



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIVIL

TEMA DE DISERTACIÓN DE GRADO
“**ELABORACIÓN DE HORMIGONES DE
ALTA RESISTENCIA INICIAL**”

AUTORES:

JIMÉNEZ DÉLEG JUAN CARLOS
ORTIZ MANCERO JOSÉ ROBERTO

DIRECTOR:

Ing. Lauro Armando Lara C.

Disertación de grado previa a la obtención del
título de Ingeniero Civil

Quito, 2002

ANTECEDENTES

Con los cambios y avances de la tecnología muchos procesos y técnicas conocidas hasta la actualidad y que son de uso frecuente en la Ingeniería Civil han quedado atrás y en algunos casos ya no son eficientes en su aplicación, por la aparición de nuevos requerimientos y procesos.

El ingeniero de la construcción y sus instituciones vinculadas deben manejar, diseñar, desarrollar y evaluar, acciones y materiales tecnológicos, guiados por la búsqueda del mejoramiento de la calidad de vida y consigo del mejoramiento de la calidad de sus productos, bienes y servicios. Por lo tanto, son en la mayoría de las construcciones civiles, en las que se deben tener mayores conocimientos de los avances del concreto.

Estos avances se dieron en el transcurso del tiempo, ya que en los inicios del hormigón los Egipcios utilizaron el yeso como material cementante para dar a los ladrillos y estructuras de piedra una capa lisa y al igual que los Griegos, después fueron los Romanos quienes usaron el agregado quebrado del ladrillo embutido en una mezcla de la masilla de la cal con polvo del ladrillo o la ceniza volcánica como material cementante mezclado con piedras para realizar sus

edificaciones como el coliseo Romano, donde aparece el concreto en sí; como una mezcla de agregados, lo usaron en caminos, acueductos, templos y palacios.

Fueron probablemente los primeros en usar barras de metal como refuerzo en las estructuras y los primeros que trataron de modificar las características físicas de los morteros con los cuales realizaban sus grandes obras y se tiene referencia que los primeros aditivos usados por los romanos para mejorar la manejabilidad de los morteros fue la sangre de los animales, la clara de huevo y las grasas.

En cuanto a otro componente importante del hormigón; el cemento Pórtland, cuyo nombre se empleó por primera vez en 1824 por el fabricante inglés de cemento Joseph Aspdin, debido a su parecido con la piedra de Portland, que era muy utilizada para la construcción en Inglaterra. El primer cemento Portland moderno, fue hecho de piedra caliza y arcillas o pizarras, calentadas hasta convertirse en carbonilla (o escorias) y después trituradas, fue producido en Gran Bretaña en 1845. *En 1850 se empezó a utilizar el yeso para contrarrestar el fraguado acelerado que presentaban las mezclas de concreto hechas con cemento Pórtland. Conociéndose así, el primer retardador de hormigón. La adición de cloruro de calcio para acelerar el fraguado del concreto, fue patentada en 1885.*

En 1930 se comercializa formalmente el primer aditivo plastificante para hormigón. En 1939 se patentan los incorporadores de aire en los Estados Unidos y en 1970 comienza la era de los superplastificantes en el mundo.

Entre los avances que más significación ha tenido el diseño de hormigones, ha sido la incorporación de aditivos, para mejorar su calidad, en cuanto a elevar su resistencia, ampliando su durabilidad; disminuyendo costos, como reducción de tiempo de fraguado, disminuyendo agua y aumentando su densidad. La incorporación de aditivos, también está orientada a la búsqueda de beneficios tecnológicos como conseguir que el hormigón sea más fluido, eliminando los procesos de compactación, lo que hace que el aire presente en su interior se reduzca ostensiblemente.

De aquí parte la necesidad de nuestro análisis, sobre este componente estructural tan importante como es el hormigón con superfluidificantes y con acelerantes de resistencias, combinado con agregados propios de la ciudad y cemento de fabricación nacional; y así, adquirir un conocimiento más detallado sobre el comportamiento de éstos productos, haciendo necesaria nuestra propia valoración sobre sus beneficios.

INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Civil es, posiblemente, una de las artes más dinámicas, avanzadas y en constante búsqueda de nuevos materiales, procedimientos de construcción, alternativas más resistentes, durables y/o económicas.

Se conoce como hormigón al material artificial de construcción resultante de la mezcla eficiente de : un conglomerante (cemento), áridos (agregado fino y agregado grueso) y aditivos (incluidos en ciertos casos); que amasada con agua, tiene la característica de endurecerse en función del tiempo.

Las propiedades del hormigón dependen en gran medida de la calidad y proporciones de los componentes en la mezcla, y de las condiciones de humedad y temperatura, durante los procesos de fabricación y de fraguado.

El hormigón ha alcanzado importancia como material estructural debido a que puede adaptarse fácilmente a una gran variedad de moldes, adquiriendo formas arbitrarias, de dimensiones variables, gracias a su consistencia plástica en estado fresco.

Es un material temporalmente plástico que puede colarse o moldearse; y más tarde, se convierte en una masa sólida por reacción química. El cemento sirve como aglutinante de la masa y puede ser de diferentes clases según el destino de la obra y la resistencia mecánica que se desea obtener. Los áridos o agregados, son la grava y la arena, elementos inertes que dosificados adecuadamente dan una composición granulométrica que permite alcanzar resistencias óptimas.

El hormigón pasa por diversas fases o estados en su proceso de formación. Los más sobresalientes en la vida de este compuesto son: el estado fresco, que va desde que el hormigón es elaborado, hasta que es colocado, vibrado e inicia su fraguado; y el estado endurecido, que se lo puede considerar cuando el material adquiere suficiente resistencia para soportar los esfuerzos para los cuales fue diseñado. Por lo tanto el estudio ordenado de las propiedades del hormigón se ve obligado a distinguir entre: Propiedades del hormigón fresco (sin fraguar) y, propiedades del hormigón fraguado (endurecido). Una de las características más determinantes del hormigón es la resistencia a la compresión, propiedad que se aprovecha íntegramente en el cálculo de piezas o estructuras sometidas a

solicitaciones de compresión o flexión. Al igual que las piedras naturales no deterioradas, el hormigón es un material sumamente resistente a la compresión, pero extremadamente frágil y débil a solicitaciones de tracción. Su resistencia a la tracción es muy baja; por lo que en piezas sometidas a flexión, la absorción del esfuerzo de tracción está delegada al acero de refuerzo, material apto para tal función.

INDICE

- *ANTECEDENTES*
- *INTRODUCCIÓN*

CAPITULO 1

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES BASICAS DEL HORMIGÓN NORMAL (HN)

1.1 Introducción.

1.2 HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

1.2.1 Trabajabilidad

1.2.1.1 Cono de Abrams

1.2.2 Homogeneidad

1.2.3 Forma y Textura

1.2.4 Compacidad

1.2.4.1 Consolidación

1.2.5 Temperatura

1.2.6 Peso Especifico

1.2.7 Peso Unitario

1.2.8 Peso Volumétrico y Vacíos

1.3 HORMIGÓN EN PROCESO DE ENDURECIMIENTO

1.3.1 Fraguado del Concreto

1.3.1.1 Medida del Tiempo de fraguado del Concreto

1.3.2 Velocidad de Fraguado o Secado

1.3.3 Retracción Plástica

1.3.4 Contracción

1.3.5 Calor de Hidratación

1.3.6 Proceso de : Hidratación, Tiempo de Fraguado, Endurecimiento.

1.4 HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO

1.4.1 Velocidad de desarrollo de Resistencia

1.4.2 Permeabilidad y Hermeticidad

1.4.3 Durabilidad

1.4.4 Resistencia al desgaste

1.4.5 Resistencia a la Compresión

- 1.4.6 Resistencia a la flexión**
- 1.4.7 Resistencia a la tensión**
- 1.4.8 Resistencia a la Torsión**
- 1.4.9 Resistencia al Cortante del
Concreto**
- 1.4.10 Resistencia Característica**
- 1.4.11 Módulo de Elasticidad.**
- 1.4.12 Agrietamiento o Fisuración**
 - 1.4.12.1 Fisuras Durante la Fase
Constructiva**
 - 1.4.12.2 Fisuras en la Parte
Constructiva**

CAPITULO 2

MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA INICIAL (HARI) Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.

- 2.1** *Introducción.*
- 2.2** *AGREGADOS*

2.2.1 *Generalidades*

2.2.1.1 *Clasificación*

2.2.1.2 *Forma*

2.2.1.3 *Textura Superficial*

2.2.2 *Granulometría*

2.2.3 *Granulometría de los Agregados Finos.*

2.2.4 *Granulometría de los Agregados Gruesos.*

2.2.5 *Granulometría Continua.*

2.2.6 *Granulometría Discontinua.*

2.2.7 *Tamaño máximo*

2.2.8 *Módulo de finura*

2.2.9 *Humedad natural*

2.2.10 *Material que pasa el tamiz #200*

2.2.11 *Gravedad específica del agregado*

2.2.12 *Absorción*

2.2.13 *Peso unitario*

2.2.14 *Vacíos en el agregado*

2.2.15 *Contenido orgánico*

2.2.16 *Terrones de arcilla*

2.2.17 *Abrasión del agregado grueso*

2.2.18 *Durabilidad a la acción de los sulfatos*

2.2.19 *Resultados.*

2.2.19.1 *Agregado fino*

2.2.19.2 *Agregado Grueso*

2.3 *CEMENTO*

2.3.1 *Definición*

- 2.3.2** *Fabricación*
- 2.3.3** *Clasificación*
- 2.3.4** *Consistencia normal del cemento*
- 2.3.5** *Tiempo de fraguado*
- 2.3.6** *Gravedad específica del cemento*
- 2.3.7** *Módulo de finura del cemento*
- 2.3.8** *Especificaciones para cemento*
- 2.3.9** *Resultados*

2.4 *AGUA DE AMASADO*

- 2.4.1** *Generalidades*
- 2.4.2** *Agua de Mar*
- 2.4.3** *Agua Ácidas*
- 2.4.4** *Aguas Alcalinas.*
- 2.4.5** *Aguas de Desperdicios Industriales.*
- 2.4.6** *Aguas Negras*
- 2.4.7** *Impurezas Orgánicas.*
- 2.4.8** *Sedimentos o Partículas en Suspensión.*
- 2.4.9** *Cloruros.*

2.5 *ADITIVOS*

- 2.5.1** *Definición.*
- 2.5.2** *Empleo*
- 2.5.3** *Beneficio del empleo de aditivos.*
- 2.5.4** *Clasificación de los aditivos.*
- 2.5.5** *Características y uso de los diferentes tipos de aditivos.*
 - 2.5.5.1** *Reductores de agua (Plastificantes).*
 - 2.5.5.2** *Reductores de agua de alto poder (Superplastificantes).*

2.5.5.3 *Aditivos retardadores (Tipo B) y reductores de agua-retardadores (Tipo E).*

2.5.5.3.1 *Factores que afectan la acción de un aditivo retardador.*

2.5.5.4 *Aditivos estabilizadores.*

2.5.5.4.1 *Morteros de larga vida.*

2.5.5.5 *Reductores de agua de alto poder-retardadores (Tipo G).(Superplastificantes – Retardadores).*

2.5.5.6 *Acelerantes (Tipo C) y reductores de agua-acelerantes (Tipo E)*

2.5.6 *Acción de los acelerantes.*

2.5.7 *Efecto sobre el tiempo de fraguado.*

2.5.8 *Hormigón en clima frío.*

2.5.9 *Uso de acelerantes ultra rápidos.*

2.6 *SIKARAPID 1*

2.6.1 *Generalidades*

2.6.2 *Descripción*

2.6.3 *Cualidades según Sika*

2.6.4 *Campos de Aplicación*

2.6.5 *Modo de Empleo*

2.6.6 *Dosificación de aditivo.*

2.7 *SIKAMENT HE-200*

- 2.7.1 Generalidades*
- 2.7.2 Descripción*
- 2.7.3 Cualidades según Sika*
- 2.7.4 Campos de Aplicación*
- 2.7.5 Modo de Empleo*
- 2.7.6 Dosificación de aditivo.*

CAPITULO 3

TEORIA DEL ENDURECIMIENTO DEL HORMIGÓN.

- 3.1 Factores principales que inciden en el Endurecimiento**
 - 3.1.1 Dosificación.**
 - 3.1.1.1 Resultados.**
 - 3.1.2 Relación Agua / Cemento**
 - 3.1.2.1 Importancia de la relación Agua / Cemento**
 - 3.1.3 Hidratación y Curado del Hormigón**
- 3.2 Obtención de Altas Resistencias Iniciales**

- 3.2.1 Fases del desarrollo de Resistencias**
- 3.2.2 Obtención de Altas Resistencias con acelerantes**
- 3.3 Deflexiones al emplear Aditivos**
 - 3.3.1 Generalidades**
 - 3.3.2 Deflexión Inicial**
 - 3.3.3 Deflexión debido a la Contracción**
- 3.4 Flujo Plástico**

CAPITULO 4

DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS A REALIZAR EN PROBETAS DE HORMIGON.

4.1 Ensayo de Resistencia a la Flexión.

4.1.1 Introducción

4.1.2 Moldeo de las viguetas.

4.1.3 Rompimiento de las muestras en la máquina de ensayo.

4.1.4 Cálculos.

4.1.5 Resultados.

4.2 Ensayo de Compresión

4.2.1 Introducción.

4.2.2 Moldeo de los cilindros.

4.2.3 Medición del asentamiento.

4.2.4 Curado de las muestras.

4.2.5 Rompimiento de las muestras en la máquina de ensayo.

4.2.6 Medición de los esfuerzos, deformaciones y tipos de falla

4.2.7 Cálculos.

4.2.8 Resultados.

4.3 Ensayo de Modulo de Elasticidad

- 4.3.1 Introducción.**
- 4.3.2 Procedimiento.**
- 4.3.3 Cálculos.**
- 4.3.4 Resultados.**

CAPITULO 5
CORRELACIONES OBTENIDAS.

CAPITULO 6
VENTAJAS Y APLICACIONES DE LOS
HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA
INICIAL

CAPITULO 7
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CAPITULO 1

***ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES
BASICAS DEL HORMIGÓN NORMAL***

1.1 INTRODUCCION.

El objetivo de esta investigación es el estudio del comportamiento de las propiedades más importantes del hormigón al combinarlo con un aditivo superplastificante con acelerante de endurecimiento (SIKAMENT HE-200) y al combinarlo con un acelerante de resistencias (SIKARAPID 1).

Para el correcto desarrollo de la investigación, se tomaron en cuenta las siguientes características y procedimientos:

▀ Provisión de materiales.

Para la elección de los materiales a utilizar en la elaboración de HARI, de la presente investigación, se tomó en cuenta la calidad de cada uno de ellos, la disponibilidad en sitio, el origen del material, la demanda que cada uno tiene y los posibles beneficios en el hormigón. Los materiales empleados se detallan en la tabla siguiente:

MATERIA L	ORIGEN	DEMANDA	OBSERVACIONES
ARENA	Guayllabamba – Cantera Doña Ana	MuyBuena	Color rosada
RIPIO	Pifo –Planta de Disensa	MuyBuena	Triturado N° P-69
CEMENTO	Marca Selva Alegre, distribuidora	Excelente	Tipo IP, 50 Kg.
SIKAMENT HE200	Sika Ecuatoriana, Panam. Norte Km.71/2, Quito	MuyBuena	Tarro 10 Kg.

SIKARAPID 1	Sika Ecuatoriana, Panam. Norte Km. 71/2, Quito	Muy Buena	Tarro 10 Kg.
-------------	---	-----------	--------------

Equipo.

Todos los ensayos de materiales, elaboración de hormigones y ensayos de probetas fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la PUCE.

En la elaboración de hormigones se alquiló una concreteira de 1 saco de motor a gasolina. Se contó además con moldes metálicos normalizados para cilindros y viguetas.

Metodología.

- Ensayos para determinar las características de los agregados.
- Ensayos para determinar las características del cemento.
- Dosificación de prueba : para determinar las posibles cantidades de materiales
- Dosificaciones finales : Hormigón Normal (HN) y hormigones con aditivo (HARI).
- Ensayos de probetas de HN y HARI : cilindros y viguetas.

Las dosificaciones que se escogieron en los diseños de hormigones con resistencia a la compresión (esperada) a los 28 días ($f'c$) fueron de 180 kg/cm², 210 kg/cm², 280 kg/cm² y 350

kg/cm²; para HN, y 210 kg/cm² y 350 kg/cm² para HARI por ser los más utilizados en la construcción y en la elaboración de hormigón premezclado.

Las dosificaciones para los aditivos aconsejadas por el fabricante fueron :

- SIKAMENT HE – 200 :
Superfluidificante y
acelerante de
endurecimiento.

- a) 0.5 % del peso del cemento
- b) 1.5 % del peso del cemento
- c) 2.5 % del peso del cemento

- SIKARAPID 1 : Acelerante de resistencias.

- a) 0.5 % del peso del cemento
- b) 1.0 % del peso del cemento
- c) 1.5 % del peso del cemento

1.2 HORMIGON EN ESTADO FRESCO.

1.2.1 Trabajabilidad.

Una propiedad física importante del concreto en estado fresco, es la trabajabilidad, que es la medida de la consistencia del material y es

un indicativo de la facilidad de colocación y compactación del concreto.

Existen varios métodos para la medida de la trabajabilidad, siendo el más aceptado en América el del asentamiento del hormigón medido en el cono de Abrams.

*Para algunos tipos de concreto, como el concreto fluido y las mezclas que contienen microsíllica, se discute el uso de la medida del asentamiento para evaluar la trabajabilidad, ya que la **reología** de la mezcla es de tal naturaleza, que una medida estática, como la del cono, no expresa todo su significado de su poder dinámico de fluido. En dichos casos es más representativo el método europeo de la medición de la trabajabilidad a través del flujo en la mesa de sacudidas (DIN 1048).*

Lo mismo sucede con las mezclas de hormigón con consistencia cero como las empleadas en la fabricación de tuberías de concreto o las usadas en la elaboración de pavimentos o presas con concreto compactado con rodillo (CCR), donde es imposible evaluar la trabajabilidad de la mezcla ayudándose de la medida con el cono de Abrams, ya que nunca se estará seguro de si con menor o mayor cantidad de agua la medida del asentamiento también hubiera sido cero.

La trabajabilidad del concreto depende de la cantidad de agua que se haya adicionado a la mezcla y del tipo y dosis de aditivo plastificante, en el caso de usarlo.

Un factor o relación muy importante en el mundo del hormigón : la relación agua / cemento (a/c) es el mejor indicativo de cuanta agua se agregó a una mezcla. Esta relación no es otra cosa que el cociente entre la cantidad de agua de amasado y la masa del material cementante.

Otros factores de importancia para la trabajabilidad de la mezcla son : la granulometría de los agregados, la forma de éstos, su textura y la temperatura del sitio de obra y de los materiales

1.2.1.1 Cono de Abrams .-

La consistencia de una mezcla puede ser apreciada a simple vista; no obstante, esta manera empírica no es indicativa de la regularidad o uniformidad de la consistencia.

Para evaluar y controlar de modo más apropiado la consistencia de las mezclas se emplea el método del asentamiento o “slump”, que consiste en llenar un molde de forma troncocónica, de 30 cm de altura, 20 cm de diámetro en la base mayor y 10 cm de diámetro en la base menor.

La operación de llenado se realiza por capas, la primera de 7 cm de altura, la segunda de 16 cm y la tercera en exceso, para luego enrasarla con el borde superior. Cada capa es compactada con una varilla de acero liso, de 16 mm de diámetro y 60 cm de largo y terminada en punta semiesférica, aplicando 25 golpes, distribuidos uniformemente. La barra debe penetrar en la capa inmediata inferior. Una vez lleno y enrasado el molde, se levanta lenta y cuidadosamente. Luego se mide el asentamiento de la mezcla al ser desmoldada, tal como indica la siguiente figura.

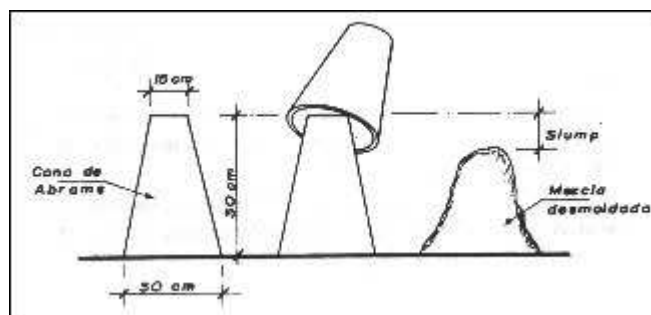


Fig.1.2.1.1 Evaluación de la consistencia de mezclas, método del cono de Abrams.

Un asentamiento pequeño indica una consistencia rígida o seca, mientras que uno grande revela una consistencia fluida.

CONSISTENCIA ASENTAMIENTO	
A	O (cm)
<i>seca</i>	0 – 2
<i>semi-seca</i>	3 – 5
<i>plástica</i>	6 – 9
<i>colada</i>	10 – 15
<i>fluida</i>	más de 16

Tabla 1.2.1.1 Asentamiento – Consistencia

Para mejorar la trabajabilidad de un hormigón, se puede añadir agua con la consiguiente disminución de resistencia, o se pueden incluir aditivos plastificantes que no disminuirán su resistencia final.

1.2.2 Homogeneidad.

Significa que todas las partes de una mezcla deben ser iguales, es decir, Homogeneidad significa que los componentes del concreto se encuentran distribuidos uniformemente y en la misma proporción en cualquier porción de la masa del concreto. Esto implica que no se deben separar áridos y pasta de agua y cemento (ocurre en casos de exceso de agua). La homogeneidad se consigue con un buen amasado,

mezclado, transporte y colocación adecuados, ya que la segregación o decantación aumenta con la cantidad de agua, con el tamaño máximo del agregado, con las vibraciones ocurridas en el transporte y el dejar caer la mezcla desde gran altura. Al no tener una buena homogeneidad se pueden producir los fenómenos de escurrimiento y lechosis, el primero sucede cuando se ve que por la parte inferior del hormigón sale agua con cemento, y el segundo ocurre cuando esta agua con cemento aflora por encima del hormigón, creando una película líquida y en algunos casos hasta una acumulación excesiva.

1.2.3 Forma y textura.

La forma y la textura de los agregados tiene gran influencia sobre las características de trabajabilidad. Los agregados de acuerdo con su origen pueden ser redondos y lisos (material de río) o cúbicos y rugosos (material de trituración) o una combinación.

Se sabe que a mayor rugosidad, mayor es también la demanda de agua de la mezcla, pero se incrementa igualmente la adherencia pasta – agregado.

Los agregados lisos demandan menor cantidad de agua, pero tienen menor adherencia con la pasta. Los agregados lisos son ideales para elaborar hormigón que se vaya a colocar por bombeo, mientras que los agregados rugosos son indicados para elaborar concreto para pavimentos. En la práctica, es muy común trabajar con agregados mixtos : rugosos y lisos. Los agregados planos y alargados son totalmente inconvenientes para elaborar mezclas de concreto, ya que dificultan la colocación y compactación del concreto y dejan vacíos bajo éstos que disminuyen la resistencia mecánica.

1.2.4 Compacidad

*Depende sobre todo del método de **consolidación** empleado, ya sea por vibrado manual, mecánico o sacudimiento. Existe una relación directa entre la compacidad del hormigón y su resistencia mecánica, por lo que la compacidad aumenta el volumen de materias sólidas que componen la mezcla, en relación con los volúmenes de agua y aire. Una buena compacidad puede aumentar una resistencia física y química frente a las acciones agresivas del medio ambiente, ya que al contener una cantidad mínima de porosidades las vías de penetración de agentes externos es mínima.*

1.2.4.1 Consolidación.

La vibración pone en movimiento a las partículas en el concreto recién mezclado, reduciendo la fricción entre ellas y dándole a la mezcla las cualidades móviles de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de la mezcla dura que contenga una mayor proporción de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino. Al emplear un agregado bien graduado, entre mayor sea el tamaño máximo del agregado en el concreto, habrá que llenar de pasta un menor volumen y existirá una menor área superficial de agregado por cubrir con pasta, teniendo como consecuencia que una cantidad menor de agua y de cemento será necesaria. La consolidación adecuada de mezclas más duras y ásperas da como resultado una mayor calidad y economía.

Si una mezcla de concreto es lo suficientemente trabajable para ser consolidada de manera adecuada por varillado manual, puede que no exista ninguna ventaja en vibrarla. De hecho, tales mezclas se pueden segregar al vibrarlas. Solo al emplear mezclas mas duras y ásperas se adquieren todos los beneficios del vibrado.

El vibrado mecánico tiene muchas ventajas. Los vibradores de alta frecuencia posibilitan la colocación económica de mezclas que no son fáciles de consolidar a mano bajo ciertas condiciones.

1.2.5 Temperatura.

La Temperatura del sitio donde se elabora hormigón así como la temperatura de los materiales,, modifican los requerimientos de agua. Si elaboramos concreto a 20°C y luego se repite la misma mezcla a 30°C , se notará una disminución de la manejabilidad de la mezcla elaborada a mayor temperatura, es decir, se obtendrá un asentamiento menor. Igual sucederá si la temperatura de los materiales (cemento, agregados y agua) es mayor.

La temperatura (materiales y ambiente) modifica también el tiempo de manejabilidad ya que la mezcla perderá más rápidamente el asentamiento inicial, es decir, su consistencia se volverá seca más pronto si la temperatura es mayor, creándose un problema de colocación.

1.2.6 Peso Especifico.

El peso especifico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para dosificaciones de mezclas y control, por ejemplo en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado.

La necesidad de disponer de un hormigón ligero o pesado requerirá la utilización de agregados ligeros o pesados respectivamente. Los hormigones ligeros podrían ser utilizados en losas de edificios altos, mientras que los hormigones pesados podrían emplearse en anclajes de puentes colgantes, como bunkers de cobertura de materiales radioactivos, o para almacenar materiales explosivos

1.2.7 Peso Unitario.

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2000 y 2400 kg por metro cúbico (kg/m³). El peso unitario (densidad) del concreto varia, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa 2400 kg/m³.

El peso del concreto seco iguala al peso del concreto recién mezclado menos el peso del agua evaporable. Una parte del agua de mezclado se combina químicamente con el cemento durante el proceso de

hidratación, transformando al cemento en gel de cemento. También un poco de agua permanece retenida herméticamente en poros y capilares y no se evapora bajo condiciones normales. La cantidad de agua que se evapora al aire a una humedad relativa del 50% es de aproximadamente 2% a 3% del peso del concreto, dependiendo del contenido inicial de agua del concreto, de las características de absorción de los agregados, y del tamaño de la estructura.

Además del concreto convencional, existe una amplia variedad de otros concretos para hacer frente a diversas necesidades, variando desde concretos aisladores ligeros con pesos unitarios de 240 kg/m³, a concretos pesados con pesos unitarios de 6400 kg/m³, que se emplean para contrapesos o para blindajes contra radiaciones.

1.2.8 Peso Volumétrico y Vacíos.

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

1.3 CONCRETO EN PROCESO DEL ENDURECIMIENTO.

1.3.1 Fraguado del concreto.

Algún tiempo después de que el hormigón ha sido colocado y compactado, entra en una etapa de endurecimiento primario. Esta fase en un concreto sin aditivo se presenta entre la tercera y sexta hora después de su elaboración, dependiendo del tipo y cuantía de cemento, de la relación a/c de la temperatura del sitio y de los materiales.

Esta etapa primaria se conoce como fraguado inicial y es de interés el conocerlo ya que determina el momento hasta el cual el concreto puede ser revibrado sin alterar su compacidad y resistencia final. El fraguado final se presenta entre la cuarta hora y la octava hora normalmente y marca el inicio del desarrollo de resistencia, la cual se generará a través del tiempo.

Los aditivos acelerantes de fraguado y los retardadores, adelantarán o retardarán entonces el momento de ocurrencia del fraguado inicial

y final del concreto, lo mismo ocurre con los reductores de agua, que normalmente aceleran el fraguado.

1.3.1.1 Medida del tiempo de fraguado del concreto.

La medición del fraguado del concreto se hace sobre mortero y mediante la determinación de la resistencia con el Aparato de Proctor. Dicho aparato tiene 6 agujas cuya área varía desde 1 pulgada cuadrada, en la mayor, hasta 1/40 de pulgada cuadrada en la menor. La escogencia de la aguja a emplear dependerá de la consistencia de la muestra de mortero y del tiempo transcurrido desde la elaboración del concreto.

Lo normal es que se inicie penetrando la muestra con la aguja N. 2 y luego a medida que el mortero va endureciendo, se va reemplazando la aguja por una de menor diámetro.

La resistencia a la penetración se mide entonces con el manómetro del aparato de Proctor, luego de hacer penetrar una pulgada la aguja escogida. Cuando la resistencia a la penetración sea de 35 kg/cm², se considera que se ha presentado el fraguado inicial y cuando la resistencia a la penetración sea de 280 kg/cm² se habrá producido el fraguado final.

En la siguiente figura se muestra las curvas de penetración vs tiempo, con las que se determinan los tiempos de fraguado del concreto.

En este caso se ensayaron tres hormigones : el de referencia sin aditivo, con retardador y uno con un reductor de agua-retardador, el cual fue usado reduciendo agua.

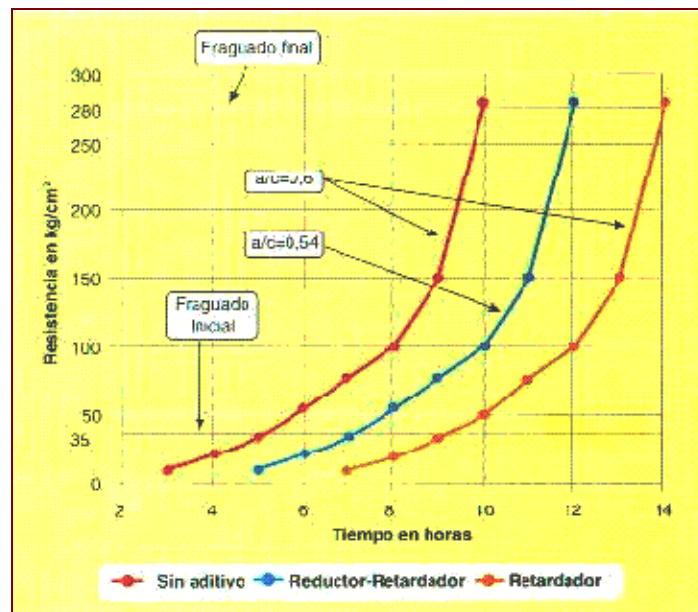


Fig. 1.3.1.1 Determinación de los tiempos de fraguado con las agujas de proctor.

Existen además otros métodos para la determinación de los tiempos de fraguado en base del calor de hidratación y por medio de Energía Ultrasónica.

1.3.2 Velocidad de Fraguado ó Secado.

Las características propias de la estructura que se desea fundir pueden dar lugar a la necesidad de acelerar o retardar el fraguado del hormigón, para lo cual pueden utilizarse cementos especiales (muy poco utilizados en nuestro país) o aditivos acelerantes y retardantes.

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

El conocimiento de la velocidad de secado es útil para comprender las propiedades o la condición física del concreto. Por ejemplo, tal como se menciono, el concreto debe seguir reteniendo suficiente humedad durante todo el periodo de curado para que el cemento pueda hidratarse. El concreto recién colado tiene agua abundante, pero a medida de que el secado progresa desde la superficie hacia el interior, el aumento de resistencia continuara a cada profundidad únicamente mientras la humedad relativa en ese punto se mantenga por encima del 80%.

La superficie de un piso de concreto que no a tenido suficiente curado húmedo es una muestra común. Debido a que se seca rápidamente, el concreto de la superficie es débil y se produce descascaramiento en partículas finas provocado por el transito. Asimismo, el concreto se contrae al secarse del mismo modo que lo hacen la madera, papel y la arcilla (aunque no tanto). La contracción por secado es una causa fundamental de agrietamiento, y el ancho de las grietas es función del grado del secado.

En tanto que la superficie del concreto se seca rápidamente, al concreto en el interior le lleva mucho mas tiempo secarse.

*Note que luego de **114 días** de secado natural el concreto aun se encuentra muy húmedo en su interior y que se requiere de **850 días** para que la humedad relativa en el concreto descendiera al 50%.*

El contenido de humedad en elementos delgados de concreto que han sido secado al aire con una humedad relativa de 50% a 90% durante varios meses es de 1% a 2% en peso del concreto, del contenido original de agua, de las condiciones de secado y del tamaño del elemento de concreto.

El tamaño y la forma de un miembro de concreto mantiene una relación importante con la velocidad de secado. Los elementos del concreto de gran área superficial en relación a su volumen (tales como losas de piso) se secan con mucho mayor rapidez que los

grandes volúmenes de concreto con áreas superficiales relativamente pequeñas (tales como los estribos de puentes).

*Muchas otras propiedades del concreto endurecido se ven también afectadas por su contenido de humedad; en ellas incluye la **elasticidad, flujo plástico, valor de aislamiento, resistencia al fuego, resistencia al desgaste, conductividad eléctrica, durabilidad.***

1.3.3 Retracción Plástica.

El concreto endurecido presenta ligeros cambios de volumen debido a variaciones en la temperatura, en la humedad y en los esfuerzos aplicados. Estos cambios de volumen o de longitud pueden variar en aproximadamente 0.01% hasta 0.08%.

Durante el proceso de fraguado y endurecimiento de la masa de hormigón, esta se contrae de volumen cuando tal proceso se realiza en el aire, por la pérdida paulatina de agua del hormigón. La retracción es una deformación que provoca micro tensiones de tracción, y por consiguiente grietas cuando se encuentra impedido el libre acortamiento del hormigón, es por eso que la rigidez del elemento colado tiene una influencia importante. Los factores que influyen en la

contracción del hormigón, aparte del grado de humedad ambiental, son:

- *El tipo de cemento.- mientras más resistencia ofrece el cemento, el peligro de una retracción es mayor, así como los cementos de mayor velocidad de fraguado tienen mayor tendencia al agrietamiento. Mientras el cemento tenga una mayor finura en sus partículas, el peligro de retracción es mayor, ya que estas no pueden unirse químicamente de una manera apropiada.*
- *Material fino._ las partículas finas hacen que la pasta cementante no se ligue apropiadamente, haciendo fallar la adherencia en los agregados gruesos y haya el apareamiento de grietas.*
- *La cantidad de agua de mezcla._ a igual dosis de cemento la retracción aumenta directamente proporcional con la relación agua-cemento, y a igual relación agua-cemento aumenta directamente proporcional con la dosis de cemento.*
- *El espesor._ la retracción aumenta cuando disminuye el espesor del elemento en contacto con el medio ambiente.*

Sin un buen curado de la pieza de hormigón, esta pierde rápidamente su humedad y se produce el agrietamiento de la misma, y si hay una corriente continua de aire el proceso es mucho peor.

1.3.4 Contracción.

La contracción del concreto es un fenómeno complejo. Se sabe que existen tres tipos de contracción en dicho material:

- ***Contracción de secado*** debida a la pérdida de parte del agua de amasado, problema que se agrava cuando por razones de manejabilidad se trabajó con una relación a/c muy alta, en especial cuando hay deficiencias de curado.
- ***Contracción de fraguado***, fenómeno debido al mismo proceso de hidratación del cemento,(fenómeno exotérico) donde se libera calor que luego se disipa en el tiempo dando lugar a la contracción térmica del elemento.
- ***Contracción química*** debida a la reacción de los componentes del cemento durante la hidratación, en la cual el volumen del producto final es menor que el volumen de los materiales iniciales.

La contracción de secado es uno de los factores claves en el agrietamiento del concreto. Un concreto se contrae entre 3-7 mm

por cada 10 m lineales. Este hecho justifica el diseño de juntas de contracción en los pavimentos del hormigón.

1.3.5 Calor de Hidratación.

Es un hecho conocido que el cemento al entrar en contacto con el agua da lugar a una reacción en la que se desprende calor.

El control de la temperatura interna máxima es de vital importancia en estructuras masivas (más de 60 cm de espesor) en vista de que el hormigón disipa muy lentamente el calor.

Cuando existen diferencias de temperatura muy grandes(mayores de 20° C) entre el interior del concreto y su superficie, hay un altísimo riesgo de fisuramiento.

El calor de hidratación es función del tipo de cemento, de la cuantía del mismo y de la temperatura de los materiales, así como del volumen del elemento que se esté fundiendo. El uso de aditivos retardadores ha mostrado ser de utilidad para disminuir el pico máximo de temperatura en el concreto.

1.3.6 Proceso de : Hidratación, Tiempo de Fraguado, Endurecimiento

La propiedad de unión de las pastas de cemento Portland se debe a la reacción química entre el cemento y el agua llamada hidratación.

El cemento Portland no es un compuesto químico simple, sino que es una mezcla de muchos compuestos, así:

Cuatro de ellos conforman el 90% o más de el peso del cemento Portland y son:

el silicato tricalcico, el silicato dicalcico, el aluminiato tricalcico y el aluminio ferrito tetracalcico. Además de estos componentes principales, algunos otros desempeñan papeles importantes en el proceso de hidratación. Los tipos de cemento Portland contienen los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes.

Cuando el Clinker (el producto del horno que se muele para fabricar el cemento Portland) se examina al microscopio, la mayoría de los compuestos individuales del cemento se pueden identificar y se puede determinar sus cantidades. Sin embargo, los granos mas pequeños evaden la detección visual. El diámetro promedio de una partícula de cemento típica es de aproximadamente 10 micras, o una centésima de milímetro. Si todas las partículas de cemento fueran las promedio, el

cemento Portland contendría aproximadamente 298,000 millones de granos por kilogramo, pero de hecho existen unos 15 billones de partículas debido al alto rango de tamaños de partícula. Las partículas en un kilogramo de cemento Portland tiene una área superficial aproximada de 400 metros cuadrados.

Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen cerca del 75% del peso del cemento Portland, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio. Este último es con mucho el componente cementante más importante en el concreto. Las propiedades ingenieriles del concreto, - fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional - principalmente depende del gel del hidrato de silicato de calcio. Es la medula del concreto.

La composición química del silicato de calcio hidratado es en cierto modo variable, pero contiene cal (CaO) y sílice (SiO₂), en una proporción sobre el orden de 3 a 2. el área superficial del hidrato de silicato de calcio es de unos 3000 metros cuadrados por gramo. Las partículas son tan diminutas que solamente pueden ser vistas en microscopio electrónico. En la pasta de cemento ya endurecida, estas partículas forman uniones enlazadas entre las otras fases cristalinas y los granos sobrantes de cemento sin hidratar; también se adhieren a los granos de arena y a piezas de agregado grueso, cementando todo

el conjunto. La formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es responsable del fraguado, del endurecimiento y del desarrollo de resistencia.

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

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

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

*luego de endurecer. El cemento **Portland tipo 1** un poco más de la mitad de su calor total de hidratación en tres días.*

*El cemento **tipo 3**, de alta resistencia temprana, libera aproximadamente el mismo porcentaje de su calor en mucho menos de tres días.*

*El cemento **tipo 2**, un cemento de calor moderado, libera menos calor total que los otros y deben pasar más de tres días para que se libere únicamente la mitad de ese calor.*

*El uso de cemento **tipo 4**, cemento Portland de bajo calor de hidratación, se debe tomar en consideración donde sea de importancia fundamental contar con un bajo calor de hidratación.*

*Es importante conocer la **velocidad de reacción entre el cemento y el agua** porque la velocidad determina el **tiempo de fraguado y de endurecimiento**. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del concreto. Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido. **El yeso**, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del*

Clinker, actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento Portland.

*Otros **factores que influyen en la velocidad de hidratación**, incluyen la finura de molienda, los aditivos, la cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales en el momento del mezclado.*

1.4 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

1.4.1 Velocidad de desarrollo de Resistencia.

Una vez finalizado el fraguado del hormigón, se inicia el proceso de ganancia de resistencia, el cual para fines prácticos se da por terminado a los días, pues se asume que en hormigones normales el máximo potencial de resistencia se habrá conseguido.

En la construcción moderna y en variados tipos de aplicaciones del hormigón, ya no es posible esperar los 28 días para ver cumplido el potencial de resistencia del concreto. En muchas ocasiones hay que dar una estructura al uso en un tiempo corto, hay que abrir al tráfico

un piso o un pavimento de concreto o hay que cortar los cables de pretensado, para sacar el elemento de su formaleta o sencillamente hay que desencofrar para fundir un nuevo elemento. Y en este tiempo existen ya varias obras de ingeniería en los cuales ya no hay que esperar los 28 días.

Existe entonces la posibilidad de acelerar la ganancia de resistencia con aditivos acelerentes o mediante la reducción de una gran porción del agua de amasado, lo que causará un gran aumento de la resistencia inicial y como es obvio de la resistencia final.

1.4.2 Permeabilidad y Hermeticidad.

*El concreto empleado en estructuras que retengan agua o que estén expuestas a mal tiempo o a otras condiciones de exposición severa debe ser virtualmente impermeable y hermético. La hermeticidad se define a menudo como la capacidad del concreto de frenar o retener el agua sin escapes visibles. **La permeabilidad se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando el agua se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias (liquido, gas, iones, etc.).** Generalmente las mismas propiedades*

que convierten al concreto menos permeable también lo vuelven mas hermético.

La permeabilidad total del concreto al agua es una función de la permeabilidad de la pasta, de la permeabilidad y granulometría del agregado, y de la proporción relativa de la pasta con respecto al agregado. la disminución de permeabilidad mejora la resistencia del concreto, al ataque de sulfatos y otros productos químicos y a la penetración del ion cloruro.

La permeabilidad también afecta la capacidad de destrucción por congelamiento en condiciones de saturación. Aquí la permeabilidad de la pasta es de particular importancia porque la pasta recubre a todos los constituyentes del concreto. La permeabilidad de la pasta depende de la relación Agua – Cemento y del agregado de hidratación del cemento ó duración del curado. Un concreto de baja permeabilidad requiere de una relación Agua – Cemento baja y un periodo de curado adecuado. La Inclusión de aire ayuda a la hermeticidad aunque tiene un efecto mínimo sobre la permeabilidad, aumenta con el secado.

La permeabilidad de una pasta endurecida madura mantuvo continuamente rangos de humedad de 0.1×10^{-12} cm por seg. para relaciones Agua – Cemento que variaban de 0.3 a 0.7. La permeabilidad de rocas comúnmente utilizadas como agregado para concreto varia desde aproximadamente 1.7×10^{-9} hasta 3.5×10^{-13}

cm por seg. La permeabilidad de un concreto maduro de buena calidad es de aproximadamente 1×10^{-10} cm por seg.

Los resultados de ensayos obtenidos al sujetar discos de mortero sin aire incluido de 2.5cm de espesor a una presión de agua de 1.4 kg/cm cuadrado. En estos ensayos, no existieron fugas de agua a través del disco de mortero que tenía relación Agua – Cemento en peso iguales a 0.50 o menores y que hubieran tenido un curado húmedo de siete días. Cuando ocurrieron fugas, estas fueron mayores en los discos de mortero hechos con altas relaciones Agua – Cemento. También, para cada relación Agua – Cemento, las fugas fueron menores a medida que se aumentaba el periodo de curado húmedo. En los discos con una relación agua cemento de 0.80 el mortero permitía fugas a pesar de haber sido curado durante un mes. Estos resultados ilustran claramente que una relación Agua - cemento baja y un periodo de curado reducen permeabilidad de manera significativa.

*Las relaciones **Agua – Cemento bajas** también reducen la segregación y el sangrado, contribuyendo adicionalmente a la hermeticidad. Para ser hermético, el concreto también debe estar libre de agrietamientos y de celdillas.*

Ocasionalmente el concreto poroso – concreto sin finos que permite fácilmente el flujo de agua a través de si mismo – se diseña para aplicaciones especiales. En estos concretos, el agregado fino se reduce

grandemente o incluso se remueve totalmente produciendo un gran volumen de huecos de aire. El concreto poroso ha sido utilizado en canchas de tenis, pavimentos, lotes para estacionamientos, invernaderos estructuras de drenaje.

El concreto excluido de finos también se ha empleado en edificios a sus propiedades de aislamiento térmico.

1.4.3 Durabilidad.

Es la capacidad del hormigón de mantener sus características a través del tiempo, las inclemencias del clima y el uso de la estructura. La durabilidad también aumenta con una menor relación agua - cemento.

La durabilidad del concreto es un tema de gran actualidad, debido a la multiplicación acelerada de los agentes agresores del concreto. La gravedad del enrarecimiento del aire en las grandes ciudades, el desprendimiento cada vez mayor de gases que provocan, bajo ciertas condiciones, la carbonatación del concreto, la presencia de lluvia ácida en las ciudades industrializadas, la fundación de estructuras en terrenos sulfatados o sobre rellenos sanitarios, sin un previo análisis del potencial de ataque y la erección de estructuras en ambientes marinos sin que se entre a considerar la protección de las mismas, son

algunos de los factores que inciden fuertemente en la durabilidad del hormigón.

El concreto se diseña para que la estructura cumpla con un período de vida útil prolongado, pero vemos como cada día se invierte más dinero en la reparación de estructuras que en su correcto diseño y construcción.

Los factores físicos que afectan la durabilidad de una estructura y su resistencia al paso del agua son: el tipo y cuantía del cemento, una alta relación a/c, los defectos de colocación y compactación, la presencia de poros y capilares y el fisuramiento de la estructura, la ausencia de curado y finalmente la ausencia de un recubrimiento protector.

1.4.4 Resistencia al Desgaste.

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas están sujetos al desgaste; por tanto, en estas aplicaciones el concreto debe tener una resistencia elevada a la abrasión. Los resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión o desgaste esta estrechamente relacionada con la resistencia la compresión del concreto. Un concreto de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja. Como la resistencia

a la compresión depende de la relación Agua – Cemento baja, así como un curado adecuado son necesarios para obtener una buena resistencia al desgaste. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento utilizado también tienen fuerte influencia en la resistencia al desgaste. Un agregado duro es más resistente a la abrasión que un agregado blando y esponjoso. Se pueden conducir ensayos de resistencia a la abrasión rotando balines de acero, ruedas de afilar o discos a presión sobre la superficie (ASTM 779). Se dispone también de otros tipos de ensayos de resistencia a la abrasión (ASTM C418 y C944).

1.4.5 Resistencia a la Compresión.

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²) a una edad de 28 días se le designe con el símbolo f_c . Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas especímenes de mortero o de concreto; en los Estados Unidos, a menos de que se especifique de otra manera, los ensayos a compresión de mortero se realizan sobre cubos de 5 cm. en tanto que los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que

miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura al igual que en nuestro país según la norma ASTM C39.

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puente, de edificios y otras estructuras. El concreto de uso generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kg/cm². Un concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de cuando menos 420 kg/cm² de resistencia.

La resistencia última puede calcularse a partir de la resistencia a los siete días con una fórmula propuesta por W. A. Slater (“Proceedings of the American Concrete Institute”, 1926):

$$S_{28} = S_7 + 30\sqrt{S_7}$$

S_{28} = resistencia a la compresión a los 28 días (lb/plg²)

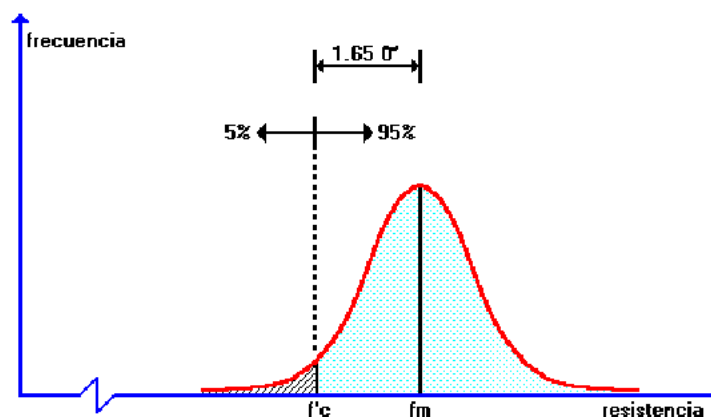
S_7 = resistencia a los 7 días (lb/plg²)

Aunque esta fórmula puede variar de acuerdo a la calidad del cemento utilizado para la elaboración del hormigón, ya que no todos los cementos son elaborados de la misma manera ni ofrecen las mismas cualidades.

En túneles es bastante frecuente utilizar la resistencia a los 7 días o menos, mientras en presas se suele utilizar como referencia la resistencia a los 56 días o más.

Para **Hormigones de Alta Performance (HAP)** y de alto rendimiento las resistencias iniciales son las más importantes sin tomar en cuenta ya la resistencia a los 28 días y esto se logra con el uso de aditivos y acelerantes.

La resistencia característica a la compresión de un hormigón (f_c), utilizada en diseño estructural, se mide en términos probabilísticos, definiéndose que solamente un pequeño porcentaje de las muestras (normalmente el 5%) puedan tener resistencias inferiores a la especificada, lo que da lugar a que la resistencia media de las muestras (f_m) siempre sea mayor que la resistencia característica.



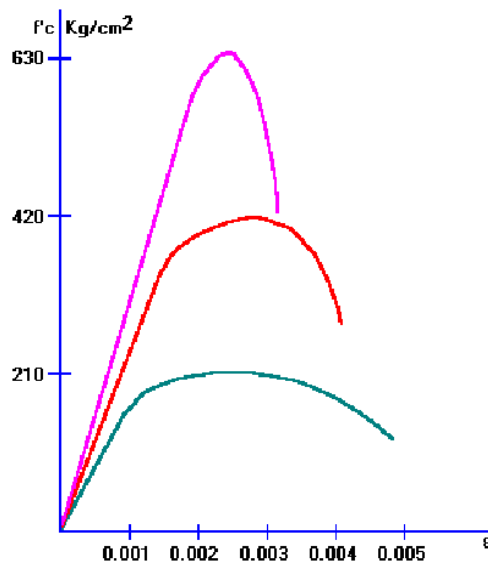
Si se asume una distribución normalizada (campana de Gauss) de los ensayos de rotura de cilindros de hormigón, la resistencia característica puede calcularse a partir de la resistencia media y la desviación estándar (s), mediante la siguiente expresión:

$$f_c = f_m - 1.65s$$

La resistencia a la compresión de hormigones normales (210 - 280 Kg/cm²) y de mediana resistencia (350-420 Kg/cm²) está dominada por la relación agua-cemento (a menor relación agua-cemento mayor resistencia) y por el nivel de compactación (a mayor compactación mayor resistencia), pero también son factores importantes la cantidad de cemento (a mayor cantidad de cemento mayor resistencia) y la granulometría de los agregados (mejores granulometrías dan lugar a mayores resistencias).

En hormigones de alta resistencia ($f_c > 420$ Kg/cm²), a más de los factores antes mencionados, tiene especial importancia la resistencia del material constituyente de los agregados (roca de origen), pues este parámetro impone un tope máximo a la resistencia del concreto (el hormigón jamás podrá alcanzar una resistencia superior a la de la roca de origen del agregado grueso).

Uno de los requisitos más importantes que debe reunir un hormigón en zonas sísmicas es su ductilidad, lo que en nuestro medio limita la utilización de hormigones de resistencia media f_m superior a 500 Kg/cm², por ser sumamente frágiles (tienen muy poca deformabilidad en el rango de comportamiento plástico).



1.4.6 Resistencia a la Flexión.

*La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada módulo de ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo **de 1.99 a 2.65 veces** el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.*

1.4.7 Resistencia a la Tensión.

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

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación Agua – Cemento y la edad, o el grado de hidratación. Estos factores también afectan a la resistencia a flexión y a la tensión, así como a la adherencia del concreto con el acero.

1.4.8 Resistencia a la Torsión.

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

1.4.9 Resistencia al cortante del concreto.

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

1.4.10 Resistencia Característica del Hormigón.

La resistencia a compresión simple es la característica mecánica más importante de un hormigón. Su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas, según métodos operatorios normalizados.

Entonces si bien los valores de ensayo que proporcionan las distintas probetas son más o menos dispersos, en forma variable de una obra a otra, según el cuidado y rigor con que se confeccione el hormigón; y esta circunstancia debe tenerse en cuenta al tratar de definir un cierto hormigón por su resistencia.

Tradicionalmente se ha seguido el criterio de adoptar, para dicho valor, la media aritmética f_m de los n valores de roturas, llamada resistencia promedio o resistencia media. Pero este valor no refleja la verdadera calidad del hormigón en obra, al no tener en cuenta la dispersión de la serie.

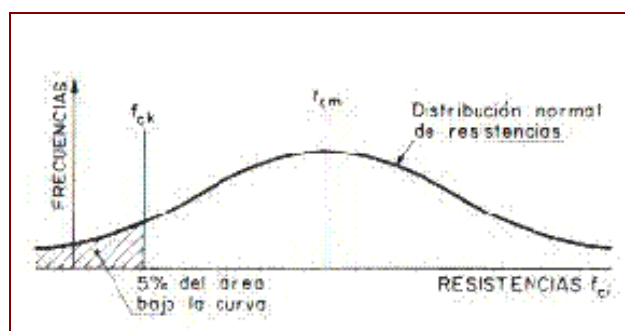
Si tenemos dos hormigones con la misma resistencia media, no cabe duda e que es más fiable aquel que presenta menor dispersión. Por consiguiente, el coeficiente de seguridad que se adopte en el cálculo debe ser mayor para el hormigón más disperso. La conclusión que se extrae es que el adoptar la resistencia media como base de los cálculos

conduce a coeficientes de seguridad variables según la calidad de la ejecución.

Para eliminar este inconveniente y conseguir que se trabaje con un coeficiente de seguridad único, homogéneo en todos los casos, se ha adoptado modernamente el concepto de resistencia característica del hormigón, que es una medida estadística que tiene en cuenta no sólo el valor de la media aritmética f_{cm} de las roturas de las diversas probetas, sino también la desviación típica relativa o coeficiente de variación, δ , de las serie de valores.

a) Se define como resistencia característica, f_{ck} , del hormigón aquel valor que presenta un grado de confianza del 95 por 100, es decir, que existe una probabilidad de 0.95 de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más altos que f_{ck} . De acuerdo con esta definición y admitiendo la hipótesis de distribución estadística normal, la resistencia característica viene dada por la expresión:

$$f_{ck} = f_{cm}(1 - 1.64\delta)$$



Donde f_{cm} es la resistencia media y δ el coeficiente de variación de la población de resistencias:

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci}$$
$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2}$$

No debe confundirse la expresión dada para f_{ck} , que es una definición (válida para $n = \infty$), con los estimadores de la resistencia característica, que se emplean para aceptar o rechazar un hormigón determinado en obra, a partir de un número relativamente pequeño de determinadores.

- b) El valor del coeficiente de variación δ depende de las condiciones de ejecución en obra. Un coeficiente de variación superior al 25 por 100 es inadmisibile en los trabajos de hormigón armado, y una obra puede considerarse como muy bien ejecutada cuando dicho valor es inferior al 15 por 100.*
- c) Saliger admite para la resistencia característica del hormigón el valor $f_{ck} = 0.75 f_{cm}$ que viene a coincidir con el definido en la parte a) para una condiciones buenas de ejecución.*
- d) El concepto de resistencia característica se refiere, por antonomasia , a la resistencia a compresión medida sobre probetas cilíndricas 15*30 de veintiocho días de edad, fabricadas, conservadas y rotas según métodos normalizados;*

pero puede hacerse extensivo a cualquier tipo de ensayo, clase de probeta, modo de conservación y edad del hormigón, ya que se trata de una definición de tipo estadístico.

1.4.11 Módulo de Elasticidad.

El modulo de elasticidad, denotado por medio del símbolo E , se puede definir como la relación del esfuerzo normal y la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del limite de proporcionalidad de un material. Para concretos de peso normal, E fluctúa entre 140600 y 422000 kg/cm², y se puede aproximar como 15100 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

1.4.12 Agrietamiento ó Fisuración.

Las dos causas básicas por las que se producen grietas en el concreto son (1) esfuerzos debidos a cargas aplicadas y (2) esfuerzos debidos a contracción por secado o a cambios de temperatura en condiciones de restricción

La contracción por secado es una propiedad inherente e inevitable del concreto, por lo que se utiliza acero de refuerzo colocado en una

posición adecuada para reducir los anchos de grieta, o bien juntas que predetermine y controlen la ubicación de las grietas. Los esfuerzos provocados por las fluctuaciones de temperatura pueden causar agrietamientos, especialmente en edades tempranas.

Las grietas por contracción del concreto ocurren debido a restricciones. Si no existe una causa que impida el movimiento del concreto y ocurren contracciones, el concreto no se agrieta. Las restricciones pueden ser provocadas por causas diversas. La contracción por de secado siempre es mayor cerca de la superficie del concreto; las porciones húmedas interiores restringen al concreto en las cercanías de la superficie con lo que se pueden producir agrietamientos. Otras causas de restricción son el acero de refuerzo embebido en el concreto, las partes de una estructura interconectadas entre sí, y la fricción de la subrasante sobre la cual va colocado el concreto.

Las juntas son el método mas efectivo para controlar agrietamientos. Si una extensión considerable de concreto (una pared, losa o pavimento) no contiene juntas convenientemente espaciadas que alivien la contracción por secado y por temperatura, el concreto se agrietara de manera aleatoria.

Las juntas de control se ranuran, se forman o se aserran en banquetas, calzadas, pavimentos, pisos y muros de modo que las

grietas ocurran en esas juntas y no aleatoriamente. Las juntas de control permiten movimientos en el plano de una losa o de un muro. Se desarrollan aproximadamente a un cuarto del espesor del concreto. Las juntas de separación aíslan a una losa de otros elementos de otra estructura y le permiten tanto movimiento horizontales como verticales. Se colocan en las uniones de pisos con muros, columnas, bases y otros puntos donde pudieran ocurrir restricciones. Se desarrollan en todo el espesor de la losa e incluyen un relleno premoldeado para la junta.

Las juntas de construcción se colocan en los lugares donde ha concluido la jornada de trabajo; separan áreas de concreto colocado en distintos momentos. En las losas para pavimentos, las juntas de construcción comúnmente se alinean con las juntas de control o de separación, y funcionan también como estas últimas.

1.4.12.1 Fisuras durante la fase constructiva.

***Fisuras por retracción** vienen originadas por la desecación de la zona superior de la losa y pueden alcanzar profundidades superiores a los 25 mm. Estas fisuras son por lo general de trazado corto.*

La causa principal de las mismas es la excesiva y rápida pérdida de humedad que se puede deber a:

- *Terreno de sustentación seco.*
- *Utilización de áridos secos*
- *La evaporación producida por el calor o los vientos secos (utilizar membranas de curado)*
- *Exceso de agua en la mezcla (utilizar plastificantes)*
- *Exceso de finos en el hormigón.*

Las fisuras por retracción superficial *muy finas y superficiales se conectan entre si, semejantes a la piel de cocodrilo. Su origen es la retracción de la pasta de cemento que ha sido transportada a la superficie por un exceso de vibrado. También aparecen estas fisuras cuando se rocía agua sobre la superficie para facilitar las operaciones de acabado, o cuando el árido del hormigón contiene un exceso de polvo que provoca la exudación. El calor y el viento también causan este tipo de fisuras (utilizar membranas de curado)*

Las fisuras por deformación son debido a las perturbaciones *que sufre el hormigón antes de su endurecimiento. Algunas de éstas son las siguientes:*

- *Deformaciones del terreno de sustentación*

- *Movimiento de los encofrados*
- *Los áridos muy absorbentes*

1.4.12.2 Fisuras Posteriores a la fase constructiva.

La fisuración transversal y el desconchamiento próximo a las juntas tienen su origen en una mala colocación de los pasadores, los que deben ser dispuestos paralelamente a la base de sustentación y al eje central de la losa. Los elementos en los que se sitúan los pasadores, deben permitir el subsiguiente deslizamiento en el hormigón endurecido.

Las fisuras transversales pueden tener su origen también en una falla de terreno o en la resistencia del mismo, consecuencia de sus variaciones dimensionales.

Las fisuras longitudinales pueden resultar también de un reblandecimiento del terreno de sustentación por infiltración de agua bajo la losa.

Estas dos clases de fisura también se pueden producir por:

- *Retracción térmica*
- *Dilatación térmica*

- Oxidación de armaduras (aumento del volumen del acero por oxidación)

CAPITULO 2

MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA INICIAL (HARI) Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

2.1 INTRODUCCION

En los últimos años a crecido el interés por los Hormigones de Alta Resistencia que van desde 420 Kg/cm², donde se pone gran cuidado en la utilización de los componentes del hormigón los cuales son cuidadosamente seleccionadas y además incluyendo aditivos, superplastificantes reductores de agua de alto rango, cenizas volantes y microsílica además el control de calidad muy cuidadoso durante la producción, por todo esto al lograr una mayor resistencia a la compresión, se mejoran casi todas las demás propiedades requeridas en la Ingeniería, lo que lleva a la utilización del término alternativo, Hormigón de alto rendimiento.

Pero ahora en la actualidad además de los términos Hormigones de Alta Resistencia y de Hormigón de alto rendimiento podemos añadir un término más que es la palabra “Inicial”.

Con la ayuda de una nueva generación de aditivos acelerantes y superplastificantes se logran resistencias tempranas relativamente altas, por ejemplo resistencias de 7 días en el Hormigón normal en tres días y resistencias equivalentes a 28 días en siete días y de esta manera ya no se hablaría más de la resistencia a los 28 días la cual todos estamos acostumbrados y que trae consigo muchas ventajas y aplicaciones las cuales se enunciaran más adelante.

2.2 AGREGADOS

2.2.1 Generalidades.

Se sabe que los agregados(áridos) finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del hormigón (70% a 85% en peso), e influyen notablemente en las propiedades del Hormigón Normal (HN) y el Hormigón de Alta Resistencia Inicial (HARI), recién mezclados y endurecidos, en las proporciones de la mezcla y en la economía. Los agregados finos normalmente consisten

en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm. Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9.5 mm y 38mm. Algunos depósitos naturales de agregado, son a veces llamados gravas de mina, río, lago o lecho marino. El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola, guijarros, o grava de gran tamaño.

Se considera que un material es una sustancia sólida natural que tiene estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de límites muy estrechos. Varios materiales componen generalmente las rocas (que dependiendo de su origen se pueden clasificar como ígneas, sedimentarias o metamórficas). Por ejemplo, el granito contiene cuarzo, feldespato, mica y otros cuantos minerales; la mayor parte de las calizas consisten en calcita, dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. El intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo, y arcilla.

El concreto reciclado, o concreto de desperdicio triturado, es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde escaseen agregados de calidad.

Los áridos para la elaboración de HARI, deben cumplir ciertas normas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia la pasta del cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Los áridos que contengan cantidades apreciables de esquistos o de otras rocas esquistas, de materiales suaves y porosos, y ciertos tipos de horsteno deberán evitarse en especial, puesto que tiene baja resistencia al intemperismo y pueden ser causa de defectos en la superficie tales como erupciones.

Características de los Agregados que influyen en el H.N. y en el H.A.R.I.:

2.2.1.1 Clasificación

En general los agregados se pueden dividir en estos tipos :

Forma	Aridos naturales		Aridos triturados	
	Esférica	Alargada/aplanada	Cúbica	Alargada/aplanada





				
Angulosidad	Redondeada		Angulosa	
Superficie	Lisa		Áspera	
Necesidad de agua	<p style="text-align: center;"> → Creciente </p>			
Trabajabilidad				
Compactación				

TABLA 2.1.1.1 : Relación entre la forma y la características de los granos.

2.2.1.2 Forma.

Gran influencia en las propiedades del hormigón fresco y endurecido, produce la forma del agregado, particularmente en la trabajabilidad y en la resistencia mecánica, respectivamente.

Los cantos rodados al ser partículas redondeadas, resultan en hormigones muy trabajables, en tanto que los agregados triturados dan lugar a hormigones menos trabajables, aunque el efecto será tanto menor cuando más se aproximen a poliedros de mayor número de caras, como se ve en la figura 2.1.1.1 anterior en la clasificación.

La forma elongada y la plana o lajosa dan lugar a hormigones de peor calidad. Disminuyen la trabajabilidad del hormigón, obligando a una mayor cantidad de agua y arena, lo que en definitiva se traduce en una disminución de la resistencia.

Además las formas lajosas tienden a orientarse en un plano horizontal, acumulando agua y aire debajo de ellas, lo que repercute desfavorablemente en la durabilidad de los hormigones.

Por otra parte, aunque el tipo de material sea muy resistente, estas formas debilitan las piedras y se pueden romper en el mezclado y la compactación del hormigón.

Los agregados triturados, cuando tienen buena forma, resultan en hormigones con alta resistencia a la Flexión, por lo que son preferidos para pavimentos en carreteras.

2.2.1.3 Textura superficial

La textura superficial de los áridos afecta la calidad del Hormigón de Alta Resistencia Inicial en estado fresco y tiene gran influencia en las resistencias, repercutiendo más en la flexión que a la compresión.

La mayor rugosidad superficial de los agregados aumenta la superficie de contacto con la pasta de cemento; haciendo necesaria la utilización de mayor contenido de pasta para lograr la trabajabilidad

deseada, pero favorece la adherencia pasta-agregado y así mejora las resistencias. Esto es característico de los agregados de trituración.

En el caso de los cantos rodados, su superficie es lisa, dan mejor trabajabilidad al hormigón pero menor adherencia pasta-agregado.

El caso de los cantos rodados triturados plantea una situación intermedia entre las anteriores.

2.2.2 Granulometría

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tienen aberturas que varían desde la malla No. 100 (150 micras) hasta 9.52 mm.

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Para la construcción de vías terrestres, la norma ASTM D 448 enlista los trece números de tamaño de la norma ASTM C 33, más otros seis números

de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaños de partícula.

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

El método de ensayo esta descrito en la norma ASTM C136.

2.2.3 Granulometría de los Agregados

Finos.

En general, si la relación agua – cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango de granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. Entre mas uniforme sea la granulometría , mayor será la economía.

Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30 mm (No. 50) y de 15 mm (No. 100) sean reducidos a 15% y 0%, respectivamente, siempre y cuando:

1) *El agregado se emplee en un concreto que contenga más de 296 Kg de cemento por metro cúbico cuando el concreto no tenga inclusión de aire.*

2) *Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, el agregado fino se deberá rechazar a menos de que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones el agregado fino y grueso.*

Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (No. 50) y de 1.15 mm (No. 100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial, y el sangrado del concreto.

2.2.4 Granulometría de los Agregados Gruesos.

Depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y el tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada tamiz resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el hormigón tiene su fundamento en la economía. Usualmente se necesita más agua

y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores, para un asentamiento de aproximadamente 7.5 cm, para un amplio rango de tamaños de agregado grueso.

2.2.5 Granulometría Continua.

La importancia de la granulometría de los agregados totales en el hormigón es por razones de economía, mayor resistencia y mayor estabilidad volumétrica ,por lo que conviene que los agregados ocupen la mayor masa del hormigón, y de ésta manera ser compatible con la trabajabilidad.

Esto se logra tratando que la mezcla de agregados sea lo más compacta posible, es decir, que la cantidad de huecos dejada por los agregados sea la mínima; o sea, lograr la máxima “compacidad”.

Cuando se tiene una distribución por tamaños adecuada, los huecos dejados por las piedras más grandes son ocupados por las del tamaño siguiente y así sucesivamente hasta llegar a la arena, donde sus diferentes tamaños de granos harán lo propio.

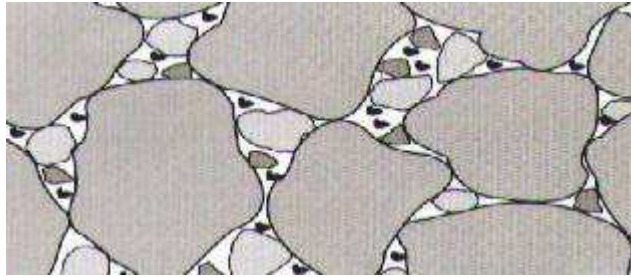


FIGURA 2.1.5.1 : Agregados de granulometría continua, existen mínimos vacíos.

Para esto las granulometrías deben ser “continuas”, es decir que no debe faltar ningún tamaño intermedio de partícula, de gran importancia para la fabricación de H.A.R.I.

La pasta cementante debe cubrir todas las partículas de agregado para “lubricarlas” cuando el hormigón está fresco y para unir las cuando el hormigón está endurecido.

Por lo tanto, cuanto mayor sea la superficie de los agregados mayor será la cantidad de pasta necesaria como nos muestra la figura 2.1.5.2.



de agregado	en dos, aparecen nuevas superficies a cubrir con pasta	nuevamente en mitades aumentan las superficies a recubrir
------------------------	---	--

FIGURA 2.1.5.2 : Superficie de los agregados.

2.2.6 Granulometría Discontinua.

*Consiste en solo un tamaño de agregado grueso siendo todas las partículas de agregado fino capaces de pasar a través de los vacíos en el agregado grueso compactado. **Las mezclas con granulometría discontinua se utilizan para obtener texturas uniformes en hormigones con agregados expuestos.** También se emplean en concretos estructurales normales, debido a las posibles **mejoras en densidad, permeabilidad, contracción, fluencia, resistencia, consolidación.***

Si se tiene un agregado de 19.0 mm de tamaño máximo, se pueden omitir las partículas de 4.75 mm a 9.52 mm sin hacer al hormigón excesivamente áspero o propenso a segregarse. En el caso del agregado de 38.1 mm, normalmente se omiten los tamaños de 4.75 mm a 19.0 mm.

*Una elección incorrecta; puede resultar, en un concreto susceptible de producir segregación debido a **un exceso de agregado grueso, o en un concreto de baja densidad y alta demanda de agua provocada por un exceso de agregado fino.** Normalmente el agregado fino ocupa del **25% al 35% del volumen del agregado total.** Para mantener la trabajabilidad normalmente se requiere de inclusión de aire puesto que las mezclas con granulometría discontinua con revenimiento bajo hacen uso de un bajo porcentaje de agregado fino y a falta de aire incluido producen mezclas ásperas.*

Se debe evitar la segregación de las mezclas con granulometría discontinua, restringiendo el asentamiento al valor mínimo acorde a una buena consolidación. Este puede variar de cero a 7.5 cm dependiendo del espesor de la sección, de la cantidad de refuerzo, y de la altura de colado.

Si se requiere una mezcla áspera, los agregados con granulometría discontinua podrían producir mayores resistencias que los agregados normales empleados con contenidos de cemento similares.

Sin embargo, cuando han sido proporcionados adecuadamente, estos concretos se consolidan fácilmente por vibración.

2.2.7 **Tamaño máximo**

El tamaño máximo nominal del agregado grueso(TM), es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño.

Por ejemplo, el agregado de número de tamaño P-67 (código de vendedores) tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño máximo nominal de 19 mm. De noventa a cien por ciento de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla 25 mm.

Usualmente el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe pasar:

- 1) Un quinto de la dimensión mas pequeña del miembro de concreto.*
- 2) Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.*
- 3) Un tercio del peralte de las losas.*

2.2.8 Módulo de finura

El módulo de finura (MF) del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100.

El módulo de finura es un índice de la finura del agregado entre mayor sea, más grueso será el agregado.

*El módulo de finura del **agregado fino** es útil para estimar las **proporciones** de los de los agregados finos y gruesos en las mezclas de hormigón.*

$$MF = \frac{\sum \% \text{masas acumuladas}}{100}$$

2.2.9 Humedad natural.

Las dosificaciones de Hormigón se calculan utilizando la humedad natural (HN) de los agregados. La Humedad puede ser calculada mediante fórmulas o tablas.

$$\% HN = \frac{\text{masa húmeda} - \text{masa seca}}{\text{masa seca}} * 100$$

2.2.10 Material que pasa el tamiz #200.

El material que pasa el tamiz # 200 es la cantidad de material fino(humus y arcilla) que posee un agregado, éste material fino es perjudicial para el concreto, ya que producen agrietamientos, y le dan poca consistencia al hormigón, sin embargo, como relleno y unión entre agregados provoca adherencia, lo que puede ser beneficioso. La Norma del INEN establece que las substancias que atraviesan el tamiz #200 no deben estar sobre el 3 o 5 % del total de la muestra, en agregados finos. La norma AASHO establece como porcentaje máximo el 1 % en caso de agregados gruesos. Normas INEN y ASTM: porcentaje máximo de material fino que atraviesa el tamiz # 200:

Para hormigón sometido a abrasión 3%

Para hormigón de cualquier tipo 5%

Según la Norma INEN para porcentaje máximo de material grueso que atraviesa el tamiz # 200 se tiene :

Para hormigón sometido a abrasión 1%

Para hormigón de cualquier tipo 1%

2.2.11 Gravedad específica del agregado.

La gravedad específica del agregado(fino y grueso) depende de los siguientes parámetros.:

Gravedad específica Bulk (G_e) :
 Es el resultado de dividir la masa seca y el volumen Bulk, o lo que es lo mismo el volumen propio de la muestra, por la densidad del agua.

G_e = gravedad específica bulk
 M_s = masa de la muestra seca
 M_{ss} = masa de la muestra saturada con superficie seca
 M_{sa} = masa de la muestra sumergida en agua

$$G_e = \frac{M_s}{M_{ss} - M_{sa}}$$

Gravedad específica saturada con superficie seca (G_{es}) :

Es la relación entre la masa de la muestra saturada en sus porosidades con agua, pero con su superficie seca, con el volumen Bulk y la densidad del agua.

G_{es} = gravedad específica saturada con superficie seca
 M_{ss} = masa de la muestra saturada con superficie seca
 M_{sa} = masa de la muestra sumergida en agua

$$G_{es} = \frac{M_{ss}}{M_{ss} - M_{sa}}$$

Gravedad específica aparente (G_{ea}) :

Se obtiene dividiendo la masa de sólidos y el volumen de sólidos por la densidad del agua.

G_{ea} = gravedad específica aparente
 M_s = masa de la muestra seca
 M_{sa} = masa de la muestra sumergida en agua

$$G_{ea} = \frac{M_s}{M_s - M_{sa}}$$

2.2.12 Absorción.

Es la humedad del agregado, cuando tiene todos sus poros saturados, pero la superficie del mismo está seca, se le denomina absorción. Es una condición importante en los cálculos de dosificación de H.N. y H.A.R.I.

$$\%Ab = \frac{M_{ss} - M_s}{M_s} * 100$$

%Ab = porcentaje de absorción

M_{ss} = masa de la muestra saturada con superficie seca

M_s = masa de la muestra seca

La absorción y humedad superficial de los agregados se deben determinar de acuerdo con las normas ASTM C 70, C 127, C128 y C 566 de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se

puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla.

2.2.13 **Peso unitario.**

Cuando se realizan dosificaciones por volumen, se utiliza el peso unitario de los agregados y se calculan las cantidades de materiales para mezclar. Lo determinamos pesando el agregado requerido para llenar un recipiente de volumen conocido bajo condiciones especificadas de compactación(volumen compactado o suelto) o contenido de humedad(húmedo o seco).

2.2.13.1 **Peso unitario suelto**

El peso unitario suelto(P_{us}) es importante en obra para poder determinar las dosificaciones en volumen del hormigón suelto. Es la relación(densidad del material) entre la masa y el volumen del material.

$$P_{us} = \frac{M_s}{V}$$

P_{us} = peso unitario suelto

M_s = masa de la muestra suelta

V =volumen del recipiente que contiene el material

2.2.13.2 Peso unitario compactado

El peso unitario compactado (P_{uc}) es la relación entre la masa compactada, es decir la masa acomodada o sin muchos vacíos para el volumen del material (mayor que peso

unitario suelto) y sirve para determinar dosificaciones en volumen del hormigón

compactado en la obra.

P_{uc} = peso unitario compactado

M_c = masa de la muestra compactada

V = volumen del recipiente que contiene el material

$$P_{uc} = \frac{M_c}{V}$$

Las condiciones de gravedad específica (volumen de vacíos y agregado saturado con superficie seca), hacen que sea más pesado y por lo tanto mayor al peso unitario.

2.2.14 Vacíos en el agregado.

Está expresado como un porcentaje de la masa total del agregado, es decir, con toda y su saturación con agua y con superficie seca. Nos permite conocer la cantidad de lugares que contienen agua y que existen en el agregado.

$$\%V = \frac{(Ges * \gamma_w) - Puc}{Ges * \gamma_w} * 100$$

*%V = porcentaje de vacíos en el agregado
Ges = gravedad específica saturada con superficie seca
 γ_w = peso específico del agua
Puc = peso unitario compactado*

2.2.15 Contenido orgánico.

El contenido orgánico del agregado se obtiene sumergiendo la muestra en una solución de hidróxido de sodio al 3%, luego se la deja reposar 24 horas y se compara el color de la solución con un color patrón (generalmente claro). En el caso de no cumplir la especificación de colorimetría, hay que tomar en cuenta que la coloración oscura se debe en ciertas ocasiones a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito, o partículas

discretas similares. El contenido de materia orgánica es perjudicial puesto que tiene un efecto en el tiempo de fraguado y en la resistencia del hormigón, además produce oxidación en el acero y por putrefacción ocasiona vacíos en el hormigón.

2.2.16 Terrones de arcilla.

Las arcillas son minerales que se adhieren fuertemente al material y que acompañan a este en el momento de realizar la granulometría, por lo cual se concluye que esta no es suficiente para obtener un correcto análisis de las características del agregado ya que las arcillas con un tamaño similar al del material guardan propiedades diferentes y perjudiciales para la realización de hormigones.

Son partículas que tienen una dimensión comprendida entre 0,002 y 0,001 mm de diámetro, y vistas al microscopio tienen forma alargada o laminar, estando constituidas por silicatos alumínicos, hidratados amorfos o cristalinos, les acompañan generalmente cuarzo, calcita, hidróxido de hierro, etc., tienen la propiedad de que, puestas en agua,

se hinchan, pudiendo algunas absorber hasta 200 veces su peso de agua.

Como la propiedad principal de las arcillas es hincharse al saturarse de agua, al realizar la mezcla de hormigón con este material, al fraguarse este agregado se contrae ocasionando vacíos en el hormigón y debilitando su resistencia, por otro lado el contenido orgánico absorbe agua e impide la correcta hidratación del cemento que al igual que en la arcilla va a bajar el grado de duración y resistencia del material, además la adherencia del cemento con los terrones de arcilla es casi nula, por lo cual dureza del material no es óptima. Sin embargo un material que contiene una cantidad de arcilla que rebasa los límites establecidos puede ser utilizado en la fabricación de hormigones de poca resistencia sin que su resistencia corra un riesgo alto.

Según norma ASTM el porcentaje de arcillas en el agregado no deberá ser mayor a:

Material fino: 1%

Material grueso: 0.25%

2.2.17 Abrasión del agregado grueso.

Se define como abrasión, al porcentaje en peso de los áridos que por efecto de la acción abrasiva, pasan a través de un tamiz de abertura menor a la que originalmente retenía el material. Para esto, necesitamos la previa determinación de la carga de abrasión que provocará el desgaste del agregado grueso, dentro de la máquina de los Angeles. Esta carga de abrasión consiste en un determinado número de esferas de acero de 47,6 mm de diámetro con una masa de entre 390 y 445 gr., cada una, la cual se determina por medio de tablas y en base de la gradación que posea el material.

El ensayo de desgaste del agregado grueso en la máquina de los Angeles, sirve para determinar la resistencia al desgaste de piedras machacadas, escorias machacadas, gravas machacadas y sin machacar.

En un proceso de dosificación de hormigones, la determinación del porcentaje de abrasión es

muy importante, ya que este parámetro guarda una íntima relación con la deformación unitaria y el módulo de elasticidad del hormigón, por lo cual su influencia en la resistencia lograda es directa.

Según la norma ASTM el porcentaje de material que pasa el tamiz No.12 después del ensayo de abrasión deberá ser menor al 50%.

Las cargas abrasivas tienen el efecto de desgastar los agregados gruesos mediante golpes en la Máquina de los Angeles, simulando así el desgaste y condiciones a las que esta sometido el material y dando una buena idea acerca de la resistencia del mismo. La cantidad de cargas abrasivas, así como las condiciones a las que se someterá al material

durante el ensayo de abrasión dependen directamente de la gradación del material.

$$\%Desgaste = \frac{M_{12}}{M_m} * 100$$

M_{12} = masa del material que pasa el tamiz #12 M_m = masa inicial de la muestra
--

2.2.18 Durabilidad a la acción de los sulfatos.

El desgaste a la acción de los sulfatos es un valor porcentual que representa el porcentaje de material desgastado por los sulfatos con respecto a la masa de la muestra antes del ensayo.

Los sulfatos suelen actuar como agresivo interno(al momento del mezclado) o externo(penetreción desde la superficie) sobre el hormigón y sus agregados. Estos sulfatos mediante reacciones químicas con componentes del cemento causan expansiones capaces de reventar el material. Como agresores externos, los sulfatos van descascarando y agrietando el concreto y abren caminos de penetración del agresor dentro del material. De aquí la importancia del ensayo de durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos (de sodio y magnesio). Este método cubre el procedimiento a seguir, para determinar la resistencia del hormigón a la desintegración por

saturación en soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Además, provee información que ayuda a evaluar, la resistencia de los agregados sujetos a la acción climática, particularmente, si es que no existe la debida información referente al comportamiento de este material frente a las condiciones climáticas existentes, por lo que últimamente se está utilizando un recubrimiento superficial a base de químicos como protección.

La determinación del comportamiento del agregado en presencia de sulfatos es muy importante, ya que en ocasiones, las resistencias mecánicas de los agregados pueden verse afectadas, causando expansiones que incluso pueden llegar a ocasionar la destrucción de los materiales.

Según la norma ASTM el porcentaje máximo de durabilidad del agregado grueso sometido a cinco ciclos de inmersión es:

Sulfato de sodio: 12%

Sulfato de Magnesio: 18%.

2.2.19 Resultado de los Ensayos.

2.2.19.1 *Agregado Fino.*

2.2.19.2 *Agregado Grueso.*

2.3 CEMENTO

2.3.1 Definición

El cemento Portland consiste en una mezcla de materias primas con granulometría definida, sometida a cocción hasta el umbral del punto de fusión y finalmente molida a polvo fino y reactivo.

2.3.2 Fabricación

Globalmente se puede distinguir cuatro etapas en la fabricación del cemento:

- ***Extracción y triturado de la materia prima:*** Para producir una tonelada de cemento es necesario utilizar por lo menos una tonelada y media de materia prima -calcáreos- y arcilla que liberan agua y dióxido de carbono durante la cocción. La piedra bruta es pretriturada en la cantera hasta el tamaño de un puño.
- ***Mezclado y reducción de la materia prima hasta una finura similar a la de la harina:*** Esta etapa prevé el mezclado de las diversas materias primas en las proporciones correspondientes a la composición química óptima. El material que se encuentra en el molino a bolas o vertical es simultáneamente

secado y triturado en fino polvo. A la salida se obtiene la harina cruda que será mezclada en los silos de homogeneización hasta la obtención de una composición uniforme.

- ***Cocción de la Harina y transformación del clinker:*** *El proceso de cocción a una temperatura de aproximadamente 1.450-°C es la operación principal en la fabricación del cemento. Antes de entrar en el horno rotativo, la harina pasa a través de un cambiador térmico y se calienta a casi 1.000°C. A la salida el material se presenta bajo la forma de clinker incandescente que será rápidamente enfriado al aire. Los combustibles utilizados son: carbón, petróleo, gas natural y, cada vez más frecuentemente, materiales recuperados como solventes, aceites usados o neumáticos viejos.*
- ***Molienda del clinker con yeso y aditivos:*** *Para obtener el material reactivo deseado, el clinker es molido en la unidad de molienda con una pequeña cantidad de yeso que actúa como regulador de fraguado.*

Cemento en bolsas:

El almacenamiento del cemento embolsado debe hacerse en un depósito cerrado impermeable.

Cemento a granel:

El cemento almacenado en los grandes silos de las plantas de cemento de distribución puede permanecer largos períodos sin deteriorarse.

2.3.3 Clasificación

Existen varios tipos de cemento que se rigen bajo la norma técnica INEN 490:96 "CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO REQUISITOS", la cual está basada en la norma norteamericana ASTM C 595 M-95 "Standard Specification for Blended Hydraulic Cements".

Cemento Portland Puzolánico IP:

Es el producto resultante de la pulverización conjunta del clinker de cemento Portland y puzolana entre el 15% y 40% de la mezcla en masa, sirve para el uso estructural general en la construcción.

Puzolana: *Es cualquier material (natural o artificial) sílico-aluminoso que, mientras por sí mismo no tiene propiedades hidráulicas, puede, finamente dividido y en presencia de agua, reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio a la temperatura ambiente, formando compuestos con propiedades hidráulicas.*

La norma actual NTE INEN 490 es más exigente en los parámetros fundamentales que la norma anterior INEN 1548.

<i>EDAD</i>	<i>INEN TIPO 1P</i>	<i>INEN 1548 TIPO 1E</i>
<i>3 días</i>	<i>12.5</i>	<i>11.0</i>
<i>7 días</i>	<i>19.4</i>	<i>18.0</i>
<i>28 días</i>	<i>24.2</i>	<i>24.2</i>
	<i>Vigente</i>	<i>Derogada</i>

TABLA 2.2.3.a : Resistencia a la Compresión (MPa).

Tipos de Cemento Pórtland:

a) El Cemento Tipo I:

Es para uso general en estructuras, y tiene como equivalente al tipo 1P.

b) El Cemento Tipo II :

Es para cuando se requiere una resistencia moderada a los sulfatos o al calor de hidratación, y tiene como equivalentes al tipo 1P y al tipo P.

c) El Cemento Tipo III:

Radica en sus altísimas resistencias iniciales, que permiten aplicaciones estructurales especiales donde se necesita poner el elemento fundido en funcionamiento, a las pocas horas de haberse fraguado.

d) El Cemento Tipo IV:

Tiene un bajo calor de hidratación (65% del tipo I), ideal para grandes fundiciones. Ya que no se contrae cuando la temperatura de hidratación disminuye, y por ende no ocasiona mayor número de grietas.

e) El Cemento Tipo V:

Este es resistente a la acción de los sulfatos, y por lo que es recomendado en obras hidráulicas, esto se logra limitando el contenido de aluminato tricálcico.

Tipos de cemento portland	Resistencia a la compresión, % del concreto con cemento portland tipo I		
	3 días	28 días	3 meses
I general	100	100	100
II modificado	80	85	100
III alta resist.	190	130	115
IV bajo calor	50	65	90
V resistente al sulfato	65	65	85

TABLA 2.2.3-b : Resistencias relativas de los Cementos Pórtland.

2.3.4 Consistencia normal del cemento

El cemento posee un estado normal de equilibrio que es excelente para el trabajo, que va entre su consistencia aguada (pegajosa) y la consistencia seca (harinosa).

Cuando el cemento está en su consistencia normal es plástico, por lo que es importante para la calidad de los productos terminados.

$$C = \frac{M_w}{M_c} * 100$$

<p><i>C = consistencia normal del cemento</i></p> <p><i>M_w = masa de agua</i></p> <p><i>M_c = masa de cemento</i></p>
--

2.3.5

Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado es el período entre el amasado y el instante en que la mezcla adquiere suficiente consistencia para resistir una determinada presión.

El cemento adquiere consistencia y gran resistencia, a medida que pasa el tiempo, ésta condición consta de dos fases que son el fraguado (pérdida de plasticidad) y el endurecimiento (consolidación).

El fraguado inicial es el tiempo entre el amasado y una pérdida parcial de la plasticidad de la masa. El fraguado final es el tiempo requerido para que la masa soporte una determinada presión. El fraguado se produce en el instante en que se pierde la característica plástica de la masa. El falso fraguado es un estado en el que el cemento aparenta un fraguado prematuro, cabe señalar sin embargo que en este estado a diferencia del fraguado rápido hay muy poco desprendimiento de calor y esta rigidez es reversible. Se observa al amasar el cemento con agua, que el material adquiere consistencia,

parece fraguar, y si se prosigue el amasado sin agregar más agua, se deshace aquella consistencia y fragua normalmente.

Normalmente el fraguado logra a los 28 días la resistencia máxima, sin embargo a los 7 días debe lograrse mínimo un 80% de esa resistencia en hormigones normales y un 100% de esa resistencia en hormigones de alta resistencia Inicial.

El principio del fraguado del cemento Portland, es la formación de C_3A o C_3S hidratados. El tiempo necesario para llegar a este principio del fraguado, depender del tiempo que necesita uno u otro de éstos hidratos para hacer su aparición.

Métodos para determinar el tiempo de fraguado del cemento:

Método de Vicat

El tiempo de fraguado inicial (45 minutos mínimo) se determina cuando la aguja de Vicat penetra 25 mm. en la pasta de cemento. Cuando la aguja de Vicat no deja marcas visibles en la superficie de la pasta

**obtenemos el tiempo final de fraguado
(aproximadamente 7 horas mínimo según
normas ASTM C191).**

Método de Gillmore

El tiempo de fraguado inicial (60 minutos mínimo) se obtiene cuando la aguja de tiempo inicial no deja marcas visibles en la pasta. Cuando la aguja de tiempo final no deja marcas visibles en la pasta obtenemos el tiempo final de fraguado (aproximadamente 10 horas).

2.3.6 Gravedad específica del cemento

La gravedad específica no es más que una relación entre la masa del cemento sobre el volumen por la densidad del agua a 40°C, es un valor adimensional, el cual esta en relación con la dosificación y control de las mezclas de hormigón.

2.3.7 Módulo de finura del cemento

Usualmente en el cemento es necesario realizar ensayos en cuanto tiene que ver con su finura y su gravedad específica por ser un material aglutinante de mucha importancia.

Tiene mucha importancia que el cemento tenga una gran finura, por favorecer sus propiedades, ya sea recubriendo mejor el objeto a aglomerar porque reacciona químicamente por el agua solo en la

superficie de los granos, y cuantos más pequeños sean estos más superficie ofrecen, no quedando núcleos inertes en su interior. El rendimiento útil de cada grano es directamente proporcional a su superficie e inversamente a su volumen; por consiguiente, será tanto mayor cuanto menor sea su radio.

Las normas INEN 152, 1548 para el cemento Portland tipo I, presentan el valor de finura máximo de 2800 cm²/gr.

2.3.8 Especificaciones para cemento.

Los mejores resultados en la obra se obtienen cuando se seleccionan cuidadosamente los componentes para hormigón: arena o polvo de piedra, ripio o grava,. Una ayuda muy valiosa en esta selección, son los ensayos de laboratorio recomendados por las Normas y Especificaciones. Algunas de ellas nos permiten verificar que la calidad del material es la adecuada, otras son útiles para llevar el control de calidad del hormigón y aún nos pueden ayudar a diseñar las mezclas que vamos a utilizar.

La ASTM, de carácter internacional y el INEN a nivel local han publicado los instructivos para acogerse a especificaciones y métodos de ensayo. Las de uso más frecuente se muestran en la Tabla 2.2.8.1:

DESCRIPCION	ASTM	INEN
<i>Especificaciones para cementos combinados</i>	<i>C 595</i>	<i>490</i>
<i>Especificaciones para cementos Portland</i>	<i>C150</i>	<i>152</i>
<i>Especificaciones para agregados para hormigón</i>	<i>C 33</i>	<i>872</i>
<i>Determinación de la Densidad del cemento</i>	<i>C 188</i>	<i>156</i>
<i>Consistencia normal del cemento</i>	<i>C 187</i>	<i>157</i>
<i>Tiempo de fraguado del cemento</i>	<i>C 191</i>	<i>168</i>
<i>Resistencia a la compresión</i>	<i>C 109</i>	<i>485</i>
<i>Contenido de impurezas orgánicas en arenas</i>	<i>C 40</i>	<i>855</i>
<i>Contenido de material más fino que u75mm</i>	<i>C 117</i>	<i>697</i>
<i>Gravedad específica y absorción de agregado grueso</i>	<i>C 127</i>	<i>857</i>
<i>Gravedad específica y Absorción de agregado fino</i>	<i>C 128</i>	<i>856</i>
<i>Granulometría de agregados para el hormigón</i>	<i>C 136</i>	<i>696</i>
<i>Desgaste por Abrasión de agregados gruesos</i>	<i>C 131</i>	<i>850</i>
<i>Masa unitaria y vacíos en los agregados</i>	<i>C 29</i>	<i>858</i>
<i>Contenido de humedad de agregados por secado</i>	<i>C 566</i>	<i>862</i>

TABLA 2.2.8.1 : Especificaciones para cemento y agregados.

Características de los cementos Tipo 1P, 1M, P y Especificaciones de la Norma INEN/ 490

Información		Especificaciones Técnicas.		
		Tipo 1P	Tipo 1M	Tipo P
		Pórtland Puzolanico	Pórtland Puzolanico	Pórtland Puzolanico
P.Fuego	%	5.0 máx.	5.0 máx.	5.0 máx.
MgO	%	6.0 máx.	6.0 máx.	6.0 máx.
SO ₃	%	4.0 máx.	4.0 máx.	4.0 máx.
Frag. Inicial	Min.	45 min.	45 min.	45 min.
Frag. Final	Min.	420 máx.	420 máx.	420 máx.
Expansión	%	0.8 máx.	0.8 máx.	0.8 máx.
Aire	%	12 máx.	12 máx.	12 máx.
Resistencias	MPa			
1 días				
3 días		12.5.min.	12.5.min.	
7 días		19.4 min.	19.4 min.	11.00 min.
28 días		24.2 min.	24.2 min.	21.00 min.

TABLA 2.2.8.2 : Especificaciones para cemento.

2.3.9 Resultados de los Ensayos.

2.4 AGUA DE AMASADO

2.4.1 Generalidades.

Se entiende por agua de amasado la cantidad de agua total contenida en el hormigón fresco. Esta cantidad es utilizada para el cálculo de la relación agua/cemento (A/C).

El agua de amasado está compuesta por :el agua agregada a la mezcla, humedad superficial de los agregados, una cantidad de agua proveniente de los aditivos.

El agua de amasado cumple una doble función en la tecnología del hormigón: por un lado permite la hidratación del cemento y por el otro es indispensable para asegurar la trabajabilidad y la buena compactación del hormigón.

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el H.A.R.I.

Se puede utilizar para fabricar concreto si los cubos de mortero (Norma ASTM C109), producidos con ella alcanzan resistencia a los

siete días iguales a al menos el 90% de especímenes testigo fabricados con agua potable o destilada.

Las impurezas excesivas en el agua no solo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia de el concreto, si no también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

*El agua que contiene **menos de 2000 partes de millón (ppm) de sólidos disueltos totales** generalmente **pueden ser utilizada de manera satisfactoria** para elaborar concreto. El agua que contenga **más de 2000 ppm de sólidos disueltos** deberá ser ensayada para investigar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.*

2.4.2 Agua de Mar.

Aun cuando un concreto hecho con agua de mar puede tener una resistencia temprana mayor que un concreto normal, sus resistencias a edades mayores (después de 28 días) pueden ser inferiores. Esta reducción de resistencia puede ser compensada reduciendo la relación agua – cemento.

El agua de mar no es adecuada para producir concreto reforzado con acero y no deberá

usarse en concreto presforzados debido al riesgo de corrosión del esfuerzo, particularmente en ambientes cálidos y húmedos.

2.4.3 Aguas Ácidas.

*En general, el agua de mezclado que contiene ácidos clorhídrico, sulfúrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones inferiores a **10000 ppm** no tiene un efecto adverso en la resistencia. Las aguas ácidas con valores pH menores que 3.0 pueden ocasionar problemas de manejo y se deben evitar en la medida de lo posible.*

2.4.4 Aguas Alcalinas.

Las aguas con concentraciones de hidróxido de sodio de 0.5% el peso del cemento, no afecta en gran medida a la resistencia del concreto toda vez que no ocasionen un fraguado rápido. Sin embargo, mayores concentraciones pueden reducir la resistencia del concreto.

El hidróxido de potasio en concentraciones menores a 1.2% por peso de cemento tiene poco efecto en la resistencia del concreto desarrollada por ciertos cementos, pero la misma concentración al ser usada con otros cementos puede reducir sustancialmente la resistencia a los 28 días.

2.4.5 Aguas de Desperdicios industriales.

*La mayor parte de las aguas que llevan desperdicios industriales tienen menos de **4,000 ppm** de sólidos totales. Cuando se hace uso de esta agua como aguas de mezclado para el concreto, la reducción en la resistencia a la compresión generalmente no es mayor que del 10% al 15%.*

2.4.6 Aguas Negras.

*Las aguas negras típicas pueden tener aproximadamente **400 ppm** de materia orgánica. Luego que estas aguas se han diluido en un buen sistema de tratamiento, la concentración se ve reducida aproximadamente **20 ppm** o menos. Esta cantidad es demasiado pequeña para tener efecto de importancia en la resistencia.*

2.4.7 Impurezas Orgánicas.

El efecto que las sustancias orgánicas presentes en las aguas naturales puedan tener en el tiempo de fraguado del cemento Portland ó en la resistencia última del concreto, es un problema que presenta una complejidad considerable. Las aguas que estén muy coloreadas, las aguas con un olor

notable o aquellas aguas en que sean visibles algas verdes o cafés deberán ser vistas con desconfianza y en consecuencia ensayadas.

2.4.8 Sedimentos o partículas en suspensión.

*Se puede tolerar en el agua aproximadamente **2,000 ppm** de arcilla en suspensión o de partículas finas de roca. Cantidades mayores podría no afectar la resistencia, pero bien podrían influir sobre otras propiedades de algunas mezclas de concreto. Antes ser empleada, cualquier agua lodosa deberá pasar a través de estanques de sedimentación o deberá ser clarificada por cualquier otro medio para reducir la cantidad de sedimentos y de arcilla agregada a la mezcla. Cuando se regresan finos de cemento al concreto en aguas de enjuague recicladas, se pueden tolerar **50,000 ppm**.*

2.4.9 Cloruros.

La inquietud respecto a un elevado contenido de cloruros en el agua de mezclado, se debe principalmente al posible efecto adverso que lo iones de cloruro pudieran tener en la corrosión del acero de refuerzo, o de los torones del presfuerzo. Los iones cloruro atacan la capa de

oxido protectora formada en el acero por el medio químico altamente alcalino (pH 12.5) presente en el concreto.

2.5 ADITIVOS

2.5.1 Definición

Existen varias definiciones de aditivo para el concreto, la más conocida proviene del

Manual of Concrete Practice, ACI 106-R-90,

que dice:

- *Aditivo es toda aquella sustancia diferente del agua, los agregados, el cemento y los refuerzos de fibra, usada como ingrediente del hormigón o del mortero y que se agrega a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado.*

Otra definición también válida:

- *Sustancia química, dosificada por debajo del 5 % del peso del cemento, diferente de los agregados, el cemento, el agua y las fibras de refuerzo, que se agrega a la mezcla de hormigón o mortero durante su elaboración o directamente en obra al material preparado, con el fin de modificar una o varias de sus propiedades físicas, de tal manera que el material se adapte mejor a las características de la obra o a las necesidades del constructor.*

2.5.2 Empleo

Existen dos razones que justifican el empleo de uno o varios aditivos en obra o por una planta concretera:

- *Económicas*
- *Técnicas.*

En el primer grupo aparecerán todas aquellas justificaciones que hacen que se intente obtener la dosificación más económica posible del concreto o unos menores costos de construcción.

Aquí el costo del aditivo no está relacionado simplemente con la dosificación del concreto, sino que en la mayoría de los casos la justificación del empleo del aditivo tiene que ver con los ahorros de energía, el tiempo de colocación, la facilidad de colocación, la disminución de costos de formaletas y encofrados o la reducción de los plazos de entrega y puesta en servicio de la estructura.

En el segundo grupo, las razones técnicas incluyen la modificación o el mejoramiento de una o varias de las propiedades físicas del concreto tanto en estado fresco como endurecido.

2.5.3 Beneficios del empleo de aditivos.

	BENEFICIOS
Economía del diseño.	<i>Control de los requerimientos de agua.</i>
	<i>Economía de la colocación del concreto.</i>
	<i>Rápido desencofrado.</i>
	<i>Reutilización de moldes.</i>
	<i>Facilidad en la colocación y compactación.</i>
	<i>Rápido avance de la obra</i>
	<i>Rápida puesta en servicio.</i>
Cumplimiento de especificaciones.	<i>Relación agua-cemento fija</i>
	<i>Resistencia a temprana edad.</i>
	<i>Resistencias finales.</i>
	<i>Módulo de rotura.</i>
	<i>Resistencia a la abrasión.</i>
	<i>Estanqueidad del material.</i>
	<i>Cantidad de aire incorporado.</i>
	<i>Tiempos de fraguado.</i>
	<i>Mayor adherencia entre el acero y el concreto.</i>

	<i>Adherencia entre concreto nuevo y viejo.</i>
	<i>Inhibir la corrosión del refuerzo.</i>
Mejora del concreto fresco.	<i>Incremento de la manejabilidad.</i>
	<i>Manejabilidad extendida</i>
	<i>Reducción de la exudación.</i>
	<i>Hormigón cohesivo.</i>
	<i>Fraguados programados.</i>
	<i>Aptitud para el bombeo.</i>
Mejora del concreto endurecido.	<i>Incremento de resistencia mecánica.</i>
	<i>Disminución de la porosidad.</i>
	<i>Resistencia al ataque del medio ambiente</i>
	<i>Control del calor de hidratación.</i>
	<i>Contracción controlada.</i>
	<i>Mejora en los acabados.</i>

TABLA 2.4.3 : Beneficios del empleo de aditivos.

2.5.4 Clasificación de los aditivos.

La literatura técnica incluye numerosas clasificaciones de aditivos. Dependiendo del país respectivo, éstas incluyen o excluyen determinado tipo de aditivos. Por considerarla de uso extendido en Latinoamérica y en vista de que algunos países la han tomado como

base para su propia normativa, se tomara la clasificación de los aditivos que hace la norma ASTM C-494 de acuerdo con función en el concreto.

ADITIVOS	TIPO
<i>Reductores de agua</i>	<i>A</i>
<i>Retardantes</i>	<i>B</i>
<i>Acelerantes</i>	<i>C</i>
<i>Reductores de agua-retardadores</i>	<i>D</i>
<i>Reductores de agua-acelerantes</i>	<i>E</i>
<i>Reductores de agua de alto poder</i>	<i>F</i>
<i>Reductores de agua de alto poder-retardantes</i>	<i>G</i>

TABLA 2.4.4 : Clasificación de los Aditivos de acuerdo con función en el Hormigón.

Como se desprende de la tabla anterior, existen aditivos con una función simple y otros donde se conjugan una función primaria o principal con una función secundaria.

- **Tipo A : Reductor de agua:** *Es aquel que permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener determinada consistencia del hormigón.*

- **Tipo B : Retardador:** Es aquel que permite postergar el fraguado del concreto.
- **Tipo C : Acelerante:** Aditivo que permite acelerar el fraguado del concreto, así como la ganancia de resistencia.
- **Tipo D : Reductor de agua-retardador:** Es aquel que permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener determinada consistencia(acción primaria) y además retarda el fraguado del hormigón (acción secundaria).
- **Tipo E : Reductor de agua-acelerante:** aditivo que permite reducir la cantidad de agua necesaria para conseguir determinada consistencia del concreto (acción primaria) y además acelera el fraguado y la ganancia de resistencias (acción secundaria).
- **Tipo F : Reductor de agua de alto poder:** es aquel que permite reducir más del 12 % la cantidad de agua de amasado requerida para obtener determinada consistencia del hormigón.
- **Tipo G : Reductor de agua de alto poder retardador:** es aquel que permite reducir en más del 12 % la cantidad de agua de amasado requerida para obtener determinada consistencia del concreto (acción primaria) y además retarda el fraguado (acción secundaria).

Los aditivos incorporados de aire no aparecen en el listado anterior ya que por su extensa

utilización en los países con estaciones, donde se hace imprescindible proteger el concreto de los efectos desfavorables del hielo-deshielo, constituyen casi una materia prima más del concreto y tiene su propia norma ASTM C-260.

2.5.5 Características y uso de los diferentes tipos de aditivos.

2.5.5.1 Reductor de agua(Plastificantes).

Estos aditivos pertenecen al tipo A según la clasificación de la Norma ASTM C-494. Son sustancias que provocan la dispersión de las partículas de cemento, agrupadas en flóculos comúnmente en una mezcla sin aditivo, consiguiéndose con un menor contenido de agua la manejabilidad esperada.

Es en este sentido que se denomina reductores de agua. Esta reducción de agua conlleva a la obtención de resistencias más altas que las del concreto sin aditivo.

También puede aprovecharse su efecto dispersante para lograr asentamientos mayores, es decir, incrementar la plasticidad de la mezcla, sin agregar más agua. Aquí el aditivo toma el nombre de plastificante y lo que se obtiene es un incremento de manejabilidad de la mezcla sin disminuir la resistencia a compresión.

De acuerdo con lo anterior, un aditivo Tipo A se puede usar en el concreto con una de las tres finalidades siguientes.

- ***Reductor de agua:***

La reducción de agua tiene como objetivos incrementar la resistencia del concreto sin aumentar el contenido de cemento, y disminuir la porosidad de la pasta, haciendo menos permeable el hormigón. La consistencia del concreto será la misma que la del concreto sin aditivo, a pesar de la reducción de agua.

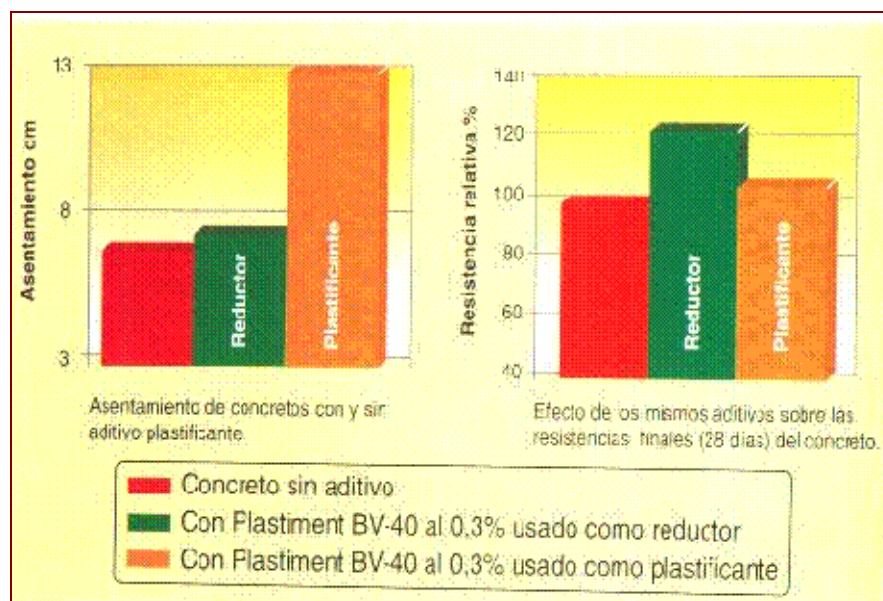
- ***Plastificar:***

En este caso la cantidad de agua de amasado permanece constante, el incremento de resistencia ya no es tan grande como en el caso anterior, aunque se presenta debido a la mejor dispersión del cemento que favorece su hidratación y lo que se incrementa notablemente es la manejabilidad de la mezcla, facilitando la colocación y la compactación del concreto.

▪ **Economizar cemento:**

Es común que el técnico se vea enfrentado a casos en que la mezcla contiene cemento en exceso. Aquí es fácil demostrar que una reducción de la cuantía de cemento, acompañada de una simultánea reducción del agua de amasado, conlleva a la obtención de resistencias similares a la esperada. Esto se logra porque se está disminuyendo la relación agua/cemento. Es oportuno dejar en claro que existe cierto límite en lo que se refiere a la economía de cemento, ya que por debajo de cierta cifra, digamos 260 Kg/m³, se empieza a ver afectada la durabilidad de la estructura. Las siguientes gráficas son un ejemplo de lo expuesto anteriormente con respecto a los aditivos reductores de agua. En el ejemplo se observa claramente que la mezcla donde se usó el aditivo como reductor de agua, mostró la misma manejabilidad de la mezcla sin aditivo, pero su resistencia fue mayor al 25%. Por otro lado la mezcla donde se usó el aditivo como plastificante, mostró un gran aumento en la plasticidad reflejado en el asentamiento de 13 cm, mientras que su resistencia fue superior a la del concreto sin aditivo

en 5%. Este incremento de resistencia es producto de la mejor distribución de las partículas de cemento en la mezcla, que facilita la hidratación de una mayor cantidad de cemento. Los aditivos reductores de agua Tipo A, se usan especialmente para la elaboración de concreto en climas fríos o donde el transporte va a ser muy corto. También son útiles donde se necesite incrementar la manejabilidad de la mezcla para facilitar su colocación. El uso de un aditivo reductor de agua permite, además disminuir la cuantía de cemento, haciendo más económico el diseño de la mezcla debido a su efecto en el aumento de las resistencias.



2.5.5.2 Reductores de agua de alto poder (Superplastificantes).

Son del Tipo F según la norma ASTM C-494 y estos aditivos aparecieron en el mercado alrededor de los años 70, coincidiendo con la necesidad de la industria de la construcción y de los diseñadores de reducir las secciones de los elementos portantes en rascacielos, puentes, etc. Se precisaba entonces de un hormigón con la reología necesaria para que se escurriera como un fluido dentro de las formaletas congestionadas de acero y que brindara resistencias muy por encima de las normalmente conseguidas, ya que las secciones eran mínimas.

Los reductores de agua de alto poder son aditivos de una categoría superior a la de los reductores de agua normales, su especial composición permite dosificaciones hasta 5 veces mayores que las usuales con un reductor normal, sin alterar significativamente el tiempo de fraguado del concreto ni su contenido de aire.

Las razones por las cuales se usan estos aditivos en el concreto son básicamente las mismas expuestas cuando se habló de los reductores

de agua, la diferencia estriba en los efectos logrados en reducción de agua o manejabilidad de la mezcla. La tabla siguiente muestra las diferencias principales entre las dos categorías de aditivos reductores de agua.

		Asentamiento (cm)	
Aditivo	Máxima Reducción de agua posible	Antes del aditivo	Con aditivo*
Reductor de agua normal	12 %	7	15
Reductor de alto poder	30 %	7	25

** Usado como plastificante sin reducir agua*

TABLA 2.5.5.2 : Comparativo entre aditivos reductores de agua y reductores de agua de alto poder.

La aplicación práctica de los reductores de agua de alto poder la encontramos entonces en la elaboración de concreto de altísimas resistencias, donde con un contenido balanceado de cemento se consigue valores de resistencias muy altos (400 a 700 kg/cm²), sin los problemas de contracción y fisuramiento de las mezclas que contienen cemento en exceso. **El hecho de reducir cantidades de agua tan altas no solamente beneficia las resistencias finales del**

concreto, también su efecto benéfico se ve a corta edad, con resistencias a 24 horas hasta **dos veces mayores** que las del concreto sin aditivo.

Esta característica hace que en aquellos casos en que los acelerantes contengan cloruro de calcio y no sean recomendables para el tipo de elemento que se va a fundir (vigas pretensadas, concreto en medios marinos, etc), se puede conseguir resistencias iniciales muy altas usando entre el 1 y 3l 2 % de un aditivo reductor de agua de alto poder(Tipo F).

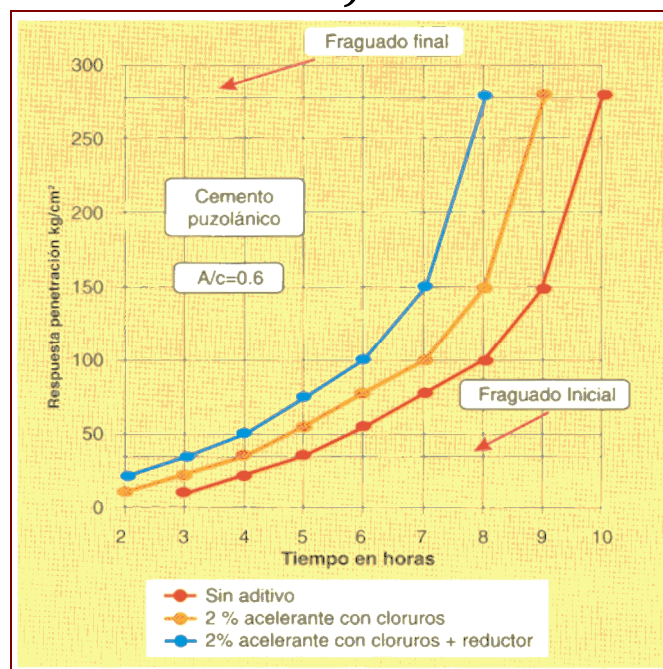


Fig.2.5.2.2 Desarrollo de resistencias de concretos sin aditivos y con reductores de agua de alto poder

*Como el gran incremento de resistencias del hormigón, cuando se usan reductores de agua de alto poder, **se debe a la notable disminución de la porosidad de la pasta (por la gran reducción de agua de amasado)**, otras características del concreto, no menos importantes, se ven también beneficiadas.*

Hablamos de la reducción de la permeabilidad y el incremento en la durabilidad del concreto. Por el contrario, si no se reduce la relación agua cemento, es decir, si el aditivo no se usa como reductor de agua del alto poder, sino como superplastificante, el efecto no deja de ser interesante: La mezcla adquiere una gran fluidez, sin que sea necesario agregar agua, no se agrega y mantiene (a menudo incrementa) la resistencia con respecto al concreto sin aditivo.

La aplicación inmediata de mezclas fluidas se da en el bombeo del concreto, la colocación de concreto bajo agua (concreto tremie). Todas aquellas estructuras esbeltas y/o densamente armadas, encuentran en el concreto fluidificado con superplastificantes la solución a los problemas de colocación y compactación del concreto en este tipo de estructuras, consiguiéndose un perfecto llenado, ausencia de hormigueros y estanqueidad, si se trata de una estructura de contención de líquidos.

El rendimiento en la colocación de hormigones fluidos es muy alto, compensando de sobra el pequeño incremento en el costo debido al uso del aditivo.

Es posible también combinar en un mismo concreto las dos acciones principales de los reductores de agua de alto poder (reducir agua y plastificar), como se muestra en la siguiente figura.

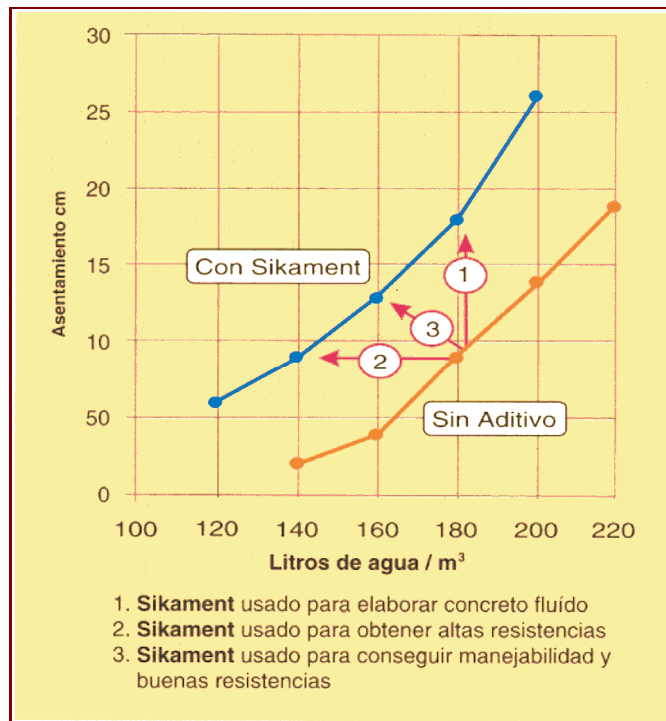


Fig.2.5.2.2.1 Posibles usos de un aditivo reductor de agua de alto poder.

2.5.5.3 Aditivos retardadores (Tipo B) y reductores de agua-retardadores (Tipo E).

Decíamos al comenzar que el retardador natural del cemento es el yeso. Sin la adición de un pequeño porcentaje de este material, la mezcla de concreto fraguaría y endurecería en pocos minutos, lo cual haría del concreto un material de difícil manejo en la elaboración de estructuras.

El retardo del hormigón significa el prolongar por algunas horas el tiempo entre la elaboración del concreto y el momento en que se presenta el fraguado inicial, mediante la adición de sustancias que causan tal efecto.

Los aditivos retardadores actúan envolviendo (adsorción) las partículas de cemento, formando una capa que inhibe transitoriamente la hidratación normal de los compuestos del cemento, en especial aquellos responsables de la resistencia temprana como el aluminato tricálcico (C3A).

Retardar el fraguado del hormigón es un problema primordial de aquellos sitios con temperaturas mayores de 20° C y en las ciudades con tiempos de transporte muy prolongados. Se busca al retardar, básicamente extender el tiempo de manejabilidad del concreto, bien sea por que la temperatura de sitio es alta y promueve el endurecimiento acelerado o porque el tiempo de transporte es prolongado y se requiere entregar al cliente, después de una hora o más de transporte, un concreto con una manejabilidad tal que la colocación y compactación del material no se dificulten. Estos aditivos generalmente se comercializan combinados con reductores de agua, es decir, como aditivos de doble función, siendo la reducción de agua la función primaria y el retardo la secundaria. De esta manera se aprovecha el efecto plastificante y el retardo, combinación que permite controlar la pérdida acelerada de manejabilidad.

La siguiente figura muestra la pérdida de manejabilidad en función del tiempo transcurrido desde la elaboración del concreto, con diferentes tipos de aditivo y sin él.

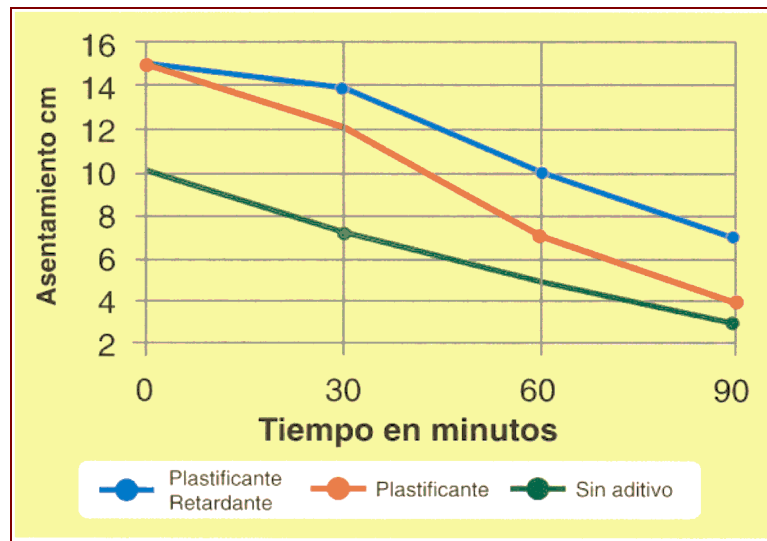


Fig.2.5.5.3.1 Pérdida del asentamiento de mezclas de concreto con plastificante – retardante y sin aditivo.

El retardo del hormigón normalmente afecta un poco el desarrollo de la resistencia inicial (1-3 días), comparada con el concreto sin aditivo, sin embargo, después de los 3 días ya se ha superado su influencia y es típico de hormigones con retardadores que su resistencia a los 28 días sea muy superior a la del concreto sin aditivo para una misma relación a/c.

En la siguiente figura se muestra el comportamiento típico de retardadores y reductores de agua-retardadores en lo que respecta a sus desarrollo de resistencias.

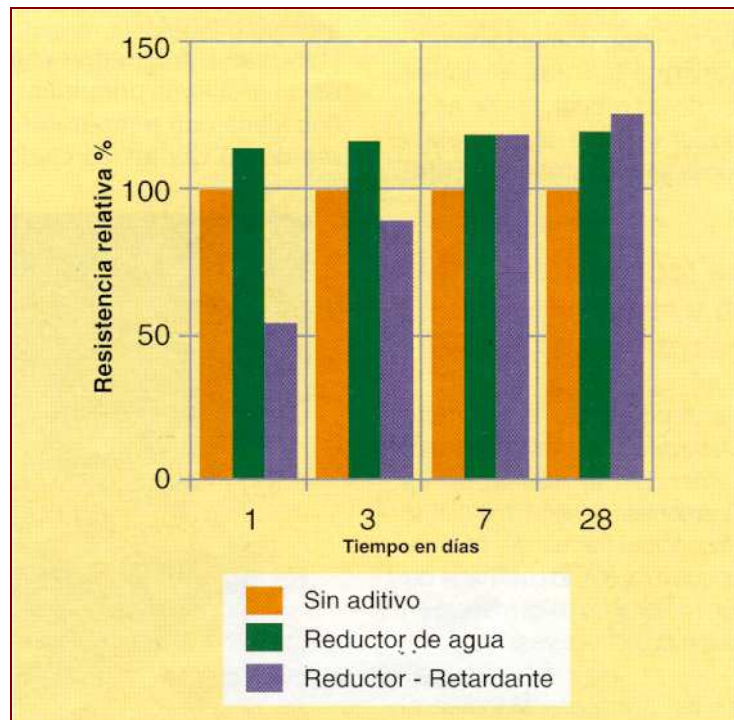


Fig. 2.5.5.3.2 Desarrollo de resistencias de concreto con retardantes

Se puede decir que prácticamente no existe una concretera que no use a diario, en la mayoría de sus concretos, un aditivo reductor de agua retardante, esto le garantiza por una parte el alcanzar y sobrepasar la resistencia de diseño y por otro lado satisfacer los requerimientos de manejabilidad del cliente o de la obra a pesar de los factores que afectan dicha característica del concreto en estado fresco.

Listemos a continuación los usos más importantes de los aditivos retardadores del fraguado del concreto:

- **Transporte largo del concreto:** grandes ciudades, obras de infraestructura, v.gr túneles en centrales hidroeléctricas.

- ***Fraguado simultáneo de grandes masas de concreto :***
Esta aplicación es típica de obras de infraestructura donde aparecen grandes pilares y estructuras de dimensiones mayores como en las obras hidroeléctricas, donde se precisa monolitismo total en la estructura. El retardo programado es posible con el aditivo adecuado y la dosis adecuada, que se determina con ensayos de laboratorio efectuados con los materiales y cuantías especificados por la obra.

- ***Puesta en obra de concreto con maquinaria pequeña:*** *A menudo ocurre que la capacidad de suministro de concreto supera a la velocidad de colocación del material en los encofrados. Normalmente se trata de estructuras de diseño complicado, donde los métodos rápidos de colocación del concreto, bombeo por ejemplo, son impracticables.*

- ***Disminución del pico de temperatura del concreto masivo:*** *en obras que incluyen estructuras con volúmenes apreciables donde los espesores superan los 60 cm, aparece uno de los grandes problemas debidos a la exotermia de la hidratación del cemento, nos referimos a los picos altos de temperatura que*

puede generarse en el interior del concreto y lo que realmente es grave, **el gradiente o diferencia de temperatura entre el interior del elemento y la temperatura exterior**. Se ha comprobado que cuando dicha diferencia supera los 20 ° C, el agrietamiento del concreto es inevitable. Cuando se trata de hormigón masivos, es entonces imprescindible ejecutar todas aquellas acciones que tienden a bajar el pico máximo de temperatura:

- Reducir el contenido de cemento al mínimo necesario para obtener la resistencia de diseño.
- Hacer uso de cementos con aditivo puzolánicas o de microsíllica que reemplacen cemento. Dichas adiciones tienen muy bajo calor de hidratación, pero tienen poder cementante.
- Usar retardadores que extienden en el tiempo la curva de temperatura, para obtener así un pico menor.
- Bajar la temperatura de agregados y agua de amasado, mediante enfriamiento. En algunos casos se usa en vez de agua de amasado, hielo en escarcha.
- Instalación de serpentines que conduzcan agua fría a través del elemento, refrigerándolo.

2.5.5.3.1 Factores que afectan la acción de un aditivo retardador.

- *Relación agua – cemento: en general la regla es que a mayor cantidad de agua de amasado mayor es también el retardo que se obtiene con la misma dosis de aditivo.*
- *Momento de la adición: si el aditivo retardador se adiciona con el agua de amasado, retardará en promedio 2 horas menos que si se agrega a una mezcla ya húmeda que contiene el agua de amasado.*
- *Temperatura: la temperatura del sitio influye drásticamente en el tiempo de retardo que se consigue con determinada dosis de aditivo. Cuando la temperatura sobrepasa los 20 ° C el retardo disminuirá drásticamente, mientras que al bajar de los 20 ° C se hará mayor el retardo para la misma dosis de aditivo.*

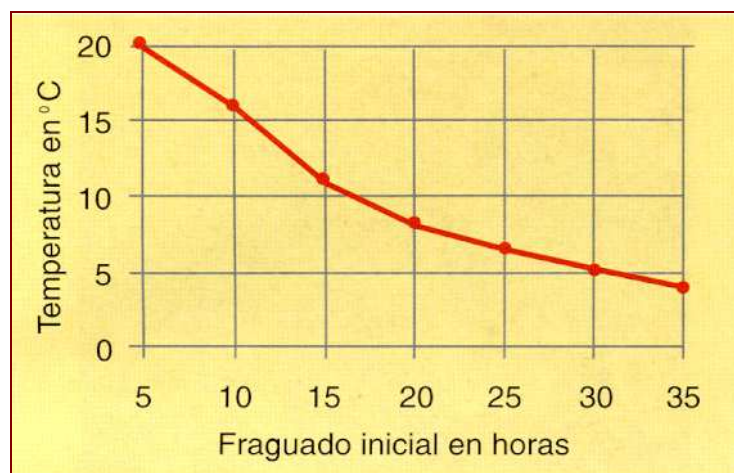


Fig.2.5.5.3.1 Influencia de la temperatura ambiente en el tiempo de fraguado de la mezcla

- *Volumen del concreto: hace algún tiempo se pensaba que grandes volúmenes deberían presentar fraguado inicial más temprano que volúmenes pequeños de concreto. Lo cierto es, así lo han mostrado algunas investigaciones, que el que se ve acelerado es el fraguado final, pero esto es debido al aumento de temperatura de la masa de concreto que sigue al fraguado inicial.*

2.5.5.4 Aditivos Estabilizadores.

La tendencia moderna es hacia la obtención de tiempos largos de manejabilidad sin afectar las resistencias a temprana edad (24h). Para lograr este efecto se empiezan a utilizar sustancias especiales como los vinilos, que ayudan a mantener el asentamiento del concreto casi invariable hasta por dos horas, sin afectar sensiblemente los tiempos de fraguado. Su modo de acción es a través de la inhibición temporal del fenómeno de hidratación del cemento.

Existen también aditivos que “duermen” el concreto hasta por 36 horas, interrumpiendo el proceso de hidratación. Estos aditivos se usan para almacenar concreto, en obras de infraestructuras,

garantizando su disponibilidad. También se empiezan a usar en algunas ciudades donde el concreto se debe entregar en un tiempo muy corto en las mañanas por restricción de circulación de los camiones mezcladores, con lo cual el concreto debe prepararse durante la noche y dejarse listo para el despacho en camión.

Por otra parte las reglamentaciones ambientales actuales exigen que las plantas premezcladoras controlen la calidad de sus efluentes, lo que equivale a decir que el agua de lavado de los camiones mezcladores de las plantas debe ser reciclada; con aditivos estabilizadores se puede impedir la hidratación y el fraguado de la lechada, pudiéndose utilizar en las bachadas del siguiente día.

2.5.5.4.1 Morteros de larga vida.

Un uso típico de los aditivos estabilizadores se da en la elaboración de los morteros de larga vida (MLV), los cuales se usan en las labores de mampostería (pega y frisos). Estos morteros pueden ser confeccionados con estabilizadores que impiden el fraguado del material hasta por 48 horas, combinados con aditivos incorporados de agua que hacen posible que la mezcla no exude y se reseque. Una vez usados sobre los muros o en la pegas, la absorción del elemento

hará que el agua migre con el estabilizador consiguiéndose un secado y endurecimiento casi normal del mortero. Este uso del mortero, permite a las plantas productoras de concreto, la elaboración y despacho de volúmenes apreciables de mortero a las obras, despacho que se puede hacer en la noche o durante el fin de semana, garantizándole a la obra la existencia de mortero “fresco” al llegar los obreros al sitio de trabajo.

2.5.5.5 Reductores de agua de alto poder-retardadores (Tipo G). (Superplastificantes – Retardadores).

Son aditivos de una categoría superior a los Reductores de agua-retardadores normales.

Su efecto es un poco diferente al de los reductores de agua del alto poder Tipo F, los cuales no afectan al tiempo de fraguado y se usan en aplicaciones donde el tiempo de manejabilidad no es problema, ya que la

aplicación se hace muy cerca del sitio de la elaboración del concreto, como en las plantas prefabricados.

Con estos aditivos, en cambio, el uso es más general, ya que la combinación del poder superplastificante con el retardador, permite sortear los problemas que representa el bombear concreto en clima cálido, ayuda a mantener la manejabilidad en los bombeos lentos en cualquier clima y en los transportes prolongados.

La siguiente figura muestra la pérdida de manejabilidad de hormigones con aditivos superplastificantes Tipo F, con aditivos Tipo G y sin aditivo.

Los superplastificantes –retardadores son de especial utilidad en la elaboración de concreto fluido para la aplicación conocida como “concreto tremie”, sistema usado para la colocación de concreto bajo agua. Cuando se excavan pilotes, por ejemplo, la perforación es llenada con lodo bentonítico que le da estabilidad a las paredes de la misma. Cuando se va a fundir el pilote, se introduce una tubería, compuesta por secciones de unos 3 m, a la cual en la superficie se le enrosca un cono.

A través de dicho cono se va depositando el hormigón, el cual viaja hasta el fondo de la perforación y va desalojando el lodo bentonítico,

el cual se conduce a una piscina para su re-uso. A medida que se llena con concreto la perforación, se va izando el cono con la tubería, pudiéndose así, en la parte superior, ir retirando secciones de la misma.

El concreto con el cual se va a elaborar el pilote, debe ser entonces fluido, denso y es deseable un poco de retardo, con el fin de no perder tubería por un fraguado anticipado que impida el normal uso de la misma, a medida que se va llenando con concreto la excavación.

Estos aditivos Tipo G, tienen el mismo poder reductor de agua de los aditivos Tipo F, lográndose a veces reducciones hasta el 35 % de agua de amasado. Cuando se requieren un concreto de alta resistencia, con relaciones agua-cemento muy bajas (0.35-0.45 por ejemplo), es especialmente recomendado su uso, sobre todo por la menor pérdida de manejabilidad.

Cuando se utiliza adiciones de microsílica, éstas, por su externa finura, hacen perder muy rápidamente la manejabilidad en los hormigones que las incluyen, aquí pueden emplearse con gran éxito los aditivos reductores de agua de lato poder-retardadores (Tipo G), ya que permiten una gran reducción de agua, para cumplir con las exigencias de relaciones a/c muy bajas, sin sacrificar la manejabilidad y lo que es más importante, el tiempo de manejabilidad de la mezcla.

Listemos a continuación los usos donde valdría la pena usar y también anotar donde no es recomendable usar los superplastificantes:

- *Hormigón que se va a colocar con maquinaria pequeña, o donde se estima una gran demora en la colocación, ya que el efecto del superplastificante es temporal.*
- *Cuando se elabora con el concreto una estructura con pendiente mayor de 3°, ya que la mezcla fluiría a lo largo de la pendiente.*
- *Para elaborar concreto fluido, cuando la granulometría y el contenido de finos es menor de 350 kg/m³, ya que se corre un gran riesgo de segregación del material.*
- *Cuando tenemos encofrados defectuosos o mal instalados, por ejemplo para columnas, ya que se corre el riesgo de que la pasta o el mortero escapen por los orificios. Hay que recordar que el concreto fluido obedece a las leyes físicas de la presión hidrostática, de tal manera que se deben calcular los encofrados para esta sollicitación.*

2.5.5.6 Acelerantes (Tipo C) y reductores de agua-acelerantes (Tipo E).

Los aditivos acelerantes se usan en el concreto con el fin de provocar un más rápido fraguado del material y un endurecimiento acelerado, lográndose resistencias más altas a edades tempranas. Las razones que pueden obligar a acelerar un hormigón son:

- *Desencofrar más rápido y reusar los moldes.*
- *Dar al servicio una estructura en un tiempo más corto.*
- *Fundir concreto a bajas temperaturas.*

Los aditivos reductores de agua (plastificantes o superplastificantes-acelerantes) son una variedad que cumplen una doble función : plastificar la mezcla aumentando su manejabilidad y permite una colocación y compactación más fácil; por otra parte, usándolos como reductores, permite disminuir el agua de amasado, para una misma consistencia, beneficiando el concreto en lo que se refiere a su resistencia a temprana edad y a edades tardías.

Hay que distinguir dentro de los aditivos acelerantes y acelerantes-plastificantes, aquellos que aceleran el fraguado del hormigón y su resistencia inicial (8-24 horas) que podemos denominar acelerantes de fraguado y aquellos que no modifican los tiempos de fraguado pero tienen una gran acción sobre el endurecimiento acelerado del hormigón una vez ha fraguado y que llamaremos acelerantes de resistencias.

*Una sustancia, usada por muchos años, ha sido el acelerante por excelencia: hablamos del cloruro de calcio. Los aditivos elaborados con él no tuvieron competencia por largas décadas, debido a su principal virtud: acelera casi todo tipo de concreto (fraguados y resistencia inicial), funciona muy bien con la gran mayoría de los cementos, por no decir con todos, su desempeño para una dosis dada es muy regular, es decir, se puede esperar, casi siempre, el mismo comportamiento. Sin embargo, **han sido desechados e inclusive prohibidos en muchos países desarrollados por su condición de promotores de la corrosión del acero de refuerzo.***

La química moderna ha intentado mediante el uso de otras sales (nitratos, nitritos, etc) y con combinaciones cada vez más sofisticadas, crear acelerantes que no afecten la durabilidad de las estructuras logrando excelentes productos que igualan e incluso superan el desempeño de los cloruros.

Lo que está muy claro en la normativa mundial sobre el tema, es la prohibición del uso de acelerantes con cloruros en la elaboración de estructuras pre-tensadas y cuando se encuentren elementos de aluminio embebidos en la estructura. Algunos códigos de construcción también excluyen la utilización de dichos aditivos en estructuras sometidas a un medio ambiente agresivo: agua de mar, suelos sulfatados, etc.

En algunos códigos se pueden encontrar el valor máximo permisible de ión cloruro referido a la masa del cemento.

2.5.6 Acción de los acelerantes.

La forma de actuar de los acelerantes no está muy clara, aún hoy. Se supone que actúan sobre la fase de silicatos del cemento y que puede existir en varios estados en el sistema aluminato tricálcico-cloruro de calcio-agua. Lo que si parece claro, es que el

cloruro de calcio actúa como un catalizador de la reacción.

El desempeño de un acelerante que contiene cloruro de calcio, depende en buen grado de la dosis usada. Debe recordarse que en dosis muy bajas, puede convertirse en un retardador, al igual que con cemento con alto contenido de alúmina.

Una alternativa valiosa para la obtención de altas resistencias iniciales, cuando sólo se cuenta con acelerantes que contienen cloruro de calcio es la utilización de reductores de agua de alto poder (Tipo F), sin embargo, es difícil obtener con estas resistencias iniciales (8-16 h) tan altas como las obtenidas con acelerantes.

Los reductores de agua de alto poder son especialmente útiles para incrementar la resistencia inicial de 36 horas en adelante en climas fríos, temperaturas inferiores a 20° C o posteriores a 18 horas en climas cálidos.

Los acelerantes sin cloruros, son especialmente útiles en la industria del concreto premezclado y son fundamentalmente acelerantes de endurecimiento o resistencias, sin una disminución marcada en los tiempos de fraguado, lo cual permita su uso adicionado desde la planta de producción y no en obra, permitiendo un mayor control en su dosificación.

Por último, una buena alternativa para el aceleramiento de resistencias es la de aprovechar el efecto combinado de reducción de agua y aceleramiento químico de resistencias mediante un acelerante sin cloruros usando dos aditivos o uno de doble efecto.

Dicho procedimiento permite obtener el objetivo cuando se requieren resistencias a partir de 12 horas con curado a temperatura ambiente.

El constructor tendrá a su disposición, una variedad de aditivos para utilizar, dependiendo de cada caso, los cuales se podrían clasificar como se describe a continuación:

- *A menudo cuando se requieren resistencias muy altas en unas pocas horas, los prefabricadores utilizan un método de curado que colabora con este fin: el curado con vapor. En este tipo de curado acelerado, los elementos de concreto se llevan a cámaras donde gradualmente se les eleva a la temperatura, hasta llegar a unos 70 °C, luego de lo cual se van dejando enfriar lentamente, para evitar choques térmicos que pueden fisurar el elemento. El resultado: después de unas 8-10 horas en total, está la pieza de concreto en condiciones de ser desencofrada, transportada e instalada en lugar que va a ocupar en la obra, ya que ha logrado hasta un 70% de su resistencia final en muchos casos.*

Veamos de manera gráfica las posibilidades de acelerar con aditivos una mezcla de

**hormigón y los resultados de dichas
acciones sobre las resistencias a temprana y
últimas de concreto.**

<i>Mezcla N.</i>	<i>Tipo de acelerante</i>	<i>Dosis %</i>	<i>A/c</i>	<i>Cemento Kg/m³</i>
<i>1</i>	<i>Sin aditivo</i>	<i>0</i>	<i>0.55</i>	<i>380</i>
<i>2</i>	<i>Reductor de agua de alto poder</i>	<i>1.0</i>	<i>0.45</i>	<i>380</i>
<i>3</i>	<i>Acelerante con cloruros</i>	<i>2.0</i>	<i>0.55</i>	<i>380</i>
<i>4</i>	<i>Acelerante sin cloruros</i>	<i>2.0</i>	<i>0.55</i>	<i>380</i>
<i>5</i>	<i>Acelerante sin cloruros+ reductor de agua de alto poder</i>	<i>2.0 1.0</i>	<i>0.45</i>	<i>380</i>

Tabla 2.5.6 Dosificación del acelerante.

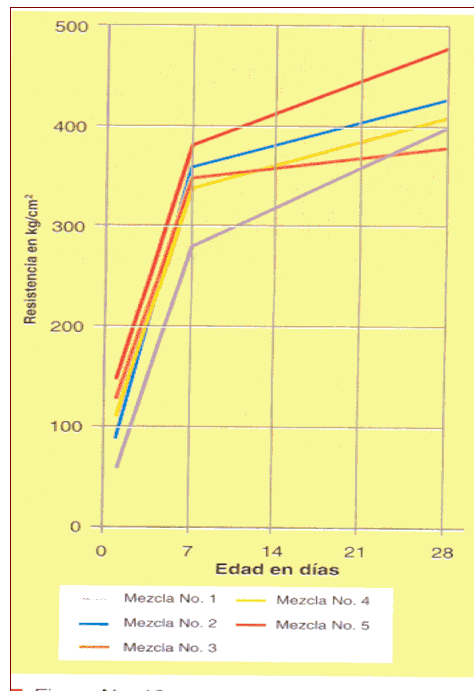


Fig. 2.5.6.1 Desarrollo de resistencias en concretos acelerados

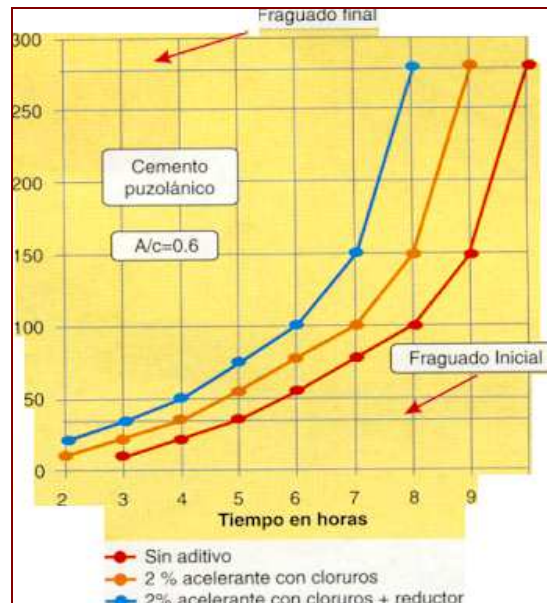
Como se puede observar en la figura anterior la resistencia final que se obtiene con acelerantes puede ser un poco inferior a la obtenida en el concreto sin aditivos y mucho menor que la obtenida al usar un reductor de agua acelerante. El fenómeno puede explicarse si se tiene en cuenta que la acción del acelerante es muy rápida lo cual influye en la calidad de productos de hidratación del cemento, con los retardadores el fenómeno se produce a la inversa, ya que el mayor tiempo que dispone el cemento para hidratarse conlleva a una mejor hidratación del mismo, el resultado con los retardadores, como se pudo apreciar al analizar el desarrollo de resistencias de concretos retardados, es una menor resistencia inicial pero a la vez mejores resistencias finales.

2.5.7 Efecto sobre el tiempo de fraguado.

El cloruro de calcio acelera no sólo las resistencias iniciales, también tiene poder acelerante sobre los tiempos de fraguado.

No todos los acelerantes sin cloruro muestran este efecto, sin embargo, se conocen algunos que promueven también el fraguado acelerado del hormigón. Puede observarse en la figura siguiente que la combinación de acelerante con un reductor de agua (Tipo E) produce no solo resistencias mucho mayores a temprana edad y a edades avanzadas, sino que la reducción de agua también influye

**positivamente en el aceleramiento del
fraguado del concreto.**



*Fig. 2.5.7 Tiempos de fraguado de concretos con y sin acelerantes
(Temperatura de ensayo 18°C)*

2.5.8 Hormigón en clima frío.

**Esta habilidad de ciertos aditivos
acelerantes de acelerar la reacción de
hidratación, se ha usado con éxito para
elaborar estructuras de concreto en épocas**

de frío extremo. Se sabe que el concreto por debajo de los 5 °C ya empieza a presentar problemas de retardo excesivo en el fraguado y pobre desarrollo de resistencia.

Por debajo de 0 °C se congela el agua de amasado, esto promueve la formación de cristales de hielo que se hinchan y pueden conducir a la destrucción del elemento estructural.

Los acelerantes al desencadenar rápidamente la reacción, produce un incremento importante en el calor que desprende en ella y el pico de temperatura se hace mayor. Además el acelerante disuelto en el agua de amasado hace que la fase acuosa tenga un punto de congelación más bajo, con lo cual a pesar del frío intenso, el concreto fragua y adquiere resistencia mecánica, siendo ésta de menor magnitud que la que se obtendría con un concreto de iguales características a temperatura normal.

En época invernal, cuando la temperatura se hace menor de 5 °C, el uso de aditivos anticongelantes (acelerantes especialmente diseñados

para este uso) y de aditivos incorporados de aire es obligatorio. Otras acciones a emprender para evitar los efectos de la baja temperatura podrían ser:

- *Calentamiento de los materiales: agua de amasado, agregados y formaletas. Debe procurarse que la temperatura de las diferentes mezclas sea similar.*
- *Aislamiento térmico del elemento estructural, el cual deberá mantenerse hasta asegurar la obtención de la resistencia necesaria.*
- *Uso de cemento de alta resistencia inicial (tipo III).*
- *Por supuesto, la reducción máxima del agua de amasado ayudará a contrarrestar los efectos de la helada.*

2.5.9 **Uso de acelerantes ultra-rápidos.**

Por el tiempo de aplicación, algunos concretos necesitan de un fraguado casi instantáneo. Los concretos proyectados (gunita) por ejemplo, debido al tipo y velocidad de colocación precisan de fraguado inicial menor de 3 minutos, en el lanzado por vía seca y menor de 10 minutos en el lanzado por vía húmeda en muchos casos. Aquí los silicatos y aluminatos desempeñan un papel protagónico, ya que se logra con ellos estos fraguados tan rápidos.

Los químicos actualmente han desarrollado nuevos acelerantes para concreto proyectado, que no afecten la resistencia final del hormigón tanto en vía seca como por vía húmeda y que adicionalmente no son cáusticos (libres de álcalis). Se estima la pérdida de resistencia al lanzar con silicatos a el orden del 30-35% y al lanzar con aluminatos del orden del 10-15%. De ahí que se observa un diseño de mezcla típico para concreto o mortero proyectado, se vea con sorpresa que para conseguir 210 kg/cm² se emplee del orden de 400-420 kg de cemento por m³.

2.5 SIKARAPID 1

2.5.1 Generalidades

**Aditivo acelerante de alta performance
(exento de cloruros).**

2.5.2 Descripción

Sika Rapid-1 es un acelerante de endurecimiento de nueva generación, para hormigón o mortero, exento de cloruros, que permite obtener muy altas resistencias a edades tempranas, es decir de alta resistencia Inicial, sin influir negativamente a las finales. Se presenta como un líquido transparente rosáceo, de peso específico 1,18 kg/lt ± 0,02 y un PH de 9,0 ± 1.

Sika Rapid-1 cumple con las normas pr EN 934-2 (Suiza), ASTM C-494 Tipo C (para aditivos acelerantes) (E.E.U.U.) y AASHTO M-194 Tipo C (EE.UU.).

2.5.3 Cualidades según Sika

- *Permite lograr un incremento de las resistencias iniciales (entre las 6 y 24 hs) de aproximadamente un 100%, comparado con un*

hormigón testigo, dependiendo de la dosificación del hormigón y el tipo de cemento utilizado.

- *Supera entre el 50 y 100% la performance de acelerantes convencionales a base de cloruros.*
- *El acelerado incremento de las resistencias iniciales lo hace ideal para reducir los tiempos de habilitación en obras de pavimentación, a la vez que permite adelantar la finalización de la obra, reduciendo costos de señalización.*
- *Puede ser usado normalmente en combinación con un superplastificante, sin alterar las propiedades (p.ej: fluidez, duración del asentamiento, etc) del mismo.*
- *Se reducen los costos de calefacción y aislación térmica para el curado.*
- *Reemplaza el curado a vapor, reduciendo los costos de energía.*
- *Rápido desencofrado y re-utilización de los moldes, para mejorar la producción.*
- *Rápido postensado.*
- *Operaciones de terminación más rápidas en superficies planas.*
- *Reemplaza el uso de cemento Pórtland Tipo III*

2.5.4 Campos de Aplicación

Sika Rapid-1 es usado en plantas de hormigón premezclado, plantas de prefabricación o en obras, donde se deben satisfacer altísimos requerimientos para lograr elevadas resistencias iniciales entre las 12 y 24 hs, sin pérdida o aún con mejora de las resistencias finales.

Sika Rapid-1 no contiene cloruros, por lo que puede ser utilizado sin riesgos de corrosión, tanto para hormigón armado como para hormigón pretensado.

❖ EN HORMIGONES DE ALTAS RESISTENCIAS INICIALES:

Sika Rapid-1 logra excelentes resultados a temperaturas bajas, medias y altas, donde se requieren altas resistencias iniciales, en estructuras, pavimentos, pistas. Los acelerantes convencionales provocan una rápida pérdida de asentamiento, perdiendo la trabajabilidad en corto tiempo. Sika Rapid-1 elimina el problema de la trabajabilidad, permitiendo obtener altas resistencias iniciales, sin pérdida de asentamiento.

❖ **EN PREMOLDEADOS DE HORMIGÓN:**

Sika Rapid-1 logra excelentes resultados cuando se necesitan altas resistencias iniciales. Los tiempos de curado se reducen significativamente, lo que implica mayor producción diaria, con igual número de moldes, a la vez que la calidad del hormigón es mejorada.

❖ **HORMIGONADO A BAJAS TEMPERATURAS:**

Sika Rapid-1 es un efectivo acelerante de fraguado donde se requieren altas resistencias iniciales y el uso de aditivos con cloruros no es admitido.

❖ **HORMIGONADO A PUNTO DE CONGELAMIENTO:**

Sika Rapid-1, usado en las dosificaciones recomendadas por SIKa, puede reducir la necesidad de uso de las "Recomendaciones para el hormigonado a bajas temperaturas", como lo especifica la "Norma ACI 306 - Standard Specification for Cold Weather Concreting". Las evaluaciones de campo deben ser llevadas a cabo cuando el hormigón vaya a ser colocado , en condiciones de congelamiento, para determinar las mínimas temperaturas requeridas (ambiente y del hormigón) y la dosificación óptima para lograr el tiempo de endurecimiento deseado y un buen desarrollo de resistencias.

2.5.5 Modo de Empleo

Sika Rapid-1 puede ser mezclado con el agua de amasado o adicionado simultáneamente con ella en la hormigonera. También es posible agregarlo, en la obra, al hormigón en el camión mezclador; en este caso se debe incrementar el tiempo de amasado en 1 minuto por cada m³ de hormigón. Previo a la colocación, el hormigón debe ser inspeccionado visualmente, debiendo observarse una consistencia uniforme.

Las recomendaciones para una buena producción y colocación del hormigón deben seguirse también cuando se usa Sika Rapid-1.

Una óptima protección del hormigón fresco es imprescindible, especialmente a bajas temperaturas (la temperatura del hormigón fresco durante la colocación no debe ser inferior a 5°C).

Se recomienda seguir las reglas del correcto curado, para proteger al hormigón fresco de la rápida evaporación del agua de amasado en condiciones climáticas extremas.

En caso de riesgo de congelamiento, se deben tomar las precauciones correspondientes y mantenerlas hasta que el hormigón haya desarrollado 100 kg/cm² de resistencia a la compresión (resistencia al congelamiento).

2.5.6 Dosificación.

Dependiendo del efecto acelerante deseado, se puede usar de un 0,5 a un 1,5% del peso del cemento, o sea, de 250 a 750 gramos (212 a 635 cm³) por saco de cemento de 50 kg.

La dosis más general es del 1% del peso del cemento.

2.6 SIKAMENT HE-200

2.6.1 Generalidades

Aditivo superfluidificante y acelerante para hormigón y mortero sin cloruros.

2.6.2 Descripción

Sikament-HE 200 es un aditivo para hormigón o mortero, que combina las ventajas de un superfluidificante y reductor de agua de alto rango con un acelerante de endurecimiento de alta performance.

Se presenta en forma líquida, color marrón oscuro, con un peso específico de $1,2 \pm 0,02$ kg/l y un PH de 8 ± 1 .

Promueve la rápida ganancia de resistencia del hormigón a edades tempranas sin influenciar negativamente sobre la resistencia final.

2.6.3 Cualidades según Sika

- *Logra elevadas resistencias iniciales y finales, con relación al hormigón sin aditivo.*
- *Duplica la resistencia a la compresión a partir de las 12 horas.*
- *Aumenta las resistencias finales en un orden del 50% a los 28 días.*
- *Posibilita reducir la relación agua/cemento (contando el volumen de aditivo agregado) de hasta un 15%; aumentando principalmente la densidad y la impermeabilidad.*
- *Mejora notablemente la plasticidad del hormigón, facilitando su colocación.*
- *Buen mantenimiento de la trabajabilidad sin “efecto rigidizante” durante la fase inicial del fraguado.*

2.6.4 Campos de Aplicación

Sikament-HE 200 es usado como aditivo superfluidificante y acelerador de endurecimiento, con mejora de las resistencias finales para:

- *Estructuras con mucha armadura.*
- *Elementos de poco espesor.*
- *Prefabricados.*
- *Hormigón precomprimido.*
- *Terminaciones en “hormigón visto”.*
- *Hormigón bombeado.*
- *Rapidez de encofrados deslizantes.*
- *Obras de pavimentación (rápida habilitación).*

2.6.5 Modo de Empleo

Sikament-HE 200 se agrega mezclado con el agua de amasado, debiendo observarse una reducción de líquidos (contando el volumen de aditivo agregado) de hasta un orden del 15% o más, dependiendo

de la dosificación de Sikament-HE 200. Rango de temperaturas de aplicación: de 5 a 35°C.

Las recomendaciones para una buena producción, colocación y curado del hormigón deben seguirse también cuando se usa Sikament-HE 200.

2.6.6 Dosificación

En dosis del 0.5 al 2,5% del peso del cemento; o sea, de 250 a 1250 gramos o 208 a 1040 cm³ por bolsa de cemento de 50 kg.

CAPITULO 3

TEORIA DEL ENDURECIMIENTO DEL HORMIGÓN

3.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL ENDURECIMIENTO

3.1.1 Dosificación.

Es la combinación de los diferentes compuestos que forman el hormigón de una manera adecuada y apropiada para obtener la resistencia requerida con una manejabilidad apropiada para su vaciado y un bajo costo.

El objetivo al diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que se dispone, para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de su uso. Para lograr tal objetivo, una mezcla de concreto bien proporcionada deberá poseer las propiedades siguientes:

1): En el concreto fresco, trabajabilidad aceptable.

2): En el concreto endurecido, durabilidad, resistencia y presentación uniforme.

3): Economía.

Las dosificaciones de HARI deberán tener una correcta gradación de sus agregados para de esta manera obtener el menor porcentaje de vacíos y por ende un menor porcentaje de cemento para llenar estos vacíos.

Se hablo ya anteriormente de los componentes que forman el hormigón pero no de su combinación donde cada uno de sus componentes ocupa una parte importante en el resultado de la resistencia final y es así como al añadir el agua de la mezcla la plasticidad y la fluidez aumentan, mejorando su manejabilidad, pero disminuye su resistencia debido a que se incrementa la relación A/C que es el factor principal que controla la resistencia del hormigón y que se hablara más adelante.

Para las dosificaciones del Hormigón se emplean varios métodos partiendo de los agregados y cementos disponibles.

- a) Método de mezcla tentativa (trial-batch meted): se producen pequeñas mezclas tentativas con diferentes cantidades de agregados para obtener la resistencia, la consistencia (cono de Abrams) y otras propiedades requeridas con una cantidad mínima de pasta a partir de la relación A/C.*
- b) Método ACI : Este método se basa en el ensayo de asentamiento con conexión con un conjunto de tablas proporcionadas por la ACI para lograr un estimativo de las proporciones seleccionadas las cuales se revisan y se ajustan mediante mezclas de prueba para obtener al final el concreto con la calidad deseada. Estas proporciones son aseguradas de tal manera que la resistencia promedio sea suficientemente mayor que la resistencia especificada de diseño, para que incluso las mezclas accidentalmente bajas de resistencia resulten de una calidad adecuada.*

Para cada necesidad de resistencia se requiere de diferentes dosificaciones y sus factores de diseño principales son granulometría, contenido de humedad, gravedad específica, peso unitario, relación A/C, porcentaje de agregados.

3.1.1.1 Resultados de las Dosificaciones.

3.1.2 Relación Agua – Cemento

Es la relación entre un peso de cemento con un volumen o peso de agua y dentro de las normas ACI, la relación agua-cemento es un indicador de la resistencia del hormigón.

Los aditivos y superplastificante al ser adicionados a la mezcla reducen la relación agua – cemento ya que estos también contienen agua y en especial el superplastificante que ayuda en la hidratación inicial y esto afecta positivamente en las resistencias iniciales del Hormigón.

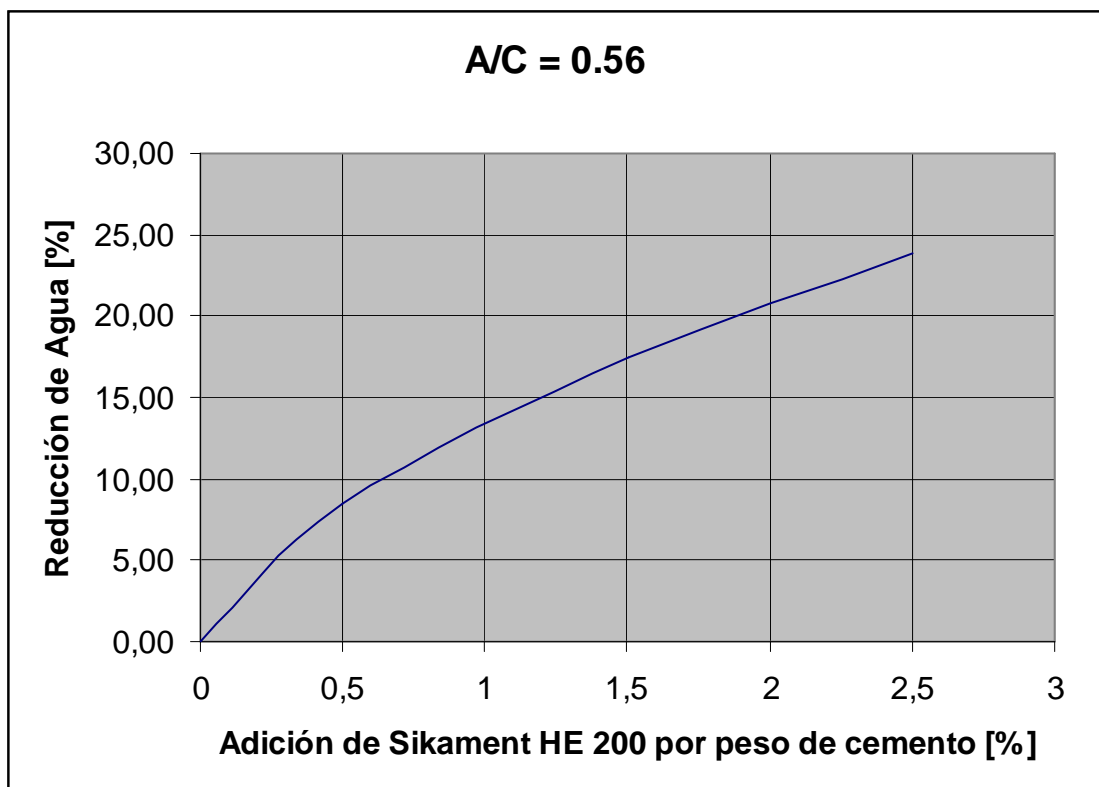


Fig. 3.1.2 Reducción de agua con el superplastificante

De acuerdo con ensayos realizados por la Universidad de Cornell, la relación agua – cemento afecta notablemente sobre la resistencia a la compresión, pero no afecta en un grado tan alto la resistencia a la flexión;

esto puede ser porque además de la relación de vacíos, la resistencia a la tensión depende en gran medida de la resistencia de la unión entre agregado grueso y el mortero de cemento.

Hay que acotar también que mientras mayor sea la relación agua-cemento mayor es la contracción del hormigón a partir de la cuarta hora de vida y esto se puede atribuir al incremento relativo de cemento al disminuir la presencia del agua y a un efecto retardante con la presencia de grandes cantidades de aditivo.

3.1.2.1 Importancia de la Relación Agua / Cemento

El proceso de hidratación del HN y del HARI requiere de una determinada cantidad de agua para que la resistencia se desarrolle de manera adecuada. Se debe tomar en cuenta que luego del fraguado del hormigón, existe la posibilidad de perder agua; por lo que, se tiene que humedecer o curar el hormigón. El curado puede garantizar que el elemento logre la resistencia adecuada y que sea durable a través del tiempo al reducir su permeabilidad.

3.1.3 Hidratación y Curado del Hormigón

La hidratación del Hormigón está relacionada con el comportamiento mecánico de la pasta de cemento componente; es decir, la hidratación del

cemento Pórtland es el proceso necesario para que cumpla la función de aglomerante de los materiales componentes del hormigón. En conjunto la pasta de cemento y el resto de materiales del hormigón pasan del estado plástico al endurecido, después de la hidratación.

El curado del hormigón evita una rápida pérdida del agua de amasado, que en consecuencia hidrata de mejor forma el cemento y genera mejores resistencias mecánicas del hormigón.

Las probetas de hormigón deben ser humedecidas o curadas inmediatamente después de desmoldadas, ya que una reducción en su humedad, podría generar una reducción en la resistencia. El proceso de curado de las muestras de hormigón en laboratorio, se lo puede realizar en una cámara de humedad, que no es más que un cuarto en el cuál se ha instalado una máquina de humedad, la cual recibe agua constantemente y en función de un regulador del nivel de agua esparce esta en la forma de una ligera llovizna, la cual provee al cuarto entero de una humedad constante de saturación. Otra forma de curado en laboratorio, es utilizar unas piscinas de dimensiones adecuadas, tanto para ingresar y sacar muestras, las mismas que permanecerán durante el tiempo requerido antes de ensayarlas.

Cuando las muestras hayan llegado a la edad en la que se deben realizar los ensayos, se las saca del lugar donde han estado curándose.

3.2 Obtención de Altas Resistencias Iniciales

3.2.1 Fases del desarrollo de Resistencias.

<i>Fases</i>	<i>Tiempo a 20°C</i>	<i>Características del Hormigón</i>	<i>Trabajabilidad</i>	<i>Desarrollo de resistencias</i>
<i>Inmediatamente después de la adición del agua</i>				
<i>Fase 0</i>		<i>Hormigón Fresco</i>	<i>Buena</i>	<i>-----</i>
<i>Aproximadamente de 0 – 20 minutos</i>				
<i>Fase 1</i>		<i>Hormigón no fraguado</i>	<i>Endureciendo pero aun trabajable</i>	<i>Hormigón verde</i>
<i>Inicio del fraguado</i>	<i>Aproximadamente 2 – 4 horas</i>			
<i>Fase 2</i>		<i>Hormigón fraguado joven</i>	<i>No es posible vibrar, mezclar o compactar</i>	<i>Resistencias iniciales</i>
<i>Aproximadamente 1 día</i>				
<i>Fase 3</i>		<i>Hormigón endurecido</i>	<i>-----</i>	<i>Importante desarrollo</i>

Fuente : Boletín Técnico SIKA

3.2.2 Obtención de Altas Resistencias con acelerantes

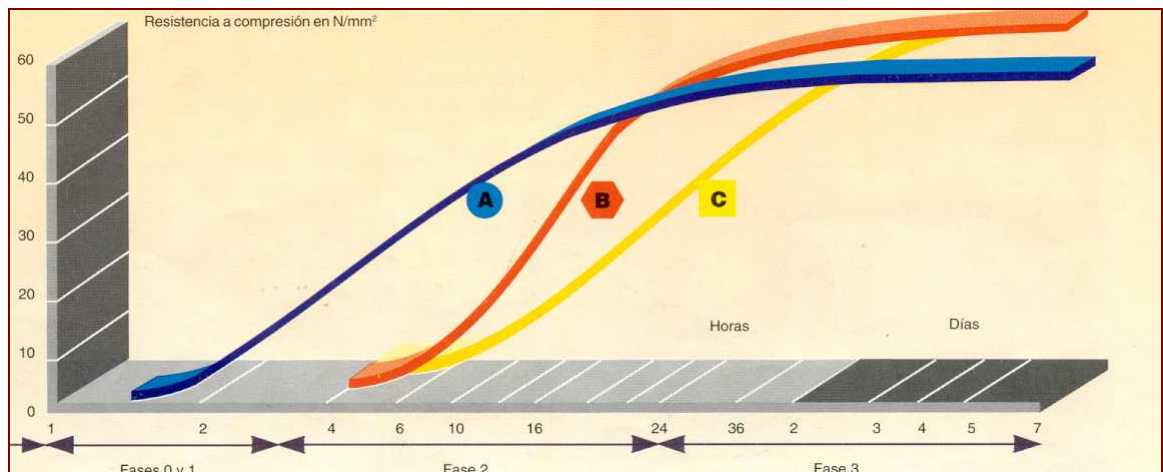
Cualquier proyecto u obra de ingeniería se caracteriza por tener sus propias especificaciones y limitaciones, las cuales

pueden ser de carácter físico, logístico,
económico o de tiempo de ejecución.

Una herramienta que dispone el ingeniero, es
el uso de aditivos, para satisfacer las
características particulares de cualquier
proyecto. En el caso de querer lograr altas
resistencias iniciales, se puede optar por el
correcto manejo de acelerantes.

El incremento de resistencias puede lograrse
de tres formas :

Opción	Proceso	Ejemplo
A	Acortando el inicio del fraguado (actuando sobre las fases 0 y 1)	Acelerantes de fraguado para Hormigón lanzado
B	Acelerando el proceso de endurecimiento (fases 2 y 3)	Acelerantes de endurecimiento en Hormigón estructural (SIKAMENT HE-200 y SIKARAPID 1)
C	Reduciendo la relación A/C	



3.2 Deflexiones al emplear aditivos.

3.3.1 Generalidades.

En la actualidad es importante conocer y controlar las deflexiones provocadas por las cargas de servicio, debido al uso de secciones de menor peralte que se obtienen con un hormigón y de un acero de refuerzo de altas resistencias.

3.3.2 Deflexión Inicial.

Elementos de hormigón armado como vigas y losas; bajo cargas de servicio, poseen una deflexión inicial que depende del módulo de elasticidad (E_c determina la rigidez a la flexión), la distribución de la carga, las condiciones de apoyo, la sección transversal, el estado de carga y el grado de agrietamiento a lo largo de dichos elementos.

3.3.3 Deflexión debida a la Contracción.

La contracción en estructuras de hormigón armado estáticamente determinadas o indeterminadas produce esfuerzos de compresión en el acero los cuales son equilibrados por esfuerzos de tensión en el hormigón. Si el acero no es simétrico la distribución de fuerzas no es uniforme presentándose la contracción causada por la deflexión en esa dirección y por las cargas a las que está sometida esa estructura.

3.4 Flujo Plástico

3.4.1 Cargas actuantes a largo plazo

Para algunos materiales de ingeniería , como el acero, la resistencia y las relaciones esfuerzo- deformación unitaria son independientes de la velocidad y de la duración de la carga, por lo menos para los intervalos usuales de cambio de esfuerzos, temperaturas y otras variables.

El concreto fluye bajo carga, mientras que el acero no presenta flujo plástico bajo condiciones prevalecientes en edificios, puentes y construcciones similares.

*El **flujo plástico** es la propiedad mediante la cual el material se deforma continuamente en el tiempo cuando está sometido a esfuerzo o carga constante. La naturaleza del flujo plástico se presenta esquemáticamente en la figura 3.4.1 este concreto específico fue sometido a carga después de 28 días obteniéndose una deformación unitaria instantánea ϵ_{inst} . La carga se mantuvo 230 días durante los cuales el flujo plástico aumentó la deformación unitaria total, hasta casi tres veces la deformación unitaria instantánea. Si la carga se hubiera mantenido, la deformación hubiera continuado por la curva sólida. Si la carga se retira, como se muestra en la curva punteada, la mayor parte de la deformación instantánea se recupera, y se observa alguna recuperación de la parte correspondiente al flujo plástico. Si el concreto vuelve a cargarse en una fecha posterior, las deformaciones instantánea y de flujo plástico vuelven a desarrollarse tal como se muestra.*

Para un concreto dado las deformaciones por flujo plástico son prácticamente proporcionales a la magnitud del esfuerzo aplicado; para cualquier esfuerzo dado, los concretos de alta resistencia muestran menos

flujo plástico que los de baja resistencia. Como se muestra en la figura 3.4.1 el flujo plástico continúa en el tiempo a una tasa cada vez menor y termina después de unos dos a cinco años en un valor final que, dependiendo de la resistencia del concreto y otros factores, alcanza aproximadamente 1.2 a 3 veces la magnitud de la deformación unitaria instantánea. Si en lugar de aplicar la carga rápidamente y luego mantenerla constante, ésta se incrementa lenta y gradualmente como es el caso en muchas estructuras durante y después de la construcción, las deformaciones unitarias instantánea y de flujo plástico ocurren de manera simultánea.

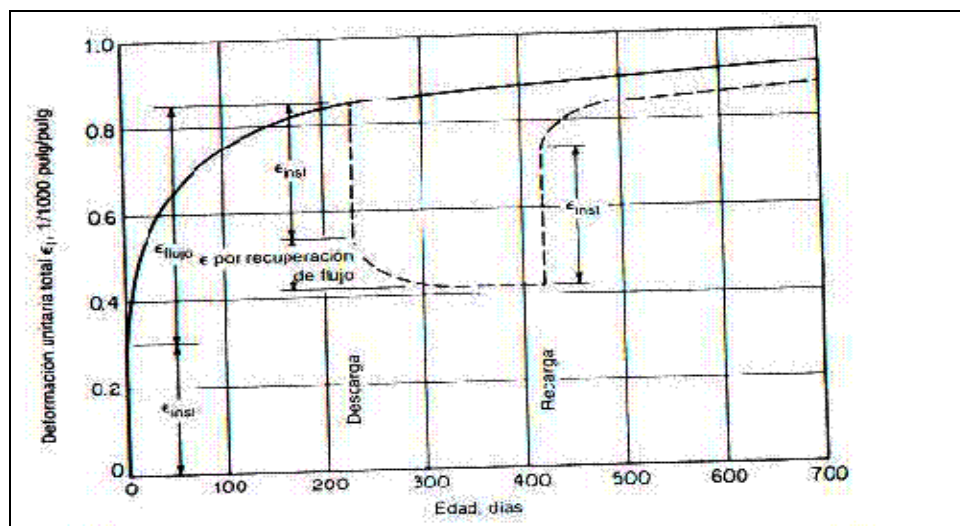


Fig.3.4.1 Curva típica de flujo plástico

(concreto sometido a un esfuerzo de 40 Kg/cm² a una edad de 28 días)

Para esfuerzos que no exceden la mitad de la resistencia del cilindro, las deformaciones unitarias por flujo plástico son directamente proporcionales al esfuerzo. Debido a que las deformaciones unitarias elásticas iniciales son también proporcionales al esfuerzo en este rango.

El flujo plástico depende de la humedad ambiente relativa promedio, siendo más del doble para 50 que para el 100 % de humedad. La razón de esto es que, en parte, la reducción en volumen para carga sostenida se produce por la migración del agua libre de los poros hacia el exterior para evaporarse en la atmósfera circundante. Otro de los factores de importancia incluyen el tipo de cemento y agregados, la edad del hormigón cuando se aplica la primera carga y la resistencia.

El coeficiente del flujo plástico es mucho menor para hormigones de alta resistencia que para los de baja resistencia. Sin embargo, para hormigones de alta resistencia los esfuerzos para cargas sostenidas tienden a ser mayores, de manera que las deformaciones por flujo plástico pueden ser igualmente altas, aunque el coeficiente de flujo plástico sea bajo.

La tabla siguiente presenta valores típicos de hormigones de alta resistencia, en condiciones promedio de humedad a una edad de 7 días.

<i>Resistencia a la Compresión</i>	<i>Flujo plástico especifico δ_{cu}</i>	
--	---	--

<i>MPa</i>	<i>10⁻⁶ por MPa</i>	<i>Coefficiente de Flujo Plástico Ccu</i>
<i>21</i>	<i>145</i>	<i>3.1</i>
<i>28</i>	<i>116</i>	<i>2.9</i>
<i>41</i>	<i>80</i>	<i>2.4</i>
<i>55</i>	<i>58</i>	<i>2.0</i>
<i>69</i>	<i>41</i>	<i>1.6</i>

CAPITULO 4

ENSAYOS A REALIZAR EN PROBETAS DE HORMIGÓN

4.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION

4.1.1 Introducción.

Este ensayo consiste en determinar la resistencia a la flexión por el método del tercer punto de carga, donde en la zona central de la viga se crea un momento constante y máximo, en el cual generalmente falla la muestra.

4.1.2 Moldeo de las viguetas.

Una vez realizadas las dosificaciones y comprobados sus asentamientos, se coloca el hormigón en los moldes para viguetas normalizados por la norma ASTM C-78, y cuyas dimensiones aproximadamente son

15 * 15 * 55 cm.

Al colocar el hormigón en los moldes, se compactan en tres capas de 25 golpes cada una.

4.1.3 Ensayo de las muestras.

Una vez curadas la muestras, se pesan y se miden su sección transversal media y se señalan los sitios donde irán los apoyos de la máquina de carga. Las muestras en lo posible deberán ser ensayadas como fueron moldeadas.

La vigueta de hormigón es colocada en el aparato de manera que los apoyos inferiores estén separados del borde de la viga 5 cm para que la distancia entre los apoyos inferiores sean tres veces la altura

de la viga y la distancia entre los apoyos superiores debe ser de $1/3$ la distancia de los apoyos inferiores, y deben estar a una distancia igual de los apoyos inferiores.

Toda grieta e imperfección en el molde no deberá ser mayor que los 0.38 mm.

Una vez colocada en la máquina de carga se le aplicará una carga equivalente a 3 o 6 % de la carga última estimada y se incrementará la carga a una velocidad constante que puede variar entre los 0.86 y 1.21 Mpa/min, hasta la falla de la muestra.

4.1.4 Cálculos.

Si la viga falla en la zona de tensión y en el tramo comprendido en el tercio medio entre

**los apoyos el módulo de rotura puede ser
calculado con la siguiente fórmula:**

*R = módulo de rotura (MPa)
P = máxima carga aplicada (N)
L = longitud entre apoyos inferiores (mm)
b = ancho promedio de la viga (mm)
d = altura promedio de la viga (mm)*

la viga falla en la zona de tensión, pero fuera del tramo comprendido entre los apoyos superiores, y no más lejos que un 5% de la longitud entre apoyos inferiores, el módulo de rotura puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{3P * a}{b * d^2}$$

*R = módulo de rotura (MPa)
P = máxima carga aplicada (N)
a = distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano (mm)
b = ancho promedio de la viga (mm)
d = altura promedio de la viga (mm)*

Si la viga falla

en la zona de tensión, pero fuera del tramo comprendido entre los apoyos superiores, y más lejos que un 5% de la longitud entre apoyos inferiores, o, la falla ocurre en la zona de compresión, descarte la prueba completamente.

4.1.5 Resultados del Ensayo de Flexión.

Se determinan finalmente el Módulo de rotura y el tipo de falla de la viga.

4.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN

4.2.1 Introducción.

La resistencia mecánica a la Compresión, que posee el hormigón, es la más representativa de éste material; puesto que es capaz de soportar mayores sollicitaciones en relación a sus otras propiedades mecánicas.

El ensayo de Compresión de probetas o cilindros de hormigón consiste en determinar la resistencia a una carga compresiva sobre una muestra cilíndrica, de una dosificación predeterminada de hormigón. Durante el ensayo se obtiene el esfuerzo de compresión de la probeta,

dividiendo la máxima carga obtenida durante el ensayo para el área de la sección cruzada del cilindro de hormigón. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y forma, de los procedimientos de mezcla, del moldeo, de las condiciones de temperatura y humedad durante el curado, la edad del espécimen analizado y el tipo de dosificación de la mezcla.

Este ensayo está normado por la ASTM (American Society of Testing and Materials) en la norma No. C39.

4.2.2 Moldeo de los cilindros.

Para la elaboración de las probetas, se utilizan cilindros normalizados de acero inoxidable, cuyas dimensiones son 30.5 cm de alto por 15.25 cm de diámetro, los cuales son valores promedio de todos los cilindros utilizados en la investigación.

En el laboratorio se elaboran las correspondientes dosificaciones de hormigón con y sin aditivos y después de obtener el asentamiento adecuado (8 cm para ésta investigación) se procede a llenar los moldes cilíndricos. Durante el llenado se debe seguir la norma de compactar en tres capas de 25 golpes cada una, mediante el uso de una varilla normalizada.

4.2.3 Medición del asentamiento.

Una vez elaborada cada dosificación se realiza la respectiva comprobación del asentamiento de diseño de la mezcla como se puede observar en la figura siguiente:

4.2.4 Curado de las muestras

Es de gran importancia el proceso de secado o curado del hormigón, ya que si se produce una reducción de su humedad puede generar una pérdida de resistencia.

Una vez que hayan llegado a la edad en la que se debe realizar el ensayo, se las saca del lugar donde han estado curandose, para nuestra investigación se utilizaron la

cámara de humedad y una piscina con agua para almacenamiento de muestras.

4.2.5 Ensayo de las muestras.

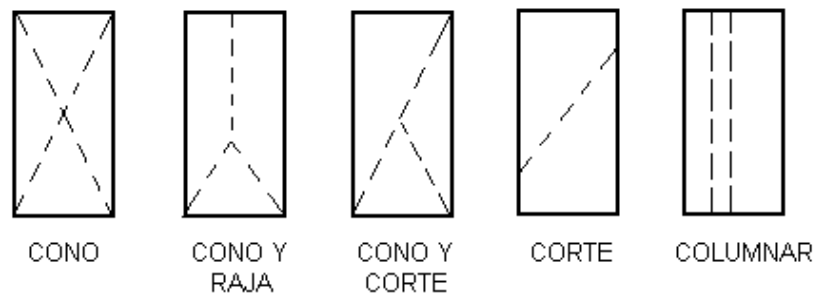
Luego se toman las medidas de altura y el diámetro, se pesan las muestras. Las muestras deben ser ensayadas tan pronto como son removidas del lugar de curado.

En lo posible, para evitar un posible cabeceo, se deben ensayar las muestras en la posición en la que fueron moldeada. Si las muestras por alguna razón de fabricación, no poseen una superficie correcta para soportar la carga, entonces se deben alisar las superficies en contacto con la máquina de carga, colocando un recubrimiento que

puede ser de kaping, el cual es calentado y adherido al espécimen en un moldeador que pone al cilindro totalmente vertical y por ende al kaping totalmente horizontal.

En nuestra investigación se optó por utilizar neoprenos de grado 60 shore, para solventar esas imperfecciones de las muestras y de ésta manera evitar un contacto directo de la máquina de carga y el cilindro. Se coloca al cilindro verticalmente en la cama de la máquina y se hace poner en contacto con el bloque de presión, se debe tener cuidado en que quede totalmente centrado con el bloque para evitar un cabeceo de este último, se comienza a cargar continuamente a una velocidad

aproximada de 0.14 a 0.34 MPa/seg, ésta velocidad de carga debe ser mantenida por lo menos por la última mitad de la carga prevista de rotura.



La máquina de carga utilizada para realizar nuestros ensayos, en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la PUCE, es un aparato constituido básicamente de sistemas hidráulicos que aplican una fuerza, determinada por una computadora central que le suministra los datos de carga, velocidad, deformación, etc, generalmente es multifasética ya que puede servir para

distintos tipos de ensayos en distintos tipos de materiales. Esta máquina debe ser previamente calibrada y debe estar en óptimas condiciones de mantenimiento y de sistema hidráulico, debe estar equipada con camas de placa de acero, donde reposarán las muestras que serán ensayadas, y un bloque de presión cuya cabeza deberá ser móvil, para evitar un cabeceo de las muestras y estas pierdan su alineación inicial.

4.2.6 Medición de los esfuerzos, deformaciones y tipos de falla

En la primera mitad la velocidad puede ser incrementada, cuando se vea que el cilindro está llegando a su falla se recomienda no

variar la velocidad. Por último se anotan la carga de rotura y la manera en que falló el cilindro de prueba, ya que puede fallar de distintas maneras.

4.2.7 Cálculos

Se calcula el esfuerzo máximo de compresión del espécimen dividiendo la máxima carga aplicada para el área de la sección transversal del cilindro de prueba.

$$f'c = \frac{P}{\frac{\pi * d^2}{4}}$$

f'c = esfuerzo máximo de compresión (Kg/cm²)
P = máxima carga aplicada (Kg)

d = diámetro del cilindro de hormigón (cm)

4.2.8 Resultados del Ensayo a Compresión.

Se presentan como resultados el máximo esfuerzo de compresión que cada cilindro ha soportado y el tipo de falla que se ha producido.

4.3 *MÓDULO DE*

ELASTICIDAD DEL

HORMIGÓN EN COMPRESIÓN

4.3.1 Introducción

El método persigue la determinación de la línea del módulo de elasticidad de Young de cilindros de hormigón moldeados bajo una carga longitudinal que produce en el espécimen un esfuerzo de compresión.

Puede ser usado para evaluar miembros estructurales reforzados o no reforzados de hormigón, y evaluar el esfuerzo producidos

en cada uno. El valor del módulo de elasticidad obtenido será usualmente menor que el módulo derivado de ensayos cuya velocidad de carga es mayor, tales como los que se usan para obtener índices dinámicos y sísmicos, y serán mayores que valores obtenidos bajo la aplicación de una velocidad menor de carga o de cargas de duración larga.

4.3.2 *Procedimiento*

Se toman las medidas de altura y el diámetro, se pesan las muestras y se señalan marcas a 7.5 cm de cada cara, donde irán los tornillos ajustables del compresómetro. Se coloca el

compresómetro en la muestra, teniendo cuidado de poner los tornillos en las marcas señaladas y de que la circunferencia de cada uno los cinturones de acero esté a la misma distancia de la cara del cilindro, además de cuidar la alineación horizontal y vertical del aparato. Una vez colocado el compresómetro se procede a retirar de este las barras aseguradoras y comprobar que el deformímetro está marcando la deformación en el cilindro.

Se utiliza cauchos de neopreno, que actúan evitando un contacto directo de la máquina y el cilindro. Una vez que la máquina a empezado a cargar se procede a leer las deformaciones producidas cada cierto

intervalo de carga, previamente estipulado para que nos de al menos dieciséis puntos en el gráfico esfuerzo-deformación unitaria, se anotan los intervalos y las deformaciones leídas y se traza el gráfico anteriormente señalado

4.3.3 Cálculos

Con los datos obtenidos de carga y deformación

**n se
procede al**

ϵ = deformación unitaria e = deformación longitudinal producida (cm) L = longitud entre tornillos del compresómetro (cm)

calcular el esfuerzo y la deformación unitaria producidos, de la siguiente manera:

$$\varepsilon = \frac{e}{L}$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

σ = esfuerzo de compresión (Kg/cm²)
 P = carga producida (Kg)
 A = área de la sección transversal (cm²)

Con los datos de esfuerzo y deformación unitaria se traza el gráfico de esfuerzo vs. deformación unitaria, y se determina el límite de proporcionalidad y la zona de la curva bajo este esfuerzo será la zona elástica, se saca su pendiente, y esta será su módulo elástico.

$$E = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1}$$

E = módulo de elasticidad (Kg/cm²)
 σ_1 = límite de proporcionalidad (kg/cm²)
 ε_1 = deformación unitaria en el límite de proporcionalidad

Generalmente el límite de proporcionalidad está a un 50% de la carga máxima de rotura y un acomodo de partículas hace que se deforme ε_1 , es por eso que muchos autores calculan el módulo de elasticidad de la siguiente manera:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0.000050}$$

E = módulo de elasticidad (Kg/cm²)

σ_1 = esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria $\varepsilon_1 = 0.00005$

σ_2 = esfuerzo correspondiente al 50 % de la carga última

ε_2 = deformación unitaria correspondiente al esfuerzo σ_2

$$E = \frac{\sigma_1}{\varepsilon'}$$

Pero para el cálculo del módulo secante además de utilizar la carga

E = módulo de elasticidad (Kg/cm²)
 σ_1 = límite de proporcionalidad (kg/cm²)
 ε' = deformación unitaria en el límite de proporcionalidad a partir de O'

correspondiente al 50% de la carga máxima y se considera una deformación unitaria de 0.002 para el esfuerzo máximo, por lo cual se calcula el valor de α y el valor del módulo de elasticidad con las siguientes fórmulas:

$$E = \alpha \sqrt{f'c}$$

E = módulo de elasticidad (Kg/cm²)
 α = coeficiente del módulo de elasticidad

$$\alpha = \frac{250 * \varepsilon_2 * \sqrt{f'c}}{\varepsilon_1}$$

α = coeficiente del módulo de elasticidad
 $f'c$ = esfuerzo máximo de compresión (kg/cm²)
 ε_1 = deformación unitaria correspondiente al esfuerzo $f'c$
 ε_2 = deformación unitaria correspondiente al esfuerzo $0.50f'c$

4.3.4 Resultados de Los Ensayos para Módulo de Elasticidad.

CAPITULO 6

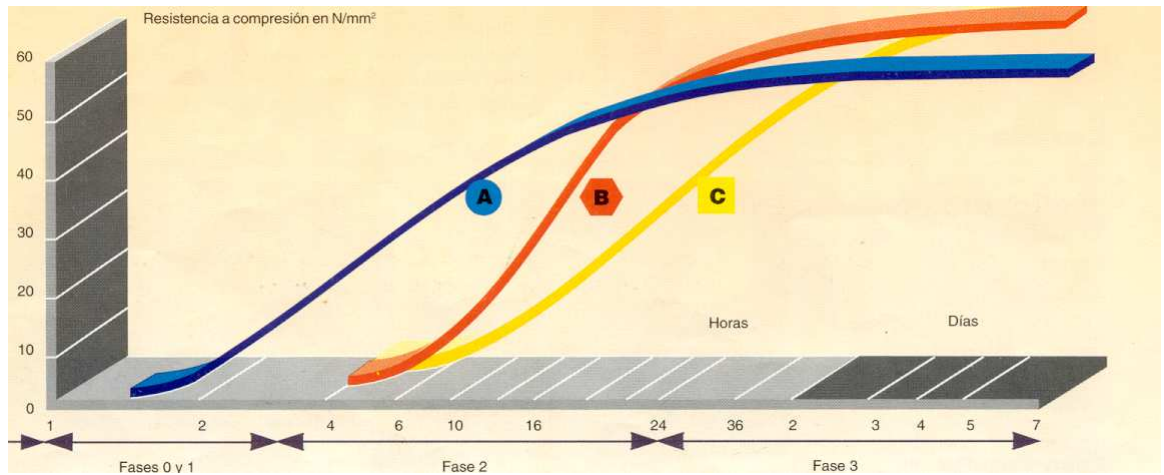
**VENTAJAS Y APLICACIONES DE LOS
HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA
INICIAL**

6.1 Aplicaciones del H.A.R.I.

<i>APLICACIONES</i>	<i>VENTAJAS</i>
<i>HORMIGÓN PREMEZCLADO O MEZCLADO EN SITIO</i>	<i>Rápida rotación de formaletas</i>
	<i>Rápido terminado de superficies de Hormigón</i>
	<i>Rápido pretensionamiento a bajas temperaturas</i>
	<i>Rápida ganancia de resistencia al congelamiento</i>
	<i>Rápido postensionamiento.</i>
<i>ELABORACIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS</i>	<i>Cortos tiempos de desformaletados.</i>
	<i>Rápido transporte de elementos producidos.</i>
	<i>Grandes rendimientos de producción al día.</i>
	<i>Menor número de formaletas al día.</i>
	<i>Costos reducidos de energía por curado al vapor.</i>
	<i>Rápida liberación del pretensionamiento al hormigón.</i>
<i>REPARACIÓN DE SUPERFICIES DE HORMIGÓN PARA TRAFICO</i>	<i>Rápida puesta en uso.</i>
	<i>Corto período de bloqueos de vías en zonas de abundante tráfico.</i>
	<i>Reparaciones durante períodos de bajo tráfico en la vías (Sistema Fast Track)</i>
	<i>Sistema White Topping.</i>

6.2 Ventajas en el endurecimiento del Hormigón.

La producción de Hormigones de Alta Resistencia Inicial (HARI), implica altos costos de inversión para los ingenieros, productores de hormigón o contratistas. Los factores que se ven afectados en ésta elevación de costos son la planeación (P), instalaciones fabriles necesarias (I) y requerimientos de energía (E).



A : Reducción del inicio del fraguado

B : Aceleración del proceso de endurecimiento

C : Reducción de la relación A/C

Fuente : Boletín Técnico SIKA

Procesos	<i>Cementos Rápidos</i>	<i>Super - Plastificantes</i>	<i>Acelerantes de Endurecimiento</i>	<i>Concreto caliente</i>	<i>Tratamientos Térmicos</i>
Tipo de Aceleramiento	A + B	B + C	B	A + B	A + B
Costo	<i>Alto (P / I)</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio (P)</i>	<i>Alto (I / E)</i>	<i>Alto (I / E)</i>
Temperatura Normal del hormigón (°C)	5-20	> 5	5-30	> 25	> 20
VENTAJAS	<i>Rápido desarrollo de resistencias</i>	<i>Reducción del agua en exceso</i>	Bajas dosis	<i>Rápido inicio de fraguado</i>	<i>Independiente del tipo de cemento</i>
	<i>Efectivo aun a bajas temperaturas</i>	<i>Altas resistencias finales</i>	<i>Efecto controlante</i>	<i>Rápida hidratación del cemento</i>	
			<i>No afecta la trabajabilidad</i>	<i>Rápido desarrollo de resistencias</i>	
			<i>No hay reducción de resistencias finales</i>		
DESVENTAJAS	<i>Muy poca trabajabilidad</i>	<i>El inicio del fraguado depende del cemento y la temperatura</i>	<i>El inicio del fraguado depende del cemento y la temperatura</i>	<i>Muy alto endurecimiento</i>	<i>Muy alto costo de energía</i>
	<i>Aumenta tendencia a retraerse y fisurarse</i>			<i>Altos costos de energía</i>	<i>Solo para producción a escala industrial</i>
	<i>Silo de almacenamiento adicional</i>				

6.3 Aplicaciones generales.

Los aditivos acelerantes de endurecimiento, pueden ser aplicados en términos generales, en varios campos de la construcción. A continuación se presenta una comparación entre los acelerantes de endurecimiento y otros procesos :

Procesos	<i>Cementos Rápidos</i>	<i>Super - Plastificantes</i>	<i>Acelerantes de endurecimiento</i>	<i>Concreto caliente</i>	<i>Tratamientos térmicos</i>
Hormigón Premezclado o mezclado en obra	-----	▲	▲	Limitado	-----
Prefabricación	▲	▲	▲	▲	▲
Reparaciones	▲	▲	▲	Limitado	-----

6.4 Aplicaciones generales de Aditivos Acelerantes y Superplastificantes .

6.4.1 Aplicaciones de los aditivos Acelerantes.

- *Hormigonado en tiempo frío*
- *Desencofrado rápido*
- *Prefabricación, para poder desmoldar las piezas rápidamente y poderlas manipular. Puede evitarse así el tratamiento térmico, que en nuestro medio resulta más caro.*
- *Reducción de los períodos de curado y de protección, así como para trabajos rápidos (pavimentos industriales), reparación de obras durante la noche para ser puestas en servicio durante el día.*

- *Reducción necesaria de las presiones sobre el encofrado.*
- *Sellado, impermeabilización y obturación de grietas y venas de agua.*
- *Trabajos en galerías de minas o en túneles de paredes húmedas.*
- *Trabajos marítimos entre dos mareas.*
- *Hormigones y morteros proyectados.*
- *Trabajos bajo el agua.*

6.4.2 Aplicaciones de los aditivos Superplastificantes.

- *Como hormigón fluido, en pisos, losas de fundación, puentes, pavimentos, losas en general.*
- *Como hormigón lanzado, en entibados de túneles.*
- *En prefabricados.*
- *En producción de hormigones de baja permeabilidad*

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizado los ensayos de laboratorio y analizado los resultados obtenidos, se ha llegado a las siguientes conclusiones, comentarios y recomendaciones:

1. DE LOS MATERIALES.

1.1 *Tomando en cuenta las características y requerimientos de esta investigación y proyectándola al campo constructivo, se decidió emplear materiales provenientes de canteras que comercializan en el mercado Quiteño y que posean las mejores características técnicas. Se analizaron diferentes canteras, escogiendo las provenientes de la mina de Guayllabamba para el agregado*

*fino y la mina de Pifo (Disensa) para el agregado grueso (material Triturado), por ser los que cumplen las normas y especificaciones adecuadas. **Lamina 2.2.19.1.10 y Lamina 2.2.19.2.8.***

- 1.2 *Los ensayos realizados con el agregado fino arrojaron los siguientes resultados los cuales se han comparado con las normas INEN 872 : la Granulometría como se observa en la **Lámina 2.2.19.1.1**, está dentro de los límites estipulados en la norma exceptuando en el Tamiz #8; en cuanto al Módulo de Finura, se tiene un valor de 2.91 el cual cumple con la norma que especifica valores entre 2.3 – 3.1, se puede decir que a menor modulo de finura se obtiene mayor manejabilidad y trabajabilidad; el Contenido Orgánico es aceptable; el porcentaje de material fino que pasa el Tamiz #200 es de 21.92 %, mientras que el recomendado por la norma es máximo del 5% para hormigones comunes, y para hormigones sometidos a desgaste superficial es del 3 %, por lo tanto no cumple con la especificación para hormigones comunes ni para hormigones vistos; el desgaste a los sulfatos es de 7.01 % que es menor al que da la norma que es de 10%, cumpliendo así con la norma. Comentario: según la norma para la fabricación de hormigones debe cumplir con todas las especificaciones para su utilización,*

pero se decidió utilizar este material sin ninguna corrección por su bajo su amplia utilización en el medio y para investigar su comportamiento.

- 1.3 De acuerdo a los resultados obtenidos para el agregado grueso en la **Lámina 2.2.19.2.8** se obtuvo una resistencia a los sulfatos de 1.19%, que es mucho menor al especificado en la norma de 12%; la Abrasión obtenida es del 22.36%, de igual manera mucho menor al especificado en la norma INEN de 50% y MOP de 40% para su uso en la fabricación de hormigones; la Granulometría del agregado grueso como se observa en la **Lámina 2.2.19.2.1**, está dentro de los límites estipulados en la norma exceptuando en el Tamiz #3/4”, sin embargo y de acuerdo al criterio técnico éste material no es apto al 100% para la fabricación de hormigón ya que debe cumplir con todas las especificaciones para su utilización, pero se decidió utilizar este material sin ninguna corrección por su bajo porcentaje de Abrasión, su alta resistencia a sulfatos y su amplia utilización en el medio. Se recomendaría revisar los procesos de control de calidad en las plantas trituradoras, ya que nuestro material proviene de las mismas.*
- 1.4 En lo que se refiere al Cemento se usó el cemento Pórtland Puzolánico Tipo IP de la empresa Selva Alegre, que cumple con*

*todos los ensayos realizados como Finura Blaine, Gravedad Especifica, Tiempos de Fraguado, compresión de Morteros, mostrados en la **Lámina 2.3.9.6.***

2. DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL HORMIGÓN

2.1 Compresión de Cilindros de Hormigón.

2.1.1 Uno de los objetivos planteados al inicio de la investigación fue establecer el comportamiento del hormigón a edades tempranas, para lo cual se realizaron ensayos de compresión de cilindros a las 8, 24 y 72 horas después de fabricadas las muestras, añadiendo así nuevos datos a los edades habituales de rotura. Se debe tomar en cuenta para futuras investigaciones la hora de fabricación, debido a que puede resultar problemático el ensayar en horario no laborable.

2.1.2 Debido a ésta condición de elaboración del hormigón, resulta beneficioso elaborar las muestras a la misma hora, manteniendo al mismo tiempo las condiciones climáticas y de temperatura, que influyen mucho en las resistencias iniciales y finales de las muestras.

2.1.3 *El proceso de compresión de cilindros de hormigón normal produjo un problema al momento de trasladar las muestras a la máquina de ensayo, a las 8 horas de fabricado ya que las muestras se disgregaban por su peso propio, situación que no ocurría con los cilindros de hormigón con aditivo, cabe recalcar que la norma para desencofrado de cilindros de hormigón normal es a partir de las 24 horas.*

2.1.4 *El desarrollo de resistencias a la compresión en general, tanto para hormigón normal y con aditivos, presenta un crecimiento adecuado con respecto a las respectivas edades, como se puede apreciar en el siguiente Cuadro.*

CUADRO
RESUMEN FINAL DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION
(Kg. / cm²)

	RESISTENCIA	% ADITIVO	A/C	EDAD					
				8 H	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
NORMAL	PROMEDIO	0%	0,56	1,9	39,68	102,08	159,04	198,98	226,63
			0,37	4,2	79,21	240,72	337,87	372,50	378,23
	CARACTERISTICA	0%	0,56	1,73	37,16	85,84	146,55	185,59	207,67

			0,37	3,8	77,14	238,47	318,90	366,78	372,43
SIKAMENT	PROMEDIO	0,50%	0,50	6,80	53,17	168,94	248,88	273,82	307,41
			0,35	10,20	109,00	282,81	351,43	380,93	426,66
		1,50%	0,44	2,26	67,86	202,29	270,46	300,05	347,87
			0,35	3,41	109,16	297,25	380,86	410,05	453,35
		2,50%	0,40	1,91	64,83	200,85	309,15	329,85	348,79
			0,27	12,76	302,62	332,78	390,23	401,26	410,54
	CARACTERISTICA	0,50%	0,50	6,67	45,17	145,28	242,57	260,90	277,21
			0,35	7,59	96,43	265,82	322,27	341,40	368,84
		1,50%	0,44	1,90	64,85	186,28	252,39	273,80	302,79
			0,35	2,61	101,71	263,50	367,28	390,10	414,52
		2,50%	0,40	1,74	58,17	171,86	301,09	315,90	317,50
			0,27	11,94	284,26	323,06	373,78	384,90	396,09
SIKARAPID	PROMEDIO	0,50%	0,56	5,64	48,67	141,56	224,20	247,50	275,70
			0,37	3,53	74,65	180,82	284,53	314,80	350,54
		1,00%	0,56	12,35	61,29	161,07	235,91	252,10	267,62
			0,37	6,59	128,28	266,20	304,63	329,80	373,00
		1,50%	0,56	13,39	53,52	176,12	235,22	265,00	311,03
			0,37	8,61	149,95	277,50	337,54	358,60	386,29
	CARACTERISTICA	0,50%	0,56	5,25	43,12	96,30	216,69	222,12	231,09
			0,37	2,28	61,96	131,37	279,28	301,85	304,71
		1,00%	0,56	10,74	47,34	133,93	228,73	229,14	230,64
			0,37	6,29	119,17	230,76	290,36	326,96	334,62
		1,50%	0,56	11,98	37,35	160,64	232,69	248,63	260,05
			0,37	7,93	143,16	257,71	317,74	330,47	339,79

2.1.5 En cuanto a la resistencia Inicial a las 8 horas, para el porcentaje de aditivo de mejores

resultados, se pueden lograr resistencias de hasta 7.05 veces mayores que las resistencias normales, usando Sikarapid 1; y hasta 3.58 veces más que la resistencias normales, usando Sikament.

2.1.6 Vale recalcar que no siempre añadiendo cualquier porcentaje de aditivos al hormigón, se obtienen mejoras en resistencia, sino que se debe realizar un estudio para encontrar el porcentaje óptimo de aditivo.

2.2 Flexión de Viguetas de Hormigón.

2.2.1 El crecimiento de las resistencias a la Flexión de las viguetas de hormigón en general, tanto para hormigón normal y con aditivos, presentan un desarrollo adecuado con respecto a las respectivas edades, como se puede apreciar en el siguiente resumen :

RESUMEN
RESUMEN FINAL DE RESISTENCIAS A LA FLEXION
(MODULO DE RUPTURA Kg. / cm²)

RESISTENCIA	% ADITIVO	A/C	EDAD
			28 DIAS

NORMAL PROMEDIO	0%	0,56	38,81
		0,37	54,92

SIKAMENT	PROMEDIO	0,50%	0,5	42,53
			0,35	51,81
		1,50%	0,44	39,20
			0,35	52,43
		2,50%	0,4	44,44
			0,27	55,21

SIKARAPID	PROMEDIO	0,50%	0,56	44,18
			0,37	39,76
		1,00%	0,56	34,34
			0,37	53,67
		1,50%	0,56	43,41
			0,37	49,76

2.2.2 Como se puede apreciar en el cuadro anterior para la dosificación con Sikament HE-200 en un mismo porcentaje de aditivo, a menor relación A/C, mayor es la resistencia a la flexión.

2.2.3 Al usar Sikarapid 1, se puede observar que para la mayor relación A/C (0.56) el mejor porcentaje de aditivo en flexión es de 0.50 %; y al contrario, para la menor relación A/C (0.37), el mejor porcentaje de aditivo es 1 %.

2.2.4 Además según el cuadro anterior, siempre para una menor relación A/C, las resistencias aumentan.

2.2.5 Se conoce que la Flexión falla por Tracción y depende directamente del tipo y forma del agregado por el efecto de adherencia, ya que en un agregado de forma redondeada, existe menor adherencia, dependiendo al mismo tiempo de la cantidad de cemento usado.

2.2.6 De acuerdo con los resultados del **Cuadro 5.2**, que nos muestra el módulo de ruptura, obtenido mediante los ensayos de flexión a los 28 días para hormigones con aditivos, se desprende que van del 12 al 14 % de la resistencia a la compresión a los 28 días. No existiendo valores normativos del porcentaje de la flexión con respecto a la compresión, aunque algunas investigaciones anteriores presentan valores del 12 al 18%.

2.2.7 Es importante indicar también que para los hormigones normales ensayados, se obtuvieron resistencias a la flexión del orden de 14 al 18% de la resistencia a la compresión a los 28 días y en hormigones con aditivo este

rango de porcentaje disminuye en el orden de 12 a 15 % de la resistencia a la compresión.

2.2.8 Según el **Cuadro 5.10** y lo que se observa en los **Diagramas 5.29 y 5.30**, usando Sikament se produce un beneficio en porcentaje para igual cantidad de cemento (54318 kg) en el orden de 8.36 %, en cambio para mayor cantidad de cemento (84211 Kg) se produce un decremento del beneficio pasando a ser perjudicial en un -3.22 % de su hormigón normal, con lo cual se ve claramente que con menor cantidad de cemento el aditivo una vez más funciona de mejor manera.

2.2.9 Según el **Cuadro 5.10** y lo que se observa en los **Diagramas 5.29 y 5.30**, usando Sikarapid se produce un beneficio en

porcentaje para igual cantidad de cemento (54318 kg) e igual relación A/C = 0.56, en el orden de 4.72 %, en cambio para mayor cantidad de cemento (84211 Kg) y menor relación A/C = 0.37, se produce un decremento del beneficio pasando a ser perjudicial en un – 13.09 % de su hormigón normal, con lo cual se ve claramente que con menor cantidad de cemento y mayor relación A/C el aditivo una vez más funciona de mejor manera.

2.2.10 De acuerdo con el **Cuadro 5.10** y lo que se observa en los **Diagramas 5.29 y 5.30**, usando Sikament y Sikarapid se obtiene un porcentaje máximo de beneficio a la flexión en el orden del 14.5 % para Sikament con un porcentaje de aditivo de 2.5% y una A/C

=0.40, y un benéfico a la flexión máximo de 13.87% con un porcentaje de aditivo de 0.5% y una A/C = 0.56, y para menor relación A/C los benéficos son perjudiciales, con lo cual no habría beneficio significativo del uso de estos aditivos en la fabricación de pavimentos rígidos y elementos sujetos a flexión de **hormigón simple**.

2.2.11 Las posibles causas de falla frágil en flexión, son los expresados en el **acápite 2.2.5**, pero además por las características del aditivo originan una fluidez mayor a la normal, lo cual produce un mal acomodo del agregado grueso en el hormigón, ya que éste tiende a acumularse en el fondo, desplazando a la pasta cementante hacia la superficie, disminuyendo

la adherencia en el fondo y creando así también fragilidad en el concreto.

2.3 Obtención del Módulo de Elasticidad.

2.3.1 Durante el proceso de obtención del módulo de elasticidad, se usó neoprenos para confinar la carga en el cilindro a ensayar, por ésta razón, el deformímetro usado no da valores certeros en los primeros puntos ya que en el proceso, la carga es absorbida primero por el neopreno que se llena y estira para confinar al cilindro, por ésta razón para el cálculo del módulo de elasticidad se eliminaron los primeros puntos de la curva Esfuerzo vs. Deformación unitaria. Según investigaciones realizadas en la PUCE, éstos puntos que están fuera de la curva llegan hasta aproximadamente los 50 KN, dependiendo de la resistencia que se quiera alcanzar (f_c). De no hacerse la debida corrección el módulo de elasticidad obtenido no sería el real.

2.3.2 Según el American Concrete Institute (ACI), se define el módulo de elasticidad así:

$$E_c = \alpha * \sqrt{f_c}$$

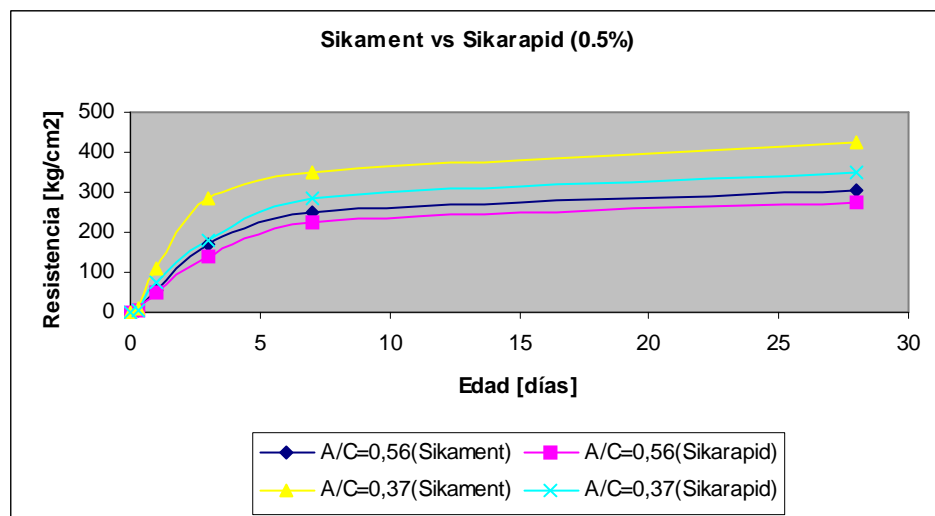
Analizando los resultados expresados en el **Cuadro 5.1** donde se resumen los valores de α , podemos concluir que el valor más representativo es el mostrado en cuadro anterior, el cual tiene un valor de 15184.56, con el cual el módulo de elasticidad para un hormigón hecho con los materiales de ésta investigación se deberá calcular con la fórmula siguiente:

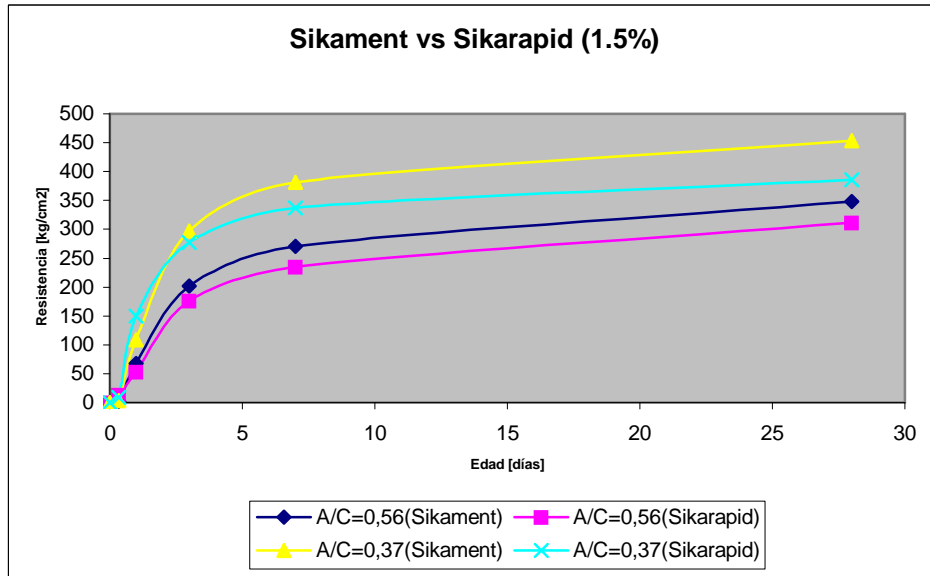
$$E_c = 15184.56 * \sqrt{f'_c}$$

2.3.3 Podemos considerar un valor alto al factor alpha (15184.56) obtenido anteriormente, debido a la gran resistencia a la Abrasión del Agregado Grueso (22.36 %).

3. **DE LAS CORRELACIONES OBTENIDAS.**

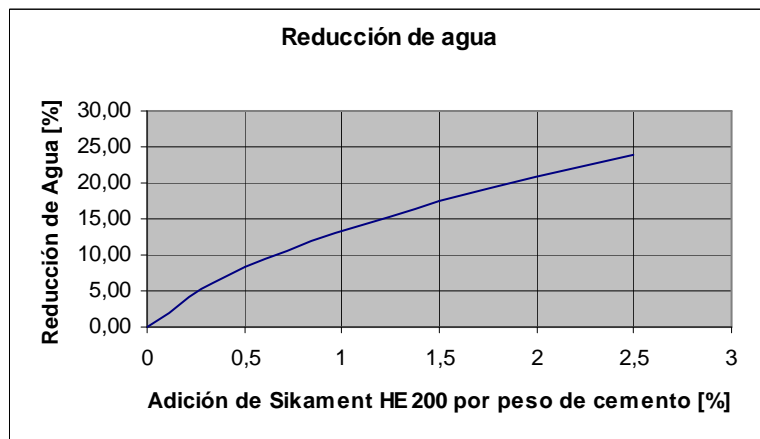
- 3.1 Con la finalidad de comparar resultados de resistencia a la compresión, se realizaron hormigones normales y con aditivos, con relaciones A/C de 0.56 y 0.37.
- 3.2 Comparando los dos tipos de aditivos utilizados en esta investigación, en cuanto a sus resistencias a la compresión desde las 8 horas a los 28 días, tenemos que a un porcentaje de 0.5 y 1.5 % y con las mismas relaciones de A/C, las resistencias a la compresión con Sikament HE -200 superan a los resultados a la compresión con Sikarapid 1, como se puede ver en los siguientes diagramas:





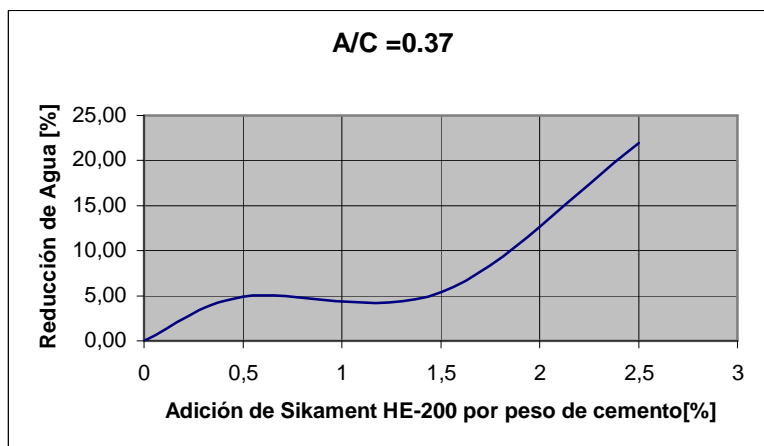
3.3 En esta investigación se logró una reducción de agua con el aditivo Sikament HE -200, como se puede ver en los siguientes diagramas:

A/C	% de Adit.	Agua sobrante
0,56	0	0,00
0,50	0,5	8,44
0,44	1,5	17,45
0,40	2,5	23,88



A/C	% de Adit.	Agua sobrante
0,56	0	0,00
0,50	0,5	8,44
0,44	1,5	17,45
0,40	2,5	23,88

0,56	0	0,00
0,50	0,5	4,87
0,44	1,5	5,43
0,40	2,5	21,96



3.4 *Es importante anotar que la curva anterior debería tener una tendencia lineal, por lo que la reducción de agua al 1.5 % debería ser un valor mayor al expuesto. Por lo que la relación $A/C = 0.35$, debería estar en el orden de 0.30 aproximadamente, de cualquier manera éste valor de A/C no afecta a los resultados obtenidos en las correlaciones de ésta investigación, por no haber sido tomado en cuenta como parámetro de comparación al usar Sikamente HE-200.*

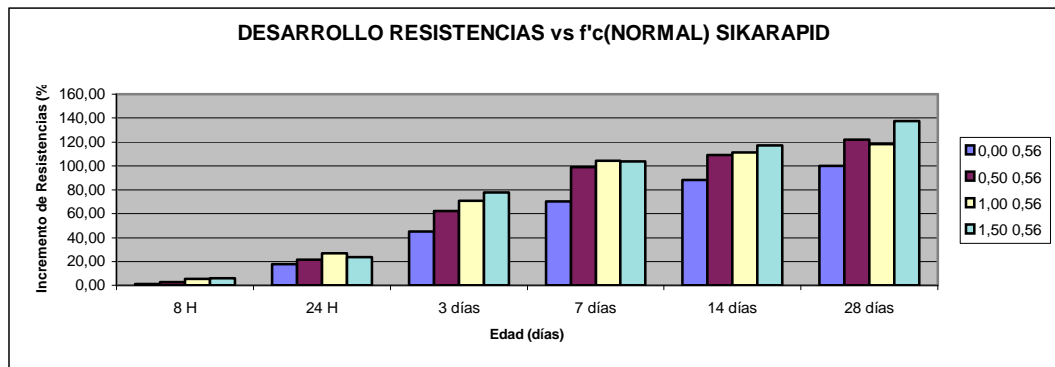
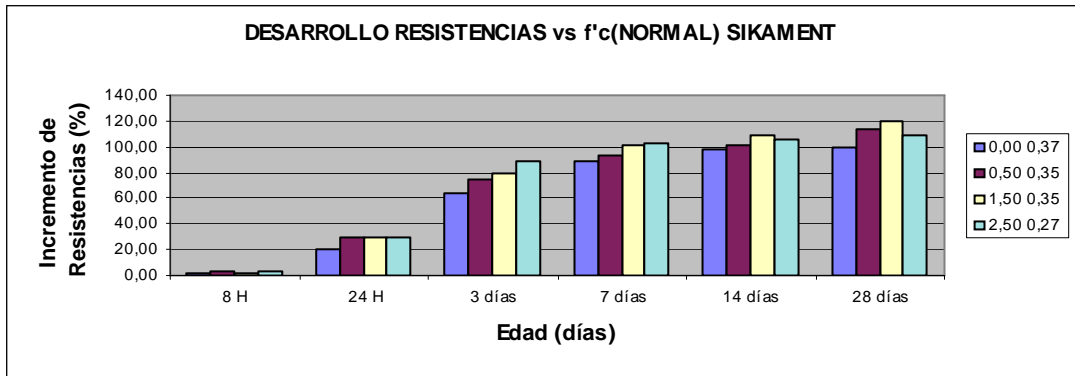
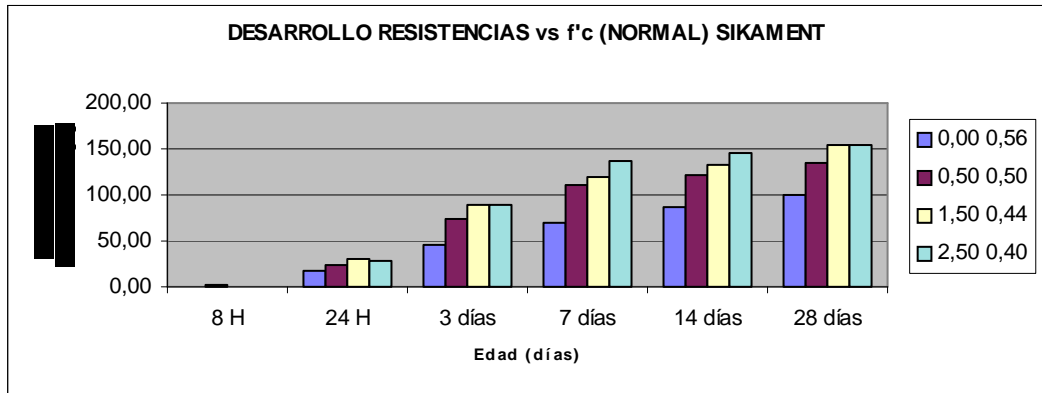
3.5 *Según los diagramas Esfuerzo (compresión) vs. Deformación obtenidos para hormigones elaborados con Sikament, se observa a las **8 horas**, que a mayor relación A/C , el porcentaje de aditivo que resulta con mejores resultados es 0.50%(**Diagrama 5.1.1**); en cambio, a menor relación A/C , el mejor porcentaje de aditivo es 2.50% (**Diagrama 5.2.1**).*

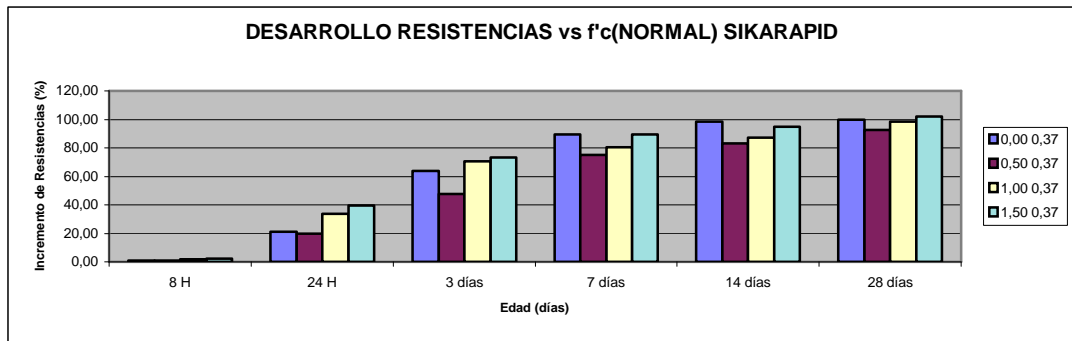
- 3.6 Los diagramas Esfuerzo vs Deformación para hormigones elaborados con Sikarapid 1, se presentan mejor definidos en **edades tempranas**, que para los elaborados con Sikament HE-200, como se puede apreciar en **los Diagramas 5.1 al 5.8** para las 8 primeras horas de edad.
- 3.7 Según los diagramas Esfuerzo (compresión) vs. Deformación obtenidos para hormigones elaborados con Sikarapid, se observa a las **8 horas**, que a la relación A/C de 0.56 , el porcentaje de aditivo que resulta con mejores resultados es de 1.50%(**Diagrama 5.3.1**); y para una relación A/C de 0.37, el mejor porcentaje de aditivo es de igual manera 2.50% (**Diagrama 5.4.1**), cabe anotar que en el diagrama mencionado anteriormente el porcentaje de aditivo de 0.50%, resultó perjudicial, ya que no superó al hormigón normal a las 8 horas.
- 3.8 Según el **Diagrama 5.9** el porcentaje óptimo de aditivo de Sikament para resistencias a compresión finales, está entre 1.5 y 2.5 %, para relaciones de A/C que van entre 0.50 y 0.40. En cambio si se requiere mejorar las resistencias iniciales, se recomienda utilizar un porcentaje de 0.50%.

- 3.9 Según el **Diagrama 5.10** el porcentaje óptimo de aditivo de Sikament para resistencias a compresión iniciales y finales, es de 2.5 %, para relaciones de A/C que van entre 0.35 y 0.27.
- 3.10 Según los **Diagramas 5.13 y 5.14** el porcentaje óptimo de aditivo de Sikarapid 1 para resistencias de compresión iniciales y finales es de 1.5% para relaciones de A/C que van entre 0.56 y 0.37.
- 3.11 Según los resultados que se obtuvieron en el **Cuadro 5.8** y representados en **Diagrama 5.24.a y 5.24.b**, se concluye que al usar Sikarapid 1 con las dos relaciones A/C, el mayor incremento en porcentaje se da en las 8 primeras horas; para A/C= 0.56, el incremento es de **604.95%** más que el hormigón normal correspondiente; para la A/C=0.37, el incremento es de **105.10%** más. Observando que para los dos casos anteriores, el porcentaje óptimo de aditivo es de 1.50%. En el **Diagrama 5.24.b**, los valores de 0.5 a 1 % de aditivo dan resultados perjudiciales para la mayor parte de edades en A/C=0.37.
- 3.12 Según el **Diagrama 5.24.resumen**, se concluye que una A/C=0.56 presenta mayores beneficios con respecto a una A/C=0.37. Además se puede observar en el Diagrama anterior, que solo para edades tempranas (8 y 24 horas), presentan incrementos significativos y durante el resto de edades los

incrementos tienden a estabilizarse al hormigón normal, comprobando realmente trabaja como un acelerador de resistencias iniciales.

- 3.13 En el **Diagrama 5.26** se muestra el comportamiento promedio de los beneficios, expresados en la curva de tendencia para las dos relaciones A/C de Sikarapid 1.
- 3.14 Según **Diagrama 5.28** se recomienda ampliar el estudio del porcentaje óptimo de aditivo, ya que se ve un incremento significativo a partir del 1% de aditivo.
- 3.15 Analizando el **Diagrama 5.25.resumen** y basándonos en el parámetro común (cemento), se deduce que a menor cantidad de cemento existe mayor incremento de porcentajes en resistencias iniciales y una ganancia adicional en desarrollo de resistencia. Este beneficio es mostrado también en valores promedio en el **Diagrama 5.27**.
- 3.16 El Cuadro 5.7 nos indica que con los aditivos de la investigación se logran resistencias a los 3 días con aditivo, equivalentes a 7 días del hormigón normal y de 7 días con aditivo, equivalentes a 28 días del hormigón normal, excepto para Sikarapid 1, con relación $A/C = 0.37$, como se puede apreciar en los siguientes Diagramas :





3.17 Con Sikament HE-200 se realizaron dosificaciones para diferentes porcentajes de aditivo, manteniendo el asentamiento de 8 cm, esto produjo que existiera una reducción de agua, que en consecuencia cambió la relación A/C de las dosificaciones iniciales (0.56 y 0.37). Por tal motivo, éste aditivo incrementó las resistencias iniciales y finales por la reducción de la relación A/C; es decir, se originaron nuevos hormigones , con los cuales no se puede establecer comparaciones con los hormigones normales fabricados. De ésta manera no se podría decir a ciencia cierta si el aditivo funciona o trabaja como acelerante de resistencias iniciales ya que sus resistencias se incrementaron por la reducción de la relación A/C. Se recomendaría para futuras investigaciones fabricar hormigones de iguales características, composición y relación A/C.

3.18 De acuerdo a los resultados del **Diagrama 5.1 y 5.2** , y basándonos en los porcentajes obtenidos en el **Cuadro 5.3**,

para los tres porcentajes de Sikament HE-200, existe un beneficio promedio estimado del 63.134% para las tres A/C (0.50, 0.44, 0.40) desde las 24 horas a 28 días; y un beneficio promedio estimado del 19.134%, para las tres relaciones A/C (0.35, 0.35, 0.27). Se concluye que usando Sikament HE-200 como reductor de agua, se obtienen a menor relación A/C, menores beneficios en incremento de resistencias.

3.19 Una posible explicación del poco incremento de los beneficios al usar cualquiera de los aditivos con una relación A/C menor y con una mayor cantidad de cemento (54 318 vs 82211), podría ser el contenido de finos a mayor cantidad de cemento que produce una plasticidad excesiva y no se homogeniza bien el hormigón. Todo esto genera una mala reacción química entre los agregados y el cemento, por la falta de hidratación de las partículas del cemento, lo que ocasiona un mal fraguado.

3.20 Otra de las posibles causas, puede ser que a mayor cantidad de cemento se produce un mayor calor de hidratación que genera una contracción plástica, reduciendo los beneficios de resistencias.

3.21 Para realizar un estudio complementario de las cualidades de los aditivos empleados en ésta investigación, se recomienda

combinar los dos aditivos, tomando en cuenta la tendencia de los porcentajes óptimos, resultantes en el presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO*, Artur Nilson, Mc GrawHill, Duodécima edición, México, 1999.
- *HORMIGÓN ARMADO*, Jiménez Montoya P, Séptima edición, Barcelona, 1974.
- *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES*, MOP 001F, 1993.
- *SUPERPLASTICIZERS AND OTHER CHEMICAL ADMIXTURES IN CONCRETE*, ACI, 1994.
- *BOLETIN, INFORMACIONES TECNICAS, ADITIVOS PARA HORMIGÓN Y MORTERO*, SIKA, Vol. 1, N° 1, Noviembre 2000.
- *MANUAL VISUALIZADO PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*, Lara Armando, Tesis PUCE, Quito, 1980.
- *CONCRETE TECHNOLOGY : PAST, PRESENT AND FUTURE ;* ACI, 1994.
- *PROPERTIES OF CONCRETE*, Neville A, Pitman Publishing Limited.

- *MEMORIAS DEL II CURSO DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS BÁSICOS DE ESTRUCTURAS, EDITORIAL DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, Andrade D.*
 - *MEMORIAS DEL XIV JORNADAS NACIONALES DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, Junio 2001, Cuenca.*
 - *CONCRETO REFORZADO, Nawy Edward, Prentice may, Primera edición.*
 - *NORMAS NTE INEN, Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito.*
 - *NORMAS ASTM, American Society and Testing Materials, 2000.*
 - *HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES, Salazar P, Puente M, Tesis PUCE, 2001.*
 - *EL ROL DE LA TECNOLOGÍA QUÍMICA EN LA ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN EN EL ECUADOR, Valdiviezo Renato, Tesis PUCE, 1993.*
 - *HORMIGONES CON ADICIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA, Vallejo D, Paula R, Tesis PUCE, 2001.*
 - *DIVERSAS PAGINAS WEB, INTERNET.*
-

