



---

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLAS DE HIDALGO

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

“DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRAULICO CON EL  
METODO ACI APLICADO EN PAVIMENTOS RIGIDOS”

TESIS PROFESIONAL

**PARA OBTENER EL TITULO DE:**

INGENIERO CIVIL

**PRESENTA:**

ALEJANDRO CASTILLO UGARTE

**ASESOR:**

DR. JOSE CARLOS RUBIO AVALOS

MORELIA, MICH.

JUNIO DE 2011.



## DEDICATORIAS

A ti mi DIOS, por darme esta oportunidad, por ser mi guía y por haber estado siempre a mi lado, mil gracias.

A mi MADRE, por todo su gran apoyo, por su paciencia, agradecerle se poco y por darme la herencia mas grande, EL ESTUDIO, gracias por tu confianza, gracias MAMI, te amo.

A mi PADRE, que aunque ya no esta con conmigo se que siempre me cuida los pasos, por la gran herencia que como regalo me dejo, ser como lo fue su persona y esta familia tan hermosa que formo, siempre estarás en mi corazón viejo lindo, mil gracias PAPA.

A mi linda ESPOSA, que a hecho de mi vida un mar de felicidad, a su gran apoyo incondicional y su amor siempre constante, gracias por haber creído en mi, te amo NAYE.

A mi pedacito de cielo, que siendo tan pequeñita es mi razón de vivir, a ti mi hermosa hija. Te amo REGINA.

A ti hermano, que mas que eso fuiste y serás siempre como un padre para mí, gracias por haber creído ciegamente en mi, por todos tus regaños y consejos que tanto me sirvieron, gracias HUSSI.

A ustedes Hermanos, por estar conmigo en todo momento y llenarme de su amor, gracias PAU, gracias CHITO, gracias BIBI. Los amo.

A ustedes, doña MARI y don GERZA, que sin conocerme me entregaron toda su confianza, por estar en los momentos difíciles y por haberme permitido ser parte de ustedes. Que dios les bendiga, Por todo eso y mas, mil gracias.

A mis abuelos por todo el cariño y apoyo que me han brindado. Gracias PRIETIS y gracias MANE. Los quiero.

A mi abuela PAULA por todo lo que me ha dado y por el cariño que siempre tuvo demás conmigo. Gracias mama Paula. Te quiero.



## **AGRADECIMIENTOS**

A usted **DOCTOR**, por darme la oportunidad de tenerlo como mi asesor y por su apoyo incondicional para la realización de este trabajo y creer en mí. Gracias doctor **JOSE CARLOS RUBIO AVALOS**.

A la **UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO** por haber hecho de mí un profesional, por todo lo que de conocimiento y formación enriqueció en mi persona.

A la **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL** por haberme arropado como su alumno, por el aprendizaje que me brindo y por todas las satisfacciones que me dio durante los 5 años que fui parte de ella.

A la **MAESTRA AIDA**, por haber sido su alumno y por todo el apoyo que me ha brindado desde que me conoce, por sus ánimos y motivaciones para la pronta realización de este trabajo. Mil gracias Maestra.

A mis grandes maestros como lo son el **DR. ALARCÓN, M.A. BENJAMÍN, AL M.A. RAFAEL ROJAS Y EL ING. MUÑOZ (q.e.p.d.)**, por todo lo que de mi persona hicieron. Gracias maestros.

A mis grandes amigos: **ARQ. CARLOS, CEJA, FRANK, MORITA, BETO, MACA, HOMMY, NACHO, NOE, Y EL ING. RAMSES**. Gracias por todo su apoyo.



## **INDICE**

### **CAPITULO I: INTRODUCCION.**

<b>CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE.</b>	<b>5</b>
II.1 <b>CONCRETO.</b>	<b>5</b>
II.2 <b>MATERIALES CONSTITUYENTES.</b>	<b>6</b>
II.2.1 <b>CEMENTO.</b>	<b>6</b>
II.2.2 <b>TIPOS DE CEMENTO.</b>	<b>7</b>
II.3 <b>CONCRETO HIDRAULICO.</b>	<b>8</b>
II.3.1 <b>TIPOS DE CEMENTOS.</b>	<b>9</b>
II.3.2 <b>CEMENTO BLANCO.</b>	<b>9</b>
II.3.3 <b>CEMENTO DE MAMPOSTERÍA.</b>	<b>10</b>
II.4 <b>EL CEMENTO PORTLAND.</b>	<b>10</b>
II.5 <b>AGREGADOS PÉTREOS. (GRAVA Y ARENA).</b>	<b>11</b>
II.6 <b>FABRICACION DE CEMENTOS.</b>	<b>12</b>
II.6.1 <b>PROCESO DE FABRICACIÓN.</b>	<b>12</b>
II.7 <b>ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO.</b>	<b>18</b>
II.7.1 <b>TRANSPORTE Y MANEJO DEL CEMENTO.</b>	<b>19</b>
II.7.2 <b>ALMACENAMIENTO.</b>	<b>19</b>
II.8 <b>METODO ACI.</b>	<b>21</b>
<b>CAPITULO III: CONSIDERACIONES PRÁCTICAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS HIDRAULICAS PARA PAVIMENTOS RIGIDOS.</b>	<b>22</b>
III.1 <b>COMPONENTES.</b>	<b>22</b>
III.2 <b>SELECCIÓN DE DOSIFICACION.</b>	<b>22</b>
III.3 <b>AJUSTE DE LAS PROPIEDADES.</b>	<b>22</b>
III.4 <b>PROPORCIONES.</b>	<b>23</b>
III.5 <b>RELACIÓN BASICA.</b>	<b>23</b>
III.5.1 <b>DOSIFICACIÓN.</b>	<b>23</b>
III.5.2 <b>FACILIDAD DE COLOCACIÓN.</b>	<b>24</b>
III.5.3 <b>CONSISTENCIA.</b>	<b>24</b>
III.6 <b>RELACION AGUA/CEMENTO.</b>	<b>25</b>
III.6.1 <b>REVENIMIENTO.</b>	<b>27</b>
III.7 <b>TRABAJABILIDAD.</b>	<b>30</b>
III.7.1 <b>FRAGUADO.</b>	<b>31</b>
III.7.2 <b>VOLUMEN.</b>	<b>33</b>
III.7.3 <b>SANGRADO.</b>	<b>33</b>
III.8 <b>DURABILIDAD.</b>	<b>34</b>



**DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRAULICO CON  
EL METODO ACI APLICADO EN PAVIMENTOS RIGIDOS**

**UMSNH**



III.9	DENSIDAD.	35
III.10	GENERADOR DE CALOR.	35
III.11	EFEECTO DE LOS ADITIVOS QUIMICOS PUZOLANAS Y OTROS MATERIALES EN LA DOSIFICACION DE CONCRETO.	36
III.11.1	ADITIVOS.	36
III.11.2	ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE.	36
III.11.3	ADITIVOS QUIMICOS.	37
III.11.4	ADITIVOS PARA CONCRETO.	39
III.11.5	USOS DE LOS ADITIVOS.	39
III.11.6	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON ADITIVOS.	41
III.11.7	PROPIEDADES Y USOS.	41
III.11.8	TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO CON ADITIVO.	42
III.12	OTROS MATERIALES CEMENTANTES.	43
III.13	PRODUCTOS DE HIDRATACIÓN.	44
III.14	HIDRATACIÓN DEL CEMENTO.	44
III.15	AGREGADOS DEL CONCRETO HIDRÁULICO.	45
III.15.1	AGREGADOS PARA CONCRETOS DE DIVERSO PESO UNITARIO.	46
III.15.2	CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS DE PESO NORMAL.	46
III.15.2.1	POR EL ORIGEN DE LAS ROCAS.	47
III.15.3	CLASIFICACION POR TAMAÑO.	48
III.15.4	CLASIFICACION DE FORMAS Y TEXTURAS.	49
III.15.5	PROPIEDADES MECÁNICAS.	50
III.15.6	ADHERENCIA.	50
III.15.7	RESISTENCIA.	50
III.15.8	DUREZA.	52
III.15.9	PROPIEDADES FÍSICAS.	52
III.15.10	GRAVEDAD ESPECÍFICA.	52
III.15.11	POROSIDAD Y ABSORCIÓN.	52
III.15.12	CONTENIDO DE HUMEDAD.	53
III.15.13	ABULTAMIENTO DE LA ARENA.	53
III.15.14	DEFECTOS DEBIDOS A LOS CAMBIOS DE VOLUMEN.	53
III.15.15	PROPIEDADES TÉRMICAS.	54
III.15.16	SUSTANCIAS NOCIVAS.	54
III.15.17	IMPUREZAS ORGÁNICAS.	55
III.15.18	ARCILLAS Y OTROS MATERIALES FINOS.	55



**DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRAULICO CON  
EL METODO ACI APLICADO EN PAVIMENTOS RIGIDOS**

**UMSNH**



III.15.19 DEFECTOS DEVIDOS A IMPUREZAS.	55
III.15.20 ANALISIS CON MALLAS.	56
III.15.21 CURVAS DE GRADACIÓN.	56
III.15.22 MODULO DE FINURA.	56
III.15.23 REQUERIMIENTOS DE LA GRADACIÓN.	56
III.15.24 TAMAÑO MÁXIMO.	57
III.16 IMPORTANCIA DEL AGUA.	57
III.16.1 USOS DE AGUA PARA CONCRETO.	57
III.16.2 REQUISITOS DE CALIDAD.	58
II.16.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS.	58
III.16.2.2 EFECTOS EN EL CONCRETO.	59
III.17 GRIETAS EN EL CONCRETO.	60
III.17.1 CAUSAS.	60
III.17.2 POSIBLES SOLUCIONES.	61
CAPITULO IV: DISEÑO TEORICO DE UN CONCRETO HIDRAULICO UTILIZANDO EL METODO ACI PARA PAVIMENTOS RIGIDOS.	63
CAPITULO V: CONCLUSIONES.	71
CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	73



## **CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN**

El Concreto Hidráulico es un tema muy importante y a la vez complejo para el Ingeniero Civil puesto que forma parte de el en el diario acontecer de su trabajo, ya que de una u otra forma la rama de la construcción ira siempre de la mano con el concreto y sus derivaciones consecuentes.

El objetivo de la presente tesis es la elaboración de un texto sobre el diseño de mezclas de concreto hidráulico aplicado en pavimentos rígidos, enfocado principalmente a las personas que están en contacto directa o indirectamente con el concreto, y debido a la preparación académica que tengan, cualquier otro texto resulta un tanto complicado para su fácil comprensión.

Para poder lograr el anterior objetivo, se ha desarrollado la tesis tratando de emplear palabras muy fácilmente entendibles por cualquier persona, no importando su grado académico. Además se acompaña de una serie de tablas, que facilitan la lectura y comprensión del texto.

El texto esta basado en el método ACI (American Concrete Institute). Se puede decir que el tema de la presente tesis es un pequeño resumen de la elaboración de una mezcla de concreto hidráulico para pavimentos rígidos por medio de este método.

Hablar de “control” tiene varias acepciones; entre ellas, la que corresponde al vocablo “regulación” parece reflejar adecuadamente la intención con que se aplica, cuando se habla de control de calidad. La regulación, o acción de regular, consiste en ajustar o poner en orden una cosa. Para poder ajustar es necesario, primero, medir y comparar.

En lo anterior se resume, a grandes rasgos, las acciones básicas que componen un sistema de control de calidad: medir, comparar y ajustar.

Al tratar de poner en práctica estas actividades, para controlar la calidad que se requiere alcanzar. De esta manera, el planeamiento para la organización de un programa de control de calidad, debe sustentarse en la definición de los siguientes aspectos:

1. Las condiciones de calidad que debe de cumplir las partes componentes, o las materias primas, para ser aceptadas.



2. Los requisitos de exactitud y funcionamiento que deben satisfacer los equipos e instrumentos que se utilicen.
3. El procedimiento que debe aplicarse para elaborar el producto y las características del personal encargado de la ejecución y la supervisión del proceso.
4. Las propiedades o características del producto que se consideran representativas de su calidad, y las normas que deben cumplir.
5. La frecuencia con que deben verificarse las condiciones de los componentes, los requisitos de los equipos y las propiedades del producto elaborado.
6. Los métodos que deben aplicarse para llevar a cabo las verificaciones anteriores, y la calificación del personal encargado de su aplicación.
7. El procedimiento que debe seguirse para procesar e interpretar los resultados de estas verificaciones, compararlos con los requerimientos establecidos y poner en práctica las medidas de ajuste que procedan.
8. Los incentivos o penalizaciones a que haya lugar, según el caso.

El tratamiento por minorizado de todos estos aspectos, constituye la razón de ser de las especificaciones generales de producción, los manuales de procedimientos y los programas de seguimiento para asegurar que se cumpla con la calidad especificada. [Ref.-1]

La historia del concreto es la historia misma del ser humano en la búsqueda adecuada de espacios para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección.

Es por eso que en la presente investigación se tocan puntos importantísimos, respecto al funcionamiento y utilidad del concreto hidráulico como principal fuente de abastecimiento para el ramo de la construcción.

En el presente, referiremos los aspectos principales para un buen desempeño del cemento, los agregados y el agua. Estableciendo y dando a conocer los desempeños del concreto en sus diferentes etapas, su



resistencia y haciendo énfasis en los nuevos cementos, que hoy en día son la principal fuente de construcción mundial.

Se tocarán temas enfocados sobre la importancia de la supervisión en obra, las cuales debemos apoyarlas y fundamentarlas en parámetros cuantitativos y representativos de prueba, por norma, se tienen que hacer a todos los elementos participantes en la estructuración de un concreto hidráulico, para garantizar ilustrativamente el buen desempeño de este, y así, poder dar continuidad a nuestra obra, paremos aquí un poco para referirnos a la importancia de un buen control de calidad:

El control de obra, es el control ejercido por el productor o en su caso el laboratorio de campo, con el fin de obtener un concreto conforme a las normas apropiadas y con cualquier requisito adicional especificado por el contratista o en su caso con el comprador; la esencia del control de calidad es la utilización de los resultados y de pruebas en relación con las materias primas, la planta, el concreto fresco y el concreto endurecido, con el objeto de regular la calidad de la producción de acuerdo con los requisitos especificados y en una forma económica.

El propósito de control de calidad es dar la seguridad que la resistencia especificada sea alcanzada. Para ese propósito, el contenido de cemento, así, como los agregados pétreos y el agua, deben ser escogidos de tal manera que la resistencia promedio exceda la resistencia especificada por un margen apropiado; el margen es consecuencia de:

- Los requerimientos especificados en términos de porcentaje de fallas permitido.
- El método de control de calidad incluyendo la frecuencia de pruebas y el proceso de análisis de los resultados.

Para el sistema de control de calidad del concreto deben realizarse pruebas de resistencia a la compresión, pruebas de trabajabilidad, pruebas de calidad de agregados, cemento, aditivos y agua, así como pruebas de investigación, este tipo de pruebas, son de rigor, desde el año 1999 en la norma NMX C 414-2004- ONNCCE, en la cual se incluyen nuevos tipos de cementos.

Es muy importante conocer para un concreto elaborado con material de la región los porcentajes (%) de resistencia esperada para estos nuevos tipos de cementos.

De esta manera es posible lograr un texto sumamente sencillo, pero a la vez completo de lo que se refiere a la elaboración de una mezcla de concreto hidráulico y motivar al trabajador de las construcciones a una superación



personal al tratar de despertar la inquietud de una lectura posterior en algunas otras publicaciones mas especializadas en los temas que se trataron, que al no ser nuevos ya, hacen que la comprensión sea mucho mas sencilla.



## **CAPITULO II.- ESTADO DEL ARTE.**

### **II.1.- CONCRETO.**

El concreto es un material artificial y heterogéneo constituido por un material cementante y por dos agregados teóricamente inertes. La pasta cementante formada por el agua y el cemento es la destinada a proporcionar al conjunto la suficiente lubricación para que se pueda acomodar este en la cimbra o formas de madera o acero que le servirán de apoyo durante la etapa inicial de su endurecimiento, y para suministrar la resistencia requerida para soportar cargas, cuando se retiren dichas formas.

Los agregados inertes se definen así porque se supone que no intervienen en la reacción química del cemento y el agua, pero se ha visto que esto no es rigurosamente cierto, pues tanto la arena como la grava, pueden en una forma directa o indirecta, influir en la adquisición de resistencia del concreto, ya que si un agregado es estructuralmente débil, reduce la resistencia de los morteros o concretos, en donde se use y si tiene recubrimientos de arcilla o de partículas menores de la malla # 200 (polvo muy fino), se pierde la adherencia entre la matriz cementante y el agregado pétreo.

Aun cuando algunos especialistas en concreto aseguran que un concreto de alta resistencia satisface varias otras características que requieren en él para que de un buen servicio, existen casos especiales en el que no basta que el concreto sea de esa resistencia alta para que soporte el efecto de agentes externos para que lo ataquen; tal es el caso de las alcantarillas que conducen aguas negras y desechos industriales, las que por su alta concentración de sulfuros, sulfatos y ácidos, llegan a desintegrar tales elemento estructurales.

De lo anterior se deduce que en cada caso especial, es necesario estudiar además de las cargas a las que va a estar sometida la obra en su servicio, los agentes externos que van a estar en contacto con el concreto que se va a utilizar. En obras expuestas al efecto de soluciones concentradas de materiales tales como ácidos tánicos, sulfuros, sulfatos, melazas, etc., será



necesario utilizar concreto con características especiales para que resistan el efecto desintegrante de esos materiales.

Se puede asegurar que el cemento es el material que desempeña el papel principal de resistencia, no solo en lo referente a cargas externas, sino también en lo que respecta a los agentes desintegrantes citados.

Es por ello que el concreto se a convertido a la fecha, en el material constructivo de mayor empleo, en la generalidad de las obras de ingeniería, existiendo una gran diversidad de el en lo referente a propiedades especiales: se tienen concretos de peso volumétrico alto y bajo, aislantes térmico y acústico, resistente a los efectos de las radiaciones nucleares, etc.

Desde que este material empezó a utilizarse en las construcciones de ingeniería, muchas y muy diversas teorías se desarrollaron para la correcta dosificación de sus materiales constructivos. [Ref.13]

## **II.2.- MATERIALES CONSTITUYENTES.**

### **II.2.1.- CEMENTO.**

El cemento es el material más importante que interviene en la elaboración de morteros y concretos, pues al combinarse con el agua en proporciones bien definidas, constituye la pasta cementante que sirve de unión a los agregados pétreos que se utilizan para elaborar los dos materiales antes mencionados. De los diversos tipos y clases de cementos conocidos son los siguientes:

1. *Cemento Puzolanico*, que se fabrica agregando puzolana al “Clinker” (nombre que se le da al resultado de la cocción de las materias primas en la fabricación del cemento) en proporciones que varían de un 10% a un 25%, mas yeso sin calcinar en proporción de aproximadamente un 5%.
2. *Cemento Siderúrgico*, en el cual se combina el “Clinker” con escorias de alto horno en diferentes proporcione, así se tiene menos del 30% de este material, se denomina cemento Ferroportland, y cuando ese porcentaje es mayor se le denomina cemento de escorias de alto horno.



El más común en la industria de la construcción es el llamado cemento portland, el cual es el producto que se obtiene de la pulverización del Clinker y combinarlo con una proporción baja de yeso (2-3%) con el fin de controlar el tiempo de fraguado, y en algunas veces mezclar otros materiales en proporciones no mayores del 1% y siempre y cuando se vea que no son perjudiciales mediante pruebas previamente establecidas. [Ref.13]

## **II.2.2.- TIPOS DE CEMENTO.**

Existen 5 tipos de cemento Portland, y esta división se hizo en base a su composición química y sus características de empleo:

**CEMENTO TIPO I.-** Este tipo de cemento se utiliza en construcciones de concreto en general, y cuando no se requiera propiedades especiales que se puedan cumplir mejor con los otros tipos de cementos.

Se considera por especificaciones que la resistencia básica del concreto elaborado con este tipo de cemento, se alcanza a la edad de 28 días de su elaboración y que a los 7 días debe tener en general, aunque sin ser regla fija del 60 al 75% de su resistencia a 28 días, dependiendo de la resistencia de proyecto del concreto.

**CEMENTO TIPO II.-** Este tipo de cemento se emplea en aquellas construcciones de concreto que se encuentran sometidas a la acción moderada del ataque de los sulfatos, o cuando en los elementos estructurales por colar se requiera que se desarrolle un calor de hidratación moderado.

**CEMENTO TIPO III.-** El uso de este cemento se especifica en construcciones de concreto en el que se tiene la urgencia de descimbrar en el mínimo de tiempo posible, por razones económicas o por requerirse una alta resistencia en corto plazo para poner la obra en servicio inmediato. Se considera que el cemento elaborado con este cemento adquiere a los 9 o 10 días de fabricado, casi la misma resistencia que el concreto elaborado con Cemento Tipo I a los 28 días; sin embargo las especificaciones de algunas asociaciones del concreto indican que la resistencias del concreto en el que se utilizo Cemento Tipo III, se garantiza a los 14 días de edad como la que se tendría a los 28 días con Cemento Tipo I.



**CEMENTO TIPO IV.-** Este tipo de cemento se especifica emplear en obras en que se requiere un calor de hidratación mínimo como por ejemplo al colar concreto en grandes masas (presas de tipo gravedad, pilas voluminosas en puentes o cimentaciones de grandes dimensiones) ya que si el concreto tiene un desprendimiento de calor elevado al verificarse su fraguado, se presenta una expansión exagerada, la cual al descender la temperatura se invierte para convertirse en contracción, lo que origina agrietamiento en casi todo el concreto.

**CEMENTO TIPO V.-** Este tipo de cemento se emplea en obras en el que se necesita en el concreto una alta resistencia a la acción destructiva de los sulfatos, como por ejemplo al colar alcantarillas que conducen aguas negras y en general aguas de desechos industriales que por su carácter agresivo pueden llegar a destruir el concreto con el paso del tiempo. [Ref.13]

## **II.3.- CONCRETO HIDRAULICO.**

El concreto hidráulico es una combinación de cemento Portland, agregados pétreos, agua y en ocasiones aditivos, para formar una mezcla moldeable que al fraguar, forme un elemento rígido y resistente.

De acuerdo con su función, el concreto hidráulico se clasifica como:

**CLASE 1.-** Es el concreto cuya masa volumétrica, en estado fresco, esta comprendida entre 2200 y 2400 Kg./m<sup>3</sup>.

Al alcanzar su fraguado final, tendrá una resistencia a la compresión (f'c) igual a 24,5 Mpa o mayor (250 Kg/cm<sup>2</sup>).

**CLASE 2.-** Es el concreto cuya masa volumétrica, esta comprendida entre 1800 y 2200 Kg/m<sup>3</sup>, de acuerdo con la norma M-MMP-2-02-053, y al llegar a su fraguado final tendrá una resistencia a la compresión (f'c) menor a 24.5 Mpa. [Ref.11].



### **II.3.1.- TIPOS DE CEMENTOS.**

A partir del Clinker Portland es posible fabricar tres principales grupos o clases de cementos hidráulicos para la elaboración de concreto:

- 1) Los cementos Portland propiamente dichos, o Portland simples, moliendo solamente el clinker y el yeso sin componentes cementantes adicionales.
- 2) Los cementos Portland mezclados, combinando el clinker y el yeso con otro cementante, ya sea este una escoria o una puzolana.
- 3) Los cementos expansivos que se obtienen añadiendo al clinker otros componentes especiales de carácter sulfatado, cálcico y aluminoso.

El primer grupo constituye los cementos que se han utilizado tradicionalmente para la fabricación del concreto hidráulico en el país. Los del segundo grupo son cementos destinados al mismo uso anterior, y cuya producción se ha incrementado en los últimos 20 años, al grado que actualmente representan más de la mitad de la producción nacional.

Finalmente, los cementos del tercer grupo son más recientes y aún no se producen regularmente en México, si bien su utilización tiende a aumentar en EUA para las llamadas estructuras de concreto de contracción compensada.

Así, mediante ajustes en la composición química del clinker, o por medio de la combinación con otros cementantes, o por la adición al clinker de ciertos materiales especiales, es factible obtener cementos con características y propiedades adecuadas para cada uso específico del concreto hidráulico.

### **II.3.2.- CEMENTO BLANCO.**

El Clinker Portland para este cemento se produce seleccionando materias primas con muy bajas proporciones, e incluso nulas, de hierro y manganeso. En México se le fabrica normalmente conforme a NOM C-1 y de acuerdo con su composición química puede ser clasificado como Portland tipo II. Se le destina principalmente a trabajos arquitectónicos y decorativos, en donde no se requieren grandes consumos de cemento, ya que su precio es relativamente alto.



### **II.3.3.- CEMENTO DE MAMPOSTERÍA.**

El cemento de mampostería se emplea en la elaboración de morteros para aplanados, junto de bloques y otros trabajos similares, por cuyo motivo también se le denomina cemento de albañilería. Dos características importantes de este cemento son su plasticidad y su capacidad para retener el agua de mezclado. Tomando en cuenta que sus requisitos de resistencia son comparativamente menores que los del Portland, esas características suelen fomentarse con el uso de materiales inertes tales como caliza y arcilla, que pueden molerse conjuntamente con el clinker o molerse por separado y mezclarse con el cemento Portland ya elaborado. La Especificación ASTM C 91 considera tres tipos de cemento de mampostería con tres diferentes niveles de resistencia. En México se produce normalmente un solo tipo de este cemento conforme a la NOM C-2 cuyos requisitos son equiparables a los del cemento de nivel inferior de resistencia reglamentado por la ASTM.

### **II.4.- EL CEMENTO PORTLAND.**

Los materiales aglomerantes comprenden la variedad de productos cerámicos que pueden mezclarse con agua u otro líquido para formar la pasta. Esta pasta es plástica temporalmente, se puede moldear y puede tener o no agregados en ella.

Los cementos hidráulicos adquieren sus propiedades aglomerantes de la formación de nuevos compuestos químicos durante el proceso de fabricación. El término hidráulico aplicado a los cementos, significa que es capaz de desarrollar resistencia y endurecerse en presencia de agua. Durante esta reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con agua para formar una pasta de aspecto similar a una roca.

El cemento Portland es el material que ocupa el menor volumen de todos los ingredientes. La invención del cemento Portland se atribuye generalmente a Joseph Aspdin, un albañil inglés.

Aspdin fue el primero en prescribir la fórmula y en patentarla, los cementos calcáreos ya habían sido empleados desde hace muchos siglos. [ref. 3].

**CEMENTO PORTLAND.** Cemento Portland sin agregados, es el producto que se obtiene de la pulverización de una mezcla de clinker y sulfato de calcio con agua (yeso hidratado). [ref. 7].



**1824:** - James Parker, Joseph Aspdin patentan al Cemento Portland, materia que obtuvieron de la calcinación de alta temperatura de una Caliza Arcillosa.

**1845:** - Isaac Johnson obtiene el prototipo del cemento moderno quemado a alta temperatura, una mezcla de caliza y arcilla hasta la formación del "clinker".

**1868:** - Se realiza el primer embarque de cemento Portland de Inglaterra a los Estados Unidos.

**1871:** - La compañía Coplay Cement produce el primer cemento Portland en lo Estados Unidos.

**1904:** -La American Standard For Testing Materials (ASTM), publicá por primera ves sus estándares de calidad para el cemento Portland.

**1906:** - En C.D. Hidalgo Nuevo León se instala la primera fabrica para la producción de cemento en México, con una capacidad de 20,000 toneladas por año.

**1992:** - CEMEX se considera como el cuarto productor de cemento a nivel MUNDIAL con una producción de 30.3 millones de toneladas por año.

### **Tipos y características:**

- I. Sin características especiales.
- II. Moderado calor de hidratación y resistencia a los sulfatos.
- III. Alta resistencia.
- IV. Bajo calor de hidratación.
- V. Alta resistencia a los sulfatos. [ref.7].

## **II.5.- AGREGADOS PÉTREOS. (GRAVA Y ARENA).**

Los agregados pétreos que se utilizan en la elaboración del concreto hidráulico, son materiales teóricamente inerte de volumen prácticamente constante, que al ser usados en conjunto con la pasta cementante (agua + cemento) en las proporciones adecuadas, nos dan morteros y concretos de características mecánicas muy diversas.



Los agregados pétreos se utilizan con dos fines principales:

1. Para obtener una reducción al mínimo de los cambios volumétricos que se originan al fraguar el cemento, ya que funcionan como disparadores del calor de fraguado del cemento.
2. Para abatir el costo del concreto, ya que al incluirse en la pasta cementante originan un abudamiento de esta con la consiguiente economía, es decir rinde un mayor volumen. [Ref.13]

## **II.6.- FABRICACION DE CEMENTOS.**

### **II.6.1.- PROCESO DE FABRICACIÓN.**

Existe una gran variedad de cementos según la materia prima base y los procesos utilizados para producirlo, que se clasifican en procesos de *vía seca* y procesos de *vía húmeda*.

El proceso de fabricación del cemento comprende cuatro etapas principales:

1. Extracción y molienda de la materia prima
2. Homogeneización de la materia prima
3. Producción del Clinker
4. Molienda de cemento

La materia prima para la elaboración del cemento (caliza, arcilla, arena, mineral de hierro y yeso) se extrae de canteras o minas y, dependiendo de la dureza y ubicación del material, se aplican ciertos sistemas de explotación y equipos. Una vez extraída la materia prima es reducida a tamaños que puedan ser procesados por los molinos de crudo.

La etapa de homogeneización puede ser por vía húmeda o por vía seca, dependiendo de si se usan corrientes de aire o agua para mezclar los materiales. En el proceso húmedo la mezcla de materia prima es bombeada a balsas de homogeneización y de allí hasta los hornos en donde se produce el Clinker a temperaturas superiores a los 1500 °C. En el proceso seco, la materia prima es homogeneizada en patios de materia prima con el



uso de maquinarias especiales. En este proceso el control químico es más eficiente y el consumo de energía es menor, ya que al no tener que eliminar el agua añadida con el objeto de mezclar los materiales, los hornos son más cortos y el Clinker requiere menos tiempo sometido a las altas temperaturas.

El Clinker obtenido, independientemente del proceso utilizado en la etapa de homogeneización, es luego molido con pequeñas cantidades de yeso para finalmente obtener cemento.

Reacción de las partículas de cemento con el agua.

1. ***Periodo inicial:*** las partículas con el agua se encuentran en estado de disolución, existiendo una intensa reacción exotérmica inicial. Dura aproximadamente diez minutos.
2. ***Periodo durmiente:*** en las partículas se produce una película gelatinosa, la cuál inhibe la hidratación del material durante una hora aproximadamente.
3. ***Inicio de rigidez:*** al continuar la hidratación de las partículas de cemento, la película gelatinosa comienza a crecer, generando puntos de contacto entre las partículas, las cuales en conjunto inmovilizan la masa de cemento. También se le llama fraguado. Por lo tanto, el fraguado sería el aumento de la viscosidad de una mezcla de cemento con agua.
4. ***Ganancia de resistencia:*** al continuar la hidratación de las partículas de cemento, y en presencia de cristales de  $\text{CaOH}_2$ , la película gelatinosa (la cuál está saturada en este punto) desarrolla unos filamentos tubulares llamados «agujas fusiformes», las cuales al aumentar en número, generan una trama que traspasa resistencia mecánica entre los granos de cemento ya hidratados.
5. ***Fraguado y endurecimiento:*** el principio de fraguado es el tiempo de una pasta de cemento de difícil moldeado y de alta viscosidad. Luego la pasta se endurece y se transforma en un sólido resistente que no puede ser deformado. El tiempo en el que alcanza este estado se llama «final de fraguado».



La fabricación de cementos comprende una serie de operaciones comunes a todos ellos; la fabricación del cemento Portland, el más utilizado, se reduce a las siguientes fases:

**FABRICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND.** Los cementos Portland hidráulicos están compuestos principalmente con materiales calcáreos, tales como, caliza, alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla o pizarra. La materia prima para la fabricación del cemento Portland se encuentra en casi todos los países.

El proceso de fabricación de cementos consiste en moler finamente la materia prima, mezclarla minuciosamente en proporciones previamente establecidas y calcinarla en un horno rotatorio de gran dimensión a una temperatura de aproximadamente a 1400°C, donde el material se sintetiza y se funde parcialmente formando bolitas llamadas clinker. El clinker ya frio se tritura hasta obtener un polvo fino al que se le adiciona yeso y el resultado es el producto comercial conocido como cemento Portland.

La mezcla y trituración o pulverización de las materias primas puede efectuarse tanto en condiciones secas como húmeda; de esto provienen los dos nombres asignados a los procesos: “seco” y “húmedo”.

Se considera primero el proceso húmedo. Si la materia prima es marga se tritura finamente y se dispersa en agua en un molino de lavado. El molino es un pozo circular que tiene brazos revolventes radiales con rastrillos que romperán los aglomerados de materias primas. La arcilla también se tritura y se mezcla con agua, usualmente en un molino de lavado como el anterior.

Inmediatamente se bombean las dos mezclas de tal manera que se mezclan en proporciones previamente determinadas y pasan a través de una serie de tamices. Si la materia prima es caliza antes deberá barrenarse, triturarse y luego se deposita en un molino de bolas, con la arcilla disuelta en agua. Ahí se continúa el molido de la caliza (hasta que el tamaño de la partícula sea como la finura de la harina) y la lechada resultante se bombea a estanques de almacenamiento. A partir de este momento el proceso es el mismo independientemente de la naturaleza original de las materias primas. [Ref.14]

La lechada original, es un líquido de consistencia pastosa con un contenido de agua entre 35% y 50%. En el cual está disuelto aproximadamente el 2%



del material sólido con tamaño mayor de 90  $\mu\text{m}$  regularmente ahí varios tanques de almacenamiento en los cuales se guarda la lechada, la sedimentación de los sólidos impide mediante agitación mecánica o inyección de burbuja de aire comprimido.

El porcentaje de cal contenida en la lechada queda determinado por la proporción de los materiales calcáreos y arcillosos originales. Un ajuste final para obtener la composición química requerida puede efectuarse mezclando lechadas en diferentes tanques de mezclado.

Finalmente la lechada con el contenido de cal deseado pasa a un horno rotatorio. Se trata de un cilindro de acero de gran tamaño recubierto de material refractario, con diámetro interior de hasta 7.5 m y una longitud que a veces alcanza los 230 m, este cilindro gira lentamente alrededor de su eje longitudinal levemente inclinado respecto al horizontal. La lechada se deposita en el extremo superior del horno, mientras se añade carbón pulverizado mediante la inyección de aire en el extremo inferior. Donde la temperatura alcanza de 1400 a 1500°C. El carbón empleado no debe contener un exceso de ceniza, y si merece especial mención, ya que se emplea de 190 a 350Kg para producir una tonelada de cemento. En lugar de carbón se puede emplear petróleo (se consumen 150 litros por tonelada de cemento), o gas natural, sin embargo, recientemente las plantas que operaban con petróleo ahora trabajan con carbón. [Ref.14]

Cuando la lechada desciende dentro del horno, encuentra progresivamente mayores temperaturas. Primero se elimina el agua y se libera el dióxido de carbono; posteriormente el material seco sufre una serie de reacciones químicas hasta que finalmente en la parte más caliente del horno del 20% al 30% del material se vuelve líquido, la cal, el sílice, y la alumina vuelven a combinarse. Después la masa se funde en bolsas de diámetros que varían de 3 a 5 mm, conocidas como Clinker. El Clinker cae dentro de enfriadores de diferentes tipos que a menudo favorecen un intercambio de calor con el aire que después se usa para la combustión del carbón pulverizado. Un horno de grandes dimensiones en una planta de proceso húmedo puede producir 3600 toneladas de Clinker al día.

El Clinker frío, que es característicamente negro, reluciente y duro, se mezcla yeso para evitar un fraguado relámpago del cemento, la mezcla se efectúa en un molino de bolas compuesto por diferentes compartimientos, los cuales se caracterizan por tener bolas de acero cada vez más



pequeñas. En algunas fabricas se utiliza un sistema de circuito cerrado de mezcla donde el cemento descargado por el molino pasa a través de un separador y las partículas finas se trasladan a un silo de almacenamiento por medio de una corriente de aire mientras que las partículas mayores vuelven a pasar por el molino. El circuito cerrado de mezcla evita la producción de gran cantidad de material excesivamente fino o de una pequeña cantidad de material demasiado grueso; fallas que a menudo se presentan en sistemas de molido de circuito abierto.

Una vez que el cemento se ha mezclado de manera satisfactoria, cuando alcanza a tener  $1.1 \times 10^{12}$  partículas por Kg, está en condiciones de empacarse en sacos de papel.

En los procesos seco y semiseco, las materias primas se trituran y se adicionan en las proporciones correctas en un molido de mezclado, donde se seca y se reducen de tamaño a un polvo fino. El polvo seco, llamado grano molido crudo, se bombea al silo de mezclado y se hace un ajuste final en las proporciones de los materiales requeridos para la manufactura del cemento. Para obtener una mezcla íntima y uniforme, se mezcla en grano crudo, generalmente mediante aire comprimido, induciendo un movimiento ascendente al polvo y reduciendo su densidad aparente. El aire se bombea por turnos sobre cada cuadrante del silo, y esto permite al material aparentemente, el más pesado de los cuadrantes no aireados moverse lateralmente hacia el cuadrante aireado. De esta manera el material aireado, tiende a comportarse como un líquido y si se airean a la vez todos los cuadrantes durante un periodo completo, que dura alrededor de una hora, se obtiene una mezcla uniforme.

En el proceso semiseco el grano molido y mezclado se pasa por un tamiz y se deposita en una cuba giratoria llamada granulados, al mismo tiempo se adiciona agua en una cantidad correspondiente al 12% del material en peso del grano molido adicionado. Así se obtendrán pastillas duras de alrededor de 15 mm de diámetro interior. Esto es favorable ya que si se introdujera directamente el polvo frío en el horno, se impedirá el flujo de aire, y el intercambio de calor necesario para las reacciones químicas de la formación del Clinker de cemento.

Las pastillas se hornean en una rejilla de precalentamiento, mediante gases calientes del horno, hasta endurecer. En seguida las pastillas se meten al horno y las operaciones posteriores son las mismas que en el proceso de



fabricación en número. Sin embargo como el contenido de humedad de las pastillas es solo del 12%, comparado con el 40% de la lechada empleada en el proceso húmedo, el horno empleado en el proceso semiseco es bastante mas pequeño, la cantidad de calor requerida es mucho mas pequeña, puesto que hay que eliminar solo un 12% de humedad, aunque ya se ha usado previamente calor adicional para eliminar la humedad original de las materias primas (generalmente de 6% al

10%). Este proceso, es por tanto, más económico pero solo si las materias primas están relativamente más secas. En tal caso el contenido total del carbón puede ser tan pequeño como 100 kgs por tonelada de cemento.

En el proceso por vía seca el grano crudo, el cual tiene un contenido de humedad de cerca de 0.2%, se hace pasar a través de un precalentador generalmente del tipo de suspensión, donde se elabora su temperatura a 800°C antes de introducirlo al horno. El tamaño del horno puede ser mucho menor que el empleado para el proceso por vía húmeda, ya que prácticamente no tiene que eliminarse humedad del grano crudo y este ya ha sido precalentado. La mayor parte del grano crudo puede pasarse a través de un calcinador fluidizado (empleando una fuente de calor por separado) introducido entre el precalentador y el horno. Esto incrementa la descarbonatación (disociación del  $\text{CaCO}_3$ ) del grano crudo antes de meterlo al horno contribuyendo a incrementar notablemente la eficiencia del horno.

El proceso va por vía seca se usa actualmente con el fin de reducir la energía que se requiere la incineración, excepto cuando la materia prima requiere de un proceso por vía húmeda. Tradicionalmente el proceso de incineración representa del 40% al 60% del costo de producción, mientras que la extracción de las materias primas para la fabricación representa solo el 10% del costo total.

Hay también otros procesos de fabricación del cemento, en uno de ellos se utiliza yeso en lugar de cal. El un horno rotatorio se queman yeso, arcilla y coque con arena y oxido de fierro y el producto final es cemento Portland y dióxido de azufre, que posteriormente se convierte en ácido sulfúrico.

En áreas donde solo se requiere una pequeña producción de cemento, puede usarse un horno vertical que arroja nódulos de grano crudo y polvo fino de carbón combinados y produce Clinker aglomerado que se tritura



posteriormente. Un horno simple de 8.5 mts. de altura produce 150 toneladas diarias de cemento.

Debe hacerse notar que todos los procesos requieren de una muy buena mezcla de las materia primas ya que parte de las reacciones en el horno se lleva a cabo por difusión en los materiales sólidos y es esencial en una buena distribución uniforme para asegurar un producto que cumpla con las especificaciones. [ref. 3].

## **II.7.- ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO.**

El cemento es una sustancia particularmente sensible a la acción del agua y de la humedad, por lo tanto para salvaguardar sus propiedades, se deben tener algunas precauciones muy importantes, entre otras: Inmediatamente después de que el cemento se reciba en el área de las obras si es cemento a granel, deberá almacenarse en depósitos secos, diseñados a prueba de agua, adecuadamente ventilados y con instalaciones apropiadas para evitar la absorción de humedad.

Si es cemento en sacos, deberá almacenarse sobre parrillas de madera o piso de tablas; no se apilará en hileras superpuestas de más de 14 sacos de altura para almacenamiento de 30 días, ni de más de 7 sacos de altura para almacenamientos hasta de 2 meses. Para evitar que el cemento envejezca indebidamente, después de llegar al área de las obras, el contratista deberá utilizarlo en la misma secuencia cronológica de su llegada. No se utilizará bolsa alguna de cemento que tenga más de dos meses de almacenamiento en el área de las obras, salvo que nuevos ensayos demuestren que está en condiciones satisfactorias.



## **II.7.1.- TRANSPORTE Y MANEJO DEL CEMENTO.**

El cemento que se emplea en la obras de ingeniería, se recibe comúnmente envasado en bolsas de papel de tres o de cuatro capas. El peso de cada bolsa es de 50 kg., se considera que el volumen aparente por cada 50 kg. de cemento es de 33 litros dentro de la bolsa o 38 fuera de ella y el volumen sólido o absoluto es de 16 litros aproximadamente.

Cuando se transporta cemento envasado en sacos los camiones o góndolas de ferrocarril que se utilizan, se deben de cubrir con lonas impermeables para evitar el humedecimiento del cemento en caso de que se presente una precipitación pluvial.

En caso de que el transporte se haga en granel se debe disponer de carros con caja metálica en el que el cemento se mantenga perfectamente aislado para evitar su hidratación previa. La descarga de este tipo de camiones se hace por la parte trasera mediante el volteo de la caja. En otros vehículos que están diseñados para el transporte de cemento a granel, se tienen acoplados dos o tres silos metálicos de forma de doble cono. Estos silos se encuentran conectados mediante tuberías en el que se inyecta aire a presión para mover el cemento en las operaciones de inyección y extracción. La bomba que traen acoplada se conecta a la tubería de los silos donde se pretende almacenar.

## **II.7.2.- ALMACENAMIENTO.**

El cemento que se recibe en las obras envasado en bolsas de papel, se deben almacenar en lugares secos y protegidos del medio ambiente para evitar su hidratación y carbonatación (del medio ambiente) prematura. La hidratación del cemento se presenta cuando la humedad del medio ambiente entra en contacto con el. La carbonatación se origina al entrar la cal libre con el cemento con el bióxido de carbono del ambiente. Estos dos fenómenos pueden presentarse aisladamente o en conjunto y llegan a reducir considerablemente la capacidad de adquisición de resistencia del cemento, por lo que se deben evitar en todo lo posible.



Cuando se tiene una demanda excesiva de cemento, las fábricas suelen ponerlo a la venta cuando aun se encuentra caliente. El emplear cemento caliente en las obras tiene el inconveniente serio de que el concreto elaborado por el, puede originar un desarrollo de calor mayor al usual (la reacción entre el cemento y agua es exotérmica). En el cemento caliente se puede tener un mayor contenido de cal libre ( $\text{CaO}$ ), que presenta el bióxido de carbono del aire y este se transforma en carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que al hidratarse aumenta considerablemente de volumen y produce una expansión notable en los morteros y concreto en donde se utilicen estos cementos.



## II.8.- METODO ACI.

El Instituto Americano del Concreto (ACI) método de diseño de la mezcla no es más que uno de los muchos métodos básicos de diseño de mezcla de concreto en la actualidad. En esta sección se resume el método ACI volumen absoluto, ya que es ampliamente aceptado en los EE.UU. y continuamente actualizados por la ACI. Tenga en cuenta que este resumen y la mayoría de los métodos mencionados como "diseño de la mezcla" los métodos son en realidad los métodos de dosificación mezcla. diseño de la mezcla incluye mezcla de prueba de dosificación (tratado aquí), más pruebas de rendimiento.

Esta sección es un esbozo general del método de dosificación del ACI haciendo especial hincapié en PCC para pavimentos. Se hace hincapié en conceptos generales y fundamentos sobre los procedimientos específicos. Los procedimientos típicos están disponibles en los siguientes documentos:

- Instituto (ACI) El American Concrete Norma Práctica para la selección de proporciones para la normal, peso pesado, y la masa de hormigón (ACI 211.1-91) que puede encontrar en su *ACI Manual of Concrete Practice 2000, Parte 1: Materiales y Propiedades generales del hormigón.*
- Asociación (PCA) El cemento Portland *Diseño y Control de Mezclas de hormigón*, 14<sup>a</sup> edición (2002) o de cualquier edición anterior.

La mezcla estándar ACI procedimiento de diseño se puede dividir en 8 pasos básicos:

1. Elección de la recesión
2. Selección de tamaño máximo de agregado
3. agua de mezcla y selección de contenido de aire
4. Relación agua-cemento
5. Contenido de cemento
6. Contenido de árido grueso
7. Contenido de agregado fino
8. Ajustes por humedad de los agregados



## **CAPITULO III.- CONSIDERACIONES PRÁCTICAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS HIDRAULICAS PARA PAVIMENTOS RIGIDOS.**

### **III.1.- COMPONENTES.**

El concreto se compone principalmente de agregados, cemento Portland o cemento combinado, agua y puede tener otros materiales cementantes y/o aditivos químicos.

Los aditivos químicos se usan frecuentemente para acelerar o retardar el fraguado, mejorar la trabajabilidad, reducir la cantidad de agua requerida para el mezclado, incrementar la resistencia o modificar otras propiedades del concreto.

### **III.2.- SELECCIÓN DE DOSIFICACION.**

Implica el equilibrio entre la economía y los requisitos de colocación, resistencia, durabilidad, densidad y apariencia.

Las características requeridas van de acuerdo con por el empleo que se dará al concreto y por las condiciones que se espera tener al momento del colado. Estas características se deben incluir en las especificaciones de trabajo.

### **III.3.- AJUSTE DE LAS PROPIEDADES.**

El poder ajustar las propiedades del concreto a las necesidades de la obra refleja un desarrollo tecnológico que tuvo lugar, en su mayor parte, desde el inicio de este siglo. El empleo de la relación agua/cemento como herramienta para estimar la resistencia se adoptó alrededor de 1918. Las notables mejoras en la Durabilidad resultantes de la inclusión de aire se reconocieron a principio de los años cuarenta. Estos dos importantes descubrimientos de la tecnología del concreto se han incrementado con la



extensa investigación y el desarrollo de muchas áreas afines, incluyendo el empleo de aditivos para contrarrestar posibles deficiencias, desarrollar propiedades especiales, o lograr economía.

### **III.4.-PROPORCIONES.**

Las proporciones calculadas por cualquier método se deben considerar siempre objeto de una revisión basada en la experimentación con las mezclas de prueba.

De acuerdo con las circunstancias, las mezclas de prueba se pueden preparar en un laboratorio o, de preferencia, como muestras de campo de tamaño natural.

Este último procedimiento, cuando es factible, evita las posibles fallas derivadas de suponer que los datos de pequeñas mezclas hechas en el laboratorio, predicen el comportamiento en condiciones de campo.

Cuando se emplean agregados de tamaño máximo, mayores de 5 cm, las muestras de prueba de laboratorio se deben verificar y ajustar en el campo, mediante el empleo de mezcladoras del tamaño y tipo de los que se utilizaran en la construcción.

### **III.5.- RELACIÓN BASICA.**

#### **III.5.1.- DOSIFICACIÓN.**

Las proporciones del concreto de deben seleccionar para facilitar la colocación, con la densidad, resistencia y durabilidad necesarias para determinada aplicación.

Además al dosificar concreto masivo se debe tomar en cuenta la generación de calor. A continuación, se analizan las relaciones establecidas que rigen estas propiedades.



### **III.5.2.- FACILIDAD DE COLOCACIÓN.**

Comprende las características consideradas por separado en los términos de trabajabilidad y consistencia (incluye propiedades satisfactorias del acabado). Para los fines de este análisis se considera que la trabajabilidad es una prioridad del concreto que determina su capacidad de colocación y compactación apropiadamente y darle algún acabado sin segregación nociva, así como moldeabilidad y adherencia.

La trabajabilidad es afectada por la granulometría, forma de las partículas y proporciones de agregado; la cantidad y calidad de cemento y otros materiales cementantes; la presencia de aire incluido y aditivos químicos y la consistencia de la mezcla.

Los procedimientos para la practica de dosificación, expuestos aquí, permiten que estos factores sean considerados para lograr una colocación económicamente satisfactoria.

### **III.5.3.- CONSISTENCIA.**

Definida a grandes rasgos, es la capacidad de colocación de la mezcla de concreto. Se mide en términos de Revenimiento, cuando mas elevado sea el revenimiento, mas colocable es la mezcla y esto afecta la facilidad con que el concreto fluye durante el colado. La consistencia se relaciona con la trabajabilidad, pero no es un sinónimo de esta. En concretos correctamente proporcionados, el contenido unitario de agua necesario para producir un revenimiento determinado, dependerá de varios factores. El requerimiento de agua aumenta conforme los agregados son mas angulosos y de textura mas áspera (pero esta desventaja se puede compensar si se mejoran otras características, como su adherencia a la pasta de cemento).

El requerimiento de agua para la mezcla disminuye conforme aumenta el tamaño máximo de agregados bien graduados y con la inclusión de aire. El requerimiento de agua en la mezcla se reduce a veces significativamente con el empleo de ciertos aditivos químicos reductores de agua.



### III.6.- RELACIÓN AGUA/CEMENTO.

Relación agua/cemento o agua cementante  $a/c$  o  $a/(c+p)$ , para un grupo determinado de materiales y condiciones, la resistencia del concreto se determina por la cantidad neta de agua que se emplea por cantidad unitaria de cemento o el total de los materiales cementantes. El contenido neto de agua excluye la absorbida por los agregados.

Las diferencias en resistencia para una determinada relación agua/cemento  $a/c$  o agua-materiales cementantes  $a/(c+p)$  pueden ser consecuencia de cambios en: el tamaño máximo del agregado; granulometría, textura superficial, forma, resistencia y dureza de las partículas del agregado; diferencias en tipos de cemento y orígenes; contenido de aire; y el empleo de aditivos químicos, que afectan el proceso de hidratación del cemento o el desarrollo por si mismos de propiedades cementantes.

En esta obra se toman en cuenta dichos efectos, en la medida que son predecibles, en el sentido general. En vista del número y la complejidad de ellos, es obvio que una predicción precisa de la resistencia se debe basar en mezclas de prueba o en la experiencia obtenida con los materiales que se emplearán.

Si se desea obtener una resistencia determinada debemos poner una cierta cantidad de cemento y una cierta cantidad de agua para obtener la manejabilidad adecuada; si dividimos la cantidad en litros de agua entre la cantidad en kilogramos de cemento empleados en la mezcla obtendremos un cierto número; esa es la relación agua-cemento, y entonces si por alguna razón debemos disminuir la cantidad de agua necesaria en la mezcla y volvemos a realizar la división, obtendremos ahora un número menor que el que teníamos anteriormente. Ese número menor indica que obtendremos una mayor resistencia en esta segunda mezcla. Si por el contrario el agua de mezcla la tenemos que aumentar por cualquier circunstancia y dejando igual las cantidades de los otros ingredientes, y volvemos a hacer la división ahora obtendremos un número mayor que los dos anteriores, lo que nos indica que la resistencia será menor que las otras dos. A continuación se verán los ejemplos de los casos anteriores.



**Caso 1.**

Cemento = 325 kgs.

Agua = 200 lts.

*Relación Agua-Cemento =  $200/325 = 0.61$*

**Caso 2.**

Cemento = 325 kgs.

Agua = 165 lts.

*Relación Agua-Cemento =  $165/325 = 0.51$*

**Caso 3.**

Cemento = 325 kgs.

Agua = 230 lts.

*Relación Agua-Cemento =  $230/325 = 0.71$*

En estos casos vemos que el numero 0.51 es menor que 0.61, por lo que obtendremos una resistencia mayor. En cambio el numero 0.71 es mayor que los otros dos, por lo que la resistencia obtenida será menor que la de los otros dos, y así sucesivamente, mientras mayor sea el numero, la resistencia será menor, y por el contrario mientras menor sea el numero, la resistencia será mayor.

Cabe hacer la aclaración de que cuando se utiliza en el concreto un aditivo inclusor de aire, la relación agua-cemento que se requiere para obtener una determinada resistencia deberá ser menor, como se muestra en la siguiente tabla:

Relación Agua-Cemento	Resistencia probable a la comprensión a 28 días	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
0.36	420kg/cm <sup>2</sup>	340kg/cm <sup>2</sup>
0.45	350kg/cm <sup>2</sup>	280kg/cm <sup>2</sup>
0.53	280kg/cm <sup>2</sup>	225kg/cm <sup>2</sup>
0.62	225kg/cm <sup>2</sup>	180kg/cm <sup>2</sup>
0.71	175kg/cm <sup>2</sup>	140kg/cm <sup>2</sup>
0.80	140kg/cm <sup>2</sup>	110kg/cm <sup>2</sup>

Ref. Comité 613 del A.C.I.



### **III.6.1.- REVENIMIENTO.**

El revenimiento es una característica del concreto fresco que nos da un índice de la fluidez de la mezcla, por esto es que podemos decir en base a un numero si el concreto tendrá la suficiente cantidad de agua para poder ser colocado en los moldes que se tienen dispuestos para dicho fin, permitiendo una adecuada consolidación del mismo.

El método que se debe seguir para hacer la prueba del revenimiento del concreto hecho con cemento Portland, esta cubierto por normas A.S.T.M., la cual habla de los apartados que se van a utilizar hasta como desarrollar el informe.

El revenimiento no es necesariamente una prueba fácil que nos permita conocer la consistencia y la trabajabilidad, ya que estas dependen de varias circunstancias que no son fáciles de determinar con este ensayo, aunque a veces si puede dar un índice de cómo se encuentran dichos factores. Es decir no distingue entre mezclas de características distintas, por ejemplo la mezcla gruesa y áspera y otra con proporción grande de arena que tenga el mismo revenimiento, no pueden considerarse de la misma consistencia. Esto es aun mas cierto en el caso de la trabajabilidad.

El uso de aditivos adecuados pueden aumentar el revenimiento sin tener que aumentar la cantidad de agua, lo que permitirá una colocación mejor o viéndolo desde el otro punto de vista puede ser posible disminuir la cantidad de agua para conservar un mismo revenimiento, por tanto reducir la cantidad de cemento que se este utilizando, para obtener una misma resistencia.

Existen dos causas por la cual el concreto puede tener un bajo revenimiento, es decir que sea de consistencia más bien dura: la primera es debido a que los agregados pueden encontrarse en una condición de subsaturados, es decir secos y en el momento de agregar el agua de mezcla estos por su propiedad de absorción “chupan” toda el agua que necesiten para saturarse y así dejar para formar la pasta mucho menor de agua libre que la que teníamos pensado que iba a haber; la segunda razón por la que el revenimiento del concreto sea menor en el momento de efectuar la prueba, es que ya se haya perdido la consistencia plástica del concreto debido a que ya ha pasado una cantidad determinada de tiempo,



es decir que ya este fraguando el cemento, y por lo tanto este en su fase inicial de adquisición de resistencia y en este caso definitivamente no es recomendable que se agrega agua para obtener de nuevo la consistencia que ya se perdió, ya que lo que se lograría sería aumentar el agua de mezcla que se conoce como agua “activa”, y así dar “al traste” con la resistencia. Cuando esto sucede caben dos soluciones: la primera es tirar el concreto y fabricar uno nuevo o la segunda sería utilizarlo como un “firme” es decir en un lugar donde no tiene importancia estructural y de esa manera no gastar el dinero empleado en su fabricación.

### **Ejemplo de procedimiento:**

Tome dos o más muestras representativas, a intervalos espaciados de manera regular, de la mitad de la descarga de la mezcladora; no tome muestras del comienzo o el final de la descarga. Obtenga muestras dentro de los primeros 15 minutos.

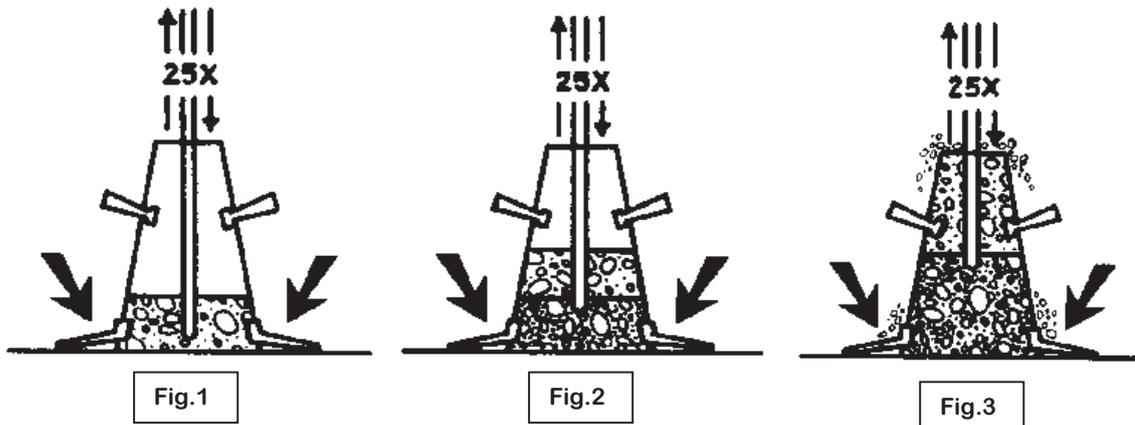
***Importante:*** Los ensayos de revenimiento deben hacerse dentro de los 5 minutos después del muestreo. Combine las muestras en una carretilla o en un recipiente adecuado y vuelva a mezclar antes de llevar a cabo el ensayo. Humedezca el cono de revenimiento con agua y colóquelo en una superficie plana, nivelada, lisa, húmeda, no absorbente y firme.

### **Pasos:**

1. Póngase de pie sobre las dos pestañas del cono para sostenerlo firmemente durante los pasos 1 a 4. Llene el molde del cono  $1/3$  del volumen [67 mm ( $2-5/8^{1/2}$ ) de altura] con el concreto y golpee éste con 25 golpes utilizando una barra de acero de 16 mm ( $5/8^{1/2}$ ) de diámetro x 60 cm ( $24^{1/2}$ ) de largo y de punta hemisférica. Distribuya uniformemente los golpes sobre la sección de cada capa. Para la capa del fondo, se requerirá inclinar la barra ligeramente y distribuir aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro externo, y después progresivamente continuar con golpes verticales especialmente hacia el centro.
2. Llene el cono  $2/3$  parte de su volumen (la mitad de la altura) y de nuevo golpee 25 veces con la barra penetrando, pero no atravesando, la primera capa. Distribuya los golpes de la manera descrita en el paso #1.

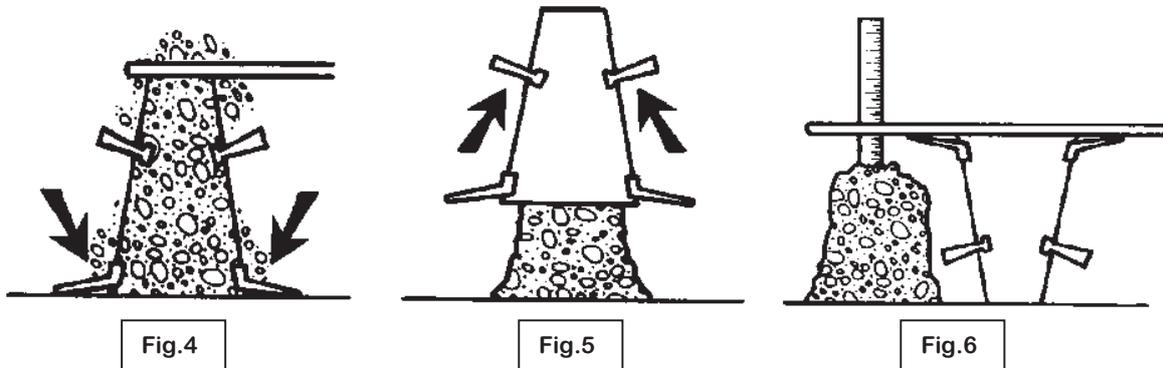


3. Llène el cono hasta el tope y golpee 25 veces con la barra penetrando pero no atravesando la segunda capa. Distribuya los golpes de manera uniforme.



[Ref. 12]

4. Remueva el exceso del concreto o mortero del tope del cono con una barra de acero de forma tal que el cono esté perfectamente lleno y nivelado. Limpie el exceso de la base del molde del cono.
5. Inmediatamente después de completar el paso 4, proceda con la operación de elevación del molde, esto deberá realizarse en 5 a 2 segundos con un levantamiento continuo sin movimiento lateral. La operación entera desde el comienzo del relleno hasta el levantamiento del molde deberá llevarse a cabo sin interrupciones y deberá completarse en un tiempo de aproximadamente 2.5 minutos.
6. Coloque la barra de acero horizontalmente sobre el molde invertido para que la barra se extienda sobre el concreto con revenimiento. Inmediatamente después mida la distancia de la parte inferior de la barra de acero al centro original desplazado de la parte superior de la muestra de concreto. Esta distancia, redondeada a los 6 mm ( $1/4\frac{1}{2}$ ) más cercanos, es el revenimiento del concreto o mortero. Si existe una caída lateral o una inclinación del concreto hacia un lado descarte el ensayo y repítalo con otra muestra.



[Ref. 12]

### III.7.- TRABAJABILIDAD.

La trabajabilidad es una característica del concreto fresco muy importante, ya que es la facilidad con que este puede ser manejado, transportado, colocado y compactado con la mínima pérdida de homogeneidad, es decir sin segregarse. Todo lo anterior quiere decir que cuando nosotros tenemos necesidad de mover el concreto, muchas veces notamos que ya no tiene las mismas características que antes de moverlo, o que al meter la cuchara con fin de aislar la superficie o de jalar el concreto nos cuesta trabajo hacerlo, como que se nota que el concreto no esta tan suave como en algunas otras ocasiones, o también a la hora de colocarlo en la cimbra no es fácilmente compactable y cuesta mucho trabajo colocarlo. [Ref.13].

El elemento que mas influye en trabajabilidad del concreto son los agregados, ya que estos por el gran volumen que ocupan dentro de la masa deben tener una forma y tamaño adecuado para poder acomodarse unos con otros y poder permitir que se muevan fácilmente sin servirles de cuñas para así dificultar el movimiento.

La granulometría de los agregados es importante también, ya que si no están bien graduados los materiales, no va a ser posible tener un buen acomodo de todas las partículas, con lo que tampoco tendremos una buena trabajabilidad.



Cuando no es posible cambiar el banco de materiales y estamos obteniendo de él, agregados más bien lajeados, podemos aumentar la trabajabilidad agregando puzolanas: ceniza volante, tierra de diatomeas, etc.

Debe entonces de buscarse por los diferentes medios antes mencionados, obtener un concreto con la trabajabilidad adecuada, para poder tener así un buen acabado de las superficies y sobre todo una buena durabilidad y resistencia.

### **III.7.1.- FRAGUADO.**

Los tiempos de fraguado son otra característica importante del concreto, ya que son los que nos van a decir cuando, entre otras cosas, una mezcla esta adquiriendo una consistencia mas bien seca y dura por haber entrado a esta etapa de endurecimiento.

*Fraguado del concreto.* Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.

La determinación de estos dos estados, cuyo lapso comprendido entre ambos se llama tiempo de fraguado de la mezcla, es muy poco precisa y sólo debe tomarse a título de guía comparativa. El tiempo de fraguado inicial es el mismo para los cinco tipos de cemento enunciados y alcanza un valor de 45 a 60 minutos, el tiempo de fraguado final se estima en 10 horas aproximadamente. En resumen, puede definirse como tiempo de fraguado de una mezcla determinada, el lapso necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido. Así definido, el fraguado no es sino una parte del proceso de endurecimiento. Es necesario colocar la mezcla en los moldes antes de que inicie el fraguado y de preferencia dentro de los primeros 30 minutos de fabricada. Cuando se presentan problemas especiales que demandan un tiempo adicional para el transporte del concreto de la fábrica a la obra, se recurre al uso de “retardantes” del fraguado, compuestos de



yeso o de anhídrido sulfúrico; de igual manera, puede acelerarse el fraguado con la adición de sustancias alcalinas o sales como el cloruro de calcio.

***Endurecimiento del concreto.*** El endurecimiento del concreto depende a su vez del endurecimiento de la lechada o pasta formada por el cemento y el agua, entre los que se desarrolla una reacción química que produce la formación de un coloide “gel”, a medida que se hidratan los componentes del cemento. La reacción de endurecimiento es muy lenta, lo cual permite la evaporación de parte del agua necesaria para la hidratación del cemento, que se traduce en una notable disminución de la resistencia final. Es por ello que debe mantenerse húmedo el concreto recién colado, “curándolo”. También se logra evitar la evaporación del agua necesaria para la hidratación del cemento, cubriendo el concreto recién descimbrado con una película impermeable de parafina o de productos especiales que se encuentran en el mercado desde hace varios años.

Los tiempos de fraguado se pueden acelerar o retrasar con el uso de aditivos especiales para ello. Generalmente el retardante se usa cuando no se va a poder tener un colado muy rápido en lo que se refiere a la colocación del concreto, o cuando el medio ambiente es muy caliente, ya que en climas muy calientes el tiempo de fraguado se hace menor o lo que es lo mismo vamos a disponer de poco tiempo para poder colocar nuestro concreto por estar, debido al calor, acelerando el fraguado, es ahí donde se puede utilizar el aditivo retardante con las demás consecuencias benéficas que conocemos, tales como a mayores edades, una resistencia mayor que si no tiene aditivo retardante, lo que nos hace ver que el retardo que mencionamos es únicamente del fraguado inicial.

Los aditivos acelerantes tienen la función de acelerar el fraguado del concreto, por lo que su utilización será cuando tengamos una gran urgencia por tener una resistencia alta muy rápido. Estos acelerantes no solo tienen efecto sobre el tiempo de fraguado, sino también sobre toda la ganancia de resistencia. Dado que hacen que el tiempo de fraguado sea menor que el de un concreto sin aditivo de este tipo, se deberá agregar el aditivo hasta que se este positivamente seguro que ya se va a poder utilizar. [Ref.13]



### **III.7.2.- VOLUMEN.**

El volumen que vamos a utilizar de concreto es algo que debemos determinar muy cuidadosamente para no fabricar o comprar concreto de mas que vamos a desperdiciar, ni por el contrario nos vallamos a quedar cortos de la cantidad que hicimos o pedimos y al tratar de conseguir mas nos lleve una cantidad de tiempo grande, por lo que nuestro colado no seria continuo y presentaría juntas frías y otros tipos de defecto derivados de lo anterior.

El principal aspecto que debemos de cuidar es el que si hacemos la cubicación directamente sobre los planos, sabemos que en la obra vamos a tener diferencias, muchas veces involuntarias que van a hacer que no concuerde lo pedido con lo que se va a utilizar.

De igual manera debemos estar muy atentos al espesor real o en general las mediadas reales que vamos a obtener en la obra, y en realidad esto debe ser en general por dos razones: la primera y mas importante, pongamos por ejemplo una losa de 15 cm de espesor, la cul fue calculada estructuralmente con ese espesor y el peso de concreto que representa ese espesor, pero si en el momento del colado los escantillones son poco precisos, vamos a tener un espesor real de 16 o 17 cm los cuales van a tener que ser soportados también, es decir también pesan, lo que va a hacer que la estructura no sea tan segura como se esperaba, y como segunda razón, es que nos esta costando ese material que estamos poniendo demás, y también producirá el haberlo empleado ahí, pedir un 10% mas aproximadamente de concreto, con el retraso obvio que tendremos, lo que hará que la gente rinda menos y se canse mas, además de los jornales extras que habremos de pagar. Por estas razones se debe de tener especial cuidado con las cubicaciones y las medidas reales que se están colocando en la obra para poder tener un buen control de avances y del trabajo de la gente.

### **III.7.3.- SANGRADO.**

El sangrado es el fenómeno en el cual el agua se separa del resto de la masa o como lechada en la superficie del concreto ya colado la cual nos trae una serie de prejuicios tanto por el volumen de agua que se va a evaporar como por el acabado que va a tener dicha superficie.



El sangrado se presenta por varias razones, entre ellas por vibrar excesivamente el concreto, ya que se produce una segregación tal que todas las partículas se van acomodando de abajo hacia arriba en relación a su peso, así las gravas quedan en el fondo, la arena a continuación, luego el cemento y luego el agua, aunque en general estos dos últimos quedan forzando una lechada.

En general todo el concreto tiende a producir sangrado, pero dependerá de sus características de plasticidad y consistencia para que se pueda evitar hasta donde sea posible, ya que como dijimos, esto es muy perjudicial, en especial para la durabilidad ya que será una zona de agrietamientos que estructuralmente no tienen una resistencia adecuada, y de esa manera no lo podremos considerar como un elemento con las dimensiones reales que tiene, sino que habrá que reducirle el espesor de capa de lechada agrietada, ya que como se dijo, esto no resistirá gran cosa.

### **III.8.- DURABILIDAD.**

La durabilidad en el concreto es una característica muy importante sobre todo bajo ciertas condiciones de exposición, y dicha particularidad esta definida tanto por el cemento como por los agregados y la cantidad de agua usada en la elaboración de la mezcla.

El concreto debe ser capaz de soportar exposiciones que puedan privarlo de su durabilidad, en condiciones de congelación y deshielo, humedecimiento y secado, calentamiento y enfriamiento; y ante sustancias químicas, agentes descongelantes y otros. La resistencia se puede mejorar con el uso de componentes especiales: cemento de bajo contenido de álcalis, puzolanas, escorias de alto horno finamente molidas, o agregado seleccionado para evitar la expansión nociva debido a la relación álcali-agregados que ocurre en algunas áreas cuando el cemento esta expuesto a ambientes húmedos; cemento sulfatos resistentes, escorias de horno finamente molidas, o puzolanas para concretos expuestos a agua de mar o suelos sulfatados; o agregados compuestos por minerales duros y libres de partículas suaves, cuando se requiere la resistencia a la abrasión de la superficie.

El empleo de una baja relación de agua-cemento o materiales cementantes  $a/c$  o  $a/(c+p)$  prolongara la vida del concreto al reducir la penetración de líquidos agresivos. La resistencia al intemperismo severo, particularmente



a congelación y deshielo, así como a las sales empleadas para remover el hielo, se mejora significativamente mediante la incorporación de aire incluido uniformemente distribuido. El aire incluido debe emplear en todo el concreto expuesto en climas donde se alcanza el punto de congelación.

### **III.9.- DENSIDAD.**

Para ciertas aplicaciones, el concreto se puede emplear principalmente por su característica de peso. Ejemplos de estas aplicaciones son los contrapesos de los puentes levadizos; las presas para hundir el agua, tuberías de petróleo; como protección contra la radiación y como aislante acústico. Mediante el empleo de agregados especiales se obtienen concretos con densidades tan elevadas como  $5,600 \text{ kg/cm}^2$ , que se pueden colocar sin ningún problema bien.

### **III.10.- GENERADOR DE CALOR.**

Un factor digno de tenerse en cuenta al dosificar concreto masivo, es el tamaño o forma de la estructura completa o de la parte donde va a emplear. Los colados de concretos que sean tan grandes que ameriten tomar medidas para controlar la generación de calor y los cambios resultantes dentro de la masa, requieren la consideración de las medidas de control de temperatura. Por regla general, la hidratación del cemento producirá una elevación en la temperatura del concreto de  $5 \text{ a } 8 \text{ }^\circ\text{C}$  por cada  $60 \text{ kg}$  de cemento Portland en  $1\text{m}^3$ .

Si la elevación de la temperatura de la masa del concreto no se mantiene al mínimo, para permitir que el calor se disipe a una velocidad razonable, o si el concreto se somete a un cambio brusco de temperatura o gradiente térmico, es probable que ocurra agrietamiento. Las medidas de control de temperatura pueden incluir una temperatura inicial de colado relativamente baja, cantidades reducidas de materiales aglutinantes, circulación de agua fría y, en ocasiones, aislamiento de superficies de concreto, según sea necesario, para ajustarse a las diversas condiciones y exposiciones del mismo.



Cabe señalar que el concreto masivo no es necesariamente de agregado grande, y que la preocupación por la generación de calor excesivo en el concreto no se circunscribe a estructuras masivas de presas o cimentaciones. Muchos elementos estructurales grandes pueden ser de gran masa y requerir que se tenga en cuenta la generación de calor, particularmente cuando las dimensiones mínimas de una sección transversal de un miembro de concreto solido se aproximen o excedan de los 60 a los 90 cms, o cuando estén considerando contenidos de cemento superiores a 356 kg/m<sup>3</sup>.

### **III.11.- EFECTO DE LOS ADITIVOS QUIMICOS, PUZOLANAS Y OTROS MATERIALES EN LA DOSIFICACION DE CONCRETO.**

#### **III.11.1.- ADITIVOS.**

Por definición, un aditivo es “un material diferente al agua, agregados, cemento hidráulico y fibras de refuerzo que se emplean como un ingrediente del concreto o mortero y se agrega a la mezcla inmediatamente antes o mediante su mezclado”. En consecuencia, el término abarca un campo extremadamente amplio de materiales y productos, algunos de los cuales son extensamente usados mientras que otros son de aplicación limitada.

Por tanto, en esta obra se refiere al efecto sobre la dosificación de concreto de los aditivos inclusores de aire, aditivos químicos, cenizas volantes, puzolanas naturales y escorias de alto horno finamente molidas.

#### **III.11.2.- ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE.**

El concreto con aire incluido siempre se logra mediante el empleo de un aditivo inclusor de aire, ASTM 260, en contraposición a las prácticas iniciales en las que se integraba al cemento el aditivo inclusor de aire. El empleo de un aditivo inclusor de aire le permite al productor de concreto la flexibilidad para ajustar el contenido de aire incluido y para compensar la



mayoría de las condiciones que afectan la cantidad de aire incluido en el concreto, como: característica de los agregados, naturaleza y proporción de los componentes de los aditivos del concreto, tipo y duración del mezclado, consistencia, temperatura, composición química y finura del cemento, el empleo de otros materiales cementantes o aditivos químicos, etc.

Debido al efecto lubricante en la mezcla de las burbujas de aire incluido y cantidad y tamaño de los vacíos de aire, para un mismo revenimiento el concreto con aire incluido generalmente tiene un contenido de agua menor en más de un 10% que el de sin aire incluido. Esta reducción en el volumen de agua de mezclado así como el volumen de aire incluido o atrapado se debe considerar en el proporcionamiento.

### **III.11.3.- ADITIVOS QUIMICOS.**

Puesto que la resistencia y otras características importantes del concreto como durabilidad, contracción y agrietamiento están relacionadas con el contenido total de agua y la relación  $a/c$  ó  $a/(c+p)$ , los aditivos reductores de agua con frecuencia se emplean para mejorar la calidad del concreto. Además, como se puede usar menos cemento con la reducción del contenido de agua para mantener la misma relación  $a/c$  ó  $a/(c+p)$  u obtener la misma resistencia, los aditivos reductores de agua o reguladores de fraguado se utilizan constantemente por razones de economía.

Los aditivos químicos que se ajustan a ASTM C 494 de los tipos A a la G, son de diversas formulaciones y la utilidad o finalidad en concreto es como sigue:

**TIPO A – Reductor de agua**

**TIPO B – Retardante**

**TIPO C – Acelerante**

**TIPO D – Retardante y Reductor de agua**

**TIPO E – Acelerante y reductor de agua**

**TIPO F – Reductor de agua de alto rango**



**TIPO G – Reductor de agua de alto rango y Retardante.**

Para cada aditivo químico en particular se debe consultar la literatura del fabricante y así poder terminar la dosificación en porcentaje de cada aditivo químico en particular o en combinaciones de aditivos.

Cuando se usan los aditivos químicos en dosis grandes tienen tendencias a inducir fuertes efectos colaterales como retardo excesivo y posiblemente un incremento del aire incluido de acuerdo con la ASTM C 1017. Los tipos A, B y D, cuando se usan solos, son generalmente empleados en pequeñas dosis (1.3 a 4.5 cm<sup>3</sup> por kg de materiales cementantes), por lo tanto el agua que se agrega a la mezcla en la forma de aditivo se puede ignorar. Los tipos C, E, F y G, se emplean con mayor frecuencia en cantidades mayores (6.5 a 58.5 cm<sup>3</sup> por kg de materiales cementantes), por lo que su contenido de agua se debe tomar en cuenta cuando se calcule el contenido unitario total de agua y la relación a/c o a/(c+p). Cuando los aditivos tipos A, B y D se emplean en dosificaciones mayores a la normal, en combinación o en un sistema de aditivos con un aditivo Acelerante (tipo C o E), su contenido de agua también se debe tomar en consideración.

Aun cuando los aditivos químicos son de formulaciones diversas, su efecto en las dosificaciones recomendadas en los requerimientos de agua esta gobernado por los requisitos de ASTM 494. Los rangos de dosificación recomendados normalmente los establece el fabricante del aditivo o el usuario después de muchas pruebas. Cuando se emplean dentro del rango normal de dosificación los aditivos Tipo A reductor de agua, Tipo D retardante y reductor de agua y Tipo E acelerante y reductor de agua, comúnmente reducen los requerimientos de agua de un 5 a un 8%, mientras que los aditivos Tipo F reductor de agua de alto rango y Tipo G reductor de agua de alto rango y retardante reducen los requerimientos de agua de 12 a 25% o mas. Los aditivos de Tipo F y G reductores de agua de alto rango con frecuencia se llaman “superplastificantes”.



### **III.11.4.- ADITIVOS PARA CONCRETO.**

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.

Sin embargo, en la práctica del concreto hidráulico convencional, no se consideran aditivos las puzolanas y las escorias cuando forman parte de un cemento Pórtland-puzolana. Pórtland-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 utiliza como ingrediente del mortero o del concreto, y que se añade a la revoltura inmediatamente antes o durante el mezclado.

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.

### **III.11.5.- USOS DE LOS ADITIVOS**

El comportamiento y las propiedades del concreto hidráulico, en sus estados fresco y endurecido, suelen ser influidos y modificados por diversos factores intrínsecos y extrínsecos. Los intrínsecos se relacionan esencialmente con las características de los componentes y las cantidades en que éstos se proporcionan para laborar 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.



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.

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 futuras. Es decir, la práctica 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 diseñada, 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 sólo para modificar sus propiedades en los estados fresco y endurecido, sino también por economía, para ahorrar energía y porque hay casos en que el uso de un aditivo puede ser el único medio factible para obtener el resultado requerido, citando como ejemplos la defensa contra la congelación y el deshielo, el retardo o la aceleración en el tiempo de fraguado y la obtención de muy alta resistencia. Asimismo, señalan que los principales efectos que se persiguen con el uso de los aditivos. [ref.8]



### III.11.6.- PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON ADITIVOS.

Endurecimiento del concreto con la edad. La combinación del cemento con el agua de la mezcla se realiza lentamente lográndose hidratar a los 30 días en las mejores condiciones del laboratorio, sólo un poco más del 80% del cemento empleado.

En el transcurso del tiempo, el cemento continúa su proceso de hidratación tomando el agua necesaria del ambiente atmosférico, corriendo parejo con su propio endurecimiento y formando una curva asintótica a los valores más elevados de la fatiga de ruptura.

Los concretos fabricados con cemento Tipo III, Alta Resistencia Rápida, alcanzan a los 7 días la resistencia correspondiente a los 28 días del cemento Tipo I, pero a los dos años ambas resistencias son prácticamente iguales.

Cuando se efectúa la ruptura del cilindro a los 28 días de colado, la fatiga correspondiente a esa ruptura se representa por  $f''$  y constituye el valor base al cual se refieren las especificaciones. [ref.8]

### III.11.7.- PROPIEDADES Y USOS.

El cemento aluminoso se caracteriza por su rápido endurecimiento y su elevada resistencia a las 24 horas. Esto hace que su empleo nos economice madera y tiempo de entrega de las obras.

Por su gran resistencia a los agentes químicos, particularmente a las aguas de mar y sulfatadas, se le emplea en estos casos en lugar del cemento Pórtland normal. Por su insensibilidad a las bajas temperaturas, es muy empleado en los lugares fríos.

El fraguado de estos cementos se acelera con: Hidróxido de calcio, hidróxido sódico, carbonato sódico, etc., y se retarda con: cloruro sódico, cloruro potásico, cloruro bórico, etc.



El azúcar, adicionado en 1 %, es capaz de retrasar el fraguado un día o más. Su peso específico es 3.3 y su peso volumétrico varía entre 1 300 y 1 400 kg/m<sup>3</sup>.

*Cementos puzolánicos.* Los cementos puzolánicos se preparan moliendo juntos mezclas de clinker de cemento Y puzolanas.

La trabajabilidad debe ser juzgada con base en la medida del revenimiento, considerando las tolerancias señaladas anteriormente en el capítulo de Especificaciones. La muestra y la prueba deben realizarse de acuerdo con la norma NMX C-156 "Determinación del revenimiento del concreto fresco". Cuando se utilizan otras pruebas -además de la del revenimiento para verificar los requerimientos de trabajabilidad, éstas deben ser establecidas de común acuerdo entre el comprador y el productor. [ref. 8].

### **III.11.8.- TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO CON ADITIVO.**

Se puede especificar, como medida opcional, la temperatura dentro de ciertos límites para condiciones especiales, y debe ser medida a través de una muestra representativa obtenida de acuerdo con la norma NMX C-161 "Muestreo del concreto fresco".

Este requisito por parte del productor podrá establecerse mediante previo convenio especial.

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

Contenido de aire incluido en el concreto fresco.

Aplicable principalmente a concretos de pavimentos.

La determinación del contenido de aire incluido de una muestra representativa, tomada en el punto de descarga de la unidad revoladora, se hará de acuerdo con la norma NMX C-157 "Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión". La muestra se



aceptará con una tolerancia de  $\pm 2\%$  del valor requerido. La frecuencia de muestreo debe establecerse previo acuerdo entre el comprador y el productor. [ref. 8].

### III.12.- OTROS MATERIALES CEMENTANTES.

Los materiales cementantes diferentes al cemento hidráulico con frecuencia se emplean por economía en concreto mezclados con cemento Portland o combinado para reducir el calor de hidratación, mejorar la trabajabilidad y/o mejorar la durabilidad bajo las condiciones ambientales previstas. En estos materiales se incluyen cenizas volantes, puzolanas (ASTM C 618), y escorias de alto horno finamente molidas (ASTM C 989) humos de sílice. No todos estos materiales proporcionan los beneficios señalados.

Tal como se define en ASTM C 618, las puzolanas son: “Materiales silicos o silico-aluminosos que, por si mismos, poseen poco o ningún valor cementante, pero que finamente molidos y en presencia de humedad, pueden reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias y formar compuesto con materiales cementantes”.

Las cenizas volantes son el residuo finamente graduado resultante de la combustión de trozos de carbón o en polvo. Las cenizas volantes que se emplean en el concreto se clasifican dentro de dos categorías: Clase F, que tienen propiedades puzolanicas, y Clase C, que además de tener propiedades puzolanicas, también puede contar con algunas propiedades cementantes; en tal caso, este material puede ser de autofraguado si se mezcla con agua.

La escoria de alto horno es un subproducto de la fabricación de lingotes de fierro. Cuando estas escorias son rápidamente enfriadas y molidas, puede poseer propiedades cementantes latentes. Después de procesadas, el material se conoce como escoria de alto horno finamente molida, cuyas propiedades hidráulicas pueden variar y ser clasificadas dentro de las calidades consignadas en ASTM C 989. La clasificación por calidad esta gobernada por la resistencia potencial relativa de un mortero con 50% de escoria de alto horno finamente molida respecto al de referencia de potencial de resistencia de las escorias de alto horno finamente molidas, son de 80, 100 y 120.



Los humos de sílice son un subproducto resultante de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón y astillas de madera, en un horno de arco eléctrico, durante la producción de metales de sílice o aleaciones de ferrosilicio. El humo de sílice, que se condensa a partir de los gases que escapan de los hornos, tiene un alto contenido de dióxido de sílice amorfo y consiste en partículas esféricas muy finas.

La extrema finura de y el alto contenido de sílice de los humos de sílice hacen que reaccione a la manera de las puzolanas con cal “libre” que se produce durante la hidratación del cemento, a fin de formar el compuesto cementante estable llamado hidrato de silicato de calcio (CSH).

### **III.13.-PRODUCTOS DE HIDRATACIÓN.**

El material de mayor interés es la pasta de cemento, la cual es el producto de la reacción de cemento con agua. En presencia de agua, los silicatos y aluminatos del cemento Portland forman productos de hidratación o hidratos “la pasta endurecida de cemento”. Los dos silicatos de calcio son los principales compuestos aglutinantes en el cemento, de los cuales el primero se hidrata más rápidamente que el segundo. [ref.2]

### **III.14.- HIDRATACIÓN DEL CEMENTO.**

Cuando se agrega agua al cemento Portland, los componentes básicos presentes, se transforman en nuevos compuestos por reacciones básicas.

Silicato Tricálcico + Agua = Gel de Tobermorita + Hidroxido de Calcio.

Silicato dicálcico + agua = Gel de Torbermorita + Hidroxido de Calcio.

Ferroaluminato Tetracálcico + Agua + Hidroxido de Calcio = Hidrato de Calcio.

Aluminato Tricálcico + Agua + Hidroxido de Calcio = Hidrato de Aluminato Tricálcico.

Aluminato Tricálcico + Agua + Yeso = Sulfoaluminato de Calcio.



Dos silicatos de calcio que constituyen alrededor del 75% por peso de cemento Pórtland, reaccionan con el agua para producir dos nuevos compuestos: gel de tobermorita el cual no es cristalino e hidróxido de calcio que es cristalino. En la pasta de cemento completamente hidratada, el hidróxido de calcio constituye el 25% del peso y el gel de tobermorita el 50%. La tercera y cuarta reacción muestran como se combinan los otros dos compuestos principales del cemento Portland con el agua para formar productos de reacción. En la última ración aparece el yeso, compuesto agregado al cemento Portland durante la trituración del clinker para controlar el fraguado.

Cada producto de la reacción de hidratación desempeña una función en el compartimiento mecánico de la pasta endurecida. El más importante de ellos es el compuesto llamado gel de tobermorita, el cual es el principal compuesto aglomerante de la pasta de cemento. Este gel contiene composición y estructura semejante a la de un mineral natural llamado tobermorita. Este gel es una sustancia dividida, extremadamente fina, con estructura coherente.

El diámetro promedio de un gramo de cemento Pórtland proviene de la trituración de clinker es de alrededor de 10 $\mu$ m. las partículas del producto de hidratación, gel de tobermorita son del orden de un milésima de ese tamaño.[ref.3]

### **III.15.- AGREGADOS DEL CONCRETO HIDRÁULICO**

En las mezclas de concreto hidráulico convencional, los agregados suelen representar entre 60 y 75 por ciento, aproximadamente, del volumen absoluto de todos los componentes; de ahí la notable influencia que las características y propiedades de los agregados ejercen en las del correspondiente concreto. [ref.8.]



### **III.15.1.- AGREGADOS PARA CONCRETOS DE DIVERSO PESO UNITARIO.**

Una característica importante del concreto es su peso unitario, porque es índice de propiedades que a su vez influyen decisivamente en el empleo que se le da. Como es evidente, dicha característica del concreto depende principalmente del peso específico de los agregados que lo integran.

Procede hacer notar que tanto los concretos ligeros como el concreto pesado, requieren de agregados especiales y tienen usos específicos que resultan fuera del campo de aplicación que se considera convencional, en el que casi todo el concreto que se utiliza es de peso normal.

Con base en esa consideración, solo se aborda aquí el tema de los agregados denominados de peso normal, porque son los que se utilizan en la elaboración.

Cada una de estas variedades del concreto de peso normal tiene, en algún aspecto, requisitos propios para sus agregados; sin embargo, los requisitos básicos y más generales son los correspondientes a los agregados para el concreto convencional, porque abarcan el campo de aplicación de mayor amplitud.

### **III.15.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS DE PESO NORMAL.**

Los agregados de peso normal comúnmente proceden de la desintegración, por causas naturales o medios artificiales, de rocas con peso específico entre 2.4 y 2.8 kg/m<sup>3</sup>, aproximadamente; de manera que al utilizarlos se obtienen concretos con peso volumétrico, en estado fresco, en el intervalo aproximado de 2200 a 2550 kg/m<sup>3</sup>. Existen diversas características en los agregados, cuyas diferencias permiten clasificarlos e identificarlos. Las principales características que sirven a tal fin, se indican a continuación:



### **III.15.2.1.- POR EL ORIGEN DE LAS ROCAS.**

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

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

#### **A) AGREGADO FINO.**

La composición granulométrica de la arena se acostumbra analizar mediante su separación en siete fracciones, cribándola a través de mallas normalizadas como "serie estándar", cuyas aberturas se duplican sucesivamente a partir de la más reducida que es igual a 0.150 mm (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) requieren que en cada fracción exista una proporción de partículas comprendida dentro de ciertos límites establecidos empíricamente. Dichos límites, que definen el uso granulométrico.

#### **B) AGREGADO GRUESO.**

De igual modo que en el caso de la arena, es deseable 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.

De acuerdo con lo anterior, cuando se verifica la granulometría de una muestra de grava, pueden presentarse dos casos que ameritan la aplicación de criterios de juicio diferentes. El primer caso es cuando se analiza una muestra de grava integral procedente de una determinada fuente de suministro propuesta y se requiere juzgar si contiene todos los tamaños en proporciones adecuadas para integrar la granulometría requerida en el concreto, o si es posible considerar la trituración de tamaños mayores en exceso para producir tamaños menores faltantes, o bien si resulta necesario buscar otra fuente de suministro para sustituir O complementar las deficiencias de la fuente en estudio.

El segundo caso se refiere a la verificación granulométrica de fracciones individuales de grava, previamente cribadas a escala de obra, a fin de comprobar principalmente si el proceso de separación por cribado se realiza con la precisión especificada dentro de sus correspondientes intervalos nominales. En tal caso, debe prestarse atención especial a la cuantificación de los llamados defectos de clasificación representados por las partículas cuyas dimensiones resultan fuera del intervalo nominal de la fracción, y para los cuales hay limitaciones específicas. A las partículas menores que el límite inferior del intervalo se les denomina subtamaño nominal ya las mayores que el límite superior del intervalo, sobre tamaño nominal. [ref.8].

### **III.15.3.- CLASIFICACION POR TAMAÑO.**

El concreto se hace con partículas de agregados de una variedad de tamaños hasta un máximo de de entre 10 mm (3/8 in) y 50 mm (2 in) lo típico son 20 mm (3/4). La distribución del tamaño de la partícula se denomina gradación. Un concreto de bajo grado puede estar hecho por agregados de depósitos que contengan diferentes tamaños de partícula, de la más grande hasta las más pequeñas, conocido como agregados que tienen todo adentro. La alternativa de uso más común en la fabricación de concreto de buena calidad consiste en obtener el agregado en, por lo menos, dos lotes separados con la división principal en el tamaño de la partícula de 5 mm



(3/16 in) o malla núm. 4 de la ASTM. Así, se divide el agregado fino (arena) del grueso. Debe aclararse que el termino agregado se usa en ocasiones para referirse al agregado grueso, en contra posición de la arena, lo cual es incorrecto.

En la arena el limite inferior considerado para tamaño de partícula es, por lo general, de 0.07 mm (0.03 in) o con un poco menos. El material de entre 0.06 mm (0.002 in) y 0.02 mm (0.008 in) se clasifica como sedimento; las partículas menores se denominan en arcilla. La marga es un depósito suave que consiste en partes iguales de arena, sedimentos y arcilla.

### **III.15.4.- CLASIFICACION DE FORMAS Y TEXTURAS.**

Las características externas del agregado, en particular la forma de la partícula y la textura superficial, influyen en las propiedades del concreto fresco y endurecido. Aunque la forma de cuerpos tridimensionales es difícil de describir, es conveniente definir algunas características geométricas de dichos cuerpos.

La redondez mide la angulosidad o agudeza relativa de las orillas y las esquinas de una partícula. La redondez real es consecuencia de la resistencia del desgaste y a la abrasión de la roca de origen, y el grado de desgaste a que ha sido sometida la partícula. En el caso de agregado triturado, la forma dependerá de la naturaleza del material de origen y del tipo de triturado y su proporción de reducción; es decir, la relación del tamaño inicial respecto al del producto triturado. [ref.2]

La clasificación por textura de la superficie de agregado, especialmente en el agregado fino, tiene gran influencia en los requerimientos de agua de la mezcla. En términos prácticos, a mayor cantidad de espacios o huecos de un agregado poco compactado, se requerirá mas agua. La escamosidad y la forma del agregado grueso tienen, por lo general, un efecto significativo en la manejabilidad del concreto, la cual decrece con el incremento del número de angularidad.



### **III.15.5.- PROPIEDADES MECÁNICAS.**

Hablar de las propiedades mecánicas de los agregados es proporcionar indicios sobre la calidad del agregado. Sin embargo, no es posible relacionar el desarrollo potencial de la resistencia del concreto con las propiedades del agregado. Así como tampoco es posible trasladar las propiedades de éste para la elaboración del concreto.

### **III.15.6.- ADHERENCIA.**

Tanto la forma de la partícula como la textura de la superficie del agregado influyen considerablemente en la resistencia de los concretos, especialmente en los de alta resistencia a la compresión. Una textura más áspera dará por resultado una mayor adhesión o adherencia entre las partículas y la matriz de cemento. Igualmente, la mayor área de superficie de un agregado más angular propiciará una mayor adherencia.

Generalmente, las características de textura que no permiten la penetración de la pasta en la superficie de las partículas no favorece una buena adherencia; por el contrario, las partículas más suaves, porosas y mineralógicamente heterogéneas contribuirán a una mejor adherencia.

Es difícil determinar la calidad de la adherencia y no existe para ello pruebas aceptadas. Por lo general, cuando la adherencia es buena, una muestra de concreto triturado deberá contener en forma dispersa algunas partículas rotas del agregado, además de otras más numerosas separadas de la matriz de la pasta. Sin embargo, un exceso de partículas fracturadas sugiere que el agregado es demasiado débil.[ref.2]

### **III.15.7.- RESISTENCIA.**

Aun cuando la resistencia es una característica básica del concreto, existen otras como durabilidad, permeabilidad y resistencia al desgaste que son a menudo iguales o más importantes. La resistencia a la edad de 28 días es frecuentemente empleada como parámetro de diseño estructural,



de la dosificación del concreto y en la evaluación de este. Estas características se pueden relacionar en términos generales con la resistencia, pero también son afectadas por factores no asociados significativamente con esta.

Es claro que la resistencia a la compresión del concreto no puede exceder significativamente a la mayor parte del agregado que contiene, aunque no es fácil determinar la resistencia a la trituración del agregado mismo. Es posible tolerar unas pocas partículas débiles, ya que los vacíos de aire pueden considerarse como partículas de agregados con una resistencia cero.

La información necesaria sobre las partículas de agregados se debe obtener mediante pruebas indirectas, como la resistencia a la trituración del volumen de agregado y el desempeño del agregado en el concreto. Este último se refiere simplemente a la experiencia previa con el agregado específico o una prueba de uso del agregado en una mezcla de concreto de la que se sabe que tiene una resistencia específica con otros agregados ya probados.

Las pruebas en muestras de pocas preparadas se emplean poco, pero puede decirse que un buen valor promedio de la resistencia a la trituración en dichas muestras es de aproximadamente 200MPa (30 000 lb/in<sup>2</sup>), aunque el rango de resistencia de muchos agregados excelentes baja a 80MPa (12 000 lb/in<sup>2</sup>).

Debe observarse que la resistencia requerida del agregado es considerablemente mayor que el rango normal de resistencia del concreto, ya que los esfuerzos reales en los puntos de contacto de las partículas individuales pueden exceder, por mucho, al esfuerzo de compresión nominal aplicado.

Por otra parte, un agregado de resistencia y de modulo de elasticidad moderado o bajo puede ser valioso en la preservación de la integridad del concreto ya que, los cambios de volumen debidos a razones térmicas o de humedad conducen a un esfuerzo menor del concreto cuando el agregado es compresible; mientras que un agregado rígido podría conducir a la ruptura de la pasta de cemento circundante.



### **III.15.8.- DUREZA.**

La dureza puede definirse como la resistencia del agregado a fallar por impacto. Lo común es determinar el valor de impacto del agregado en el volumen de agregado. [ref.2]

### **III.15.9.- PROPIEDADES FÍSICAS.**

Varias propiedades físicas comunes del agregado, conocidas desde el estudio de física elemental, son relevantes para el comportamiento del agregado en el concreto hecho con el agregado dado.

### **III.15.10.- GRAVEDAD ESPECÍFICA.**

El agregado por lo general, contiene poros permeables e impermeables, y debe definirse con cuidado el concepto de gravedad específica.

La gravedad específica absoluta y la densidad de partícula se refiere al volumen del material sólido, excluido todos los poros, mientras que la gravedad específica aparente y la densidad aparente de la partícula se refiere al volumen del material sólido, incluidos los poros impermeables, aunque no los capilares.

### **III.15.11.- POROSIDAD Y ABSORCIÓN.**

La porosidad, la permeabilidad y la capacidad de absorción del agregado influyen en la adherencia con la pasta de cemento, en la resistencia del concreto al congelamiento y deshielo, en la estabilidad química, en la resistencia a la abrasión y la gravedad específica.

Los tamaños de los poros en el agregado varían en un amplio rango pero hasta los más pequeños son mayores que los poros de gel en la pasta de cemento.



El grado de porosidad de las rocas comunes varia de 0 a 50%, puesto que el agregado representa aproximadamente tres cuartas partes del volumen del concreto, es claro que la porosidad del mismo contribuye ala porosidad general del concreto.

### **III.15.12.- CONTENIDO DE HUMEDAD.**

Es el exceso de agua en un estado saturado y con una superficie seca. Así, el contenido total de agua de un agregado húmedo será igual a la suma de la absorción y del contenido de humedad. [ref.2]

El agregado expuesto a la lluvia acumula una considerable humedad en la superficie de las partículas y, excepto en la parte de la superficie de la pila, conserva esa humedad durante largo tiempo. Esto es particularmente cierto para el agregado fino; el contenido de humedad debe permitirse durante el calculo de series de cantidades y del requerimiento total del agua de la mezcla.

### **III.15.13.- ABULTAMIENTO DE LA ARENA.**

En el caso de la arena, hay otro efecto debido a la presencia de humedad: el aumento del volumen ocasionado por las películas de agua que separan a las partículas de arena. Este incremento, no afecta a las proporciones de los materiales por masa, pero en el caso de volumen de almacenamiento si dará como resultado una masa de arena mas pequeña que ocupa el volumen fijo de la caja de medición.

### **III.15.14.- DEFECTOS DEBIDOS A LOS CAMBIOS DE VOLUMEN.**

Las causas físicas de los cambios de volumen grandes o permanentes en el agregado son el congelamiento y descongelamiento, los cambios térmicos a temperaturas por encima del congelamiento, y el mojado y secado alternativos.



Si el agregado está defectuoso, estos cambios en las condiciones físicas conducen al deterioro del concreto en forma de escamación local, los llamados brotes e incluso el agrietamiento extensivo de la superficie. La falta de solidez manifiesta con la presencia de pedernales porosos y sílices, especialmente de los ligeros con una estructura de poros de estructura fina; algunos esquistos y otras partículas que contienen minerales arcillosos.

### **III.15.15.- PROPIEDADES TÉRMICAS.**

Hay tres propiedades térmicas que pueden influir en el desempeño del concreto: El coeficiente de expansión, el calor específico y la conductividad.

Los dos últimos son importantes en la masa de concreto que se aísla pero no puede generalizar para trabajos estructurales ordinarios. Se hace énfasis en el coeficiente de expansión por que es el que determina el valor correspondiente para el concreto y, su influencia depende del contenido de agregado en la mezcla y en las proporciones de la mezcla en general. [ref.2]

### **III.15.16.- SUSTANCIAS NOCIVAS.**

Existen tres categorías generales de sustancias nocivas que puede encontrarse en el agregado: 1.- impurezas que interfieren los procesos de hidrataron del cemento; 2.- coberturas que impiden el desarrollo de una buena adherencia entre el agregado y la pasta de cemento; 3.- algunas partículas individuales que son débiles y defectuosas por si mismas.



### **III.15.17.- IMPUREZAS ORGÁNICAS.**

Los agregados naturales pueden ser suficientemente fuertes y resistentes al desgaste y aun así no resulta adecuado para la elaboración de concreto si tienen impurezas orgánicas que interfieran el proceso de hidratación. La materia orgánica consiste en productos de descomposición de materia vegetal, en forma de humus o marga orgánica, que puede estar presente en la arena más que en agregado grueso y que es removible fácilmente mediante un lavado.

Estos efectos se detectan mediante la prueba de colorimetría de la norma ASTM C 40-79.

### **III.15.18.- ARCILLAS Y OTROS MATERIALES FINOS.**

La arcilla puede estar presente en el agregado en forma de capas que interfieran la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento. Además, puede haber sedimentos y polvo fino, ya sea como capas sobre la superficie o como material suelto. De hecho el sedimento y el polvo fino no deben estar presentes en cantidades mayores, pues debido a su finura y a su mayor área de superficial, incrementa la cantidad de agua necesaria para humedecer todas las partículas en la mezcla.

### **III.15.19.- DEFECTOS DEVIDOS A IMPUREZAS.**

Hay dos tipos de partículas defectuosas en el agregado: las que no logran mantener su integridad debido a impurezas no duraderas y las que inducen una acción destructiva con el congelamiento e incluso con la exposición al agua; es decir, originadas por variaciones de volumen como resultado de cambios en las condiciones físicas.



### **III.15.20.- ANALISIS CON MALLAS.**

Este proceso tiene como objetivo dividir el agregado en partes de igual tamaño de partículas. Su propósito es determinar la gradación o distribución por tamaños del agregado.

### **III.15.21.- CURVAS DE GRADACIÓN.**

Es la referencia mediante la cual se establece el empleo del agregado, esta expresada en una tabla logarítmica representada por el porcentaje del análisis con mallas.

### **III.15.22.- MODULO DE FINURA.**

La utilidad del modulo de finura radica en la detención de variaciones ligeras en un agregado de una misma fuente, que podría afectar la manejabilidad del concreto fresco.

### **III.15.23.- REQUERIMIENTOS DE LA GRADACIÓN.**

La gradación es importante solo en tanto que afecte la manejabilidad, ya que la resistencia es independiente de la gradación. Sin embargo, una alta resistencia requiere una compactación máxima con una cantidad de trabajo razonable, la cual solo puede lograrse con una mezcla suficientemente manejable. De hecho no existe una gradación ideal debido a la interacción de los factores principales que influyen en la manejabilidad: el área de la superficie del agregado, que determina la cantidad necesaria de agua para humedecer todos los sólidos; el volumen relativo ocupado por el agregado; la tendencia a la segregación y la cantidad de material fino en la mezcla.



### **III.15.24.- TAMAÑO MÁXIMO.**

El extender la gradación del agregado hasta su tamaño máximo, se disminuirá el requerimiento de agua en la mezcla; y para una manejabilidad específica y riqueza de la mezcla, la relación agua/cemento puede reducirse, con el consiguiente incremento de la resistencia. Sin embargo, hay un límite al tamaño máximo de agregado, por encima del cual la disminución de la demanda de agua es contrarestanda por los efectos nocivos de una menor área de adherencia y la discontinuidad que introducen las partículas muy grandes. [ref.2]

### **III.16.- IMPORTANCIA DEL AGUA.**

#### **III.16.1.- USOS DE AGUA PARA CONCRETO.**

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 aplicaciones las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear agua de una sola calidad en ambos casos.

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 de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede 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 que 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 pudiera ser más conveniente, es decir, que el agua para la elaboración del concreto no necesariamente requiere ser potable, aunque sí debe satisfacer determinados requisitos mínimos de calidad. [ref.8.]

### **III.16.2.- REQUISITOS DE CALIDAD.**

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto no tienen ninguna relación obligada con el aspecto bacteriológico (como es el caso de las aguas potables), sino que básicamente se refieren a sus características fisicoquímicas y a sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto.

I

#### **II.16.2.1.- 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 puede ser el caso de algunas sales inorgánicas (cloruros, sulfatos), sólidos en suspensión, materia orgánica, dióxido de carbono disuelto, etc. Sin embargo, en lo que sí parece haber acuerdo es que no debe tolerarse la presencia de sustancias que son francamente dañinas, como grasas, aceites, azúcares y ácidos, por ejemplo. La presencia de alguna 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 el 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 alguna sustancia saborizante, lo cual puede detectarse fácilmente al probarla. Si el agua no procede de una



fuelle 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 y al acero concreto de preesfuerzo, lo cual también se contempla en las NOM C-252 y NOM C-253. [ref.8.]

### **III.16.2.2.- 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 valuación 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 localidades donde normalmente se dispone de suministro de agua para uso industrial o doméstico.

Los efectos indeseables que el agua de mezclado de calidad inadecuada puede producir en el concreto, son a corto, mediano y largo plazo. Los efectos a corto plazo normalmente se relacionan con el tiempo de fraguado y las resistencias iniciales, los 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 del 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 precalificar el agua mediante pruebas comparativas de tiempo de fraguado y de resistencia a compresión a 7 y 28 días. En estas pruebas se comparan especímenes elaborados con mezclas idénticas, en las que sólo cambia 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 de cemento, según los métodos NOM C-58 o 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 de acuerdo con el método NOM C-61 (ASTM C 109), aunque también es posible utilizar especímenes de concreto, elaborados y ensayados conforme a los métodos NOM C-159 y C-83 (ASTM C 192 y C 39). [ref.8]

### **III.17.- GRIETAS EN EL CONCRETO.**

#### **III.17.1.- CAUSAS.**

El agrietamiento en el concreto es uno de los fenómenos del concreto mas comunes y corrientes y generalmente el que mas asusta o preocupa, es decir dada su facilidad para que aparezcan grietas en el concreto, se deberían ver con una mayor naturalidad y para ello se tratara de explicar que es lo que sucede dentro de la mezcla por lo que aparecen dichas grietas.

Como se ha dicho con anterioridad, el concreto es un material que podemos utilizar en las construcciones para resistir que se le “apriete o aplaste”, como seria por ejemplo alguna sección de columna, es decir el concreto se esta comprimiendo, y por eso se dice que tiene un esfuerzo de compresión, y dicho esfuerzo puede ser resistido mas o menos bien, desde luego dependiendo de las proporciones de los materiales que forman la mezcla.

En cambio si el concreto en vez de “aplastarlo”, se “jala”, se dice que esta sujeto a un esfuerzo de tensión, y el concreto es realmente malo para resistir dichos esfuerzos, y como generalmente en todos los elementos estructurales se van a presentar estos esfuerzos, es necesario ayudar al concreto a resistirlos y para ello es que se usan las varillas de refuerzo.

Con todo lo anterior lo que se quiere decir es que la capacidad del concreto de resistir los efectos de compresión y tensión es muy baja y dichos esfuerzos se presentan por una serie de factores más, como lo son los cambios de temperatura, un mal proporcionamiento de la mezcla, un

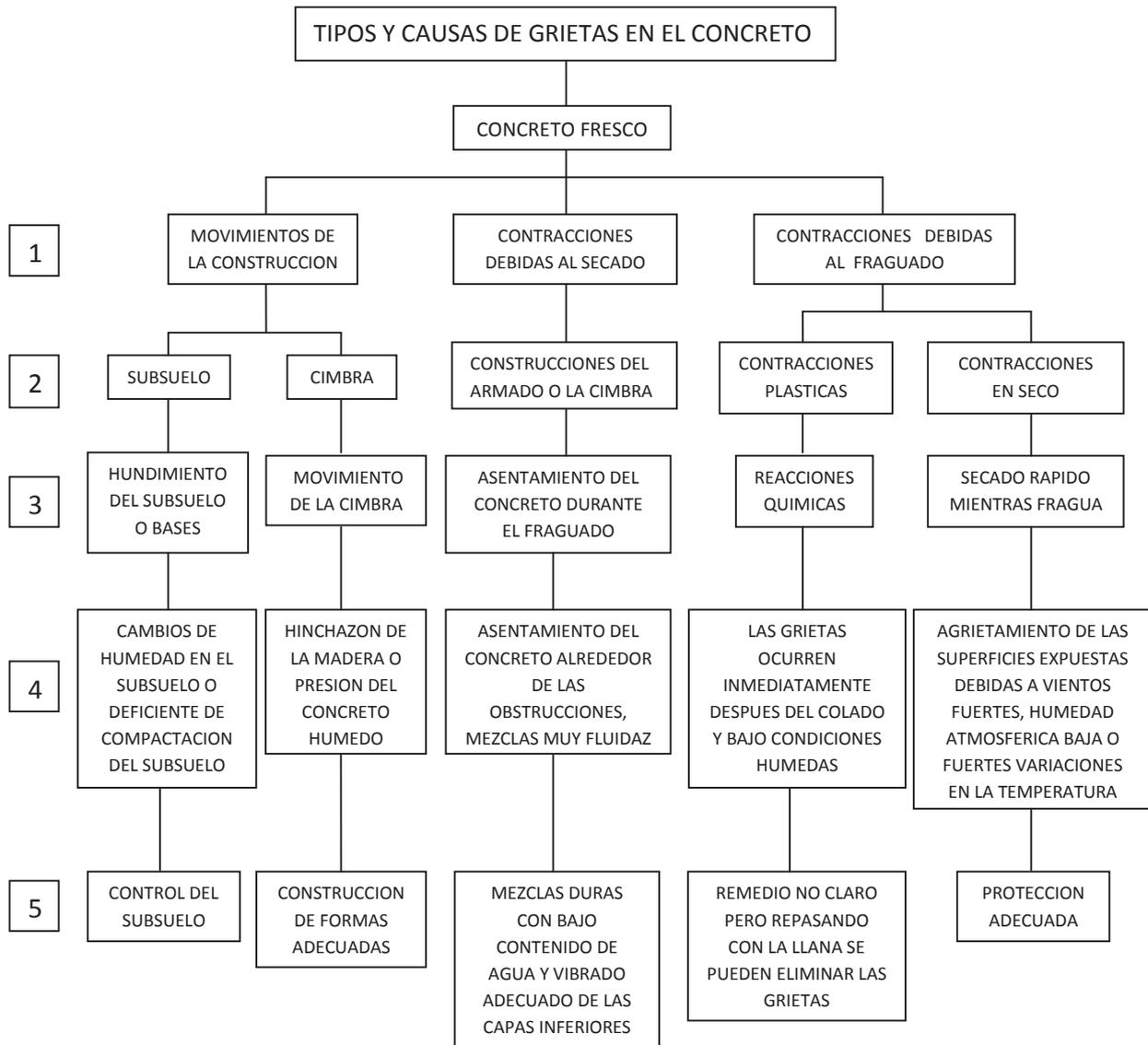


curado deficiente, etc. Vamos a analizar el por que estos factores afectan: el concreto al estar fraguando y ganando resistencia, eleva la temperatura que originalmente tenia debido a una reacción química del cemento; al estar a alta temperatura, ocupara un volumen mayor que el que va a ocupar posteriormente cuando se enfrié, y eso hará que se presente esfuerzos de tensión en algunas partes de la masa de concreto, y como dicha masa no resiste dicha tensión, se agrietara.

Un problema común en la fabricación de pavimentos, es cuando sopla una fuerte brisa y existe una elevada temperatura ambiente, ya que cuando estos dos elementos se juntan, el constructor se ve en serios problemas por la aparición de una serie de grietas.

### **III.17.2.- POSIBLES SOLUCIONES.**

Todo lo anterior se refiere a la aparición de grietas, debidas a agentes externos los cuales son la generalidad de las veces, superficiales y fáciles de cerrar cuan el concreto esta fresco aun, de modo que lo recomendable para evitar estas, es que una vez colocado el concreto, una cuadrilla venga atrás con unas llanas cerrando las grietas que hayan aparecido, e inmediatamente después, aplicar una membrana de curado o lo que se este empleando para curar, siempre y cuando como se dijo anteriormente sea efectivo y a tiempo.



REF. TESIS DE TECNOLOGIA ELEMENTAL DEL CONCRETO.



## CAPITULO IV.- DISEÑO TEORICO DE UN CONCRETO HIDRAULICO UTILIZANDO EL METODO ACI PARA PAVIMENTOS RIGIDOS.

El procedimiento para la dosificación de mezclas de concreto por este método es aplicable para el cemento de peso normal. Este método se funda en el hecho de que para un tamaño máximo del agregado grueso, el contenido de agua en kilogramos por metro cúbico determina el grado de trabajabilidad de la mezcla, independientemente de las proporciones de la mezcla.

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

1. *Elección del revenimiento.*- Cuando no se especifica el revenimiento, puede seleccionarse un valor apropiado de la obra, de los que aparecen en la tabla. 1. Las variaciones de revenimiento que se muestran son aplicables cuando se emplea el vibrador para compactar el concreto.

Deben emplearse mezclas de consistencia mas densa, que pueden colocarse con buen rendimiento:

REVENIMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCION		
Tipos de construcción	Revenimiento en centímetros	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas.	8	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructuras sencillas.	8	2.5
Vigas y muros reforzados.	10	2.5
Columnas para edificios.	10	2.5
Pavimentos y losas.	8	2.5
Concreto masivo.	5	2.5



Nota: El revenimiento se puede incrementar cuando se emplean aditivos químicos, se debe de tener en cuenta que el concreto tratado con aditivo tiene una relación Agua/Cemento o Agua/Materiales cementantes igual o menor sin que potencialmente tenga segregación o sangrado excesivo. Se puede incrementar en 2.5 cm. cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrados.

2. *Elección del tamaño máximo nominal del agregado.*- Por lo general, el tamaño máximo de agregado debe ser el mayor disponible económicamente y guardar relación con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo debe de exceder de 1/5 de la menor dimensión entre los costados de la cimbra, 1/3 del espesor de la losa, ni  $\frac{3}{4}$  del espacio libre mínimo entre varillas de refuerzo individuales, paquetes de varillas, o torones de pretensado. A veces estas limitaciones se pasan por alto si la trabajabilidad y los métodos de compactación permiten que el concreto sea colocado sin cavidades o huecos. Cuando se requiere concreto de alta resistencia, se pueden obtener mejores resultados con agregados de tamaños máximos reducidos, ya que estos producen resistencias superiores con una relación Agua/Cemento determinada.
3. *Calculo del agua de mezclado y contenido de aire.*- la cantidad de agua por volumen unitario de concreto requerida para producir determinado revenimiento, depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula y granulometría de los agregados, así como de la cantidad de aire incluido. En la tabla 2 aparecen valores estimados del agua de mezclado requerida para concretos hechos de diversos tamaños máximos de agregados, con o sin aire incluido. Según sea la textura o forma del agregado, los requerimientos de agua de mezclado pueden estar por encima o por debajo de los valores tabulados, pero son suficientemente precisos para el primer cálculo. Estas diferencias en el requerimiento de agua no se reflejan necesariamente en la resistencia, ya que pueden estar implicados otros factores de compensación.

En la parte superior de la tabla 2, se indica la cantidad aproximada de aire atrapado que puede esperarse en concretos sin inclusión de aire, y en la parte inferior, el promedio del contenido de aire recomendado para concretos con inclusión de aire. Para el caso que sea necesario o deseable incluir aire, se señalan tres niveles de contenido de aire para cada tamaño de agregado, los que dependen del propósito de la inclusión de aire y de la severidad de exposición, si la inclusión de aire esta en función de la durabilidad.



Agua(kg/m <sup>3</sup> ) de concreto	Tamaño máximo nominal del agregado, en mm.							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1½"	2"	3"	6"
	10*	12.5*	20*	25*	40*	50*x	70x++	150x++
<b>Revenimiento en centímetros.</b>								
2.5 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
7.5 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	----
Porcentaje de aire atrapado en concreto sin inclusión de aire.	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incluido</b>								
2.5 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
7.5 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	----
<b>Promedio recomendado del contenido total de aire, porcentaje de acuerdo con el nivel de exposición**.</b>								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5***xx	1.0***xx
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5***xx	3.0***xx
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5***xx	4.0***xx

\* Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento en mezclas de prueba. Son cantidades máximas de agregados angulares, razonables bien formados y con granulometría dentro de los límites de especificaciones aceptables.

x Los valores de revenimiento para concreto con agregado mayor de 40 mm.

Están basados en pruebas de revenimiento después de remoción de las partículas mayores de 40 mm mediante tamizado húmedo.

+ Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento para mezclas de prueba cuando se utilizan tamaño máximo nominal de 60 a 150mm son promedios para agregados gruesos



razonablemente bien formados y con buena granulometría de agregado fino.

**\*\*** En varios documentos del A.C.I. aparecen recomendaciones con respecto al contenido de aire y a las tolerancias necesarias del contenido de aire para el control en campo. Entre estos están: ACI 201, 345, 301 y 302.

**\*\*\*** Para concretos que contienen agregados que serán tamizados en humedad a través de una malla de 1½" antes de someterse a la prueba de contenido de aire, el contenido de aire esperado en el material de un tamaño inferior a 40 mm; sin embargo los cálculos iniciales de producción deben incluir el contenido de aire como un porcentaje total.

**xx** Cuando se emplea agregado grande en el concreto con bajo factor cemento, la inclusión de aire no debe ir en detrimento de la resistencia. En la mayoría de los casos este requerimiento de agua de mezclado se reduce lo suficiente para mejorar la relación Agua/Cemento y, de esta manera, compensar el efecto reductor de resistencia del concreto con reducción de aire. Generalmente, sin embargo, para dichos tamaños máximos grandes de agregados los contenidos de aire recomendados en caso de exposición severa, deben tomarse en consideración aunque pueda haber o ninguna exposición a la humedad o al congelamiento.

**++** Estos valores se basan en el criterio de que es necesario un 9% de aire en la fase de mortero del concreto. Si el volumen de mortero va a ser sustancialmente diferente del determinado en esa obra, p.

**Exposición ligera.-** Cuando se desea la inclusión de aire por otros efectos benéficos que no sean la durabilidad, por ejemplo, para mejorar la cohesión o trabajabilidad, o para incrementar la resistencia del concreto con bajo factor de cemento, pueden emplearse contenidos de aire inferior a los necesarios para la durabilidad.

**Exposición moderada.-** Implica el servicio en climas donde es probable la congelación, pero en los que el concreto no estará expuesto continuamente a la humedad o al agua corriente durante largos periodos antes de la congelación, ni agentes descongelantes u otros tipos de químicos agresivos.

**Exposición severa.-** El concreto expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos, o bien, cuando el concreto pueda resultar altamente saturado por el contacto continuo con humedad o agua corriente antes de la congelación.



4. *Selección de la relación Agua/Cemento.*- La relación Agua/cemento requerida se determina no solo por los requisitos de resistencia, sino también por otros factores como la durabilidad y las propiedades del acabado.

Puesto que diferentes agregados y cementos producen, generalmente, distintas resistencias empleando la misma relación Agua/Cemento, es muy deseable establecer una relación entre la resistencia y la relación Agua/Cemento para los materiales que de hecho van a emplearse. En ausencia de estos datos, puede tomarse de la tabla 3.a valores aproximados y relativamente conservadores para concretos que contengan cemento Pórtland de tipo I, con materiales comunes, las relaciones tabuladas de Agua/Cemento deben producir la resistencia indicadas, con base en las pruebas a los 28 días de muestras curadas en condiciones normales de laboratorio.

La resistencia promedio seleccionada debe, por supuesto, exceder de la resistencia especificada por un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con bajos valores.

Tabla 3.a.

Resistencia a la compresión a los 28 días(kg/cm <sup>2</sup> )*	Relación A/C en peso	
	Sin aire incluido	Con aire incluido
420	0.41	----
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

\* Los valores son resistencias promedio estimadas para concretos que no contiene mas del porcentaje de aire que se indica en la tabla 2, para un relación Agua/Cemento constante se reduce la resistencia del concreto conforme se incrementa el contenido de aire.

La resistencia se basa en cilindros de 15x30 cms, curados con humedad a los 28 días, 23 ± 1.7° C, de acuerdo con la norma ASTM C-31.

La relación supone un tamaño máximo de agregado de ¾ a 1", para un banco dado, la resistencia producida por una relación A/C dada se incrementara conforme se reduce el tamaño máximo del agregado.

Nota: para resistencias no especificadas es valido la interpolación lineal.

Para condiciones de exposición severa la relación A/C debe mantenerse baja, aún cuando los requerimientos de resistencia puedan cumplirse con valores mayores. [ref.9]



Correspondencia entre la relación A/C y la resistencia a la compresión del concreto.		
Tipo de estructura.	Relación A/C por peso.	
	Estructura continua o frecuentemente mojada y expuesta a congelamiento y deshielo*	Estructura expuesta al agua de mar o a los sulfatos
Secciones Esbeltas (barandales, mensuras, guarniciones etc.) y secciones con menos de 3 cms de recubrimiento sobre el acero de refuerzo x.	0.45	0.40++
Todas las demás estructuras	0.50	0.45++
* Basado en el informe del comité ACI 201, "Durability of Concrete in service". x El concreto también debe tener aire incluido. ++ Si se emplea cemento resistente a los sulfatos, la relación A/C permisible puede incrementarse en 0.05.		

5. *Cálculo del contenido de cemento.*- La cantidad de cemento por volumen unitario de concreto se rige por las determinaciones expuestas en el tercero y cuarto paso anterior. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado, dividido entre la relación A/C, si, no obstante, la especificación incluye un límite mínimo separado sobre el cemento, además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en el criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento.
6. *Estimación del contenido de agregado grueso.*- Los agregados con tamaño máximo y granulometría esencialmente iguales producen concretos de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplea un volumen dado de agregado grueso por volumen unitario de concreto, con base en varillado seco. En la tabla 4 se muestra el volumen de agregado, en metros cúbicos, con base en varillado en seco, para un metro cúbico de concreto. Este volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por el peso unitario de varillado en seco por metro cúbico de agregado grueso.



Tabla 4.

Tamaño máximo nominal	Volumen agregado grueso* varillado en seco por unidad de volumen de concreto para módulos de finura de arena indicados.				
	Plg.	mm.	2.4	3.6	2.8
3/8	10	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	13	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	19	0.66	0.64	0.62	0.60
1	25	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	38	0.76	0.74	0.72	0.70
2	51	0.78	0.76	0.74	0.72

\* Los volúmenes están basados en agregados en condiciones de varillado en seco, como se describe en la norma ASTM C-29, estos volúmenes se han seleccionado a partir de relaciones empíricas para producir concretos con un grado de trabajabilidad adecuado a la construcción reforzada común. Para concretos menos trabajables, como los requeridos en la construcción de pavimentos de concreto, pueden incrementarse en un 10% aproximadamente.

7. *Estimación del contenido de agregado fino.*- Al término del sexto paso se han estimado todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se determina por diferencia.

8. *Ajuste por humedad del agregado.*- Las cantidades que realmente deben pesarse para el concreto deben considerar la humedad del agregado. Los agregados están generalmente húmedos, y sus pesos secos deben incrementarse con la cantidad de agua, tanto absorbida como superficial, que contienen. El agua de mezclado en el agregado, es decir, humedad total menos absorción.

9. *Ajuste en la mezcla de prueba.*- Las proporciones calculadas de la mezcla deben verificarse mediante mezclas de prueba, preparadas y

probadas de acuerdo con la norma ASTM C-129, o por medio de mezclas reales en el campo. Solo debe utilizarse la cantidad de agua necesaria para producir el revenimiento requerido, independientemente de la cantidad supuesta al dosificar los componentes de la prueba. Debe verificarse el peso unitario y la fluencia (ASTM C-138), así como el contenido de aire (ASTM C-138, C



173 y C- 231) del concreto. También debe tenerse cuidado de lograr la trabajabilidad apropiada, ausencia de la segregación, así como las propiedades de acabado.

Deben efectuarse los ajustes necesarios en las proporciones de las mezclas subsecuentes, de acuerdo con los siguientes procedimientos:

- La cantidad de agua de mezclado para producir el mismo revenimiento que el de la mezcla de prueba, sería igual a la cantidad neta de agua de mezclado empleada, dividido por la fluencia de la mezcla de prueba en metros cúbicos. Si el revenimiento de la mezcla de prueba no es el correcto, incrementétese o redúzcase el contenido nuevamente estimado de agua a 2 Kg. por metro cúbico de concreto para cada centímetro de incremento o reducción del revenimiento.
- Si nó se obtiene el contenido de aire deseado (en su caso), debe estimarse de nuevo el contenido requerido de aditivo para lograr el contenido apropiado de aire, y reducirse o incrementarse el contenido de agua de mezclado que se indica en la parte posterior, en 3kg por cada 1% en que debe reducirse o incrementarse el contenido de aire respecto al de la mezcla de prueba previa.
- El peso unitario de concreto fresco estimado nuevamente para el ajuste de las proporciones de la mezcla de prueba, es igual al peso unitario en  $\text{kg}/\text{m}^3$  medido en la mezcla de prueba, reducido o incrementado por el porcentaje e incremento o reducción del contenido de aire en la mezcla ajustada respecto ala primera mezcla de prueba.
- Deben calcularse nuevos pesos de mezcla, comenzando con el cuarto paso; si es necesario, se modificara el volumen de agregado grueso de la tabla 4, para obtener una trabajabilidad adecuada. [ref. 9]



## **CAPITULO V.- CONCLUSIONES.**

Hablar del control de calidad implica muchos múltiples de procedimientos constructivos bien planeados y supervisados a la perfección, recordemos que los elementos principales de las obras con buen desempeño (hablando en todo el sentido de la construcción), depende mucho de las observaciones y el desempeño de los laboratorios expertos en materia.

En la construcción, el control de calidad es muy importante, ya que en muchas de las construcciones habidas y por haber, estas en su mayoría son compuestas por concretos, de ahí la importancia de hacer un buen estudio de los materiales a utilizar en la elaboración de mezclas.

Por otra parte hay que remarcar también la importancia que tiene la relación agua-cemento para la elaboración de las mezclas de concreto hidráulico, pues mientras mas agua ocupemos en nuestras mezclas, mayor será el volumen a emplear de cemento. Por lo tanto a menores relaciones agua-cemento implicara mezclas de concreto más económicas.

Hay que hacer énfasis y recalcar que para una buena mezcla de concreto, se requiere de un buen control de calidad y de un estudio de los materiales a utilizar muy detallado para que esto nos permita llegar a los resultados deseados en las mezclas. Sobre todo cuidando que la cantidad optima de agua calculada, sea realmente la empleada en las mezclas de la obra.

El curado del concreto es de suma importancia, ya que de hacerlo bien obtendremos una mayor resistencia; en condiciones adecuadas de humedad y temperatura, se incrementara la resistencia del concreto a todas las sollicitaciones que se presentan en las obras.

Parte de este trabajo va encaminado al desempeño de las materias primas y del buen funcionamiento del cemento, partiendo del cemento comercial en este estado, recordando que el cemento se distribuye en la región geográfica dependiendo de su demanda respecto a sus diferentes tipos y funciones, en nuestro caso, los cementos distribuidos y comercializados en saco con más demanda son los del CPO-30R Y CPC-30R, ya que son los cementos con las características especificas de nuestro estado de Michoacán.



Recordando también que el método de diseño del ACI, para nuestra zona no es tan utilizado ya que todos los diseños de mezcla ya sea en sitio o en concreteiras (premezclado) están diseñados por el método de ABRAMS, ya que sus resistencias a los pocos días son muy elevadas.

Por cuestiones económicas este método (ACI) es perfecto, no haciendo menos el porcentaje de resistencia que es alcanzado días después con respecto al método más comercial en Michoacán.

Se recomienda que este método sea utilizado con estricta medida de calidad, ya que si algún peso volumétrico o la relación agua-cemento aumente o disminuya, su resultado es muy variado respecto al esperado (al de proyecto).

Por ultimo es de suma importancia comprender bien los conceptos utilizados en la presente tesis, y que con ello se tenga una mejor comprensión porque gracias a esto, se podrá hacer una excelente aplicación en forma adecuada del proceso constructivo para la elaboración de un concreto Hidráulico.



## **CAPITULO VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.**

1. Apuntes de la materia Tecnología del Concreto para el cuarto semestre de la carrera de Ingeniería Civil, Ing. Wilfrido Martínez Molina.
2. Tecnología del concreto, A. M. Neville y J. J. Brooks, Editorial TRILLAS, 1998.
3. Ricardo Cervantes Ríos, “Tesis de Estudio Comparativo de Mezclas de Concreto con Diferentes Aditivos y Solicitaciones”, 2001.
4. Salvador Alcalá Ochoa, “Tesis de Comportamiento Mecánico de Concreto Hidráulico Simple sin Curado”, 2000.
5. José Chávez Hernández, “Tesis Relación Entre un Método no Destructivo y el Método Tradicional, para Evaluar el Comportamiento Mecánico a la Compresión en Concreto Hidráulico Simple”, 2003.
6. Anual Book of ASTM Standard. Concrete and Mineral Agregates American Society for Testing and Materials, ASTM part 14, Race st. Philadelphia USA, 1981.
7. <http://www.construccioncolombia.com/directorio/concreto/tiposbdecemento/tiposdecemento.asp>
8. <http://www.monografias.com/trabajos4/concreto.shtml>.
9. Máximo Luis Vieyra, “Tesis Efecto de los Finos Contenidos en el Agregado Pétreo Fino en el Diseño de Mezclas de Concreto Hidráulico”, 2001.
10. Víctor Manuel Venegas García, “Tesis Caracterización Físico-Mecánicas de Mezclas de Concreto Hidráulico Elaboradas con Pétreos Provenientes de la Hoya de Solís del Municipio de Valle de Santiago, Guanajuato.” 2006.



11. CTM. Características de los materiales, Parte 2 Materiales para estructuras, N-CMT-2-02-005/04.
12. <http://www.basfcc.com.mx/SiteCollectionDocuments/Boletines/ActualTec-PruebadeRevenimientoConcreto.pdf>
13. Tecnología Elemental del Concreto.
14. <http://www.monografias.com/trabajos4/concreto/concreto.shtml>