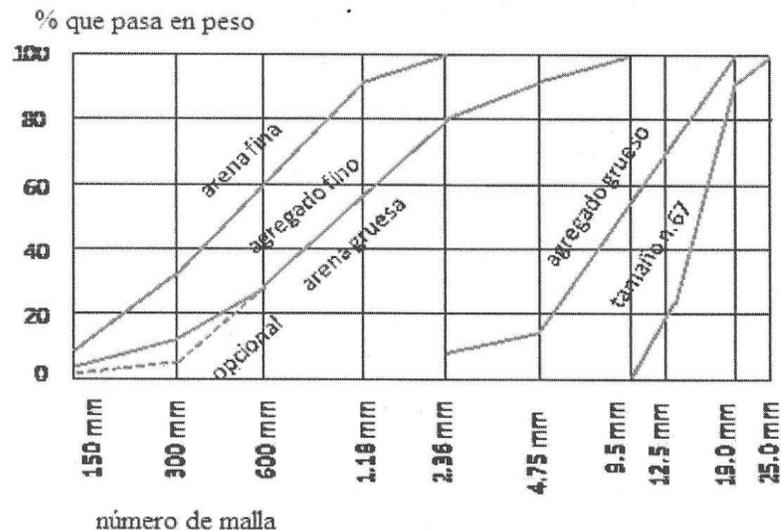


Tabla (G): Las curvas muestran los límites para los agregados fino y grueso según la norma ASTM C 33.

Existen varias razones por las que se especifican los límites de la granulometría y el tamaño máximo del agregado las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto, las variaciones de la granulometría pueden afectar seriamente a la uniformidad del concreto de una revoltura a otra.

Las arenas muy finas a menudo resultan muy antieconómicas, las arenas muy gruesas y el agregado grueso pueden producir mezclas rígidas y no trabajables. En general aquellos agregados que no tienen una gran eficiencia o excesos de cualquier tamaño y tiene una curva granulométrica suave producirán resultados más satisfactorios.

Granulometría del agregado fino:

Los requisitos de la norma ASTM C 33 se describe en la tabla (H), permite un rango cualitativamente amplio en la granulometría del agregado fino , pero las especificaciones de otras organizaciones son a veces mas limitantes por lo que la granulometría mas conveniente del agregado fino depende del tipo de trabajo de la riqueza de la mezcla y el tamaño máximo del agregado grueso en general si la relación agua- cemento, se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente se puede hacer uso de un amplio rango en granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia.

Tamaño de malla	Porcentaje que pasa en peso
9.52 mm(3/8")	100
4.75 mm(N.4)	95 a 100
2.36 mm(N.18)	80 a 100
1.18 mm(N.16)	50 a 85
0.6 mm(N.30)	25 a 60
0.3 mm(N.50)	10 a 30
0.15 mm(N.100)	2 a 10

Tabla (H). Límites de granulometría según la Norma ASTM C 33 con respecto al tamaño de sus cribas.

Granulometría del agregado grueso:

Los requisitos de la norma ASTM C 33 para granulometría de agregados gruesos permiten un rango de granulometrías y diversidad de tamaños de granulometría para un agregado grueso con tamaño máximo puede variar dentro de un rango moderado sin

que se produzca un efecto apreciable con respecto a la demanda de cemento y agua si la proporción de agregado fino a agregado total produce un concreto de la buena trabajabilidad.

Debido a la costumbre, a veces hay confusión sobre lo que quiere decir el tamaño máximo del agregado, el tamaño máximo de un agregado es el menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor cantidad del agregado la malla de un tamaño máximo nominal puede retener de 5% al 15% del agregado dependiendo el número del tamaño. Por lo que generalmente el tamaño máximo del agregado que puede ser empleado depende relativamente del tamaño la forma del elemento de concreto y de la cantidad y distribución del acero de refuerzo. Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe sobre pasar.

- 1.-Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro del concreto.
- 2.-Tres cuarto del espacio libre entre barras de refuerzo.
- 3.-Un tercio del peralte de las losas.

Peso específico o densidad:

Se define como peso específico de la arena o de la grava a la relación que existe entre el peso y el volumen de dicho material y son valores que tiene mucha importancia en los diseños de mezclas y que están normalizados para el agregado fino y el agregado grueso que se utilizan para elaborar concreto hidráulico dichos valores pueden variar de 2.4 a 2.9 gr/cm³.

Porcentaje de humedad y absorción superficial:

En los agregados son de mucha importancia en la dosificación de un concreto ya que por lo general nuestros pueden estar húmedos o saturados de agua en relación al banco de material, silos de almacenamiento o cualquier otra condición. También estos parámetros en el caso de la absorción en un buen agregado puede fluctuar de 0 a 4% en el caso de la humedad superficial puede variar de 0% a 6%.

Forma de la partícula:

Los agregados tienen la forma redonda, subangular o angular, variando desde grava de río o redondeada hasta angulosa como la piedra triturada.

A veces se les encuentra en forma delgada y alargada, o plana y viscosa. La influencia principal de la forma de la partícula en el concreto fresco, se manifiesta en su manejabilidad. Los agregados angulares producen un concreto ligeramente más

resistente a la flexión que los redondeados, pero el concreto es áspero, y a veces requiere de más arena, cemento y agua para su trabajabilidad.

La forma de la partícula tiene un pequeño efecto sobre la resistencia a la compresión del concreto. Las piezas planas y alargadas dan lugar a una manejabilidad defectuosa requiriendo de más cemento y agua para hacer concreto trabajable; a pesar de este inconveniente producen finalmente un buen material.

Generalmente los agregados gruesos, triturados o no, dan más o menos una misma resistencia para un mismo contenido de cemento.

Textura:

Algunas partículas de agregados, generalmente fragmentados de ciertos materiales particulares, tienen superficies planas o vítreas mientras que otras son ásperas y de grano grueso. No debe confundirse la textura con la forma de la partícula, ya que las mismas partículas bien redondeadas pueden tener una textura áspera.

La aspereza es un factor deseable ya que proporciona una mayor adherencia con la pasta de cemento, produciendo en esta forma un concreto de mejor resistencia, comparada con la que se logra con agregados de superficie lisa.

Relación Grava – Arena:

Esta propiedad física es de mucha importancia para los diseños y dosificaciones de mezclas de concreto. La relación Grava – arena es una relación entre el agregado grueso y fino que tiene como propósito optimizar la cantidad de grava y arena que debe estar presente en una unidad de concreto y se obtienen mediante ensayos del laboratorio en el cual se parte de un peso conocido de grava y se le va adicionando porcentajes de arena con el propósito de que tanto la grava como la arena se vayan estructurando y acomodando de acuerdo al tamaño y forma de sus partículas con el propósito de darle peso y volumen a la unidad de concreto.

Por otro lado también de acuerdo a estos ensayos se va obteniendo diversos pesos volumétricos hasta llegar a un peso volumétrico variado óptimo; este parámetro es un indicador de la calidad granulométrica de la grava y arena y a la vez es un parámetro para determinar exactamente las cantidades netas que deben obtenerse en la unidad de concreto como se describe en el capítulo 5, en el ejemplo aplicado del método de diseño por P.C.A.

Resistencia al desgaste y derrapamiento del agregado:

Esta resistencia con frecuencia debe verificarse en los agregados ya que es importante cuando estos se van a utilizar en estructuras de concreto que están sujetas a la abrasión y desgaste como es el caso de los pisos industriales pavimento y aeropistas en ciertos puertos .Entonces para comprobar esta propiedad se toma una muestra de agregado grueso y se deposita en una maquina que en su interior contiene esferas de acero y que recibe el nombre de máquina de los ángeles.

La muestra de agregado e depositada en el interior de la maquina y de acuerdo a la normatividad se sujeta a 500 ciclos o revoluciones por minuto. Después se extrae el material pulverizado y se pesa y si hay una pérdida de peso significativo quiere decir que nuestros agregados no son aptos para elaborar un concreto de alto desempeño.

3

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO

3.1 Concreto Fresco:

Definición:

Se denomina concreto fresco al producto que se obtiene de la mezcla de los materiales constituyentes del concreto. Este concreto es plástico no tiene forma fija y cambia de forma fácilmente. Se puede manipular y darle forma por medio de moldes.

Consistencia, cohesividad y plasticidad son algunos de los términos que se utilizan para descubrir la apariencia o el comportamiento de un concreto fresco.

3.2 Propiedades Físicas:

Consistencia:

Es una medida de fluidez o humedad del concreto y se mide mediante la prueba de revenimiento, la cual consiste en colocar el concreto en un cono de lamina metálica al levantar el cono el concreto se asienta, o se reviene. El abatimiento medio en centímetros, es el revenimiento del concreto; una mezcla húmeda o suave se reviene más que una seca o densa. Un concreto de “Gran revenimiento” es un concreto fluido, o húmedo.

Cuando se habla de trabajabilidad no necesariamente o exclusivamente se refiere a la consistencia del concreto. Para un mismo revenimiento bajo condiciones idénticas, un concreto puede resultar más trabajable que otro debido a diferencias en la cohesividad y plasticidad. La consistencia se refiere a la fluidez de la mezcla. Un concreto puede hacerse más fluido, o más “húmedo”, simplemente agregándole agua a la revoltura, pero esto redundara en una menor calidad del concreto.

Revenimiento:

El revenimiento o la consistencia se incrementara cuando se agrega agua; en promedio, el revenimiento aumenta 2.54 cm cuando se agrega un 3% del agua contenida en una revoltura. No obstante la trabajabilidad alcanza un punto máximo; en mezclas con revenimiento bajo, y revenimiento alto la trabajabilidad será menor en aquellas de consistencia media.

El revemiento resulta afectado por la temperatura del concreto, disminuyendo entre 3.05 y 8.64cm por cada 5.56 de aumento en la temperatura .Durante el curso de un día de trabajo al finalizar la tarde, el concreto puede tener un revenimiento menor que el vaciado durante las primeras horas de la mañana, no obstante que las demás condiciones sean las mismas.

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO

Uniformidad:

Es una propiedad que indica que un concreto hidráulico en estado fresco (Estado líquido) que se define como una mezcla homogénea, de consistencia óptima en donde cada componente guarda una proporcionalidad óptima.

Cohesividad:

Es el elemento de la trabajabilidad que indica si el concreto es áspero, pegajoso o plástico. Una mezcla óptima, y plástica, no es áspera, pegajoso o plástico. Una mezcla óptima, y plástica, no es áspera ni pegajosa. No se segrega fácilmente.

La cohesividad no es una función del revenimiento, ya que un concreto muy húmedo (con alto revenimiento) carece de plasticidad. Por otra parte una mezcla con bajo revenimiento resultante de contener demasiada agua en la mezcla son un bajo contenido de cemento, en mezclas pobres, presencia de arena gruesa, mezcla deficiente de finos, agregados ásperos y angulosos, o agregados conteniendo un exceso de partículas alargadas o planas.

Con frecuencia la aspereza de una mezcla puede reducirse mediante la inclusión de aire agregándole cemento, arena fina, o finos inertes. Debe hacerse el ajuste adecuado en las porciones de la mezcla para compensarla por el aire o cualquier otro material que haya sido agregado al concreto.

Por lo general se utilizan mezclas ásperas, con bajo revenimiento, en los pavimentos, en el concreto masivo y en el concreto precolado. Este concreto requiere de mayor vibración para que se compacte convenientemente, en los pavimentos, en el concreto masivo y en el concreto precolado. Este concreto requiere de mayor vibración para que se compacte convenientemente. Se obtiene así un mejor concreto, con menor tendencia a agrietarse por contracción.

Manejabilidad:

La manejabilidad de un concreto fresco es el proceso mediante el cual se lleva a cabo, una óptima dosificación, transporte y colocación en los moldes de las cimbras donde se va a depositar dicho material.

Trabajabilidad:

Ya definido lo que es el concreto fresco, mismo que muestra una condición transitoria de plasticidad que permite que el concreto pueda ser moldeado y se le pueda dar una configuración definitiva. Se dice que el concreto es trabajable cuando puede moldearse

con un mínimo de esfuerzo y pérdida de homogeneidad y uniformidad.

Probablemente la trabajabilidad sea la propiedad más importante de un concreto fresco. Es un término relativo, ya que cualquier concreto puede considerarse trabajable bajo ciertas condiciones de utilización y no trabajable bajo otras. Por ejemplo, un concreto para el pavimento grueso de una aeropista no sería conveniente para una viga delgada precolada con mucho acero de refuerzo; esto explica porque a veces es un tema subjetivo, que determinado significado tiene para algunas personas y este resulta enteramente diferente para otras.

La trabajabilidad del concreto depende de las propiedades y de las cantidades relativas de los materiales que lo integran; o sea, que las cantidades y características del agregado fino, del agregado grueso, del cemento, del agua y del aditivo.

Por otra parte, el tipo del elemento estructural en el cual se vacía el concreto determina el grado de trabajabilidad requerido. Como ya se indico antes, los pavimentos y estructuras masivas de gran sección transversal permiten el uso de mezclas relativamente gruesas y secas, mientras que las secciones pequeñas con bastante acero de refuerzo, requieren de mezclas con un alto grado de trabajabilidad. Dicho de otra forma la trabajabilidad de que se disponga dependerá de los materiales con que se cuente y de la forma como se combinen, mientras que la trabajabilidad requerida dependerá del tipo de estructura y de las condiciones del colado.

El costo del colado del concreto se verá afectado por la trabajabilidad de este, ya que un concreto no trabajable, además de requerir de mayor mano de obra y esfuerzo para vaciarlo, puede tener mas oquedades y veteados de arena, especialmente cuando el colado se efectúa en formas pequeñas y congestionadas.

Existe un concepto erróneo, pero muy socorrido, según el cual la compactación o consolidación del concreto en los moldes puede ejecutarse con un esfuerzo mínimo si el concreto es fluido, o lo suficientemente liquido, como para que fluya dentro de los moldes. Ciertamente es que dicho concreto fluirá y se acomodará, pero ello no significa que sea un concreto trabajable. Será un concreto que presente una segregación perjudicial, asentándose el agregado grueso y separándose del mortero, y el exceso de agua ascenderá hacia la superficie. Desafortunadamente los defectos de esta trabajabilidad aparecen hasta después de varios días o meses, en forma de grietas, con baja resistencia y en general de una calidad inferior.

Un concreto óptimo trabajable requiere de cierto esfuerzo y trabajo al momento de su colocación. La condición óptima para un uso estructural normal es un revenimiento medio y una buena compactación por medio de vibradores. Un buen concreto que este muy seco sea, que tenga un revenimiento bajo al entenderse puede resultar dañado por

el uso de procedimientos de vibrado inadecuados. Hasta un concreto bueno y trabajable, es posible que no satisfaga las necesidades de la estructura, si no se le compacta adecuadamente, de preferencia vibrándolo.

Sangrado:

Después de que el concreto ha sido enrasado, el exceso de agua que contienen sube hasta la superficie superior del mismo. Esto se nota especialmente en las losas planas. A este movimiento del agua hacia la superficie se llama sangrado, o exceso de agua y generalmente es acompañado por un ligero asentamiento de las partículas sólidas (cemento y agregado) en la mezcla.

El sangrado continúa hasta que el cemento empieza fraguar, formándose puentes entre las partículas de agregado o hasta que los sólidos alcanzan su máxima compactación. Las proporciones de la mezcla, la granulometría de la arena, la forma de las partículas de esta, la cantidad de finos en la mezcla, la finura del cemento, el contenido de agua del concreto, los aditivos, el contenido de aire del concreto, la temperatura, el espesor o peralte de la losa, serán los factores que influyan sobre la rapidez y el volumen total de sangrado que se presente.

El sangrado también se ve influenciado por la absorción de la subrasante o de la base sobre la cual se detiene el concreto. Una base arenosa absorberá parte de agua en el concreto, reduciéndose así el sangrado.

Por otra parte, una losa colada sobre una base no absorbente sangrará más debido a que toda el agua libre se elevará hacia la superficie. Entre los efectos perjudiciales del sangrado excesivo se incluyen: demoras en el acabado, formación de una superficie débil y no durable cuando se le da el acabado al concreto habiendo agua presente, formación de lechada, asentamiento de partículas de agregado lejos de la parte inferior de las varillas horizontales de refuerzo o partículas de agregado grande, llenándose con agua los vacíos así formados y causando una pérdida de adherencia con el acero o agregado, incrementándose además la porosidad del concreto debido a los canales de agua formados.

Existen diversos procedimientos que resultan más o menos efectivos para reducir un sangrado excesivo. Un inyección de aire lo reduce en gran parte, a veces hasta el grado de que el agua se evapore tan pronto como llega a la superficie. Una arena bien graduada produce un concreto con bajo índice de sangrado.

Si es necesario utilizar una arena gruesa, resulta benéfico combinarla con una arena fina, mezclándola con la arena normal en la planta de procesamiento del agregado o resolviéndola por separado dentro del concreto. Otras medidas que pueden resultar ventajosas son por ejemplo la reducción del revenimiento disminuyendo el volumen de

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO

agua en la mezcla; hacer la mezcla mas rica aumentando la proporción del cemento; utilizar un cemento más fino, o agregar una pequeña cantidad de finos inertes o puzolana al concreto.

Si se hacen cambios en las proporciones de la revoltura, la mezcla debe ajustarse de modo que se compensen los cambios a fin de que se conserven la resistencia y plasticidad correctas. Los cambios deben hacerse solamente bajo la autorización responsable. Una vez colado el concreto, poco se puede hacer si hay sangrado excesivo como sea esperar hasta que el agua desaparezca. La eliminación de esta puede hacerse más rápidamente drenándola mediante una manguera que la conduzca fuera de la orilla de la losa.

Segregación:

El concreto es una mezcla heterogénea de diversos materiales con propiedades muy diferentes cada uno de ellos. Las dimensiones de las partículas varían desde las del cemento, con apenas unas cuantas micras de diámetro, hasta las del agregado grueso que puede medir hasta 15.2cm; el peso específico puede ser menor de dos, hasta mayor de tres; las formas de los agregados y la absorción de los mismos puede variar considerablemente.

Debido a estas propiedades tan distintas de los diversos materiales, existen fuerzas que intentan producir una separación entre ellos. A esta separación se le llama segregación, y generalmente manifiesta por la separación del agregado grueso y el mortero. Los resultados de la segregación en el concreto endureciendo son oquedades (panales) veteados arenosos, capas porosas y fallas de liga en las juntas de construcción.

Ciertas mezclas tienen una marcada tendencia a segregarse. Estas son mezclas gruesas, generalmente las que tienen mucha humedad, en ocasiones las muy secas, o aquellas que tienen poco arena. Una mezcla cohesiva bien proporcionada, con un revenimiento de 2.5 a 10.2cm, resiste la segregación, pero cualquier concreto se agregara si se le maneja en forma inadecuada utilizando un equipo mal diseñado o si se utilizan procedimientos inapropiados.

Una vez que haya ocurrido la segregación en un concreto, no será factible corregirlo por más que lo manipule. La segregación debe contarse desde el principio y durante todo el transcurso de las operaciones de mezclado, transporte y colado.

Contracción y Contracción Plástica:

El concreto, los mismo que los materiales, está expuesto a cambios volumétricos y las propiedades térmicas del concreto tienen mucha importancia, por más que exista la tendencia a considerarlos a veces dentro de la competencia del proyectista. No obstante, no pueden pararse por alto en el campo. La dilatación y la contracción son importantes el grado de que puedan afectar la estabilidad dimensional y la formación de grietas; un escurrimiento plástico puede provocar un cambio indeseable en la distribución de esfuerzos en la estructura; y las propiedades térmicas afectan la durabilidad ya que influyen sobre la dilatación y contracción durante los cambios de temperatura.

Contracción:

Al considerar la contracción del concreto, se tienen en cuenta dos posibles formas de contracción: Una ocurre mientras el concreto aun se encuentra en estado plástico, y la otra más tarde, después de que el concreto se ha endurecido y empieza a secarse.

La causa básica de ambas es la misma: pérdida de agua en el concreto. Si fuera posible imitar el volumen de agua de un concreto y controlar la rapidez con que se pierde dicha agua, se dará un gran paso en la reducción de la contracción y su consecuente agrietamiento. Desde luego que existen otros factores que considerar y los que a continuación se mencionan influyen en la magnitud de la contracción se mencionan influyen en la magnitud de la contracción:

- Volumen total de agua en el concreto.
- Relación agua-cemento.
- Calidad del curado.
- Condición de la subrasante y de los moldes.
- Características de los agregados.
- Granulometría de los agregados.
- Composición del cemento.
- Tamaño y forma del elemento constructivo.
- Presencia o ausencia de aditivos.
- Métodos utilizados en el manejo y colado del concreto.

Condiciones climatológicas.

Una contracción aparente puede ser la disminución de volumen ocasionada por la pérdida de aire incluido. Normalmente el concreto pierde aproximadamente el 1% de su volumen fresco debido a una contracción normal, y otro por ciento puede corresponder a la pérdida de aire incluido, como resultado de las prácticas que se sigan para su manejo y colocación.

Las propiedades del cemento pueden ser algún efecto sobre la magnitud de la

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO

contracción aun mas cuando dichos efectos no son muy importantes comparados con los concernientes a las condiciones de la obra.

Por lo general un cemento finamente molido produce un gel con mayor tendencia a la contracción que otro cemento grueso, y un cemento rico en aluminato tricálcico tiende a producir una contracción mayor, especialmente si no se considera un aumento simultáneo en el contenido de yeso.

Un cemento con elevada pérdida por ignición probablemente tenga una contracción alta. Estas y otras propiedades del cemento están sujetas a control exclusivamente en planta, y el práctico en el campo se ve obligado a controlar la contracción mediante operaciones reguladoras en la obra. La cantidad de cemento que entre en la mezcla tiene un efecto mínimo en la contracción.

Un requisito esencial para reducir al mínimo la contracción es que la relación agua-cemento y el volumen total de agua por metro cúbico, se mantenga lo más bajo que sea posible. Deberá evitarse el uso de mezclas de elevado revenimiento, que probablemente sean la causa más común de una contracción anormal.

En ocasiones resulta aconsejable usar un aditivo retardador del cemento reductor del agua. La acción de este aditivo no solamente reduce el volumen total de agua por metro cúbico para una manejabilidad igual, sino también demora la hidratación del cemento, prolongando el periodo de plasticidad, de manera que el concreto se ajuste mejor a los prematuros cambios volumétricos. Sin embargo, el uso de un reductor de agua que contenga un acelerador para contrarrestar la acción retardante puede producir una contracción mayor en vez de una menor.

Es posible que la adecuada selección de los materiales reduzca la contracción potencial hasta la mitad de la que resultaría usando materiales inductores de contracción. Deberían usarse agregados bien graduados del tamaño más grande que sea práctico según las dimensiones y diseño del elemento estructural que se esté colando, conteniendo una cantidad adecuada de finos. Hay que usar la máxima cantidad de agregado en el concreto, compatible con los requisitos de trabajabilidad y resistencia mas o menos entre el 15% y 8% de la arena deben pasar por la malla No. 100, y entre el 15 % y 30% la malla No.50.

La arena no deberá contener más del 5% de arcilla. No deberán usarse agregados altamente absorbentes como piedra caliza, pizarra y calcedonia porosa. El aire incluido aumenta la contracción por secado, pero considerándose que la inclusión de aire permite el uso de menor volumen de agua en la mezcla, el efecto neto sobre la contracción es insignificante.

Obviamente el factor que más se presta para control en la obra es el volumen de agua que se introduce en la mezcladora. De aquí la importancia de colocar concreto con el revenimiento mínimo posible. Un revenimiento de 10cm, es adecuado para colar cualquier losa, sin importar que sea una calzada para vehículos, de piso o inclinada..Los muros angostos, vigas y otros elementos estructurales semejantes, requieren un revenimiento un poco mayor .Un concreto de resistencia adecuada requiere del uso de vibradores para su compactación en los moldes.

3.3 Concreto endurecido:

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

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

El conocimiento de la cantidad de calor liberado a medida que el cemento se hidrata puede ser útil para planear la construcción en invierno, el calor de hidratación ayuda a proteger al concreto contra el daño provocado por las temperaturas de congelación. Sin embargo, el calor puede ser nocivo en estructuras masivas, tales como presas, porque puede producir esfuerzos indeseables al enfriarse luego de endurecer.

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

El conocimiento de la velocidad de secado es útil para comprender las propiedades o la condición física del concreto. Por ejemplo, tal como se menciona, el concreto debe seguir reteniendo suficiente humedad durante todo el periodo de curado para que el cemento pueda hidratarse.

El concreto recién colado tiene agua abundante, pero a medida que el secado

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO

progresivo desde la superficie hacia el interior, el aumento de resistencia continuara a cada profundidad únicamente mientras la humedad relativa en ese punto se mantenga por encima del 80%.

3.4 Propiedades mecánicas:

Estas propiedades son muy significativas para un concreto que finalmente ha alcanzado su fraguado final de una manera óptima gracias a las técnicas de curado. Estas propiedades son:

- Baja permeabilidad.
- Resistencia a la compresión simple.
- Conductibilidad térmica.
- Durabilidad

Resistencia a la compresión ($f'c$):

La resistencia del concreto a compresión es una propiedad física fundamental y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puentes, de edificios y otras estructuras. El concreto de uso más generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 210 Kg/cm² y 350 Kg/cm². Un concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de cuando menos 420 Kg/cm². Resistencias de 1400Kg/cm² se han llegado a utilizar en aplicaciones de construcción.

La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como un índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre en ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamado modulo de ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión $((f'c)^{(1/2)})$

El valor de la resistencia a la tensión del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada e la resistencia a la compresión.

La resistencia a la torsión para el concreto esta relacionada con el modulo de ruptura y con las dimensiones del elemento de concreto.

La resistencia al cortante del concreto puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia a la compresión. La correlación existente entre la resistencia a compresión y resistencia a flexión, tensión, torsión y cortante, varía de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre.

El modulo de elasticidad, denotado por medio del símbolo E, se puede definir como la relación de esfuerzo normal a la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión o compresión por de bajo de limite de proporcionalidad de un material.

Para concretos de peso normal, E fluctúa entre 140,600 y 422000 Kg/cm², y se puede aproximar como 15,100 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación agua-cemento y la edad, o el grado que haya progresado la hidratación.

Para una trabajabilidad y una cantidad de cemento dado, el concreto con aire incluido necesita menos agua de mezclado que el concreto sin aire incluido.

La menor relación agua- cemento que es posible lograr en un concreto con aire incluido tiende a compensar las resistencias mínimas inferiores del concreto con aire incluido, particularmente en mezclas con contenidos de cemento pobres e intermedios.

Durabilidad:

Es una propiedad que indica que un concreto pueda durar muchos años de acuerdo a su calidad y diseño, donde dicha durabilidad depende de condiciones físicas, mecánicas, biológicas y químicas.

Conductibilidad térmica:

Esta propiedad se refiere cuando el concreto se encuentra operando en temperaturas extremas ya sea congelante o caliente, entonces nuestro concreto procede a regular la temperatura ambiente de la forma que controla la contracción o la expansión de su masa.

Permeabilidad:

Esta propiedad del concreto hidráulico consiste en dejar o no dejar pasar el agua que se encuentra en la parte de la superficie. De ahí que de acuerdo a la calidad de este material debe ser de baja permeabilidad y este se puede lograr mediante la optimización de la relación Grava –Arena, agua – cemento y aditivos, para evitar la formación de poros de aire, micro poros y poros capilares.

4

DISEÑO DE UNA MEZCLA DE UN CONCRETO DE ALTA COMPORTAMIENTO OPTIMIZANDO LA RELACIÓN GRAVA –ARENA Y AGUA CEMENTO

4.1 Definición de diseño de mezclas.

Un diseño de mezclas es un procedimiento técnico que el experto en un concreto hidráulico realiza con el fin de optimizar los materiales para producir un concreto que como mínimo debe tener trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

4.2 Métodos de diseño.

Existen muchos métodos para producir concreto hidráulico, como por ejemplo los métodos empíricos que se consisten en llevar a cabo una dosificación por medio de recipientes en el cual el volumen del cemento que se encuentra en el recipiente (botes), está relacionada con la plasticidad de la mezcla.

Otros métodos semi-empíricos pueden ser por medio de dosificadores que consiste en tablas estandarizadas que los proveedores de cemento Pórtland proporcionan a los constructores. También existen métodos prácticos como el de densidades o de campo donde la dosificación está en función de los pesos específicos de los componentes del concreto y finalmente disponemos de los métodos del Instituto del Cemento Americano (A.C.I.) y el de la Asociación del Cemento Pórtland (P.C.A.). Que son métodos muy confiables en cuanto a la optimización de los ingredientes o materiales que ocupan un peso o volumen en una unidad del concreto ya que las propiedades físicas de los agregados como las del cemento y el agua influyen de forma importante en la optimización de la producción de este material ya que la diversidad de agregados en las regiones geográficas del país son variables así como también las del cemento y el agua.

De ahí que estos métodos se sustenten en muchos ensayos del laboratorio y complementados con la industria química de los aditivos sean muy aptos en la fabricación de concreto hidráulico de alto desempeño.

4.3 Características del Método A.C.I y P.C.A.:

A.C.I. (Instituto Americano del Concreto):

La finalidad de diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales, con los que dispone, para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de uso.

Por lograr tal objetivo, una mezcla de concreto bien proporcionada deberá poseer las siguientes características:

1. En el concreto fresco, la trabajabilidad sea aceptable.
2. En el concreto endurecido, durabilidad y resistencia sean óptimas.
3. Economía de bajo costo.

La compresión de los principios básicos del diseño de mezclas es tan importante como la realización de cálculos mismos.

Solamente con una selección adecuada de los materiales y de las características de la mezcla así como un proporcionamiento adecuado se pueden obtener las propiedades anteriores al producir un concreto.

Elección de las características de una mezcla:

Antes de efectuar el proporcionamiento de una mezcla, se seleccionan sus características en base al uso que se dispone a darle al concreto, a las condiciones de exposición, al tamaño y forma de los miembros, y las propiedades físicas del concreto (tales como las resistencias), que se requieran para la estructura.

Una vez que estas características se han elegido, la mezcla se puede proporcionar a partir de datos de campo o de laboratorio, como la mayor parte de las propiedades que se busca obtener en el concreto endurecido, depende fundamentalmente de la calidad del cemento.

Relación Agua - cemento:

El primer paso para proporcionar una mezcla de concreto es la selección de una relación agua- cemento acorde con la durabilidad y la resistencia querida.

Las mezclas de concreto deberán mantenerse lo más sencillas posibles, pues un número excesivo de ingredientes, a menudo provocan que la mezcla de concreto sea difícil de controlar. La relación agua cemento es sencillamente el peso del agua dividido entre el peso del cemento. La relación agua – cemento que elija para el diseño de mezclas debe ser valor menor requerido para cubrir las consideraciones de exposición de diseño.

Resistencia:

La resistencia a la compresión especificada por las siglas ($f'c$) a los 28 días, para una clase individual de concreto, es la resistencia que espera sea igualada o sobrepasada por el promedio de cualquier conjunto de tres ensayos de resistencia consecutivos, sin que ningún ensayo individual (Promedio de los cilindros) quede debajo de más de 25 Kg/cm² de la resistencia especificada, cuando los especímenes hayan sido curado en condiciones de laboratorio.

Agregados:

Existen características importantes en los agregados que tiene una importante influencia sobre el proporcionamiento de la mezcla de concreto.

*Granulometría (Tamaño de partícula y distribución).

*Naturaleza de la partícula (Forma, porosidad, textura, superficial).

Aire incluido:

El aire incluido debe ser usado en todo concreto que este expuesto a congelación y deshielo y a productos químicos descongelantes y puede emplearse para mejorar la trabajabilidad en donde no se quiera, siempre y cuando que este sea implementado bajo una selecta supervisión por parte del personal que elabora la dosificación que se haya recomendado.

Revenimiento:

La fluidez, la suavidad o la humedad de una mezcla de concreto esta indicada por su consistencia que se determina por la prueba de revenimiento, norma ASTM C143. El revenimiento se mide en centímetros, un revenimiento bajo indica una consistencia rígida o seca, un revenimiento alto indica una consistencia blanda o húmeda.

Contenido de agua:

El contenido de agua del concreto puede ser alterado por un gran número de factores, tamaño y forma de los agregados, relación agua-cemento, contenido de aire y tamaño del agregado, una reducción en la relación agua cemento y en el revenimiento. Los agregados redondeados y el uso de un aditivo reductor de agua, disminuyen la demanda de agua por otra parte los aumentos de temperatura, en los contenidos de cemento, de revenimiento, en la relación agua-cemento, de la angularidad de los agregados, así como la disminución en la proporción del agregado grueso a fino elevan la demanda de agua.

Contenido de cemento y tipo de cemento:

El contenido de cemento se determina usualmente a partir de la relación. Agua cemento y del contenido de agua elegida, aunque frecuentemente se incluye en las especificaciones un contenido mínimo de cemento además de una relación agua cemento máxima. Los requisitos mínimos de un cemento sirven para asegurar una durabilidad y acabados satisfactorios, una mayor resistencia al desgaste en las losas y una apariencia apropiada de las superficies verticales, esto es importante a pesar de los requisitos de resistencia se satisfaga con menores contenidos del cemento.

Metodología para diseñar por el A.C.I.:

Para efectuar el proporcionamiento de una mezcla se deben seleccionar las características del concreto a diseñar dependiendo del uso que se le vaya a dar.

En este método de proporcionamiento de mezclas, la estimación de los materiales requeridos para dicho proporcionamiento comprende una sección de pasos directos y lógicos en donde se involucran las características de los materiales disponibles en una mezcla apropiada para la obra. Otro tiempo también es considerado en el proporcionamiento es la adaptabilidad con respecto a la sección individual de las proporciones.

Para el proporcionamiento sin considerar que las características del cemento estén preescritas en las especificaciones, para un metro cúbico de concreto, se efectúan los siguientes pasos:

Paso 1 Selección del revenimiento:

En el caso de que para el diseño de mezclas no se cuente con el revenimiento, de la tabla (I), se puede escoger un valor apropiado para la obra. Estos valores de revenimiento se utilizan cuando la vibración se utiliza en la consolidación del concreto. Utilizándose mezclas de consistencia rígida de colocación eficiente.

Tipos de construcción	Revenimiento,(cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y cimientos reforzados	13	5
Cimientos sin refuerzo, cajones y muros de sobre estructuras	10	2.5
Losas, vigas y muros reforzados	15	7.6
Columnas de edificios	15	7.6
Pavimentos	7.6	5
Construcciones pesadas en gran grava	7.6	2.5

Tabla (I): Revenimiento recomendados para diferentes tipos de construcción. Se utilizara cuando el diseño no cuente con especificaciones en cuanto a revenimiento.

Paso 2 Selección del tamaño del agregado:

Con respecto a este paso se toma en cuenta que los agregados bien graduados con el tamaño máximo mayor tienen menos vacíos que los agregados con tamaño máximo menor, en la Tabla (J). Se encuentra el tamaño máximo del agregado dependiendo del tipo de estructura.

Esto origina que los concretos elaborados con agregado de tamaño máximo mayor, requieran menor cantidad de mortero por unidad de volumen de concreto elaborado, en general el tamaño máximo del agregado debe ser mayor económicamente disponible y compatible con las dimensiones de la estructura.

Por ningún motivo el tamaño máximo deberá exceder a la menor dimensión entre los dos lados de la cimbra, un tercio de peralte de las losas, ni de las tres cuartas partes del espaciamiento mínimo libre entre varillas individuales de refuerzo.

Si en tal caso la trabajabilidad y los métodos de consolidación son tales que el concreto puede colocarse sin dejar zonas en forma de panal o vacíos.

Estas limitaciones se omiten en ciertas ocasiones cuando se desee un concreto de alta resistencia se pueden obtener mejores resultados reduciendo al máximo el tamaño del agregado, ya que esto genera resistencias más altas con una relación agua-cemento adecuada.

Revenimiento(cm)	Agua en Kg. Por m ³ de concreto para los tamaños máximos de agregados.						
	10 mm	13mm	20mm	25mm	40 mm	50 mm	75mm
Concreto sin aire incluido							
2.5 a 5	208	198	183	178	163	153	143
7.5 a 10	227	217	203	193	178	168	158
15 a 17.5	242	227	212	203	188	178	168
Contenido de aire %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3

Concreto con aire incluido							
2.5 a 5	183	178	163	153	143	133	124
7.5 a 10	203	193	178	168	158	148	148
15 a 17.5	212	203	188	178	168	158	148
Contenido de aire%	8	7	6	5	4.5	4	3.5

Tabla (J): Requisitos aproximados de agua de mezcla, contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de aire.

Paso 3 Estimación del agua de mezcla y el contenido de aire

En la tabla (J): Estimación del agua de la mezcla y del contenido del aire.

En la tabla (J): Se proporciona estimaciones de la cantidad de agua en la mezcla requerida para el concreto, en base al tamaño del agregado con aire o sin aire incluido. Estos valores tienen una suficiente aproximación de la cantidad de agua para una primera estimación de acuerdo con la textura y forma del agregado.

La diferencia entre el valores estimado y el valor real del agua no refleja necesariamente en la resistencia ya que pueden estar involucrados otros factores compensatorios, la forma de la partícula por si misma, no es indicio de que el agregado este por encima o por debajo del promedio adecuado para producir la resistencia requerida , en la misma tabla F. Indica la cantidad de aire aproximada atrapado que se desea encontrar en concretos sin aire incluido , y muestra los niveles recomendados de contenido promedio de aire para concreto cuando el aire se incluye a propósito para alcanzar la durabilidad.

Paso 4 Selección de la relación Agua-cemento(A/C):

La relación agua cemento requerida se determina no solo por los requisitos de resistencia sino también por factores como la durabilidad y propiedades para el acabado, puesto que distintos agregados y cementos producen generalmente resistencias diferentes son la misma relación agua-cemento, es muy conveniente conocer o desarrollar la función entre la resistencia y la relación agua-cemento de los materiales que se desearan usarse realmente, en la ausencia de estos datos se pueden tomar los valores de la **Tabla (K)**:

Que aunque aproximados , son relativamente seguros para concretos que contengan cemento portland tipo 1 la resistencia promedio seleccionada debe exceder, naturalmente a la resistencia especificada en un margen suficiente para mantener dentro de los limites determinados el numero de ensayos que resulten por debajo de lo previsto. Para condiciones severas de exposición, la relación agua cemento deberá mantenerse baja, aun cuando los requisitos de resistencia pueden cumplirse con un valor más alto la siguiente tabla K Muestra los siguientes valores.

Resistencia en Kg/Cm ²	Relación A/C(agua/cemento)] en peso de porcentaje incluido				
	0%	2%	4%	6%	8%
140	0.81	0.76	0.72	0.67	0.6
175	0.72	0.67	0.63	0.58	0.51
210	0.65	0.6	0.56	0.51	0.45
245	0.58	0.54	0.49	0.48	0.38
280	0.54	0.49	0.45	0.4	0.33
315	0.49	0.45	0.4	0.36	0.29
350	0.45	0.4	0.36	0.31	0.24

Tabla (K): Correspondencia entre la relación A/C y la resistencia A/C y la resistencia del concreto a compresión.

Tipo de estructura	estructura continua	Estructura expuesta al agua de mar o sulfatos
Secciones delgadas(Parapetos, guarnición , umbrales, escalones, obras ornamentales) y secciones con menos de 3 cm de recubrimientos	0.45	0.4 ++
Todas las estructuras	0.5	0.45 ++

Tabla (L): Relación agua-cemento máximas permitidas para concreto de exposiciones severas.

Paso 5 Cálculo del contenido del cemento:

La cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto se obtiene de las determinaciones hechas en los pasos 3 y 4.El cemento requerido es igual contenido

estimado de agua en la mezcla (paso 3), dividido entre la relación agua – cemento(paso 4).Sin embargo, si la especificación señala por separado un limite mínimo de cemento mayor que el requerido por resistencia y durabilidad , la mezcla deberá basarse en el crítico, cualquiera que sea, que conduzca al de mayor cantidad de cemento .El empleo de los aditivos químicos o de las puzolanas afecta las propiedades tanto del concreto fresco como del concreto endurecido.

Paso 6 Estimación del contenido de agregado grueso:

Los agregados que tengan esencialmente la misma granulometría y tamaño máximo, deben producir un concreto de trabajabilidad satisfactoria cuando emplea un volumen determinado de agregado grueso y seco compactado con una varilla estándar, por volumen unitario de concreto.

Los valores apropiados de este agregado se ilustran en la tabla M. En esta tabla podemos observar para la manejabilidad, el volumen de agregado grueso por el volumen unitario de concreto depende solo del tamaño máximo y del mundo de finura del agregado fino.

Las diferencias en las cantidades necesarias de mortero para la trabajabilidad con agregados distintos, debidas tales diferencias a la forma y graduación de las partículas, se compensan en forma automática con el menor contenido de vacíos en el agregado seco y compactado con varilla.

Tamaño máximo de agregado en mm,		Volumen de agregado grueso , seco y compactado con varilla por volumen unitario de concreto , para diferentes módulos de finura de la arena							
mm	Pulgadas	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3
9.5	3/8"	0.42	0.41	0.4	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35
12.7	1/2"	0.54	0.53	0.52	0.51	0.5	0.49	0.48	0.47
19	3/4"	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.6	0.59
25.4	1	0.71	0.7	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64
38.1	1 1/2"	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.7
50.8	2	0.8	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73
76.2	3	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.8	0.79	0.78
152.4	6	0.91	0.9	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84

Tabla (M). Volúmenes de agregado grueso, seco y compactado con varilla por volumen unitario de concreto, para diferentes módulos de finura de la arena.

Paso 7 Estimación del contenido de agregado fino:

Una vez estimado el contenido de agregado grueso, es indicio que todos los ingredientes del concreto estarán estimados a excepción del agregado fino, el cual se podrá determinar ya sea por el método por peso o el método de volumen absoluto.

Paso 7.1 Método por peso:

Este método esta basado en experiencias anteriores en donde si se supone el peso del volumen unitario de concreto, la cantidad en peso del fino, no es más que la diferencia entre el peso del concreto y la suma de los pesos de los demás ingredientes. En ausencia de la información, por, experiencia, se puede utilizar la tabla (N).-Para estimar el primer peso por volumen unitario de concreto.

Primera estimación del peso volumétrico del concreto Kg/cm ³		
Tamaño máximo del agregado(mm)	Concreto, sin aire incluido	Concreto con aire incluido
10	2285	2190
13	2315	2235
20	2355	2280
25	2375	2315
40	2420	2355
50	2445	2375
75	2465	2400
150	2505	2450

Tabla (N): Primera estimación del peso del concreto fresco.

Paso.7.2 Método del volumen absoluto.

Este método es considerado como más exacto para estimar el volumen del agregado fino del concreto, ya que se basa en el volumen de los ingredientes, en este caso, el volumen total de los ingredientes conocidos (agua, aire, cemento, agregado grueso), se resta del total del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido para el agregado fino.

El volumen ocupado en el concreto por cualquier ingrediente es igual a su peso dividido entre el peso específico de ese material.

Paso 8 Ajuste por humedad de los agregados.

Hay que tener en cuenta la humedad de los agregados para pasarlos correctamente. Generalmente los agregados están húmedos y a su peso seco debe sumarse el peso del agua que contienen, tanto absorbida como superficial.

El agua de la mezcla que va agregarse a la revoltura debe reducirse en una cantidad igual a la humedad que contiene el agregado, esto es humedad total menos absorción.

Paso 9. Ajustes a la revoltura de prueba:

Las proporciones calculadas de la mezcla deben verificarse por medio de las revolturas de prueba preparadas y ensayadas en el laboratorio o en revolturas de campo tamaño completo.

Debe utilizarse solo el agua suficiente para producir revenimiento requerido sin considerar la cantidad supuesta en la selección de las proporciones de la prueba. Deben verificarse en peso unitario y el rendimiento del concreto así como el contenido de aire.

También se debe observar cuidadosamente la manejabilidad apropiada, libre de segregación y las propiedades de acabado. Todas estas características se ajustaran de acorde al siguiente procedimiento

Paso 9.1 Estimar de nuevo el agua requerida en la mezcla por metro cúbico de concreto, dividiendo el contenido neto de agua de la mezcla de la revoltura de prueba entre el rendimiento de la revoltura .Si el revenimiento de la revoltura de prueba no fue el correcto, hay que aumentar o disminuir la cantidad estimada de agua en 2 Kg por cada centímetro de aumento o disminución del revenimiento requerido.

Paso 9.2 Si no se obtuvo el contenido deseado de aire (para concreto con aire incluido), hay que volver a estimar el contenido de aditivo requerido para el contenido

de aire apropiado, y reducir o aumentar el contenido de agua en la mezcla.

Indicado en el párrafo anterior en 3 Kg/m^3 por cada 1% en el contenido de aire debe aumentarse o disminuirse con respecto al obtenido en la revoltura de prueba.

Paso 9.3 Si la base de la dosificación es el peso estimado por metro cúbico de concreto fresco, la reestimación de ese peso se consigue aumentándole, según corresponda, el porcentaje determinado por anticipado, mayor o menor, del contenido de aire de la revoltura ajustada con respecto a la primera revoltura de prueba.

Paso 9.4 Calcúlense el nuevo peso de la revoltura partiendo del paso 4, modificando el volumen de agregado grueso de la tabla 34, si es necesario, para obtener una manejabilidad adecuada.

Metodología del P.C.A. (Asociación del cemento Portland)

Este método de proporcionamiento de concreto, es sin duda, el considerado como básico para proyectar mezclas de concreto, el cual toma como principio básico que el volumen absoluto de concreto fresco es igual a la suma de los volúmenes absolutos de los ingredientes (cemento, agua, arena), más el volumen ocupado por aire atrapado o natural. Con el objeto de encontrar la mayor proporción de un metro cúbico de concreto, se procede a mezclar los agregados fino y grueso con el fin de obtener el máximo pesos volumétricos. Esto se realiza con diferentes porcentajes de ellos, procurando mantener a uno de los agregados en una cantidad constante, para variar el peso del otro agregado con la finalidad de facilitar el proceso, este proceso se realiza mediante el uso de un recipiente de 10 a 20 litros, entre mayor sea, entre mayor sea la capacidad del recipiente mejor es la aproximación entre los valores que se obtengan. Se realizan varios ensayos y los datos obtenidos se vacían en una tabla en la que la primera columna se coloca el tipo de material empleado, en la columna dos y tres el por ciento de cada material, primero el de la arena y luego el de la grava, en la cuarta columna el peso volumétrico obtenido y en la quinta columna las observaciones correspondientes.

Con los valores obtenidos de los ensayos se elabora una grafica con esos valores, en el eje de abscisas se coloca el número de los ensayos y en el eje de las ordenadas, el peso volumétrico obtenido, representando el peso volumétrico máximo. Con estos valores se obtendrá el peso volumétrico máximo abundado para un volumen abundado de un metro cúbico de concreto.

Posterior a esto se calculara la cantidad de cada agregado. Para este método de diseño de mezcla, se toma en cuenta, las relaciones agua - cemento que se muestran en la tabla (O).- Tanto en condiciones de obra como de laboratorio, o bien en la grafica de la curva de abrams.

F'C(Kg/cm ²)	A/C Condiciones de laboratorio	A/C Condiciones de obra.	F'C(Kg/cm ²)	A/C Condiciones de laboratorio	A/C condiciones de obra
100	0.82	0.72	210	0.57	0.5
105	0.81	0.71	220	0.55	0.48
110	0.79	0.7	230	0.54	0.47
115	0.78	0.68	240	0.52	0.46
120	0.76	0.67	250	0.51	0.45
125	0.75	0.66	260	0.5	0.43
130	0.73	0.64	270	0.48	0.42
135	0.72	0.63	280	0.47	0.41
140	0.71	0.62	290	0.46	0.4
145	0.7	0.61	300	0.45	0.39
150	0.68	0.6	310	0.44	0.38
160	0.66	0.58	320	0.43	0.37
170	0.64	0.56	330	0.41	0.36
180	0.62	0.55	340	0.4	0.35
190	0.6	0.53	350	0.39	0.34
200	0.5	0.51	360	0.38	0.33

Tabla (O): Relaciones agua – cemento en peso y valores de la resistencia unitaria a compresión (f'c), para cementos mexicanos según la ley de Abrams.

5

DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE UN CONCRETO HIDRÁULICO DE ALTO COMPORTAMIENTO PARA ELEMENTOS DE CONCRETO

5.1 Ejemplo aplicado por A.C.I.

Ejemplo:

Se pretende proyectar el diseño de un concreto, el cual se utilizara para la elaboración de una losa de concreto hidráulico. Cuya resistencia de diseño es $f'c=200 \text{ Kg/cm}^2$ considerando un el 2% de aire atrapado, además se desea un revenimiento de $8 \pm 2 \text{ cm}$. Dado el estudio de los agregados se obtienen los siguientes datos:

Peso volumétrico seco suelto de la grava= 1520 Kg/m^3

Peso volumétrico seco compactado de la grava= 1573 Kg/m^3

Peso volumétrico seco suelto de la arena= 1672 Kg/m^3

Peso volumétrico seco compactado de la arena = 1784.0 Kg/m^3 .

Peso volumétrico del cemento portland= 1244 Kg/cm^3 .

Modulo de finura de la arena= 2.91

Modulo de finura de la grava= 7.72

Datos de la arena:

Densidad= 2.75

Absorción= 1%

Humedad relativa= 2.004%

Datos de la grava:

Densidad= 2.650

Absorción= 1.0072%

Humedad relativa= 0.3%

Densidad del cemento= 3.15

Para poder dosificar y diseñar un concreto por el método del A.C.I, se siguen los siguientes pasos:

Paso 1:

Determinación del revenimiento:

De acuerdo a la Tabla (I) que describe los revenimientos máximos y mínimos en centímetros y de acuerdo al tipo de elemento (Losa) el tipo de revenimiento es de $8 \pm 2 \text{ cm}$.

Paso 2:

Tamaño máximo de la partícula es de $\frac{3}{4}$ " (20 mm). De acuerdo a la Tabla (F).

Paso 3:

El agua en Kg se obtiene de la cantidad de aire atrapado (2%) y de T.M.A. (20 mm), utilizando la tabla (J). Se obtiene que litros de agua es igual a 203 lts.

Paso 4:

Determinación de la relación a/c:

Para obtener la relación a/c nos apoyamos en la resistencia de diseño del concreto ($f'c=200 \text{ Kg/cm}^2$) y la cantidad de aire natural y nos apoyamos en la tabla(K). Por lo tanto la relación (a/c) es igual a:

$$a/c = (0.67 + 0.66) / 2 = 0.63$$

Paso 5:

Determinación de la cantidad del cemento:

Para poder obtener la cantidad de kilogramos de cemento en un unidad de concreto por este método se procede de la siguiente forma:

$$W_{\text{cemento(kg)}} = 1573(0.6) = 943.8 \text{ Kg.}$$

Paso 6:

Determinación del peso de la grava en Kg:

Para obtener este dato nos apoyamos en el T.M.A. y el modulo de finura de la arena y con la información de la tabla (M) para estas condiciones nos encontramos que el volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla es de 0.6 m^3 por lo tanto con los datos del problema en donde se indica que el peso volumétrico seco compactado es de $1573(\text{Kg/m}^3)$ donde finalmente:

$$W_{\text{grava(kg)}} = 1573(0.6) = 943.8 \text{ Kg de grava.}$$

Paso 7:

Determinación del peso de la arena:

Para determinar este dato nos apoyamos en el T.M.A. y en el tipo de concreto (Concreto sin aire incluido) y apoyado en la tabla (N), obtenemos el peso volumétrico del concreto de $2355(\text{Kg/m}^3)$, y realizando las siguientes operaciones para obtener una suma de pesos de agua, cemento, Grava como se observa en la tabla (P):

DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE UN CONCRETO HIDRÁULICO DE ALTO COMPORTAMIENTO PARA ELEMENTOS DE CONCRETO.

Agua	203 lts.
Cemento	322.22 Kg
Grava	943.8 Kg
Total	1469.02

Tabla (P). Se muestra los valores en Kg de cada uno de los agregados pétreos que se involucran en el diseño.

Por lo tanto W_{arena} es igual= $2355-1469.02= 885.98$ Kg de Arena.

Paso 7.2:

Determinación del peso de la arena utilizando unidades de volumen para esto pasaremos a litros todas las cantidades obtenidas anteriormente como se observa en la tabla (Q):

Volumen del agua	203/1	203 lts
Volumen del cemento	322.22/3.15	102 lts
Volumen de A.grueso	943.8/2.65	356 lts
Volumen de A.Incluido	2% de 1000	20 lts
Total		681 lts

Tabla (Q): Relaciona los volúmenes absolutos de los componentes antes colocados. Con el volumen total obtenido de los componentes antes mencionados podemos determinar el volumen en litros requerido de la arena:

$$\text{Volumen (lts) de arena: } 1000-681= 319 \text{ lts.}$$

Por lo tanto el peso requerido de la arena:

$$W_{\text{arena}}= 319(2.75)=877.25 \text{ Kg.}$$

Entonces este resultado no permite optimizar mas el peso del agregado fino en la unidad de concreto.

Paso 7.3:

Comparando el peso estimado con el volumen de aire se obtiene:

Material	Cantidad en KG	Cantidad en volumen
Agua	203	203
Cemento	322.22	102
A.Grueso	943.8	356
A.Fino	877.25	319

Tabla (R). Comparación de cantidades de diseño .Los pesos para revolturas de un metro cúbico de concreto calculados según las dos bases se comparan en Kg y en volumen.

Paso 8:

Presentación de la tabla de proporcionamiento para 1 m³ de concreto de f'c de 200 (Kg/cm²).

Material	Vol.(lts)...1	Cant(Kg).2	Vol.Apar(lts) 3	R/P...4	R/v...5
Cemento	102	322.22	259.01	1	1
Agua	203	203	203	0.63	0.78
Arena	319	877.25	524.67	2.72	2.027
Grava	356	943.8	620.92	2.92	2.4
Aire	20	-			

Tabla (S). Muestra el proporcionamiento de los materiales para un metro cúbico de concreto de f'c=200Kg/cm².

DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE UN CONCRETO HIDRÁULICO DE ALTO COMPORTAMIENTO PARA ELEMENTOS DE CONCRETO.

Desarrollo y deducción de columnas:

Columna (3)=((2)/ Peso volumétrico Seco – Suelto)) X 1000.

Columna (4)=((2)/(Peso Kg del cemento)

Columna (5)= (3)/Volumen aparente (Its) del cemento.

Paso 9:

Corrección por Humedad superficial y absorción de la arena Grava y Agua.

La siguiente tabla (T) se construyo a partir de las cantidades ya calculadas y los porcentajes de absorción y de humedad superficial que se obtuvieron de los ensayos del laboratorio donde finalmente en la última columna se presentan las cantidades corregidas y ajustadas de este diseño:

Material	Cantidad	% de absorción	% de humedad	Cantidad corregida
Cemento	322.22			322.22
Arena	877.2	-8.77	(+)17.57	886
Grava	943	-9.49	(+)2.82	936.33
Agua	203	(+)18.2	-17.44	203.58

Tabla (T).De ajuste y humedad y absorción.

El signo (-) de la absorción de los agregados pétreos; porque los vacios que hay en las partículas de los agregados absorben el agua de diseño y la humedad superficial es positiva porque nuestros agregados pétreos siempre tendrán una humedad superficial del medio ambiente.

Dosificación para 60 litros de concreto hidráulico ($F'c=200 \text{ Kg/cm}^2$):

Cemento		Arena	
60	1000	60	1000
X=	322.2	X=	886
Cemento	19.33	arena	53.16
Agua		Grava	
60	1000	60	1000
X=	203.58	X=	936.33
Agua	12.21Its	Grava	56.17

Tabla (V): Tabla que presenta la dosificación en (Kg) de los componentes del concreto que se utilizaran para el control de calidad en el laboratorio.

5.2 Ejemplo aplicado por P.C.A.

Este método de proporcionamiento de concreto, es sin duda, el considerado como básico para proyectar mezclas de concreto, el cual toma como principio básico que el volumen absoluto de concreto fresco es igual a la suma de los volúmenes absolutos de los ingredientes (cemento, agua, arena, grava), mas el volumen de aire natural que puede variar de 1 a 3% en relación al volumen de un concreto.

Con el objeto de encontrar la mayor proporción de un metro cubico de concreto, se procede a mezclar los agregados fino y grueso con el fin de obtener el máximo peso volumétrico. Esto se realiza con diferentes porcentajes de ellos, procurando mantener a uno de los agregados en una cantidad constante, para variar el peso del otro agregado con la finalidad de facilitar el proceso, este proceso se realiza mediante el uso de un recipiente de 10 a 20 litros, entre mayor sea la capacidad del recipiente mejor es la aproximación entre los valores que se obtengan.

Se realizan varios ensayos en el laboratorio y los datos obtenidos se vaciaron en una tabla de cálculo :donde se tiene varias columnas y en cada una de ellas se va controlando la información ; es decir la primera columna se parte de una cantidad constante de agregado grueso(25 Kilogramos de grava).En la segunda columna se controlan los porcentajes de agregado grueso que varían desde 5% a 100%; conforme se van mezclando con los porcentajes de arena que también varían de 5% a 100% como se observa en la columna; como estas relaciones tienen como propósito obtener una relación Grava- Arena y un peso volumétrico optimo luego entonces en la columna cuatro se estandarizan valores de adiciones de arena que representan los porcentajes antes mencionados(5% a 100%).También cabe aclarar que la determinación de la relación grava – arena y peso volumétrico optimo requiere de ir obteniendo los pesos volumétricos de cada porcentaje mezclado de arena y grava para esto nos apoyamos en la expresión:

$$Y_{op} = \frac{(W_{(Material + Tara)} - W_{tara}) \times 1000 (Kg/m^3)}{10 \text{ lts}}$$

Y_{op} = Peso volumétrico optimo para el método de diseño.

$W_{(m+t)}$ = Peso volumétrico del material en el recipiente mas el peso del recipiente de la tara.

W_T = Peso del recipiente de 10 litros (peso de la tara).

DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE UN CONCRETO HIDRÁULICO DE ALTO COMPORTAMIENTO PARA ELEMENTOS DE CONCRETO.

Por esta razón fue necesario que durante los ensayos en el laboratorio se fueron anotando en la columna 5,6 y 7 los valores que fueron variando de acuerdo a cada adición de arena y mediante un factor de conversión encontrado en la columna 8 y que se multiplica directamente con los valores de la columna 7 nos da directamente el peso volumétrico para cada adición de arena. También observamos que en la columna 9 el peso volumétrico es creciente pero hay un momento en que llega a un valor máximo y luego decrece esto quiere decir que durante el proceso de ensaye se llega a determinar una relación grava- arena óptima y un peso volumétrico óptimo que fueron datos muy importantes en este diseño.

Tabla.4.9 Formato para el peso Volumétrico optimo de la Relación Grava - Arena

(2)% de grava	(1)Kg de grava	(3)% de arena	(4)Adición de arena	(5)Peso de la tara con el material	(6)Peso de la tara	(7)Peso del material	(8)Factor de conversión en (m3)-1	(9)Peso volumétrico en Kg/m3
100	25	0	0	11.9	4.2	7.7	204.45	1574.27
95	25	5	1.316	12.3	4.2	8.1	204.45	1656.05
90	25	10	1.462	12.6	4.2	8.4	204.45	1717.38
85	25	15	1.634	13.05	4.2	8.85	204.45	1809.38
80	25	20	1.838	13.05	4.2	8.85	204.45	1809.38
75	25	25	2.083	13.45	4.2	9.25	204.45	1891.16
70	25	30	2.381	13.8	4.2	9.6	204.45	1962.72
65	25	35	2.747	13.8	4.2	9.6	204.45	1962.72
60	25	40	3.205	13.95	4.2	9.75	204.45	1993.39
55	25	45	3.788	13.8	4.2	9.6	204.45	1962.72
50	25	50	4.545	13.79	4.2	9.59	204.45	1960.68
45	25	55	5.556	13.7	4.2	9.5	204.45	1942.28
40	25	60	6.944	13.3	4.2	9.1	204.45	1860.5
35	25	65	8.929	13.1	4.2	8.9	204.45	1819.61
30	25	70	11.905	12.5	4.2	8.3	204.45	1696.94
25	25	75	16.667	12.4	4.2	8.2	204.45	1676.49
20	25	80	25	12.5	4.2	8.3	204.45	1696.94
15	25	85	41.667	12.6	4.2	8.4	204.45	1717.38
10	25	90	83.333	12.7	4.2	8.5	204.45	1737.83
5	25	95	250	12.9	4.2	8.7	204.45	1778.72

La tabla (W): Describe todo este proceso de cálculo y la determinación de la relación Grava – arena igual 60-40 y el peso volumétrico optimo igual 1993.39 (Kg/m³).

El espécimen donde finalmente obtenemos mediante un promedio estadístico de seis especímenes su resistencia a la compresión los 28 días .Las siguientes tablas describen el número de especímenes y resistencias de un concreto de 250 (Kg/cm²)

Ejemplo de método PCA:

Se pretende proyectar el diseño y dosificación de un concreto hidráulico el cual se utilizara para la elaboración de un concreto hidráulico el cual se utilizara para la elaboración de un concreto hidráulico para una losa de entrepiso de un edificio de un conjunto habitacional de acuerdo a las necesidades del proyecto la resistencia de diseño es $f'c=200$ (Kg/cm²).Se considera que el concreto tiene un 2% de aire natural atrapado y de acuerdo a las condiciones de temperatura del lugar se necesita por especificación que tenga un revenimiento de 8+/-2 cm. De acuerdo a los ensayos realizados en el laboratorio se dispone de la siguiente información.

Datos:

Cemento portland Ordinario: Clase 30 R
Relación Grava – Arena: 60-40
Peso volumétrico optimo 1993.39 (Kg/m³).
Peso especifico de la grava 2.36
Porcentaje de absorción de la grava= 1.0072%
T.M. A. Grueso= $\frac{3}{4}$ "= 19.1 mm.
Peso volumétrico seco-suelto de la arena =1672 (Kg/m³).
Peso especifico de la arena =2.38
%Arena =1%.

Se considera un coeficiente de abundamiento en el volumen del concreto para este diseño de 3.5% ya que por norma el volumen de un concreto puede aumentar de 3% a 4%.

Peso volumétrico del cemento portland 1515 (Kg/m³).
Densidad del cemento 3.15 (Kg/m³).
Peso volumétrico Agua 1000 (Kg/m³).
Peso especifico del agua 1.

Se considera una pequeña muestra de arena y grava en análisis en el laboratorio, para los ensayos de absorción, estas muestras tienen un peso de 300 grs para la arena y 1000 gramos para la grava.

Desarrollo:

Paso 1. Determinación del peso volumétrico máximo abundado

Esto es igual a:

$$\frac{\text{Peso Volumétrico óptimo}}{\text{Coeficiente de abundamiento}} = 1993.39(\text{Kg/m}^3)/1.035 = 1925.98 (\text{Kg/m}^3)$$

Paso 2: Determinación de las cantidades netas de arena y grava.

Peso volumétrico de la grava= Porcentaje de la grava (Peso volumétrico abundado)

Esto es igual: $1925.98 \times 0.60 = 1155.58 \text{ kg}$.

Peso volumétrico de la arena= Porcentaje de la arena (Peso volumétrico abundado).

Esto es igual a: $1925.98 (0.4) = 770.39 \text{ Kg}$.

Paso 3: Determinación de los litros de arena y grava.

$$\text{Litros de grava} = \frac{\text{Peso de la Grava}}{\text{Densidad de la Grava.}} = \frac{1155.58 \text{Kg}}{2.36} = 489.65 \text{ lts.}$$

$$\text{Litros de arena} = \frac{\text{Peso de la arena}}{\text{Densidad}} = \frac{770.39}{2.38} = 323.69 \text{ lts.}$$

Litros de aire= $(2\%/100) \times 1000 \text{ de concreto} = 20 \text{ lts}$.

Paso 4: Determinación de los litros de grava, arena y aire.

$$\Sigma \text{lts (Grava+Arena+Aire)} = 489.65 + 323.69 + 20 = 833.34 \text{ lts.}$$

Paso 5: Determinación de los litros agua y cemento:

Agua lts+ Cemento lts+ 833.34 lts = 1000 lts.

Agua + Cemento = * 1000 - 833.34

Agua + Cemento = 166.66 lts.....Ecuación (1)

De la información anterior es necesario plantear una segunda ecuación para tener dos ecuaciones con dos incógnitas para esto disponemos de la siguiente información:

Agua/Cemento = Densidad del cemento (A/C que se requiere para la resistencia indicada de una mezcla hecha, que se requiere en el laboratorio)

$A/C = Y_c(a/c)$; Este factor se obtiene de la siguiente tabla:

DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE UN CONCRETO HIDRÁULICO DE ALTO COMPORTAMIENTO PARA ELEMENTOS DE CONCRETO.

F'C(Kg/cm2)	A/C Condiciones de laboratorio	A/C Condiciones de obra.	F'C(Kg/cm2)	A/C Condiciones de laboratorio	A/C condiciones de obra
100	0.82	0.72	210	0.57	0.5
105	0.81	0.71	220	0.55	0.48
110	0.79	0.7	230	0.54	0.47
115	0.78	0.68	240	0.52	0.46
120	0.76	0.67	250	0.51	0.45
125	0.75	0.66	260	0.5	0.43
130	0.73	0.64	270	0.48	0.42
135	0.72	0.63	280	0.47	0.41
140	0.71	0.62	290	0.46	0.4
145	0.7	0.61	300	0.45	0.39
150	0.68	0.6	310	0.44	0.38
160	0.66	0.58	320	0.43	0.37
170	0.64	0.56	330	0.41	0.36
180	0.62	0.55	340	0.4	0.35
190	0.6	0.53	350	0.39	0.34
200	0.5	0.51	360	0.38	0.33

Tabla (X):-Relaciones agua-cemento en peso y valores de la resistencia unitaria a compresión (f'c).Para cementos según la ley de Abrams.
Sustituyendo el siguiente valor:

$$A/C = 0.5(3.15) = 1.575 \dots \dots \dots \text{Ecuación (2).}$$

A/C= Densidad del cemento(a/c que se requiere para la resistencia indicada de una mezcla hecha en el laboratorio).
Despejando a de la ecuación (2).

$$a = 1.575c$$

Sustituyendo 2' en la ecuación (1):

$$1.575c + c = 166.66 \text{ lts.}$$

$$2.575c = 166.66 \text{ lts.}$$

$$C = \frac{166.66 \text{ lts}}{2.575} = 64.72 \text{ lts.}$$

Sustituyendo el valor en 2:

$$a = 1.575(64.72\text{lbs}) = 101.93 \text{ lts.}$$

Comprobación:

Litros de arena= 323.69
 Litros de grava=489.65
 Litros de cemento= 64.72
 Litros de agua=101.93
 Litros de aire= 20
 Suma: 1000 litros

A continuación se representa la siguiente tabla (Y), en ella se muestran los siguientes valores, que representa la dosificación para un saco de cemento:

Materiales (1)	Cantidad por m ³ de concreto			Relaciones en peso(5)	Relaciones en volumenes aparentes(6)	Cantidad para un saco de cemento de 50 Kg.	
	Volumen absoluto en litros(2)	Peso en Kg(3)	(4)Volumen aparentes en litros			En Kg(7)	En litros(8).
Cemento	64.72	203.86	134.56	1	1	50	33
agua	101.93	101.93	101.93	0.5	0.75	25	24.75
Arena	323.69	770.38	460.75	3.77	3.42	188.5	112.86
Grava	489.65	1155.6	760.24	5.66	5.64	283	186.12
Aire	20	-	-	-	-	-	
Sumas	1000						

Tabla (Y): Muestra las relaciones para obtener la cantidad exacta de agregados para un saco de cemento de 50 Kg.

Desarrollo del cálculo y deducción de las columnas:

La columna (3) = Columna (2)* Peso específico de los Materiales

Ejemplo: $64.72 * 3.15 = 203.86$.

La columna (4) = $(\text{columna}(3) / \text{Peso volumétrico de los materiales}) * 1000$.

La columna (5) = Columna (3) / Peso del cemento.

La columna (6) = Columna (4) / Volumen aparente en litros del cemento.

La columna (7) = 50 Kg de cemento * columna (5).

DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE UN CONCRETO HIDRÁULICO DE ALTO COMPORTAMIENTO PARA ELEMENTOS DE CONCRETO.

La columna (8)= 33 litros de cemento *la columna (6).

Dosificación de 40 lts de concreto para control de calidad en el laboratorio:

Cemento: 1000 lts-----203.83 Kg.
 40 lts-----X por lo tanto X=8.15 Kg.
Arena: 1000 lts-----770.38 Kg
 40 lts-----X= por lo tanto X=30.81 Kg.
Grava: 1000lts-----1155.57 Kg.
 40 lts-----X por lo tanto X=46.22 Kg.
Agua: 1000lts-----101.93
 40lts-----X por lo tanto X=4.07 lts.

Corrección por absorción al agua de diseño donde 1% de absorción es igual a 1 ml de agua.

300 grs-----1 ml Agua.
3810 grs-----X=12.7ml.
1000grs-----1.0072 ml H₂O
46220 grs-----X=46.55 ml.

Por lo tanto:

Se tiene un total= 59.25 ml.

Que se transforman a litros (lts) es decir 0.0592 litros; esta cantidad de agua se suma al agua de diseño, entonces el agua de diseño seria de 4.129 es decir la suma de

0.0592+4.07 (litros).

6

**TABLAS
ESPECIFICADAS PARA
RESISTENCIA Y AUMENTO DE
DURABILIDAD SEGÚN LA
AGRESIVIDAD DEL MEDIO
AMBIENTE Y RESULTADOS DE
CONCRETO HIDRÁULICOS
ENSAYADOS EN EL
LABORATORIO**

TABLAS ESPECIFICADAS PARA RESISTENCIA Y AUMENTO DE DURABILIDAD SEGÚN LA AGRESIVIDAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RESULTADOS DE CONCRETO HIDRÁULICOS ENSAYADOS EN EL LABORATORIO

Las investigaciones que se han hecho en relación a las especificaciones de resistencia y durabilidad del concreto hidráulico están orientadas para que un concreto sea durable es decir resulte a la acción destructiva de acciones físicas, mecánicas, químicas y biológicas.

También nuestro concreto, deben mantener su forma original y la calidad especificada durante su vida útil; es decir no solo es importante cumplir con los requisitos por resistencia, sino también tener en cuenta los aspectos de durabilidad que están en función de la agresión del medio ambiente, de una buena clasificación del concreto por durabilidad y como consecuencia un nivel de resistencia como se muestra en la **tabla Z**.

AGRESION DEL MEDIO AMBIENTE	CLASE DE CONCRETO SEGÚN LA AGRESIVIDAD DEL MEDIO AMBIENTE	NIVEL DE RESISTENCIA	
		Mpa	Kg/cm2.
Muy severa	Durable	>35	>350
Severa	Resistente	28-35	280-350
Moderada	Normal	21-28	210-280
Ligera	Pobre	10 -21	100 -210

Tabla (Z): Clases de concreto según la agresividad del medio ambiente.

Una reflexión muy importante para las condiciones de resistencia y durabilidad de concretos hidráulicos de alto desempeño es el conocimiento, la habilidad que el técnico en concreto debe saber en el manejo de cada uno de los componentes de este material para esto debe estar consiente de los riesgos que existen en el uso, precauciones y recomendaciones de los cementos, es decir, manejar las características cementantes según la clase de concreto, ya que algunos compuestos químicos del cemento como el aluminato tricálcico están relacionados, con la resistencia y la clase de concreto.

También se corre el riesgo que por la misma naturaleza del concreto y el medio ambiente que se vaya a encontrar operando se presenten fenómenos de expansión y deterioro por la lipsidiación, para esto una alternativa de control y optimización para este problema sería la optimización de los aditivos minerales, como las puzolanas, escoria del alto horno y humo de sílice en porcentajes estandarizados y de acuerdo a la normatividad existente así como también a la clase del concreto y resistencia como se observa en **la tabla (A)**.

TABLAS ESPECIFICADAS PARA RESISTENCIA Y AUMENTO DE DURABILIDAD SEGÚN LA AGRESIVIDAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RESULTADOS DE CONCRETO HIDRÁULICOS ENSAYADOS EN EL LABORATORIO

Clase de concreto	Nivel de resistencia(Mpa)	Deterioro de expansión		Deterioro de lixiviación
		Contenido de C3AL cemento anhidro	Porcentaje de adición	Porcentaje de adición
Durable	> 35	≤ 5%	≥20% de puzolana o microsilice ; ≥65% de escoria de alto horno.	≥20% de puzolana o microsilice ; ≥65% de escoria de alto horno.
Resistente	28-35	≤ 5%	≥10% de puzolana o microsilice ; ≥35% de escoria de alto horno	≥10% de puzolana o microsilice ; ≥35% de escoria de alto horno
Normal	21-28	≤ 8%	cualquiera	cualquiera
Pobre	10-21	5-15%	Cualquiera	Cualquiera

Tabla (A´): Características del cementante según la clase de concreto (por durabilidad) y riesgo por formación de compuestos expansivos y deterioro por lixiviación.

El concreto hidráulico cuando se encuentra, operando en las estructuras de concreto en un entorno de agresión muy severa, sujetos a humedecimiento y secado, oxidación, ataques por cloruros, sulfatos y deterioro por carbonatación.

Para poder contrarrestar estas desventajas técnicas en nuestro material es importante establecer una máxima relación agua – cemento que optimice la dosificación en relación a la resistencia y la durabilidad, para esto se tiene que establecer condiciones de relaciones agua – cemento que nos indican que a menor relación agua – cemento se incrementa la durabilidad y resistencia y por lo contrario a mayor relación agua – cemento se disminuye la durabilidad de la resistencia.

Entonces en esta propuesta de diseñar un concreto hidráulico con calidad y alto desempeño se corre el riesgo de que a menor relación agua – cemento se pueda tener problemas de contracción y trabajabilidad por lo que tenemos que utilizar un aditivo que permita resolver esta situación que pueda presentarse durante su colocación. También tenemos que utilizar nuevamente ciertos aditivos minerales, como la mirco sílice (Humo de sílice), aditivos puzolanicos y escoria de alto horno, que nos permitirá producir un concreto hidráulico resistente y durable como se indica en la **tabla (B´)**.

TABLAS ESPECIFICADAS PARA RESISTENCIA Y AUMENTO DE DURABILIDAD SEGÚN LA AGRESIVIDAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RESULTADOS DE CONCRETO HIDRÁULICOS ENSAYADOS EN EL LABORATORIO

Clase de concreto	Nivel de resistencia(Mpa)	Máxima relación(a/c)	Deterioro por carbonatación	Deterioro por ataque de cloruros
			Porcentaje de adición	Porcentaje de adición
Durable	> 35	≤ 0.38	$\leq 10\%$ de puzolana microsilice o escoria	$\geq 20\%$ de puzolana o microsilice ; $\geq 65\%$ de escoria de alto horno.
Resistente	28-35	0.38 a 0.50	$\leq 10\%$ de puzolana o microsilice ; $\leq 15\%$ de escoria de alto horno	$\geq 10\%$ de puzolana o microsilice ; $\geq 35\%$ de escoria de alto horno
Normal	21-28	0.50 a 0.58	cualquiera	cualquiera
Pobre	10-21	Mayor a 0.58	Cualquiera	Cualquiera

Tabla (B´): Características del cemento según clases de concreto (por durabilidad) y riesgo de corrosión de las armaduras por carbonatación del recubrimiento o presencia de cloruros.

Finalmente es importante verificar la resistencia mecánica del concreto hidráulico a los 28 días con el fin de constatar si la resistencia de diseño es igual a la verificada en una prensa y se cabecean con mortero de azufre o juntas de neopreno y se llevan a los cabezales de la máquina para que posteriormente se les aplique carga mecánica y se determine su resistencia mediante la relación carga soportada y área de contacto en el espécimen donde finalmente obtenemos mediante un promedio estadístico de seis especímenes su resistencia a los 28 días $f'c(Kg/cm^2)$.

La siguiente tabla describe el número de especímenes ensayados, de un concreto de $250 Kg/cm^2$ en la **tabla (C´)**

TABLAS ESPECIFICADAS PARA RESISTENCIA Y AUMENTO DE DURABILIDAD SEGÚN LA AGRESIVIDAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RESULTADOS DE CONCRETO HIDRÁULICOS ENSAYADOS EN EL LABORATORIO

No. De espécimen	Dimensiones en centímetros	Resistencia a los 28 días en Kg/cm ²
1	15X30	305
2	15X30	319
3	15X30	275
4	15X30	315
5	15X30	250
6	15X30	316

Tabla (C'). Describe los resultados de ensayos a compresión simple a los 14 días de 6 cilindros de 15 por 30cm en el laboratorio y utilizando un aditivo.

7

CONCLUSIONES

Efectivamente este trabajo permitió comprobar y verificar mediante un marco normativo relacionado con la calidad de los componentes del concreto, también las condiciones y reglas que hay que aplicar para el manejo del concreto fresco y endurecido, los diseños y dosificaciones de las mezclas del concreto.

Con respecto a la optimización de la relación Grava- Arena en una unidad de volumen de concreto comprendió que existe la necesidad de optimizar la cantidad de agregado fino que se necesita para cubrir los espacios vacíos del agregado grueso y que estas relaciones pueden variar de un 35% a un 45% del agregado fino con respecto al volumen de agregado grueso.

En materia de la relación Agua- Cemento también comprendimos que existe reglas técnicas en cuanto a determinar los concretos durables y resistentes en función de esta relación , por ejemplo un rango de relación Agua- Cemento entre 0.38 – 0.50 lleva a obtener un concreto durable y resistente.

También el conocimiento práctico de las propiedades físicas de los agregados, más un pleno conocimiento de la diversidad de cementos, calidad del agua y aditivos nos permitió obtener un concreto hidráulico con perfiles a ser usados en ambientes ligeros, moderados, severos y muy severos.

Todos estos conocimientos teóricos y prácticos influyen en el mejoramiento y calidad del concreto hidráulico con perfiles a ser usados en diferentes obras civiles donde tenemos que aplicar una supervisión con un carácter normativo de vigilancia, buenas técnicas constructivas y un tratamiento optimo de curado después de que un concreto sea transportado, colado, compactado en los moldes o cimbras y finalmente darle un acabado para entregar al cliente público o privado un producto resistente y durable.

GLOSARIO

Clinker: Principal materia prima de la que se obtiene el cemento.

Segregarse: Apartar una cosa de otra que forma parte de un todo.

Hermeticidad: Que puede producir temperatura.

Agravamiento: Trituración o quebrantamiento de la roca en apilamiento.

Puzolanicos: los que finalmente molidos y en presencia de humedad, reaccionan químicamente con los hidróxidos de calcio a temperatura ambiente, para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

Aluminoso: Los cuales pueden o no tener propiedades cementantes por si mismos.

Conglomerante: Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efecto de transformación.

Balaustradas: Forma moldeada en piedra o madera, algunas veces en metal.

Desmenuzable: Partícula friable o desmenuzable con los dedos.

Curado: Curar significa cubrir el concreto de modo que permanezca húmedo.

Torones: Cualquier miembro flexible a tensión que consiste en uno o mas grupo de alambres.

Escorias: Las escorias son un subproducto de la función de la mena para purificar los metales.

Gravímetro: La gravimetría es un método analítico cuantitativo; es decir, que determina la cantidad de sustancia, midiendo el peso de la misma.

Tamices: El tamiz es un cedazo tupido, y figurativamente, pasar algo por un tamiz significa analizar un evento a conciencia.

Alvéolos: Los alvéolos son sacos recubiertos en su pared interna por líquido y agente tenso activo, hay aproximadamente 300 millones de ellos.

Deletéreas: Mortífero o venenoso.

Caliza: Son materiales de naturaleza inorgánicas y de origen mineral carbonatado, compuesto principalmente por carbonato de calcio en forma de calcita, que molidos con el clinker de cemento portland, afectan favorablemente las propiedades y el comportamiento de los agregados de los conglomerados del cemento.

Cenizas volantes: Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combinación e los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizadas y se consideran como materiales puzolanicos.

Clinker Portland: Es el producto artificial obtenido por sinterización de los crudos correspondientes, es decir, por la calcinación y sinterización de los mismos a la temperatura y durante el tiempo necesario y por enfriamiento adecuado, a fin de que dichos productos tengan la composición química y la constitución mineralógica requerida. Los crudos de clinker portland son mezclas suficientemente finas, homogéneas y adecuadamente dosificadas a partir de materias primas que se obtienen, cal (Ca O), sílice(Si O₂), alumina (Al₂O₃), oxido férrico(Fe₂ O₃) y pequeñas cantidades de otros compuestos minoritarios, los cuales de clinkerizan.

Escoria Granulada: Es el subproducto no metálico constituido esencialmente por silicatos y aluminosilicatos cálcicos, que se obtienen por el enfriamiento brusco con agua o vapor y aire del residuo que se produce simultáneamente con la fusión de minerales de fierro en alto horno.

Humo de sílice: El humo de sílice es un material puzolanico muy fino, compuesto principalmente de sílice amorfa, que es un subproducto de la fabricación de silicio o de aleaciones de ferro silicio, también conocido como humo de sílice condensado o micro sílice.

Puzolanas: Las puzolanas son sustancias naturales, artificiales y subproductos industriales, silicias o silico aluminosas, o una combinación se ambas, las cuales no endurecen por si mismas cuando se mezclan con agua, pero finalmente molidas, reaccionan en presencia del agua, a la temperatura ambiente con el hidróxido de calcio y forman compuestos con calcio , el sulfato de calcio es el producto natural o artificial que se utiliza para regular el tiempo de fraguado y se presenta en diferentes estados: Anhidrita (Ca SO₄), yeso(CaSO₄- 2H₂O) y hemihidrato (Ca SO₄ ½H₂O).

Calor de hidratación: Es un conjunto de reacciones químicas de carácter exotérmico con desprendimientos de microcristales cuando se mezclan el agua y el cemento.

Sanidad: Es la propiedad que tiene un concreto que cuando pasa de un estado liquido un estado sólido conserva su volumen.

Fraguado: Es una propiedad física del concreto y del mortero, que consiste en la transición de un estado líquido plástico a un estado sólido.

Compacidad: Es la propiedad física de los agregados pétreos que consiste en el grado de acomodo y orientación de sus partículas para reducir vacíos y aumentar su masa unitaria.

Compactación del concreto: Es el proceso en el cual se le aplica la vibración a la masa del concreto para reducir sus vacíos y aumentar su masa unitaria.

Cementantes: Son aquellos minerales que en presencia del agua producen reacciones químicas que aglutinan a los a los agregados pétreos para formar una masa dura.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.-Norma Mexicana (NMX-C-414-ONNCCE-1999) de cementos.
Norma publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 6 de julio de 1999.
- 2.-Manual de Tecnología del concreto (Tomo I y II)
Comisión Federal de electricidad.
Instituto de Ingeniería de la UNAM Editorial Limusa.
- 3.-Tecnología del concreto (Tomo I, II y III).
Autor: A.M.Neville.
Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, A.C.
Editorial Limusa.
- 4.-Tecnología del concreto.
Autor: Luciano Villarreal Matías Tesis.
Instituto Tecnológico de Tapachula.
Primera Edición 1995.
- 5.-Diseño y Control de mezclas de concreto.
Instituto Mexicano del Cemento y el concreto
Autor:Steven H Kosmatka y William c.
Edición 1992.
- 6.-Guia para uso de agregados
Autor: Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto.
- 7.-Tecnología del concreto
Autor: Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto.
- 8.-Concreto. Estructura, propiedades y materiales.
Autor: Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto.
- 9.-Materiales y procedimientos de construcción (Tomo I)
Escuela Mexicana de Arquitectura.
Universidad Lasalle.
Editorial: Diana, Primera Edición.
- 10.-Materiales y procedimientos de construcción (Tomo II).
Arquitecto. Fernando Barbara Z.
Editorial Herrero S.A. de C.V.
Octava Edición.

11.-Durabilidad y patología del Concreto.

Autor: Diego Sánchez de Guzmán,
Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto.

12.-Propuesta de un concreto Hidráulico optimizando la relación Agua- Cemento y Grava – Arena y con exclusión de sustancias nocivas en los agregados para el mejoramiento de su calidad.

Autor: José Luís Díaz López.
Tesis: Instituto Tecnológico de Tapachula.

13.-Control de los mecanismos de daño en el concreto hidráulico optimizando la relación Agua- Cemento y la relación Grava – Arena.

Autor: Gabriela del Rosario Jiménez Gordillo.
Tesis: Instituto Tecnológico de Tapachula.

14.-Prácticas Estándar para el curado del concreto.

Autor: Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto.