

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TITULACIÓN POR TESIS**

**TÍTULO: "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE  $F_c = 280$   
Kg./cm<sup>2</sup> UTILIZANDO ADITIVOS"**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**BACHILLER: ROGER GARCÍA CÓRDOVA**

**ASESOR: Ing. VÍCTOR HUGO SÁNCHEZ MERCADO**

**TARAPOTO - PERÚ  
2011**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**TITULACION POR TESIS**

**TITULO: "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE  $F_c = 280$   
Kg/cm<sup>2</sup> UTILIZANDO ADITIVOS"**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**BACHICHER: ROGER GARCIA CORDOVA**

**ASESOR: ING. VICTOR H. SANCHEZ MERCADO**

**TARAPOTO – PERU**

**2011**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

## FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

TITULO: "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE  $f'_c=280$   
Kgl/Cm<sup>2</sup> UTILIZANDO ADITIVOS"

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

BACHILLER: ROGER GARCIA CORDOVA

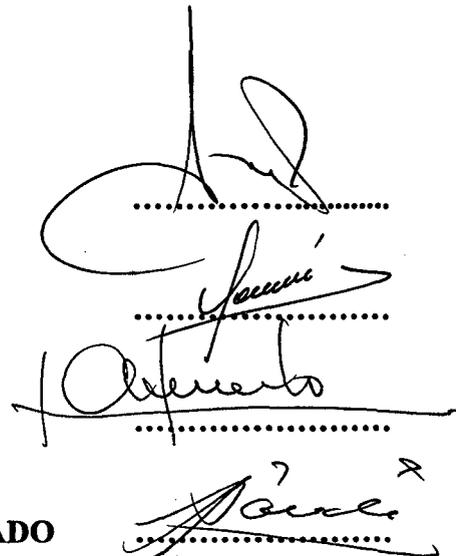
SUSTENTADO Y APROBADO ANTE EL HONORABLE  
JURADO:

PRESIDENTE : Ing. JORGE ISAACS RIOJA DIAZ

SECRETARIO : Ing. VICTOR E. SAMAME ZATTA

MIEMBRO : Ing. WILTON CELIS ANGULO

ASESOR : Ing. VICTOR H. SANCHEZ MERCADO



.....  
.....  
.....  
.....

## DEDICATORIA

MI PRESENTE TESIS DE INGENIERIA  
LE DEDICO EN PRIMER LUGAR A DIOS,  
Y CON TODO MI CARIÑO Y GRATITUD  
ETERNA A MIS QUERIDOS PADRES  
ALCIBIADES Y LUZMILA.

A MIS HERMANAS: LILY, ESTELA,  
LUZMILA. QUIENES CON SU CARIÑO Y  
COMPRESION ME BRINDARON SU  
APOYO DESINTERESADO.

## **AGRADECIMIENTO**

*Mi más profundo y sincero agradecimiento a todo el personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería Civil , que han contribuido en mi formación profesional y de manera especial a mi Asesor : Ing. Víctor Hugo Sánchez Mercado.*

*Y a todas aquellas personas que de una u otra manera con su apoyo y colaboración desinteresada aportaron al logro de la presente Tesis.*

# INDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1	Generalidades	1
1.2	Exploración preliminar orientada la investigación	1
1.3	Aspectos Generales del Estudio	3
<b>II</b>	<b>MARCO TEORICO</b>	<b>4</b>
2.1	Antecedentes	4
2.2	Objetivo general y específico	6
2.3	Justificación	7
2.4	Delimitación	7
2.5	Marco Teórico:	7
2.5.1	Antecedentes de la Investigación	7
2.5.2	Marco Teórico o Fundamentación Teórico de la Investigación	36
2.5.3	Marco Conceptual	37
2.5.4	Marco Histórico	41
2.6	Hipótesis	43
<b>III</b>	<b>MATERIALES Y METODOS</b>	<b>44</b>
3.1.	Materiales	44
3.2.	Metodología	44
3.2.1	Universo de la muestra	44
3.2.2	Sistema de variables	47
3.2.3	Diseño experimental de la investigación	50
<b>IV</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>54</b>
<b>V</b>	<b>ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>55</b>
5.1.	Elaboración de Especímenes	55
5.2.	Preparación de la Muestra y el Molde	58
5.3.	Curado de Especímenes	60
5.4.	Cubrimiento de la probeta después de moldeada	61
5.5.	Comprobación de la Calidad y Uniformidad del Espécimen	62

<b>VI</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1.	Conclusiones	64
6.2.	Recomendaciones	65
<b>VII</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	67
<b>VIII</b>	<b>ANEXOS</b>	68
	Anexo N° 1	
	Anexo N° 2	

# I INTRODUCCIÓN

## 1.1 Generalidades

Los adelantos en la tecnología de los materiales, que ha hecho posible la obtención de concretos con una resistencia de  $800 \text{ kg/cm}^2$  y aún mayores, han dado lugar también a la consecución de un concreto más durable y más resistente a la corrosión y abrasión que los convencionales. Los ingenieros están analizando y valorando tales ventajas para expandir extensivamente el grado de aplicación de estos concretos. Esta expansión trae aparejados mayor responsabilidad y cuidadosa atención en la dosificación del hormigón, especificaciones, elaboración y ensayos, así como una mayor necesidad de coordinación y comunicación entre los diseñadores y constructores de estructuras.

En nuestro medio, no existen estudios serios sobre diseño de concretos de mediana resistencia empleando agregados de dos canteras distintas y además aditivos, la dosificación se hace en forma empírica que se miden después de colocado el concreto, obteniendo en esos entonces resistencias muy pobres de hasta  $175 \text{ kg/cm}^2$ ; recién por el año de 1993 debido a la exigencia del INDECOPI, se realizaron estudios sobre la dosificación para concretos de  $175$  y  $210 \text{ kg/cm}^2$ , de ahí hasta la actualidad estos estudios fueron siendo mejorados.

También se viene empleando concretos con  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  para la construcción de puentes; en resumen no existe estudio alguno sobre concretos de alta resistencia en esta zona, esto es un gran problema para la construcción y de existirlo sería muy útil para el desarrollo de la ingeniería en la región.

## 1.2. Exploración Preliminar Orientando la Investigación

La aplicación de concretos de alta resistencia ha tenido y tiene una gran aceptación en edificios de gran altura En Chicago, donde es corriente la construcción de edificios de gran altura, debido al alto valor del suelo, y ante los peligros que pueden presentar las estructuras metálicas frente a los incendios, se ha optado, en muchos de ellos, por el empleo de los

hormigones de alta resistencia inicial a fin de conseguir las resistencias necesarias para disminuir secciones y pesos sobre las cimentaciones. El concreto de los pisos bajos de la Water Tower Place de esa ciudad tiene una resistencia de  $630 \text{ kg/cm}^2$ . Este edificio de 79 plantas fue construido en 1976, estando 28 plantas soportadas por columnas de 1,20 m de diámetro moldeadas con ese hormigón. Con 262 m de altura sigue siendo la estructura más alta y conservará este record hasta que se termine, dentro de breve tiempo. La construcción de la 311 South Wacker Drive, también en esa ciudad, que será 26,5 m más alta. Aquí se han especificado hormigones de hasta  $840 \text{ kg/cm}^2$  para sus columnas bajas. No son estos los únicos edificios de Chicago construidos con hormigones de gran resistencia aunque de menor altura que los ya citados.

Por su parte, en la ciudad de Nueva York se han empleado hormigones de  $550 \text{ kg/cm}^2$  en las columnas de las primeras plantas del Palace Tower de 51 plantas y en el que, por el hecho de pasar de un hormigón de  $280 \text{ kg/cm}^2$  a otro de  $560 \text{ kg/cm}^2$ , se consiguió una reducción del 33% en el diámetro de las columnas. En el 499 Park Avenue Building se ha empleado un hormigón de  $590 \text{ kg/cm}^2$ .

Otras ventajas con respecto a los hormigones tradicionales son: mayor durabilidad; inferior peligro de figuración y daños en piezas premoldeadas, especialmente durante el manejo y transporte de las mismas; un mejor aspecto superficial y acabado como consecuencia de su mayor contenido de finos. Los concretos de alta resistencia pueden ser transportados en la forma convencional, pero el tiempo del transporte debe ser lo más reducido posible para evitar mayores pérdidas de asentamiento. Algunos contratistas empelan concretos de mayor asentamiento con el fin de bombearlos.

Especial atención debe merecer el curado de los concretos de alta resistencia manteniendo adecuadas humedad y temperatura para permitir la continua hidratación del cemento.

A medida que crece la utilización del concreto de alta resistencia, se acentúan más los efectos de la utilización de inadecuados procedimientos para el muestreo y ensayo del mismo. Prácticas de ensayo sin mayor significación en los concretos convencionales pueden dar resultados erráticos o erróneos en los concretos de alta resistencia.

Para dar una idea de la importancia que se está dando a estos concretos de alta resistencia, diremos que el American Concrete Institute (ACI) en el número correspondiente al mes de abril de 1989 de su revista *Concrete International, Design and Construction*

En la Región de San Martín, hasta finales de la década de los noventa no existían estudios sobre la elaboración de concretos, estos se preparaban caseramente con dosificaciones empíricas que se medían en palanadas, obteniendo en esos entonces resistencias muy pobres de hasta 175 kg/cm<sup>2</sup>; recién por el año de 1993 debido a la exigencia del INDECOPI, se realizaron estudios sobre la dosificación para concretos de 175 y 210 kg/cm<sup>2</sup>, de ahí hasta la actualidad estos estudios fueron siendo mejorados, obteniendo así un mayor rango de seguridad al diseño. También se viene empleando concretos con  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> para la construcción de puentes; en resumen no existe estudio alguno sobre concretos de alta resistencia en esta zona, esto es un gran problema para la construcción y de existirlo sería muy útil para el desarrollo de la ingeniería en la región.

### **1.3. ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO**

El presente estudio se basa en diseñar un concreto para los estribos del puente vehicular Santa Lucia, que de acuerdo a lo diseñado estructuralmente debe alcanzar 280 Kg/cm<sup>2</sup>, con agregado del grueso del rio Huallaga y agregado fino del rio Parapapura y empleo de aditivos para el fragüe.

## II MARCO TEORICO

### 2.1. ANTECEDENTES

Concretos de alta resistencia se están usando también en puentes. La primera aplicación se realizó en Toronto en el William Bridge en 1967; puente con luces de 48 m en el que se empleó un hormigón de  $420 \text{ kg/cm}^2$ . Las resistencias fueron creciendo en sucesivas aplicaciones en puentes de Estados Unidos y últimamente se utilizaron estos hormigones de alta resistencia en las superestructuras de los puentes East Huntington, sobre el río Ohio con 274 m de luz, y Annicis, cerca de Vancouver, Columbia Británica, con 465 m de luz. En estos se utilizaron hormigones de  $560 \text{ kg/cm}^2$ .

La aplicación de concretos de alta resistencia ha tenido y tiene una gran aceptación en edificios de gran altura. En Chicago, donde es corriente la construcción de edificios de gran altura, debido al alto valor del suelo, y ante los peligros que pueden presentar las estructuras metálicas frente a los incendios, se ha optado, en muchos de ellos, por el empleo de los hormigones de alta resistencia inicial a fin de conseguir las resistencias necesarias para disminuir secciones y pesos sobre las cimentaciones. El concreto de los pisos bajos de la Water Tower Place de esa ciudad tiene una resistencia de  $630 \text{ kg/cm}^2$ . Este edificio de 79 plantas fue construido en 1976, estando 28 plantas soportadas por columnas de 1,20 m de diámetro moldeadas con ese hormigón. Con 262 m de altura sigue siendo la estructura más alta y conservará este record hasta que se termine, dentro de breve tiempo. La construcción de la 311 South Wacker Drive, también en esa ciudad, que será 26,5 m más alta. Aquí se han especificado hormigones de hasta  $840 \text{ kg/cm}^2$  para sus columnas bajas. No son estos los únicos edificios de Chicago construidos con hormigones de gran resistencia aunque de menor altura que los ya citados.

Por su parte, en la ciudad de Nueva York se han empleado hormigones de  $550 \text{ kg/cm}^2$  en las columnas de las primeras plantas del Palace Tower de 51 plantas y en el que, por el hecho de pasar de un hormigón de  $280 \text{ kg/cm}^2$  a otro de  $560 \text{ kg/cm}^2$ , se consiguió una reducción del 33% en el

diámetro de las columnas. En el 499 Park Avenue Building se ha empleado un hormigón de  $590 \text{ kg/cm}^2$ .

En el Tower Road Bridge de Washington se ha empleado últimamente un hormigón de  $620 \text{ kg/cm}^2$ . Otras aplicaciones recientes indican su uso en depósitos, garajes, recubrimientos de calzadas de puentes, vertederos de presas, estructuras mar adentro, bóvedas para tesoros de bancos y pisos industriales.

Además de la resistencia a la compresión, otras propiedades mecánicas aconsejan la selección del concreto de alta resistencia, incluyendo el módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción y la deformación lenta (creep).

La historia del uso de aditivos químicos en los hormigones se remonta al siglo pasado, tiempo después que Joseph Aspdin patentó en Inglaterra el 21 de octubre de 1824, un producto que llamó «Cemento Portland».

La primera adición de cloruro de calcio como aditivo a los hormigones fue registrada en 1873, obteniéndose su patente en 1885. Al mismo tiempo que los aceleradores, los primeros aditivos utilizados fueron hidrófugos. Igualmente, a principios de siglo se ensayó la incorporación de silicato de sodio y de diversos jabones para mejorar la impermeabilidad. En ese entonces, se comenzaron a añadir polvos finos para colorear el hormigón. Los fluatos o fluosilicatos se emplearon a partir de 1905 como endurecedores de superficie. La acción retardadora del azúcar también había sido ya observada.

En la década de los 60 se inició el uso masivo de los aditivos plastificantes, productos que hoy en día son los más utilizados en todo el mundo, debido a su capacidad para reducir el agua de amasado y por lo tanto para obtener hormigones más resistentes, económicos y durables. Obras como la central hidroeléctrica Rapel y el Aeropuerto Pudahuel son ejemplos de esa época. También se inició el uso masivo de los plastificantes en la edificación, donde como ejemplo está el edificio de la CEPAL construido en el año 1960.

En la década del 70 se introdujeron en Chile los primeros aditivos superplastificantes, revolucionando la tecnología del hormigón en esa época, por cuanto se logró realizar hormigones fluidos y de alta resistencia

para elementos prefabricados y para la construcción de elementos esbeltos y de fina apariencia.

Paralelamente, para la construcción de túneles, especialmente para las grandes centrales hidroeléctricas y la minería, se utilizó la técnica del hormigón proyectado que, a su vez, requiere de aditivos acelerantes de muy rápido fraguado para obtener una construcción eficiente y segura.

En la década de los 80 se introdujo en Chile el uso de microsílíce, material puzolánico que usado en conjunto con los aditivos superplastificantes permite obtener la máxima resistencia y durabilidad del hormigón. Con este material se confeccionan hormigones de 70 Mpa de resistencia característica, pudiendo llegar incluso a superar los 100 Mpa. Estos extraordinarios hormigones se han utilizado en Chile en pavimentos sometidos a fuerte abrasión en minería y obras hidráulicas. Situación Normativa de los Aditivos.

El primer conjunto de procedimientos y especificaciones data de 1950 y se relacionó al primer tipo de aditivo, incorporadores del aire. Ya en esta normativa se observa la necesidad de crear un grupo de procedimientos que consideran pruebas estándares, materiales controlados, equipos específicos y parámetros comparativos con una mezcla patrón sin el aditivo, para clasificar un producto como aditivo incorporador de aire.

En Europa los primeros conjuntos de normas datan de 1958 en España y en 1963 en Inglaterra. En 1962, ASTM extendió la normativa de clasificación a otros tipos de aditivos.

## **2.2. OBJETIVOS**

### **2.2.1. OBJETIVO GENERAL**

El propósito de este trabajo es presentar los resultados y experiencias obtenidos en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil UNSM, relacionados con la elaboración de mezclas de concreto de mediana resistencia, en los que a la fecha aun no se han logrado alcanzar valores por encima de los  $f_c = 250 \text{ Kg/cm}^2$  de resistencia a la compresión, determinando, también, dosificación, procedimientos de mezclado y métodos de

prueba. El parámetro que en principio se consideró más importante obtener fue la resistencia a la compresión, pero al mismo tiempo se ha tenido especial cuidado con la trabajabilidad de las mezclas.

Uno de los factores que intervendrá de manera directa para obtener la resistencia que se ha fijado es, sin lugar a dudas, la economía del concreto. Esta predicción no es fácil aseverarla, porque sabemos de antemano que se requiere una buena calidad de los materiales, así como una rigurosa calidad de la elaboración de la mezcla y del equipo adecuado para su obtención.

### **2.2.2. OBJETIVO ESPECIFICO**

Diseñar la Mezcla de Concreto con aditivos para fragüe y poder alcanzar la resistencia de 280 Kg/cm<sup>2</sup>.

### **2.3. JUSTIFICACION**

La presente Tesis funda su justificación dado que en nuestro medio es importante tener fuentes que sirvan de referencia para futuros contratistas, además la aplicación de la misma en el diseño de los pilares del Puente nos servirá para conocer en realidad si el diseño aplicado tiene los resultados que se obtuvieron en Laboratorio.

### **2.4. DELIMITACION DE LA INVESTIGACION**

Nos enfrentamos con un gran factor en contra, puesto que nuestros agregados no cuentan con todos los requisitos para ser empleados en la preparación de concretos de alta resistencia. Cabe mencionar también que no existe suficiente información a la mano sobre este tema menos aun en nuestra región.

### **2.5. MARCO TEORICO:**

#### **2.5.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION**

##### **Selección del Cemento Apropriado**

En el proceso para definir y especificar el concreto potencialmente idóneo para cada aplicación en particular, es de trascendental

importancia la definición del cemento apropiado, ya que de éste dependerán significativamente las características y propiedades de la matriz cementante y por consiguiente del concreto.

Para poder proceder de manera realista en este aspecto, es necesario primero hacer un recuento de las clases y tipos de cementos para concreto hidráulico que efectivamente se producen, o pueden producirse, en las fábricas de cemento del país, incluyendo sus respectivas características, usos indicados y normas aplicables.

Además de los cementos ahí mencionados, también está normalizado el cemento de escoria (NOM C-184) destinado principalmente a morteros de albañilería, cuya producción está discontinuada.

### **Características Esenciales del Cemento**

La influencia que el cemento portland ejerce en el comportamiento y propiedades de la pasta cementante y del concreto, derivan fundamentalmente de la composición química del clinker y de su finura de molienda. En el caso de los cementos portland-puzolana, habría que añadir a esos dos factores los referentes a las características físicas y químicas de la puzolana y el contenido de ésta en el cemento.

### **Composición Química**

Una vez que el agua y el cemento se mezclan para formar la pasta cementante, se inicia una serie de reacciones químicas que en forma global se designan como hidratación del cemento. Estas reacciones se manifiestan inicialmente por la rigidización gradual de la mezcla, que culmina con su fraguado, y continúan para dar lugar al endurecimiento y adquisición de resistencia mecánica en el producto.

Aun cuando la hidratación del cemento es un fenómeno sumamente complejo, existen simplificaciones que permiten interpretar sus efectos en el concreto. Con esto admitido, puede decirse que la composición química de un clinker portland se define

convenientemente mediante la identificación de cuatro compuestos principales, cuyas variaciones relativas determinan los diferentes tipos de cemento portland:

Compuesto Fórmula del óxido Notación abreviada

Silicato tricálcico  $3\text{CaO SiO}_2$  C3S

Silicato dicálcico  $2\text{CaO SiO}_2$  C2S

Aluminato tricálcico  $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$  C3A

Aluminoferrito tetracálcico  $4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$  C4AF

En términos prácticos se concede que los silicatos de calcio (C3S y C2S) son los compuestos más deseables, porque al hidratarse forman los silicatos hidratados de calcio (S-H-C) que son responsables de la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto. Normalmente, el C3S aporta resistencia a corto y mediano plazo, y el C2S a mediano y largo plazo, es decir, se complementan bien para que la adquisición de resistencia se realice en forma sostenida.

El aluminato tricálcico (C3A) es tal vez el compuesto que se hidrata con mayor rapidez, y por ello propicia mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo de calor de hidratación en el concreto. Asimismo, su presencia en el cemento hace al concreto más susceptible de sufrir daño por efecto del ataque de sulfatos. Por todo ello, se tiende a limitarlo en la medida que es compatible con el uso del cemento.

Finalmente, el aluminoferrito tetracálcico es un compuesto relativamente inactivo pues contribuye poco a la resistencia del concreto, y su presencia más bien es útil como fundente durante la calcinación del clinker y porque favorece la hidratación de los otros compuestos.

Conforme a esas tendencias de carácter general, durante la elaboración del clinker portland en sus cinco tipos normalizados, se

realizan ajustes para regular la presencia de dichos compuestos de la siguiente manera:

#### Tipo Característica Ajuste principal

- I Sin características especiales Sin ajustes específicos en este aspecto
- II Moderados calor de hidratación y resistencia a los sulfatos Moderado C3A
- III Alta resistencia rápida Alto C3S
- IV Bajo calor de hidratación Alto C2S, moderado C3A
- V Alta resistencia a los sulfatos Bajo C3A

Otro aspecto importante relativo a la composición química del clinker (y del cemento portland) se refiere a los álcalis, óxidos de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), cuyo contenido suele limitarse para evitar reacciones dañinas del cemento con ciertos agregados en el concreto. Esto ha dado motivo para el establecimiento de un requisito químico opcional, aplicable a todos los tipos de cemento portland, que consiste en ajustar el contenido de álcalis totales, expresados como  $\text{Na}_2\text{O}$ , a un máximo de 0.60 por ciento cuando se requiere emplear el cemento junto con agregados reactivos.

#### **Finura de molienda**

En la determinación del proceso industrial adecuado para la molienda del cemento, intervienen factores técnicos y económicos que deben conciliarse. En el aspecto técnico interesa principalmente definir el grado de finura que debe darse al cemento para que cumpla especificaciones de acuerdo con su tipo, pero sin dejar de considerar también los efectos secundarios que la finura del cemento puede inducir en el comportamiento del concreto, tanto en estado fresco como ya endurecido.

El grado de finura del cemento tiene efectos ambivalentes en el concreto. Al aumentar la finura el cemento se hidrata y adquiere resistencia con más rapidez, y también se manifiesta mayor disposición en sus partículas para mantenerse en suspensión en la

pasta recién mezclada, lo cual es ventajoso para la cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua en las mezclas de concreto. Como contrapartida, una finura más alta representa mayor velocidad en la generación de calor y mayor demanda de agua de mezclado en el concreto, cuyas consecuencias son indeseables porque se traducen en mayores cambios volumétricos del concreto y posibles agrietamientos en las estructuras.

En el caso de los cementos portland, debe dárseles una finura de molienda adecuada para cumplir con los valores especificados en cuanto a superficie específica y resistencia a compresión, salvo el tipo III en que no se reglamenta la superficie específica porque se sobreentiende que requiere mayor finura que los otros tipos para cumplir con la función de obtener alta resistencia a edad temprana. En cuanto a la finura de molienda de los cementos portland-puzolana, en la NOM C-2(5) se especifican requisitos relativos al residuo en la criba F 0.045 (No 325, ASTA) ya la superficie específica; sin embargo, la norma ASTM C 595(2) no especifica requisitos en estos aspectos y solamente requiere que se realicen e informen resultados de ambas determinaciones con cierta frecuencia. Es decir, el criterio de la norma ASTM propende a conceder a estos resultados más bien valor informativo de uniformidad que de aceptación o rechazo, lo cual puede interpretarse como que no los considera índices decisivos para juzgar la calidad del cemento portland-puzolana.

Cuando se fabrica cemento portland simple, prácticamente se muele un solo material (clinker) que es relativamente homogéneo y de dureza uniforme, de manera que al molerlo se produce una fragmentación y pulverización gradual que se manifiesta en el cemento por curvas de granulometría continua, no bastante que la molienda se prolongue para incrementar la finura como sucede en la fabricación del tipo III. En tales condiciones, la superficie específica es un buen índice de la finura del cemento y de sus efectos correspondientes en el concreto. Una consecuencia práctica de ello

es que si se comparan dos cementos portland del mismo tipo y con igual superficie específica, suele manifestarse poca diferencia en sus requerimientos de agua al elaborar el mismo concreto, aún siendo los que no se reglamenta la superficie específica porque se sobreentiende que requiere mayor finura que los otros tipos para cumplir con la función de obtener alta resistencia a edad temprana. En cuanto a la finura de molienda de los cementos portland-puzolana, en la NOM C-2(5) se especifican requisitos relativos al residuo en la criba F 0.045 (No 325, ASTM) ya la superficie específica; sin embargo, la norma ASTM C 595(2) no especifica requisitos en estos aspectos y solamente requiere que se realicen e informen resultados de ambas determinaciones con cierta frecuencia. Es decir, el criterio de la norma ASTM propende a conceder a estos resultados más bien valor informativo de uniformidad que de aceptación o rechazo, lo cual puede interpretarse como que no los considera índices decisivos para juzgar la calidad del cemento portland-puzolana.

Cuando se fabrica cemento portland simple, prácticamente se muele un solo material (clinker) que es relativamente homogéneo y de dureza uniforme, de manera que al molerlo se produce una fragmentación y pulverización gradual que se manifiesta en el cemento por curvas de granulometría continua, no obstante que la molienda se prolongue para incrementar la finura como sucede en la fabricación del tipo III. En tales condiciones, la superficie específica es un buen índice de la finura del cemento y de sus efectos correspondientes en el concreto. Una consecuencia práctica de ello es que si se comparan dos cementos portland del mismo tipo y con igual superficie específica, suele manifestarse poca diferencia en sus requerimientos de agua al elaborar el mismo concreto.

No ocurre lo mismo cuando se fabrican cementos portland-puzolana, debido a que se muelen conjuntamente dos materiales de diferente naturaleza (clinker y puzolana) con distinto grado de uniformidad y dureza, a lo cual debe añadirse la diversidad de materiales

puzolánicos y de proporciones que se emplean para fabricar esta clase de cemento.

La principal fuente de puzolanas naturales en el país son las rocas de origen volcánico, muchas de las cuales son tobas que presentan menor grado de dureza que el clinker portland. Debido a ello, cuando se les muele conjuntamente, su fragmentación y pulverización evoluciona con distinta rapidez e intensidad, dando por consecuencia la mezcla de dos materiales con diferente finura que en la determinación de la superficie específica produce resultados dudosos. Por otra parte, ya que el clinker debe molerse hasta llegar a un punto que le permita cumplir al cemento especificaciones de resistencia, resulta que en este punto la fracción puzolánicas puede alcanzar una finura muy elevada. La manifestación más evidente de ello es que los cementos elaborados con puzolanas que se comportan así en la molienda, tienden a requerir altos consumos de agua de mezclado en el concreto, con marcadas diferencias en este aspecto cuando se comparan cementos de distinta procedencia.

### **Cementos Recomendables por sus Efectos en el Concreto**

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

- 1) Las características propias de la estructura y de los equipos y procedimientos previstos para construirla.
- 2) Las condiciones de exposición y servicio del concreto, dadas por las características del medio ambiente y del medio de contacto y por los efectos previsibles resultantes del uso destinado a la estructura.

Existen diversos aspectos del comportamiento del concreto en estado fresco o endurecido, que pueden ser modificados mediante el empleo de un cemento apropiado, para adecuar los a los

requerimientos específicos dados por las condiciones de la obra. Las principales características y propiedades del concreto que pueden ser influidas y modificadas por los diferentes tipos y clases de cemento, son las siguientes:

- Cohesión y manejabilidad
- Concreto Pérdida de revenimiento fresco
- Asentamiento y sangrado
- Tiempo de fraguado
- Adquisición de resistencia mecánica
- Concreto Generación de calor endurecido
- Resistencia al ataque de los sulfatos
- Estabilidad dimensional (cambios volumétricos)
- Estabilidad química (reacciones cemento-agregados)

En algunos aspectos la influencia del cemento es fundamental, en tanto que en otros resulta de poca importancia porque existen otros factores que también influyen y cuyos efectos son más notables. No obstante, es conveniente conocer y tomar en cuenta todos los efectos previsibles en el concreto, cuando se trata de seleccionar el cemento apropiado para una obra determinada.

### **Efectos en el Concreto Fresco**

#### **Cohesión y Manejabilidad**

La cohesión y manejabilidad de las mezclas de concreto son características que contribuyen a evitar la segregación y facilitar el manejo previo y durante su colocación en las cimbras. Consecuentemente, son aspectos del comportamiento del concreto fresco que adquieren relevancia en obras donde se requiere manipular extraordinariamente el concreto, o donde las condiciones de colocación son difíciles y hacen necesario el uso de bomba o el vaciado por gravedad.

Prácticamente, la finura es la única característica del cemento que puede aportar beneficio a la cohesión y la manejabilidad de las

mezclas de concreto, por tanto, los cementos de mayor finura como el portland tipo III o los portland-puzolana serían recomendables en este aspecto. Sin embargo, existen otros factores con efectos más decisivos para evitar que las mezclas de concreto segreguen durante su manejo y colocación. Entre tales factores puede mencionarse la composición granulométrica y el tamaño máximo del agregado, el consumo unitario de cementante, los aditivos inclusores de aire y el diseño de la mezcla de concreto.

### **Pérdida de Revenimiento**

Este es un término que se acostumbra usar para describir la disminución de consistencia, o aumento de rigidez, que una mezcla de concreto experimenta desde que sale de la mezcladora hasta que termina colocada y compactada en la estructura. Lo ideal en este aspecto sería que la mezcla de concreto conservara su consistencia (o revenimiento) original durante todo este proceso, pero usualmente no es así y ocurre una pérdida gradual cuya evolución puede ser alterada por varios factores extrínsecos, entre los que destacan la temperatura ambiente, la presencia de sol y viento, y la manera de transportar el concreto desde la mezcladora hasta el lugar de colado, todos los cuales son aspectos que configuran las condiciones de trabajo en obra.

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

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

- 2) El empleo de agregados porosos en condición seca tiende a reducir pronto la consistencia inicial, por efecto de su alta capacidad para absorber agua de la mezcla.
- 3) El uso de algunos aditivos reductores de agua y superfluidificantes acelera la pérdida de revenimiento, como consecuencia de reacciones indeseables con algunos cementos.
- 4) El empleo de cementos portland-puzolana cuyo componente puzolánico es de naturaleza porosa y se muele muy finamente, puede acelerar notablemente la pérdida de revenimiento del concreto recién mezclado al producirse un resecamiento prematuro provocado por la avidéz de agua de la puzolana.

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

Es importante no confundir la pérdida normal de revenimiento que toda mezcla de concreto exhibe en la primera media hora subsecuente al mezclado, con la rápida rigidización que se produce en pocos minutos como consecuencia del fenómeno de falso fraguado en el cemento. Para evitar esto último, es recomendable seleccionar un cemento que en pruebas de laboratorio demuestre la inexistencia de falso fraguado (NOM C 132), o bien especificar al fabricante el requisito opcional de que el cemento no presente falso fraguado, tal como se halla previsto en las NOM C-1 y NOM C-2.

### **Asentamiento y sangrado**

En cuanto el concreto queda en reposo, después de colocarlo y compactarlo dentro del espacio cimbrado, se inicia un proceso natural mediante el cual los componentes más pesados (cemento y agregados) tienden a descender en tanto que el agua, componente menos denso, tiende a subir. A estos fenómenos simultáneos se les

llama respectivamente asentamiento y sangrado, y cuando se producen en exceso se les considera indeseables porque provocan cierta estratificación en la masa de concreto, según la cual se forma en la superficie superior una capa menos resistente y durable por su mayor concentración de agua. Esta circunstancia resulta particularmente inconveniente en el caso de pavimentos de concreto y de algunas estructuras hidráulicas cuya capa superior debe ser apta para resistir los efectos de la abrasión mecánica e hidráulica.

Los principales factores que influyen en el asentamiento y el sangrado del concreto son de orden intrínseco, y se relacionan con exceso de fluidez en las mezclas, características deficientes de forma, textura superficial y granulometría en los agregados (particularmente falta de finos en la arena) y reducido consumo unitario y/o baja finura en el cementante. Consecuentemente, las medidas aplicables para moderar el asentamiento y el sangrado consisten en inhibir la presencia de dichos factores, para lo cual es pertinente:

- 1) Emplear mezclas de concreto con la consistencia menos fluida que pueda colocarse satisfactoriamente en la estructura, y que posea el menor contenido unitario de agua que sea posible, inclusive utilizando aditivos reductores de agua si es necesario.
- 2) Utilizar agregados con buena forma y textura superficial y con adecuada composición granulométrica; en especial, con un contenido de finos en la arena que cumpla especificaciones en la materia.
- 3) Ensayar el uso de un aditivo inclusor de aire, particularmente cuando no sea factible cumplir con la medida anterior.
- 4) Incrementar el consumo unitario de cemento y/o utilizar un cemento de mayor finura, como el portland tipo III o los portland-puzolana. En relación con esta última medida, es un hecho bien conocido la manera como se reduce la velocidad de sangrado de la pasta al aumentar la superficie específica del cemento.

Sin embargo, existe el efecto opuesto ya mencionado en el sentido de que un aumento de finura en el cemento tiende a incrementar el requerimiento de agua de mezclado en el concreto. Por tal motivo, es preferible aplicar esta medida limitadamente seleccionando el cemento apropiado por otras razones más imperiosas y, si se presenta problema de sangrado en el concreto, tratar de corregirlo por los otros medios señalados, dejando el cambio de cemento por otro más fino como última posibilidad.

Para fines constructivos se considera que el tiempo medido desde que se mezcla el concreto hasta que adquiere el fraguado inicial, es el lapso disponible para realizar todas las operaciones inherentes al colado hasta dejar el concreto colocado y compactado dentro del espacio cimbrado. De esta manera, este lapso previo al fraguado inicial adquiere importancia práctica pues debe ser suficientemente amplio para permitir la ejecución de esas operaciones en las condiciones del trabajo en obra, pero no tan amplio como para que el concreto ya colocado permanezca demasiado tiempo sin fraguar, ya que esto acarrearía dificultades de orden técnico y económico.

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

- a) Las mezclas de concreto de alto consumo de cemento que las de bajo consumo.
- b) Las mezclas de concreto de cemento portland simple que las de cemento portland-puzolana las mezclas de concreto de cemento portland tipo III que las de portland tipo II.

Sin embargo, normalmente estas variaciones en el tiempo de fraguado son de poca significación práctica y no justifican hacer un cambio de cemento por este solo concepto.

Influencia del cambio de cemento en el proceso de fraguado de la seguido por medio de su resistencia eléctrica. Otro aspecto relacionado con la influencia del cemento sobre el tiempo de fraguado del concreto, se refiere al uso que frecuentemente se hace de aditivos con el fin de alargar ese tiempo en situaciones que lo requieren, como es el caso de los colados de grandes volúmenes de concreto, particularmente cuando se realizan en condiciones de alta temperatura ambiental. Hay antecedentes en el sentido de que algunos aditivos retardadores del fraguado pueden reaccionar adversamente con ciertos compuestos del cemento, ocasionando una rigidez prematura en la mezcla que dificulta su manejo. Para prevenir este inconveniente, es recomendable verificar mediante pruebas efectuadas anticipadamente, el comportamiento del concreto elaborado con el cemento y el aditivo propuestos.

### **Efectos en el Concreto Endurecido**

#### **Adquisición de Resistencia Mecánica**

Conforme se expuso previamente, la velocidad de hidratación y adquisición de resistencia de los diversos tipos de cemento portland depende básicamente de la composición química del clinker y de la finura de molienda. De esta manera, un cemento con alto contenido de silicato tricálcico (C3S) y elevada finura puede producir mayor resistencia a corto plazo, y tal es el caso del cemento tipo III de alta resistencia rápida. En el extremo opuesto, un cemento con alto contenido de silicato dicálcico (C2S) y finura moderada debe hacer más lenta la adquisición inicial de resistencia y consecuente generación de calor en el concreto, siendo este el caso del cemento tipo IV. Dentro de estos límites de comportamiento, en cuanto a la forma de adquirir resistencia, se ubican los otros tipos de cemento portland.

una reacción de carácter exotérmico. Si el calor que se genera en el seno de la masa de concreto no se disipa con la misma rapidez con que se produce, queda un remanente que al acumularse incrementa la temperatura de la masa.

El calentamiento del concreto lo expande, de manera que posteriormente al enfriarse sufre una contracción, normalmente restringida, que genera esfuerzos de tensión capaces de agrietarlo. La posibilidad de que esto ocurra tiende a ser mayor a medida que aumenta la cantidad y velocidad de generación de calor y que disminuyen las facilidades para su pronta disipación. Es decir, el riesgo de agrietamiento de origen térmico se incrementa cuando se emplea un cemento de alta y rápida hidratación, como el tipo III, y las estructuras tienen gran espesor. Obviamente, la simultaneidad de ambos factores representa las condiciones pésimas en este aspecto

Consecuentemente con lo anterior, una de las medidas recomendables cuando se trata de construir estructuras voluminosas de concreto consiste en utilizar cementos que comparativamente generen menos calor de hidratación. En la Tabla 1.6 se reproducen datos del Informe ACI 225 R (16) relativos al calor de hidratación calculado para diversos tipos de cementos portland actuales.

En lo referente a los cementos portland-puzolana, su calor de hidratación depende del tipo de clinker que contiene y de la actividad y proporción de su componente puzolánico. De manera general se dice que una puzolana aporta aproximadamente la mitad del calor que genera una cantidad equivalente de cemento. Por consiguiente, cuando se comparan en este aspecto dos cementos, uno portland y otro portland-puzolana elaborados con el mismo clinker, puede esperarse en el segundo una disminución del calor de hidratación por una cantidad del orden de la mitad del que produciría el clinker sustituido por la puzolana, si bien es recomendable verificarlo mediante prueba directa porque hay casos en que tal disminución es menor de lo previsto.

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

De acuerdo con las tendencias mostradas puede considerarse que, para obtener el beneficio adecuado de resistencia de cada tipo y clase de cemento en función de sus características, lo conveniente es especificar la resistencia de proyecto del concreto a edades que sean congruentes con dichas características. Consecuentemente, estas edades pueden ser como sigue:

Tipo de cemento que se emplea en el concreto la resistencia de proyecto      Edad recomendable para especificar

Portland III 14 ó 28 días

Portland I, II y V 28 ó 90 días

Portland-puzolana 90 días, o más

En ausencia de cemento tipo III, cuya disponibilidad en el mercado local es limitada, puede emplearse cemento tipo I junto con un aditivo acelerante, previa verificación de su compatibilidad y efectos en el concreto, tanto en lo que se refiere a su adquisición de resistencia como a la durabilidad potencial de la estructura. También es posible adelantar la obtención de la resistencia deseada en el concreto, proporcionando la mezcla para una resistencia potencial más alta, ya sea aumentando el consumo unitario de cemento, o empleando un aditivo reductor de agua para disminuir la relación agua/cemento.

### **Generación de Calor**

En el curso de la reacción del cemento con el agua, o hidratación del cemento, se produce desprendimiento de calor porque se trata de

Para establecer un criterio de clasificación de los cementos portland en cuanto a generación de calor, es pertinente definir ciertos límites. Así, haciendo referencia al calor de hidratación a 7 días de edad, en el portland tipo IV que por definición es de bajo calor puede suponerse alrededor de 60 cal/g; en el extremo opuesto se ubica el portland tipo III con un calor del orden de 100 cal/g, ya medio intervalo se sitúa el portland tipo II sin requisitos especiales con un calor cercano a 80 cal/g, y al cual se le considera de moderado calor de hidratación.

En las condiciones actuales de la producción local, solamente es factible disponer de los cementos portland tipo II y portland-puzolana, para las estructuras de concreto en que se requiere moderar el calor producido por la hidratación del cemento. Sobre esta base, y considerando dos grados de moderación.

### **Resistencia al ataque de los sulfatos**

El concreto de cemento portland es susceptible de sufrir daños en distinto grado al prestar servicio en contacto con diversas sustancias químicas de carácter ácido o alcalino.

Acidos inorgánicos:

Clorhídrico, fluorhídrico, nítrico, sulfúrico Rápido

Fosfórico Moderado

Carbónico Lento

Acidos orgánicos:

Acético, fórmico, lácteo Rápido

Tánico Moderado

Oxálico, tartárico Despreciable

Soluciones alcalinas:\*

Hidróxido de sodio > 20\ Moderado

Hidróxido de sodio 10-20\, hipoclorito de sodio Lento

Hidróxido de sodio < 10\, hidróxido de amonio Despreciable

Soluciones salinas:

Cloruro de aluminio Rápido

Nitrato de amonio, sulfato de amonio, sulfato de sodio, sulfato de magnesio, sulfato de calcio Moderado

Cloruro de amonio, cloruro de magnesio, cianuro de sodio Lento

Cloruro de calcio, cloruro de sodio, nitrato de zinc, cromato de sodio Despreciable

Diversas:

Bromo (gas), solución de sulfito Moderado

Cloro (gas), agua de mar, agua blanda - Lento

Amonio (liquido) Despreciable

\*Las soluciones alcalinas pueden ocasionar reacciones del tipo álcaliagregado, en concretos con agregados reactivos con los álcalis.

En cuanto a la selección del cemento apropiado, se sabe que el aluminato tricálcio (C3A) es el compuesto del cemento portland que puede reaccionar con los sulfatos externos para dar Bulfoaluminato de calcio hidratado cuya formación gradual se acompaña de expansiones que des integran paulatinamente el concreto. En consecuencia, una manera de inhibir esa reacción consiste en emplear cementos portland con moderado o bajo contenido de C3A, como los tipos II y V, seleccionados de acuerdo con el grado de concentración de los sulfatos en el medio de contacto. Otra posibilidad consiste en utilizar cementos portland-puzolana de calidad específicamente adecuada para este fin, ya que existe evidencia que algunas puzolanas como las cenizas volante.

### **Estabilidad volumétrica**

Una característica indeseable del concreto hidráulico es su predisposición a manifestar cambios volumétricos, particularmente contracciones, que suelen causar agrietamientos en las estructuras. Para corregir este inconveniente, en casos que lo ameritan, se han

desarrollado los cementos expansivos que se utilizan en los concretos de contracción compensada (22), pero que todavía no se producen localmente.

### **Estabilidad Química**

De tiempo atrás se reconoce que ningún arqueado es completamente inerte al permanecer en contacto con la pasta de cemento, debido a los diversos procesos y reacciones químicas que en distinto grado suelen producirse entre ambos(16). Algunas de estas reacciones son benéficas porque , contribuyen a la adhesión del agregado con la pasta, mejorando las j propiedades mecánicas del concreto, pero otras son detrimentales porque generan expansiones internas que causan daño y pueden terminar por destruir al concreto.

Las principales reacciones químicas que ocurren en el concreto tienen un participante común representado por los álcalis, óxidos de sodio y de potasio, que normalmente proceden del cemento pero eventualmente pueden provenir también de algunos agregados (24). Por tal motivo, estas reacciones se designan genéricamente como álcali-agregado, y a la fecha se le conocen tres modalidades que se distinguen por la naturaleza de las rocas y minerales que comparten el fenómeno:

Reacciones deletéreas

Alcali-sílice

Alcali-agregado Alcali-silicato

Alcali-carbonato

## **AGUA PARA CONCRETO**

### **USOS DEL AGUA**

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

construidas. En el primer caso es de ISO interno como agua de mezclado, y en el segundo se emplea exteriormente cuando el concreto se cura con agua. Aunque en estas aplicaciones las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear igual de una sola calidad en ambos casos. Así, normalmente, en las especificaciones para concreto se hace referencia en primer término a los requisitos que debe cumplir el agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son más importantes, y después se indica que el agua que se utilice para curarlo debe ser del mismo origen, o similar, para evitar que se subestime esta segunda aplicación y se emplee agua de curado con características inadecuadas.

En determinados casos se requiere, con objeto de disminuir la temperatura del concreto al ser elaborado, que una parte del agua de mezclado se administre en forma de hielo molido o en escamas.

En tales casos, el agua que se utilice para fabricar el hielo debe satisfacer las mismas especificaciones de calidad del agua de mezclado.

Como componente del concreto convencional, el agua suele representar aproximadamente entre 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo de agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera (38). Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos significativos en el concreto.

Una práctica bastante común consiste en utilizar el agua potable para fabricar concreto sin ninguna verificación previa, suponiendo que toda agua que es potable también es apropiada para elaborar concreto; sin embargo, hay ocasiones en que esta presunción no se cumple, porque hay aguas potables aderezadas con citratos o con pequeñas cantidades de azúcares, que no afectan su potabilidad pero pueden hacerlas inadecuadas para la fabricación de concreto

(73). En todo caso, la consideración contraria pudiera ser más conveniente, es decir, que el agua para la elaboración del concreto no necesariamente requiere ser potable, aunque sí debe satisfacer determinados requisitos mínimos de calidad.

## **REQUISITOS DE CALIDAD**

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

### **Características físico-químicas**

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

Cuando el agua de uso previsto es potable, cabe suponer en principio que sus características físico-químicas son adecuadas para hacer concreto, excepto por la posibilidad de que contenga alguna sustancia saborizante, lo cual puede detectarse fácilmente al probarla. Así, por ejemplo, el USBR (15) considera que si el agua es clara, y no tiene sabor dulce, amargo o salobre, puede ser usada como agua de mezclado o de curado para concreto, sin necesidad de mayores pruebas.

Si el agua no procede de una fuente de suministro de agua potable, se puede juzgar su aptitud como agua para concreto mediante los requisitos físico-químicos contenidos en la Norma Oficial Mexicana NOM C-122(46), recomendados especialmente para aguas que no son potables. Para el caso específico de la fabricación de elementos de concreto preesforzado, hay algunos requisitos que son más estrictos en cuanto al límite tolerable de ciertas sales que pueden afectar al concreto y al acero de preesfuerzo, lo cual también se contempla en las NOM C-252(47) y NOM C-253(48).

### **Efectos en el concreto**

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

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

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

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

Las pruebas de tiempo de fraguado pueden efectuarse en pasta de cemento, según los métodos NOM C-58 o C-59 (ASTM C 266 o C 191), o bien en mezclas de concreto conforme al método NOM C-177 (ASTM C 403). Para llevar a cabo las pruebas de resistencia a compresión, se emplean normalmente especímenes de mortero, elaborados y ensayados de acuerdo con el método NOM C-61 (ASTM C 109), aunque también es posible utilizar especímenes de concreto, elaborados y ensayados conforme a los métodos NOM C-159 y C-83 (ASTM C 192 y C 39).

## **VERIFICACION DE CALIDAD**

La verificación de la calidad del agua de uso previsto para elaborar el concreto, debe ser una práctica obligatoria antes de iniciar la construcción de obras importantes, como es el caso de las centrales para generar energía eléctrica. Sin embargo, puede permitirse que esta verificación se omita en las siguientes condiciones:

- 1) El agua procede de la red local de suministro para uso doméstico y no se le aprecia olor, color ni sabor; no obstante que no posea antecedentes de uso en la fabricación de concreto.
- 2) El agua procede de cualquier otra fuente de suministro que cuenta con antecedentes de uso en la fabricación de concreto con buenos resultados, y no se le aprecia olor, color ni sabor.

Por el contrario, la verificación de calidad del agua, previa a su empleo en la fabricación de concreto, debe ser un requisito ineludible en los siguientes casos:

- 3) El agua procede de la red local de suministro para uso doméstico y, aunque posee antecedentes de uso en la fabricación de concreto, se le aprecia cierto olor, color o sabor.
- 4) El agua procede de cualquier fuente de suministro sin antecedentes de uso en la fabricación de concreto, aunque no manifieste olor, color ni sabor.

Cuando la obra se localiza en las inmediaciones de un centro de población, es muy probable que exista abastecimiento de agua en la localidad, del cual pueda disponerse para fabricar el concreto. Al referirse a esta red de suministro público, es pertinente distinguir entre el agua para uso doméstico y para uso industrial. La primera por lo general reúne condiciones físico-químicas de potabilidad, salvo eventuales fallas en el aspecto bacteriológico que pueden hacerla impropia para el consumo humano, pero no afectan al concreto. El agua para uso industrial por lo común no es potable, no sólo en el aspecto bacteriológico sino también en el aspecto físico-químico, pues frecuentemente proviene del tratamiento de aguas negras o es agua reciclada de procesos industriales, por lo cual puede contener sustancias dañinas al concreto. Por tal motivo, siempre es necesario verificar la calidad del agua de uso industrial, a menos que tenga antecedentes de uso con buen éxito en la fabricación de concreto.

Hay otras fuentes de suministro de agua para elaborar el concreto en sitios alejados de los centros de población, como son los pozos, manantiales corrientes superficiales (arroyos y ríos), almacenamientos naturales (lagos lagunas) y almacenamientos creados artificialmente (vasos de presas). Salvo que existan antecedentes de uso del agua en la fabricación de concreto con buenos resultados, debe verificarse invariablemente su calidad antes de emplearla.

En cuanto al agua de mar, su principal inconveniente al ser juzgada como agua de mezclado para concreto, consiste en su elevado contenido de cloruros (más de 20000 ppm) que la convierten en un medio altamente corrosivo para el acero de refuerzo, y esto la hace inaceptable para su empleo en el concreto reforzado. No obstante, en determinados casos se ha llegado a emplear agua de mar para la elaboración de concreto destinado a elementos no reforzados. Un ejemplo local de ello lo constituyen las escolleras de algunas centrales termoeléctricas situadas a la orilla del mar, construidas mediante el apilamiento de grandes bolsas de plástico rellenas in situ con un mortero fluido bombeable, hecho a base de arena, cemento portland tipo 110 tipo V y eventualmente, agua de mar en vez de agua dulce. En casos así, es necesario verificar si el tiempo de fraguado del mortero o del concreto, con el cemento de uso previsto, es adecuado para las condiciones de obra ya que el exceso de cloruros en el agua de mar tiende a acelerar el fraguado.

En la construcción de centrales eléctricas, y en especial hidroeléctricas, es bastante común disponer del agua procedente de corrientes fluviales que pueden contener sustancias contaminantes de diversa índole. La manera recomendable de proceder en estos casos, consiste en obtener muestras del agua con suficiente anticipación al inicio de las obras, con objeto de verificar sus características fisicoquímicas y sus efectos en el concreto. Estas muestras deben colectarse en diversas épocas del año, para abarcar todas las posibles condiciones de suministro, y del resultado de su verificación debe poder concluirse si el agua es aceptable en su estado original, o si requiere ser sometida a algún tratamiento previo de sedimentación, filtración, etc.

Posteriormente, en el curso del suministro, debe implantarse un plan de verificación rutinaria, mediante muestreo y ensaye periódico, de acuerdo con los programas de construcción. El muestreo del agua para esta finalidad, debe conducirse según el método de la NOM C-

277, y el análisis correspondiente debe realizarse conforme a la NOM C-283.

### **AGREGADOS DEL CONCRETO HIDRAULICO**

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

### **AGREGADOS PARA CONCRETOS DE DIVERSO PESO UNITARIO**

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

Si se representa el nivel aproximado que ocupan en la escala de pesos unitarios, cinco diferentes clases de concreto cuyas designaciones, pesos unitarios y usos comunes se indican a continuación.

Esta variedad de usos da lugar a una primera clasificación de los agregados de acuerdo con su peso específico y correspondiente aptitud para producir concretos de las clases indicadas. En la Tabla 1.10 se incluyen los principales tipos de agregados que se utilizan en dichos concretos.

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

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

Cada una de estas variedades del concreto de peso normal tiene, en algún aspecto, requisitos propios para sus agregados; sin embargo, los requisitos básicos y más generales son los correspondientes a los agregados para el concreto convencional, porque abarcan el campo de aplicación de mayor amplitud. Además, los aspectos que en la Sección 2 se mencionan acerca del comportamiento geológico del concreto, tanto en estado fresco como endurecido, son más bien aplicables al concreto convencional porque se elabora con pastas de cemento de consistencia plástica. Por todo ello, conviene centrar el interés en los agregados de peso normal destinados al concreto convencional.

### **CLASIFICACION DE LOS AGREGADOS DE PESO NORMAL**

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

#### **Por el origen de las rocas**

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

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

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

Las rocas sedimentarias, como su nombre lo indica, son el resultado del proceso de transporte, depósito y eventual litificación, sobre la corteza terrestre, de los productos de intemperismo y erosión de otras rocas preexistentes; proceso que frecuentemente se produce bajo el agua, pero también puede ocurrir en el ambiente atmosférico. Su grado de consolidación puede ser muy variable, desde un estado muy compacto en antiguos sedimentos, hasta un estado prácticamente sin consolidar en sedimentos cuyo proceso es relativamente reciente o no existen condiciones favorables para su consolidación. De acuerdo con el tamaño de sus partículas, estos sedimentos no consolidados se identifican como gravas, arenas, limos y arcillas.

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

Las rocas en general se hallan constituidas por minerales cuyas características permiten reconocerlos y cuantificarlos. Aunque hay algunos casos de rocas constituidas por un solo mineral, la mayoría se hallan compuestas por varios minerales. A medida que la roca se fragmenta y las partículas se reducen de tamaño, resulta más difícil identificarla. Así, en los fragmentos con tamaño de grava se conservan la variedad de minerales, la textura y la estructura de la roca original; en las partículas de arena de mayor tamaño todavía es posible que se conserven e identifiquen las características mineralógicas y estructurales de la roca de origen, pero en los granos de arena de menor tamaño solamente resulta factible la identificación de los minerales.

Para definir el origen geológico y la composición mineralógica de las rocas que integran los agregados, y para hacer una estimación preliminar de su calidad físico-química, se acostumbra realizar el examen petrográfico (NOM C-265/ASTM C 295) aplicando una nomenclatura normalizada como la ASTM C 294(41). Con base en ésta, se formaron las tablas 1.12 y 1.13; en la primera se incluye una relación de los principales minerales que de ordinario se hallan presentes en las rocas que son fuente de agregados de peso normal, y en la segunda se hace un resumen de la composición mineralógica y otras características comunes de dichas rocas.

### **Por el tamaño de las partículas**

Se ha dicho que el concreto hidráulico es la aglutinación mediante una pasta de cemento, de un conjunto de partículas de roca cuyas dimensiones comprenden desde micras hasta centímetros. Para el caso del concreto convencional, en que se utilizan mezclas de consistencia plástica, la experiencia ha demostrado la conveniencia que dentro de ese intervalo dimensional se hallen representados todos los tamaños de partículas y que, una vez que se ha establecido mediante pruebas la composición del concreto con determinados agregados, debe mantenerse razonablemente uniforme esta composición durante la producción, a fin de que las características y

propiedades del concreto resulten dentro de un marco de variación predecible.

Para mantener una adecuada uniformidad en la granulometría de los agregados durante su utilización en la elaboración del concreto, el procedimiento consiste en dividirlos en fracciones que se dosifican individualmente. Puesto que el grado de uniformidad asequible está en función del intervalo abarcado por cada fracción, lo deseable es dividir el conjunto de partículas en el mayor número de fracciones que sea técnica, económica y prácticamente factible.

### **ADITIVOS**

Aditivos son aquellas sustancias o productos (inorgánicos o orgánicos) que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento. (Aditivo " Adición.)

#### **Características y Propiedades Principales**

Su influencia se determina de acuerdo al agua y a la cantidad del agua que es necesario añadir a la mezcla para obtener la docilidad y compactación necesaria. Los áridos de baja densidad son poco resistentes y porosos.

Nos sirven para:

- Una mejor trabajabilidad.
- Para regular el proceso de fraguado del hormigón.

Son útiles para:

- Concretos Secos.
- Concretos bombeados.
- Concretos vistos.
- Concretos fuertemente armados.

No se deben utilizar en:

- Concretos blandos.
- Concretos fluidos.

### Tipos o Clases

Existen tres tipos o clases de aditivos: Plastificantes, Fluidificantes y Superfluidificantes.

**Plastificantes:** Estos son los sólidos disueltos en H<sub>2</sub>O, sus propiedades permiten más trabajabilidad, disminuye la relación entre el agua y el cemento y disminuye la segregación cuando el transporte es muy largo o cuando hay grandes masas de hormigón. Estos pueden ser usados: Inyectados, proyectados, o pretensados.

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

Estos pueden ser utilizados en hormigones bombeados, largos transportes, hormigones proyectados con armaduras.

### 2.5.2. MARCO TEORICO O FUNDAMENTACION TEORICA DE LA INVESTIGACION

Los cementantes que se utilizan para la fabricación del concreto son hidráulicos, es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, aún estando inmersos en ella, característica que los distingue de los cementantes aéreos que solamente fraguan y endurecen en contacto con el aire.

Los principales cementantes hidráulicos son las cales y cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el grado de poder cementante y los requerimientos específicos de las aplicaciones, estos cementantes pueden utilizarse en forma individual o combinados entre sí.

Al referirse específicamente al concreto convencional, como se emplea en la construcción, resultan excluidas las cales hidráulicas, por lo cual solo procede considerar los cementos, las escorias, los materiales puzolánicos y sus respectivas combinaciones.

Por otra parte, bajo la denominación genérica de cementos hidráulicos existen diversas clases de cemento con diferente composición y propiedades, en cuya elaboración intervienen normalmente las materias primas.

El cemento no es lo mismo que el concreto, es uno de los ingredientes que se usan en él. Sus primeros usos datan de los inicios de 1800 y, desde entonces, el cemento portland se ha convertido en el cemento más usado en el mundo. Su inventor le dio ese nombre porque el concreto ya curado es del mismo color que una piedra caliza que se obtiene cerca de Portland, Inglaterra. Este tipo de cemento es una mezcla de caliza quemada, hierro, sílice y alúmina, y las fuentes más comunes donde se pueden obtener estos materiales son el barro, la piedra caliza, esquisto y mineral de hierro. Esta mezcla se mete a un horno de secar y se pulveriza hasta convertirlo en un fino polvo, se empaca y se pone a la venta.

Existen cinco tipos de cemento portland, cada uno con características físicas y químicas diferentes.

### **2.5.3. MARCO CONCEPTUAL**

Todos los cementos para concreto hidráulico que se producen en México son elaborados a base de clinker portland, por cuyo motivo se justifica centrar el interés en éste y en los cementos a que da lugar.

#### **2.5 3.1 Cementos portland simples, mezclados y expansivos**

Para la elaboración del clinker portland se emplean materias primas capaces de aportar principalmente cal y sílice, y accesoriamente óxido de fierro y alúmina, para lo cual se seleccionan materiales calizos y arcillosos de composición adecuada. Estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan íntimamente hasta su completa homogeneización, ya sea en seco o en húmedo.

La materia prima así procesada, ya sea en forma de polvo o de lodo, se introduce en hornos rotatorios donde se calcina a temperaturas del orden de 1400 C, hasta que alcanza un estado de fusión incipiente. En este estado se producen las reacciones químicas requeridas y el material se subdivide y

aglutina en fragmentos no mayores a 6 cm, cuya forma se regulariza por efecto de la rotación del horno. A este material fragmentado, resultante de la calcinación, se le denomina clinker portland.

Una vez frío, el clinker se muele conjuntamente con una reducida proporción de yeso, que tiene la función de regular el tiempo de fraguado, y con ello se obtiene el polvo fino de color gris que se conoce como cemento portland simple. Además durante, la molienda, el clinker puede combinarse con una escoria o un material puzolánico para producir un cemento mezclado portland-escoria o portland-puzolana, o bien puede molerse con determinados materiales de carácter sulfo-calcio-aluminoso para obtener los llamados cementos expansivos.

También es factible incorporar aditivos durante la molienda del clinker, siendo de uso frecuente los auxiliares de molienda y los inclusores de aire. Estos últimos dan por resultado los cementos inclusores de aire para concreto, cuyo empleo es bastante común en EUA pero no se acostumbra en nuestro medio

De conformidad con lo anterior, a partir del clinker portland es posible fabricar tres principales grupos o clases de cementos hidráulicos para la elaboración de concreto:

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

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

Finalmente, los cementos del tercer grupo son más recientes y aún no se producen regularmente en nuestro país, si bien su utilización tiende a aumentar en EUA para las llamadas estructuras de concreto de contracción compensada. Así, mediante ajustes en la composición química del clinker, o por medio de la combinación con otros cementantes, o por la adición al clinker de ciertos materiales especiales, es factible obtener cementos con características y propiedades adecuadas para cada uso específico del concreto hidráulico.

### **2.5.3.2 Otros cementos con clinker portland**

Además de los cementos acotados al pie de las Tablas 1.2 y 1.3, en el país se producen otros cementos a base de clinker portland para usos diferentes a la fabricación de concreto hidráulico convencional, siendo principalmente los que a continuación se mencionan.

### **2.5.3.3 Cemento blanco**

El clinker portland para este cemento se produce seleccionando materias primas con muy bajas proporciones, e incluso nulas, de hierro y manganeso. En nuestro país se le fabrica normalmente conforme a NOM C-1(4) y de acuerdo con su composición química puede ser clasificado como portland tipo III. Se le destina principalmente a trabajos arquitectónicos y decorativos, en donde no se requieren grandes consumos de cemento, ya que su precio es relativamente alto.

#### **2.5.3.4 Cemento para pozo petrolero**

Para las lechadas, morteros y concretos que se emplean en los trabajos de perforación y mantenimiento de pozos petroleros y geotérmicos, deben utilizarse cementantes cuyos tiempos de fraguado sean adecuados a las condiciones de colocación ya las elevadas temperaturas y presiones que en el sitio existan. Con esta finalidad, en las Especificaciones API 10<sup>a</sup> (7) se reglamentan seis diferentes clases de cemento, aplicables de acuerdo con la profundidad de colocación en el pozo. En el país se produce en forma limitada un cemento para esta aplicación, conforme a la

NOM C 315. A falta de este cemento, en condiciones poco severas puede suplirse con un cemento portland tipo II de producción normal, junto con aditivos reguladores del fraguado añadidos en obra. Por el contrario, en condiciones muy rigurosas de presión y temperatura, puede ser necesario emplear cementos distintos al portland como los que eventualmente se elaboran en EUA (16) mediante una mezcla de silicato dicálcico y sílice finamente molida.

#### **2.5.3.5 Cemento de mampostería**

El cemento de mampostería se emplea en la elaboración de morteros para aplanados, junto de bloques y otros trabajos similares, por cuyo motivo también se le denomina cemento de albañilería. Dos características importantes de este cemento son su plasticidad y su capacidad para retener el agua de mezclado. Tomando en cuenta que sus requisitos de resistencia son comparativamente menores que los del portland, esas características suelen fomentarse con el uso de materiales inertes tales como caliza y arcilla, que pueden molerse conjuntamente con el clinker o molerse por separado y mezclarse con el cemento portland ya elaborado. La Especificación ASTM C 91(8) considera tres tipos de

cemento de mampostería (N, S y M) con tres diferentes niveles de resistencia. En nuestro país se produce normalmente un solo tipo de este cemento conforme a los requisitos son equiparables a los del cemento de nivel inferior de resistencia (tipo N) reglamentado por la ASTM.

#### **2.5.4. MARCO HISTORICO**

El concreto es un material durable y resistente pero, dado que se trabaja en su forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular para exteriores.

Ya sea que adquiera la forma de un camino de entrada amplio hacia una casa moderna, un paso vehicular semicircular frente a una residencia, o una modesta entrada delantera, el concreto proporciona solidez y permanencia a los lugares donde vivimos.

En la forma de caminos y entradas, el concreto nos conduce a nuestro hogar, proporcionando un sendero confortable hacia la puerta.

Además de servir a nuestras necesidades diarias en escalones exteriores, entradas y caminos, el concreto también es parte de nuestro tiempo libre, al proporcionar la superficie adecuada para un patio.

El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una revoltura de concreto, se introduce de manera simultánea un quinto participante representado por el aire.

La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada

con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

La representación común del concreto convencional en estado fresco, lo identifica como un conjunto de fragmentos de roca, globalmente definidos como agregados, dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Esto significa que en una mezcla así hay muy poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el concreto ya endurecido.

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

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

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

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

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

De la esmerada atención a estos tres aspectos básicos, depende sustancialmente la capacidad potencial del concreto, como material de construcción, para responder adecuadamente a las acciones resultantes de las condiciones en que debe prestar servicio. Pero esto, que sólo representa la previsión de emplear el material potencialmente adecuado, no basta para obtener estructuras resistentes y durables, pues requiere conjugarse con el cumplimiento de previsiones igualmente eficaces en cuanto al diseño, especificación, construcción y mantenimiento de las propias estructuras.

## **2.6 HIPOTESIS A DEMOSTRAR**

Mediante el Método del ACI se trata de lograr una Resistencia a la Compresión de 280 Kg/cm<sup>2</sup>.

### III MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. MATERIALES

El desarrollo de la presente Tesis se emplearon los siguientes materiales:

**Materiales Bibliográfico:** Libros referentes al tema contemplado en el marco teórico, apuntes de clase del curso de actualización académica

**Material de Escritorio:** Cartuchos de Tinta para Impresora, papel A4, lapiceros, etc.

**Equipo:** Computadora Pentium IV, Impresora Epson

#### **Materiales de Campo**

Mezcladora

Briquetas para realizar los ensayos

Aditivo

Cemento y agregados

Máquina para rotura de probetas

#### 3.2 METODOLOGIA

La metodología empleada tiene carácter básicamente aplicativo de los conocimientos, recibidos en el Pregrado, como el método del ACI.

Este procedimiento considera nueve pasos para el proporcionamiento de mezclas de concreto normal, incluidos el ajuste por humedad de los agregados y la corrección a las mezclas de prueba.

1. El primer paso contempla la selección del revenimiento, cuando este no se especifica el informe del ACI incluye una tabla en la que se recomiendan diferentes valores de revenimiento de acuerdo con el tipo de construcción que se requiera. Los valores son aplicables cuando se emplea el vibrado para compactar el concreto, en caso

contrario dichos valores deben ser incrementados en dos y medio centímetros.

2. La elección del tamaño máximo del agregado, segundo paso del método, debe considerar la separación de los costados de la cimbra, el espesor de la losa y el espacio libre entre varillas individuales o paquetes de ellas. Por consideraciones económicas es preferible el mayor tamaño disponible, siempre y cuando se utilice una trabajabilidad adecuada y el procedimiento de compactación permite que el concreto sea colado sin cavidades o huecos. La cantidad de agua que se requiere para producir un determinado revenimiento depende del tamaño máximo, de la forma y granulometría de los agregados, la temperatura del concreto, la cantidad de aire incluido y el uso de aditivos químicos.
3. Como tercer paso, el informe presenta una tabla con los contenidos de agua recomendables en función del revenimiento requerido y el tamaño máximo del agregado, considerando concreto sin y con aire incluido
4. Como cuarto paso, el ACI proporciona una tabla con los valores de la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días que se requiera, por supuesto la resistencia promedio seleccionada debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con valores bajos.
5. El contenido de cemento se calcula con la cantidad de agua, determinada en el paso tres, y la relación agua cemento, obtenida en el paso cuatro; cuando se requiera un contenido mínimo de cemento o los requisitos de durabilidad lo especifiquen, la mezcla se deberá basar en un criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento, esta parte constituye el quinto paso del método.

6. Para el sexto paso del procedimiento el ACI maneja una tabla con el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto, los valores dependen del tamaño máximo nominal de la grava y del módulo de finura de la arena. El volumen de agregado se muestra en metros cúbicos con base en varillado en seco para un metro cúbico de concreto, el volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por el peso volumétrico de varillado en seco.
7. Hasta el paso anterior se tienen estimados todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se calcula por diferencia
8. El octavo paso consiste en ajustar las mezclas por humedad de los agregados, el agua que se añade a la mezcla se debe reducir en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir, humedad total menos absorción.
9. El último paso se refiere a los ajustes a las mezclas de prueba, en las que se debe verificar el peso volumétrico del concreto, su contenido de aire, la trabajabilidad apropiada mediante el revenimiento y la ausencia de segregación y sangrado, así como las propiedades de acabado

### **3.2.1 UNIVERSO MUESTRA POBLACION**

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana definimos a los agregados en sus propiedades físicas, procedimientos de ensayos establecidos por la norma.

Si bien los agregados son los componentes inertes, su influencia en las características del concreto es notable, sin embargo durante varios años su estudio fue descuidado, debido principalmente, al bajo costo comparativo con el costo del cemento, además de los bajos requerimientos de resistencias, en los cuales lo agregados no tienen influencia, hoy en día se conoce la influencia del agregado.

Los agregados deben cumplir las normas como **ASTM C 33**, caso contrario se deberán comprobar su eficiencia en el concreto. Es recomendable que en una obra, todas las mezclas empleen los mismos agregados.<sup>(i)</sup>

El contenido de agregado grueso optimizado permanece constante para todas las mezclas y el contenido de agregado fino varía únicamente en función del control del rendimiento.

Se presentan los métodos y procedimientos que se planteo utilizar en el desarrollo del presente trabajo, teniendo como primera actividad la extracción de muestras de agregados para cuantificar y evaluar sus características y propiedades en laboratorio, para luego con estos datos aplicar el método de dosificación de concreto y por último los métodos para evaluar la calidad del concreto en estado fresco y endurecido. A continuación se describe cada uno de estos métodos.

### **3.2.2. SISTEMA DE VARIABLES**

#### **FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL (NTP 400.037)**

Es bastante difícil describir la forma de los cuerpos tridimensionales y, por lo tanto, es conveniente definir ciertas características geométricas de dicho cuerpos.

El agregado fino proviene de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa por el tamiz INTINTEC 9.5 mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en las normas NTP 400.037<sup>(2)</sup> peso unitario compactado (húmedo y seco).

#### **GRANULOMETRIA (NTP 400.037)**

La granulometría del agregado fino debe cumplir los requerimientos de la Norma ASTM C 33 y deberán evitarse contaminación de mizas y arcillas. De esto se reduce la importancia que tiene contar con una buena granulometría para el agregado fino, la norma NTP 400.037 establece límites granulométricos para su uso.<sup>(ii)</sup>

Tabla N°01: REQUISITOS GRANULOMETRICOS DEL AGREGADO FINO

MALLA	PORCENTAJE QUE PASA
3/8"	100
Nº 4	95 a 100
Nº 8	80 a 100
Nº 16	50 a 85
Nº 30	25 a 60
Nº 50	10 a 30
Nº 100	2 a 10

(ii) NORMA NTP 400.037

#### Análisis Granulométrico del Agregado Fino (NTP 400.012).

Esta norma técnica peruana establece el método para la determinación de la distribución por tamaños de partículas de agregado fino, por tamizado.

#### Muestreo:

Tomar la muestra de agregado de acuerdo a la NTP. 400.010. el tamaño de la muestra de campo deberá ser de la cantidad indicada en la NTP 400.010.

- Agregado fino: la cantidad de la muestra de ensayo, luego del secado será de 300 gr. mínimo.

#### Procedimiento:

- Sacar la muestra a peso constante a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Se seleccionaran tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material a ser ensayado. El uso de tamices adicionales puede ser necesario para obtener otra información, tal que como modulo de finura o para regular la cantidad de material sobre un tamiz. Encajar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de un aparato mecánico por un periodo suficiente aprox. 10 min.
- Limitar la cantidad de material sobre el tamiz utilizado de tal manera que todas las partículas tengan la oportunidad de

alcanzar la abertura del tamiz un número de veces durante la operación del tamizado.

### **Cálculo:**

Calcular el % que pasa, los porcentajes totales, o los porcentajes sobre cada tamiz, aproximadamente al 0.1% más cercado de la masa seca inicial de la muestra. Si la misma muestra fue ensayada por el método de ensayo que se describe en la NTP 400.018, incluir la masa de material más fino que la malla (N 200) calcula por el método del lavado y utilizar el total de masa de la muestra seca previa al lavado descrito en el método de ensayo de la NTP 400.018, como base para calcular todos los porcentajes.

### **MODULO DE FINURA**

Es un parámetro que resulta de la granulometría, el modulo de finura es un indicador del grosor predominante del agregado, su importancia es vital para el diseño de mezclas puesto que la base experimental que apoya al concreto de modulo de finura, es que granulometrías que tengan igual M.F. independiente mente de la gradación individual, requieren la misma cantidad de agua para producir mezclas de concreto de similar plasticidad y resistencia, lo que lo convierte en un parámetro ideal para el diseño y control de mezclas.

Las arenas con modulo de fineza por debajo de 2.5 dan concretos de consistencia espesa que los hace difíciles de compactar. Las arenas con módulo de fineza igual o mayor de 3.0 dan las mejores trabajabilidad y resistencia en compresión. Se recomienda emplear una arena con módulo de fineza cercano a 3.0, dado que puede contribuir a producir concretos de adecuada trabajabilidad y resistencia a la compresión.

Tabla N° 02: TAMICES PARA DETEMINAR EL MODULO DE FINURA<sup>(6)</sup>

TAMIZ	ABERTURA (mm)
3	75.00
111/2	37.50
33/4	19.00
33/8	9.50
N° 4	4.75
N° 8	2.36
N° 16	1.18
N° 30	0.59
N° 50	0.30
N° 100	0.1475
N° 200	0.0737

### **SUPERFICIE ESPECÍFICA**

Se define como superficie específica del agregado al área superficial de la misma la que establece la norma ASTM C 33 y las normas NTP correspondientes La superficie específica de un conjunto de partículas es la suma de las áreas superficiales de la misma. Se expresa en cm<sup>2</sup>/gr.

Para obtener la superficie especifica se divide, cada uno de los tamices, el valor del porcentaje retenido entre el valor del diámetro medio. La superficie específica del conjunto se determina por la ecuación:

$$\text{SUPERFICIE ESPECIFICA} = ( 0.06 \text{ S/G } ) \text{ cm}^2/\text{gr.}$$

S = Suma de la superficie específica de cada tamiz.

G = Gravedad Específica de masa del agregado.

El valor de la superficie específica del agregado será igual a la suma de la superficie específica de cada tamiz.

### **3.2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACION**

#### **RESISTENCIA A LA ABRASIÓN (NTP 400.019)**

El método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la gradación en agregados gruesos de tamaño grande

por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles. Está regido por la Norma Técnica Peruana establece el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaño grande mayores que 19 mm. ( $\frac{3}{4}$ " ) para determinar la resistencia a la degradación utilizando la máquina d los ángeles.

En la NTP 400.019 se presenta un procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores que 37.5 mm (1  $\frac{1}{2}$  ").

Los valores están establecidos en unidades del Sistema Internacional y serán considerados como estándar.

Este método de ensayo es una medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizados resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene 12 esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo. Al rotar el tambor, la muestra y las bolas de acero son recogidas por una pestaña de acero transportándolas hasta que son arrojadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. Este ciclo es repetido mientras el tambor gira con su contenido. Luego de un número de revoluciones establecido, el agregado es retirado del tambor y tamizado para medir su degradación como porcentaje de pérdida.

Tabla N° 09 – Gradación de las muestras de ensayo.

Tamaño de tamiz mm. (pulg) (Abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado (gr)		
		Gradación		
Que pasa	Retenido sobre	1	2	3
75 (3)	63 (2 $\frac{1}{2}$ )	2500+- 50	----	----
63 (2 $\frac{1}{2}$ )	50 (2)	2500+- 50	----	----
50 (2)	37.5 (2 $\frac{1}{2}$ )	5000+- 50	5000+- 50	----
37.5 (2 $\frac{1}{2}$ )	25.0 (1)	----	5000+- 25	5000+- 50
25.0 (1)	19.0 ( $\frac{3}{4}$ )	----	----	5000+- 25
Total		10000+-100	10000+-75	10000+-50

### **Procedimiento:**

- Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de los ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33 rpm, por 1000 revoluciones. Luego del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra sobre un tamiz normalizado de 1.70 mm (N° 12). Tamizar la porción mas fina que 1.70 mm conforme a la NTP 400.012. lavar el material mayor que 1.70 mm. Y secar al horno a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a peso constante y determinar la masa con aproximación de 1 gr.
- Si el agregado está esencialmente libre de revestimiento y polvo el requerimiento de lavado puede ser obviado, pero siempre se requiere secar antes del ensayo. Por lo tanto, en el caso de ensayos de arbitraje se efectuará el lavado. la eliminación del lavado después del ensayo raramente reducirá las pérdidas de medida en más de 0.2 % de la masa original de la muestra.

### **Calculo:**

- Calcular la pérdida (diferencia entre la masa inicial y final de la muestra) como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo. Informar este valor como el porcentaje de pérdida.

### **SUSTANCIAS DELETEREAS**

El ensayo usual es el correspondiente a la norma ASTM C-40 que da un índice de la presencia y magnitud de la materia orgánica.

La presencia de materia orgánica no indica necesariamente que ésta sea dañina para el concreto, dado que el color oscuro de la solución puede deberse a la presencia de minerales de hierro. Por ello es recomendable, cuando el ensayo ASTM C – 40 da valores no convenientes, realizar ensayos de resistencia a la compresión en cubos de mortero y comprobaciones de tiempo de fraguado.

### **Procedimiento:**

- El ensayo consiste en compara una solución de referencia de color-patrón, con la coloración de líquido después de un periodo de 24 horas, sobre una muestra de arna de aprox. 500 gr., luego de mezclada con una solución al 3% de hidróxido de sodio en agua.
- Cuando el color del líquido de la muestra de ensayo es más oscuro que el color de referencia, se puede inferir la presencia de materia orgánica.

En los casos en que el ensayo sea positivo, se establece una prueba adicional, consistente en comparar la resistencia a la compresión de morteros, fabricados con el agregado fino cuestionado y otro reconocido como sano. En el caso que la resistencia obtenida estuviera por debajo del 95% de la alcanzada con arena patrón, no deberá emplearse el agregado por inadecuado.

## IV RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de los ensayos realizados así como la Resistencia obtenida a través del Diseño de la Mezcla mediante el Método ACI.

Es importante precisar que la Rotura de la Probetas del concreto ya vaciado se realizo en un Laboratorio que garantiza el proceso y teniendo en cuenta que la prensa del Laboratorio está en buen estado.

Los resultados de la rotura de la probeta realizados a 7, 14 y 28 días se muestran a continuación:

<b>Probeta</b>	<b>A los siete días</b>	<b>A los catorce días</b>	<b>A los veintiocho días</b>
Probeta A	328.28 Kg/cm <sup>2</sup>	367.32 Kg/cm <sup>2</sup>	380.45 Kg/cm <sup>2</sup>
Probeta B	331.87 Kg/cm <sup>2</sup>	369.69 Kg/cm <sup>2</sup>	381.67 Kg/cm <sup>2</sup>
Probeta C	332.52 Kg/cm <sup>2</sup>	368.37 Kg/cm <sup>2</sup>	379.38 Kg/cm <sup>2</sup>

Con los resultados obtenidos en el desarrollo del presente tema es la primera opcion a que se ha llegando a establecer que si es posible preparar concreto con una Resistencia mayor a la de uso normal para obras de la zona.

## V ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

### 5.1 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES (*NORMA ITINTEC 334.036*)

Sabemos que adicionando microsílices podemos obtener resistencias que no hubiéramos soñado en el pasado. El desarrollo de las mismas plantea interrogantes sobre el método de ensayo a seguir para tener un conocimiento cabal de las mismas. El cómo moldar y ensayar probetas de concreto es el aspecto principal de esta parte de este acápite.

El análisis parte de dos premisas: que el concreto ha sido muestreado correctamente de acuerdo a la *norma ITINTEC 334.036 Y ASTM C 172* y que se tiene una muestra representativa a usar para hacer los especímenes de ensayos de resistencias a la compresión convencionales. No fueron desarrollados teniendo en mente ensayos de alta resistencia, pero no se ha encontrado ninguna razón que impida que los mismos puedan ser aplicados a ensayos de alta resistencia.

Las variables identificadas, las cuales pueden tener un efecto sobre la resistencia en compresión medida son:

- *Tamaño del espécimen*
- *Historia del curado del espécimen*
- *Tipo de molde*
- *Consolidación del espécimen*
- *Procedimiento y enrasado del espécimen*
- *Maquina de ensayo*
- *El análisis de algunos de estos puntos permite decir:*

En relación con el tamaño del espécimen, los mas frecuentes son los cilindros de 6" x 12" o (15 cm x 30 cm). La evidencia experimental entre estos y las probetas de 4" x 8" indica que la diferencia en los resultados es mínima.

Muchos diseñadores basan los requisitos de resistencias sobre la base de los resultados de especímenes de 6" x 12" y la norma *ASTM C 31* estipula

que los especímenes para determinar la resistencia a compresión deberán ser de 6" x 12".

El requisito de los especímenes conduce a una contradicción: conforme la resistencia del concreto se incrementa, la capacidad de la maquina de ensayo puede no ser lo suficientemente alta para romper el espécimen en tales casos, convirtiendo el empleo de especímenes mas pequeños en una necesidad. Las probetas de 4" x 8" deben ser empleadas cuando es necesario acomodar los testigos a la capacidad de la maquina.

Una vez identificado el tamaño de los especímenes; debemos hacer un incapié en la temperatura y humedad relativa del medio en el cual las probetas son curadas porque tendrán un efecto significativo sobre la resistencia en compresión medida. El mantenimiento de una temperatura y humedad relativa adecuadas son más críticos para los cilindros utilizados como deposito para almacenar agua para el vaciado en obra.

No hay una respuesta fácil para este punto, por lo que deberá hacerse el máximo esfuerzo para curar todos los especímenes estricto acuerdo con los apropiados con la norma ASTM. En este punto se recomienda que las muestras de laboratorio sean curadas en tanques de agua de temperatura controlada. El agua en los tanques debe de estar como se indica la norma.

El tipo de molde empleado puede tener un efecto significativo sobre la resistencia en compresión medida. En general cuanto más rígido es el material del molde más alta es la medida de la resistencia. Para material de moldes rígidos, tales como el acero, toda la energía de consolidación deberá ir al concreto. Para materiales de moldes blandos, algo del refuerzo de consolidación puede perderse en la deformación del molde, dando por resultado un concreto menos denso. Debe tenerse mucho cuidado si se emplea molde de plástico, los cuales en principio no son recomendables.

Los especímenes de concreto deberán ser adecuadamente consolidados para desarrollar una masa homogénea con un mínimo de aire atrapado.

Por lo indicado deben efectuarse los mayores esfuerzos a fin de garantizar que el espécimen es consolidado cuidadosa y uniformemente para lograr

resultados consistentes. Aunque los concretos de alta resistencia a los cuales se ha adicionado superplastificantes son típicamente de un alto asentamiento, se requiere adecuada consolidación a fin de lograr garantizar que éste presente un mínimo de aire atrapado. La consolidación siempre debe hacerse por varillado.

El enrase de las probetas de concreto de alta resistencia es un área usualmente debatida. La norma ASTM 617 requiere que el material de enrase sea por lo menos tan fuerte como el concreto que está siendo ensayada. Los materiales a base de sulfuros usualmente usados no son tan fuertes como los concretos de alta resistencia que están siendo ensayadas.

Igualmente, el reuso del material de enrase, la temperatura en la cual es fundido y almacenado, el tiempo en el cual es fundido, la edad de material de enrase al momento del ensayo, el espesor del enrase, y la presencia de vacíos de aire, influyen en el resultado.

Hay algunas evidencias que indican que la exigencia que el material de enrase debe ser adecuadamente hecho y el material empleado debe ser lo suficientemente fuerte para proporcionar un registro de ensayos exitosos en el rango de resistencia deseado.

Debe hacerse un esfuerzo extra, que da grandes dividendos, para lograr que los extremos de los cilindros sean tan suaves como sea posible a fin de minimizar las variaciones superficiales. El enrase debe tener un espesor tan cercano a 1/8" como sea posible y el enrase debe ser hecho 24 horas antes del ensayo.

El material empleado no debe ser reusado a fin de evitar la posibilidad de contaminación por aceite.

No todas las maquinas de ensayo existentes en lo laboratorios son adecuadas para ensayar concretos de alta resistencia. Además de las obvias consideraciones de capacidad, la máquina deberá ser lo suficiente mente rígida como para resistir elongaciones cuando el espécimen es cargado. Una falta de rigidez en la máquina puede causar lecturas de

rigidez incorrectas. La velocidad de aplicación de la carga debe seguir estrictamente las instrucciones dadas en la norma ASTM.

Adicionalmente, una máquina que trabaja bajo carga puede causar fallas explosivas del espécimen. Fallas explosivas repetidas pueden dañar la máquina.

El ensayo de los especímenes a compresión deberá incluir rotura en la falla, más allá de obtener fácilmente la más alta carga soportada. Un cuidadoso examen del espécimen roto puede llevar a conclusiones referentes a la veracidad y bondad de la resistencia desarrollada y determinada.

En especial, el perfil del espécimen fallado deberá indicar cuando el ensayo ha sido correctamente realizado. Igualmente se puede obtener información referente al material de enrase y la resistencia a la rotura del agregado. Al respecto, los estudios de shilstone son una ayuda muy importante.

Al respecto existe acuerdo en que la falla cónica es la más deseable y la más representativa de la resistencia del concreto. Igualmente que las fallas en corte o en la columna, o una combinación de ambas, pueden no ser representativas de la resistencia real del concreto.

## **5.2 PREPARACION DE LA MUESTRA Y EL MOLDE**

### **Preparación de la Muestra**

- a) El material que se usa en la elaboración de las probetas de ensayo, se selecciona de acuerdo a la **NTP 339.036**. Las probetas se deben identificar con la parte de la estructura a que corresponde el material a partir de la cual fueron elaboradas.
- b) Cuando el volumen del material fresco es transportado en recipientes, de más de  $\frac{1}{4}$  de metro cúbico, la muestra se prepara mezclando porciones de diferentes partes del contenido del recipiente elaborando las probetas de ensayo con esa mezcla.
- c) La muestra no se considera representativa del material, cuando ha transcurrido más de una hora entre su selección y el momento en que el agua fue añadida al cemento.

- d) Este tiempo podrá variar, previa justificación experimental cuando se utilizan aditivos en la mezcla.

### **Preparación del Molde**

El molde con su base deben presentar un aspecto limpio y su superficie interior debe estar cuidadosamente aceitada. Sólo se permite el uso de aceites minerales y otros productos adecuados para este efecto.

### **PROCEDIMIENTO:**

- 1) La elaboración de la probeta debe comenzar no más tarde de diez minutos después del muestreo y en una zona libre de vibraciones.
- 2) El llenado de la probeta se efectuará evitando la segregación y vertiendo el concreto con la cuchara, la que se moverá alrededor del borde superior del cilindro.
- 3) Previo llenado del molde se realiza la homogenización de la muestra contenida en el recipiente mediante un batido del concreto, se llena de inmediato el molde hasta un tercio de su altura, compactando a continuación de manera enérgica con la barra mediante 25 golpes verticales, uniformemente repartidos en forma de espiral, comenzando por el borde y terminando en el centro. El proceso se repite en la dos capas siguientes, de manera que la barra penetre hasta la capa precedente no más de 1" en la última, se coloca material en exceso, para enrasar a tope con el borde superior del molde, sin agregar material.
- 4) Después de consolidar cada capa, se procederá a golpear ligeramente las paredes del molde, utilizando la barra compactadora y el martillo de goma, para eliminar los vacíos que pudieran haber quedado.
- 5) Si en el llenado de la última capa, el material estuviera en exceso se retirará lo conveniente con la plancha y luego se procederá la superficie.
- 6) En las mezclas fluidas, para evitar la exudación al término de la consolidación, el material en exceso se puede retirar luego de 15 minutos de terminar la operación. La superficie del cilindro será

terminada con la barra o regla de madera, para lograr una superficie plana, suave y perpendicular a la generatriz del cilindro. Caras inclinadas, con proyecciones o depresiones mayores de 3 mm. Exigen una capa de refrendado mayor espeso, disminuyendo la resistencia de la probeta.

- 7) En el caso de elaborarse varias probetas con la misma muestra, éstas se deben moldear exactamente.
- 8) En aquellas mezclas donde hayan sido usados agregados con un tamaño máximo mayor que la tercera parte de la menor dimensión del molde, éstos serán retirados manualmente inmediatamente antes de realizar el ensayo.

### **5.3 CURADO DE ESPECÍMENES**

Como sabemos, el curado es el proceso de mantener un contenido de humedad y una temperatura satisfactoria en el concreto durante el periodo de hidratación del material cementante, de tal manera que se desarrollen las propiedades deseadas para el concreto.

El curado adecuado es esencial en la producción de concreto de calidad. Es crítico en la producción de concretos de alta resistencia en los que la reacción química entre la microsílices e hidróxido de calcio para formar el gel requiere de la presencia de humedad.

El concreto no deberá comportarse bien a menos que él sea curado adecuadamente. Un curado impropio es más dañino para un concreto con microsílices que para un concreto convencional. Para conseguir los máximos beneficios de la microsílices, el curado deberá ser más largo que si estuviese empleando un concreto convencional. El concreto deberá ser mantenido húmedo por lo menos 12 días, a fin de permitir la totalidad o un alto porcentaje de la reacción puzolánicas.

Igualmente los concretos de alta resistencia deberán ser curados en agua desde una temprana, dado que una hidratación parcial puede dar lugar a un sistema de capilares discontinuos. Al producirse la Innovación del

curado de agua puede no ser capaz de entrar al interior del concreto deteniendo cualquier futura hidratación.

El curado debe comenzar inmediatamente después del acabado. Debe recordarse que los altos volúmenes de microsílices producen concretos que no exudan, por lo que no es necesario buscar alternativas para detener la exudación antes del curado. En aquellos proyectos en los que no se requiere acabado después del fraguado, el procedimiento de curado puede aplicarse unos pocos minutos después del paso de una regla vibratoria.

No puede pensarse en concretos de alta resistencia si no se proporciona un buen curado al concreto. Este axioma debe ser siempre recordado por el especificador y el ingeniero constructor.

Si las microsílices están siendo empleadas en concretos que requieren curado acelerado, se puede modificar el ciclo de curado. El concreto deberá alcanzar su fraguado inicial antes de empezar el curado acelerado. No debe olvidarse que los aditivos químicos, a menudo, cuando son empleados con microsílices, pueden afectar la velocidad del fraguado.

Los concretos a los cuales se ha incorporado microsílices pueden presentar una menor velocidad de desarrollo de resistencia inicial después de colocados. Sin embargo, después de transcurridas menos de dos semanas, la velocidad de ganancia de resistencia es mayor que en los concretos sin microsílices.

La relación entre velocidad de desarrollo y resistencia depende de diversos factores en los que se debe incluir la calidad del concreto, el tipo y calidad del cemento, y la temperatura de curado. Cuando se emplea microsílices es conveniente mantener las condiciones de curado no menos de 15 días y emplear curado húmedo, a fin de compensar la alta fineza, la gran demanda de agua y las bajas relaciones agua-cementante empleadas.

#### **5.4 CUBRIMIENTO DE LA PROBETA DESPUÉS DE MOLDEADA**

Para prevenir la evaporación del agua de la superficie del hormigón no endurecido de las probetas, se cubren éstos inmediatamente después de

moldeados, preferiblemente con una placa no absorbente y no reactiva o una lamina de plástico durable. También se puede usar para el cubrimiento, trapos o lienzos humedecidos, pero debe cuidarse de mantenerlos húmedos hasta que las probetas se desmolden.

### **CURADO INICIAL**

- Antes del llenado, se colocan los moldes sobre una superficie horizontal rígida libre de vibraciones. Luego serán protegidos del viento y del sol o de toda otra causa que pueda perturbar al hormigón.
- Durante las primeras 24 horas después del moldeo, se almacenará todas las probetas bajo condiciones que mantengan la temperatura ambiente entre 16°C y 27°C y que prevengan toda pérdida de humedad. Las temperaturas de almacenamiento pueden ser reguladas por medio de ventilación o por evaporación de agua, arena húmeda o trapos humedecidos, o por el uso de dispositivos eléctricos de calentamiento.
- El estacionamiento de las probetas se realiza en construcciones provisionales realizadas en el lugar de la obra, en cajones de madera machihembrada bien contruidos y zunchados, en depósitos de arena húmeda o siempre que el clima sea favorable cubriendo las probetas con trapos húmedos.

### **5.5 COMPROBACIÓN DE LA CALIDAD Y UNIFORMIDAD DEL ESPECIMEN**

Las probetas hechas con el fin de juzgar la calidad y uniformidad del hormigón colocado sirvan como base para decidir la aceptación del mismo, se desmoldan al cabo de 20 h con diferencia de 4 h después moldeados.

Inmediatamente después las probetas se estacionarán en una solución saturada de agua de cal a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , la saturación se puede obtener incorporando tentativamente 2 gr. De cal hidratada por litro de agua, no debiendo estar en ningún momento expuestas al goteo y a la acción del agua en movimiento.

La condición para el curado, de mantenerse agua libre durante todo momento en el total de la superficie de las probetas, se puede conseguir

también por medio del almacenamiento conveniente en cuartos o gabinetes húmedos.

Por último las probetas hechas con el fin de determinar la resistencia de un concreto determinado, la misma que sirve para apreciar las condiciones de protección y curado del hormigón, o de cuando una estructura puede estar puesta al servicio, se almacenan tan cerca como sea posible del lugar o punto de donde se extrajo la muestra y deben recibir la misma protección contra las acciones climáticas y el mismo curado en toda su superficie que los recibidos por la estructura que representan.

## VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

Los Concretos de Alta Resistencia requieren de un mayor cuidado en su aspecto de elaboración y curado de los diseños de mezclas a temperaturas adecuadas en un ambiente natural que no afecte el comportamiento del concreto. La aplicación del Método de ACI, me permitió obtener resultados satisfactorios.

En consideración a la cantera del Río Huallaga que es la más utilizada en nuestro medio y está conformada en su mayoría por arenas finas cuyos módulos de finura son de espesor mínimo permitido, se demuestra que el método ACI para este tipo de agregados tiene limitaciones puesto que solamente es aplicable para arenas cuyos Módulos de Finura son iguales o mayores a 2.4.

- ✓ Los concretos de alta resistencia buscan la mejor proporción óptima de agregados a utilizar, de eso depende su diseño al 100%.
- ✓ La definición de Modulo de Finura y agregado Global permite estudiar la conformación del agregado grueso y fino y determinar una adecuada relación que permite predeterminar la buena calidad del concreto a fabricar.
- ✓ Los concretos de alta resistencia sufren un cambio relativo en la elaboración de los mismos, al incrementar el microsísiles en la mezcla su peso disminuye en 2-3% de su peso absoluto originado así un concreto más liviano.
- ✓ Utilizando el Método del ACI, podemos estudiar y determinar las imperfecciones granulométricas de los agregados, y por lo tanto modificar la producción de los mismos y perfeccionar la calidad del concreto.
- ✓ El concreto de alta resistencia destaca por los aditivos y adicionantes que se incorporan en el diseño, de ahí la importancia a los superplaz

tificantes, el microsílces y una buena proporción de agregados gruesos y finos.

- ✓ La combinación granulométrica más adecuada del agregado grueso del Río Huallaga, y el agregado fino del río Parapapura para obtener concretos de alta resistencia teniendo en cuenta las propiedades en estado fresco y endurecido es de 45% de arena y 55% de piedra.
- ✓ La temperatura en la zona es muy importante para mantener un concreto fraguado normal y nos de tiempo de trabajarlo en obra, se busca trabajar en condiciones normales para el concreto bordean la temperatura entre los 20 a 25 C°.
- ✓ La falta de un buen laboratorio equipado hizo que mis ensayos se realizaron en condiciones mínimas aceptables por la norma, teniendo que realizar mis ensayos de rotura de especímenes en un equipo a compresión manual de un Laboratorio Privado.
- ✓ La falta de información en los ensayos de laboratorio y la poca experiencia de la zona aplicando estos criterios en lo que respecta a los concretos de alta resistencia y su aplicación.

## **6.2 RECOMENDACIONES.**

- ✓ La falta de equipamiento en la zona hace que este sea un factor importante para la elaboración de concretos de alta resistencia en San Martín, se tuviera que dar mayor importancia a este tipo de concretos, para su mejor aprovechamiento.
- ✓ Los materiales son aceptables por la norma, teniendo la única carencia de no tener que seguir investigando y dejando de lado una importante proyección de investigación sobre este tema que son **LOS CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA EN SAN MARTIN.**
- ✓ Es necesario enseñar esta metodología de diseño de mezclas, en el curso de Tecnología del Concreto de la UNSM.
- ✓ Es de urgencia realizar cursos técnicos para los maestros de obra y constructores sobre la producción de concretos de calidad en obra,

con agregados de nuestra zona, y al mismo tiempo difundir las bondades y limitaciones de los diferentes tipos de agregados que se utilizan en nuestro medio A efectos de reducir los errores que actualmente se cometen en el diseño y producción de concreto.

- ✓ Se recomienda utilizar los concretos de alta resistencia en obras de magnitudes mayores por sus propiedades que mejoran el funcionamiento del concreto y teniendo así un concreto de mayor duración y calidad.

## VII BIBLIOGRAFIA

- 1) **Rivva López Enrique**, NATURALEZA Y MATERIALES DEL CONCRETO, 1990, AGREGADOS
- 2) **Rivva López Enrique**, DISEÑO DE MEZCLAS, 1988, CRITERIOS BASICOS DE DISEÑO
- 3) **Rivva López Enrique**, PATOLOGIA DEL CONCRETO, 1989, CRITERIOS BASICOS DE DISEÑO
- 4) **Rivva López Enrique**, SUPERVISION Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL CONCRETO, 1987, CONCEPTOS ESTADISTICOS PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CONCRETO.

## **VIII ANEXOS**

Anexo 1:



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y P.

DISEÑO DE ALZAPILLAS DE CONCRETO  
F<sub>cd</sub> 280 Kg/cm<sup>2</sup> CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE  
VEHICULAR SANCTI SPIRITUS Y ANEXOS

# ANEXO I

## ENSAYOS Y RESULTADOS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y Y

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO  
F<sub>ck</sub> 280 Kg/cm<sup>2</sup> CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE  
VEHICULAR SANTA LUYTA Y ANENOS

# ENSAYOS DE LA CANTERA RIO PARANAPURA



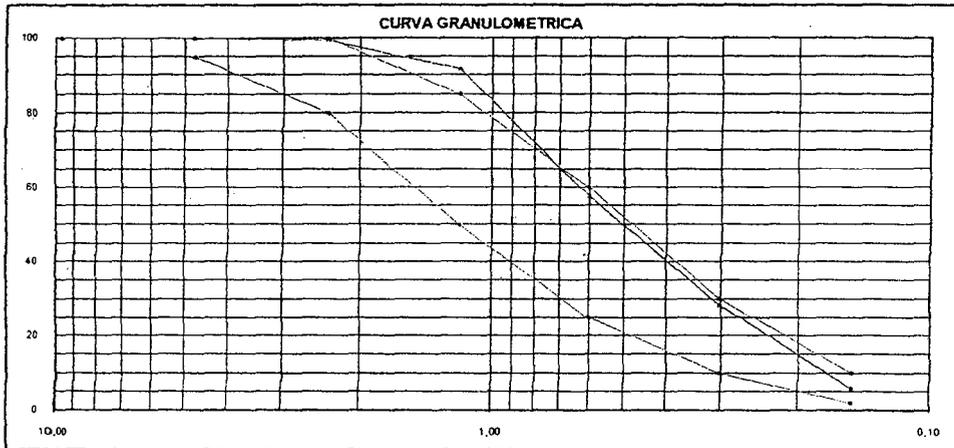
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTO  
 Jr. Amorrarca cuadra 3 - Telefax 521402  
 Morales - Perú

PROYECTO	CONSTRUCCION DEL PUEBLO VEHICULAR SANTA LUCIA		
UBICACION	LOCALIDAD DE MUNCHIS, DISTRITO DE YURIMAGUAS, PROVINCIA DE ALTO AMAZONAS, REGION LORETO		
SOLICITA	TESISTA		
CANTERAS	ARENA RIO PARANAPURA		
APOYO	TEC. CEMESO	REVISADO : Ing. HSM.	FECHA : ABRIL DEL 2010

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM C 33-83)

PESO INICIAL SECO. [GR]		500,00							
HALLAS	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs)	PERCENT RET. [%]	PERCENT RET. ACUMULADO [%]	PERCENT ACUM. PASANTE [%]	ESPECIFICACIONES TECNICAS ASTM C-33		CARACTERISTICAS FISICAS	
3/8"	9,525				100,00	100	100	DIÁMETRO NOMINAL MÁXIMO.	4,76
Nº 4	4,760	0,60	0,10	0,10	99,90	95	100	MÓDULO DE FINURA.	2,20
Nº 8	2,360	2,30	0,50	0,60	99,40	80	100	PESO ESPECÍFICO SECO (GR/CC)	2,57
Nº 16	1,180	38,10	7,60	8,20	91,80	50	85	ABSORCIÓN (%)	0,81
Nº 30	0,600	170,90	34,20	42,40	57,60	25	60	HUMEDAD (%)	0,00
Nº 50	0,300	146,70	29,30	71,70	28,30	10	30	PESO UNITARIO SUELTO (KG/M3)	1500,0
Nº 100	0,150	112,60	22,50	94,20	5,80	2	10	PESO UNITARIO COMPACT.	1633,0
<Nº 100	0,000	28,80	5,80	100,00	0,00				



2. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO FINO (NORMA ASTM C 127)

PROCEDIMIENTO		
1. PESO DE ARENA S.S.S. + FIOLA + PESO DEL AGUA	[GR]	919,50
2. PESO DE ARENA S.S.S. + PESO DE FIOLA	[GR]	612,85
3. PESO AGUA	[GR]	306,65
4. PESO DE ARENA SECADA AL HORNO + FIOLA	[GR]	608,85
5. PESO DE LA FIOLA Nº 04	[GR]	112,85
6. PESO DE ARENA SECADA AL HORNO	[GR]	496,00
7. PESO DE ARENA S. S. S.	[GR]	500,00
8. VOLUMEN DEL BALÓN	[CC]	500,00
9. PESO ESPECÍFICO DE MASA	[GR/CC]	2,57
10. PESO ESPECÍFICO DE MASA SUP. SECO	[GR/CC]	2,59
11. PESO ESPECÍFICO APARENTE	[GR/CC]	2,62
12. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	[%]	0,81

3.0 PESO UNITARIO (NORMA ASTM C 29)

PROCEDIMIENTO		P. U. S.		P. U. C.	
1. PESO MOLDE + MATERIAL	[Kg]	5,256	5,220	5,580	5,615
2. PESO MOLDE	[Kg]	1,190	1,190	1,190	1,190
3. PESO DEL MATERIAL	[Kg]	4,066	4,030	4,390	4,425
4. VOLUMEN DEL MOLDE	[M³]	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027
5. PESO UNITARIO	[KG/M³]	1506,00	1493,00	1626,00	1639,00
6. PESO UNITARIO PROMEDIO	[KG/M³]	1500,00		1633,00	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y P

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO  
F<sub>ck</sub> 180 Kg/cm<sup>2</sup> CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE  
VEHICULAR SANTA LUCÍA Y ASINOS

# **ENSAYO DE AGREGADOS GRUESOS: RIO HUALLAGA (GRAVA CHANCADA)**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

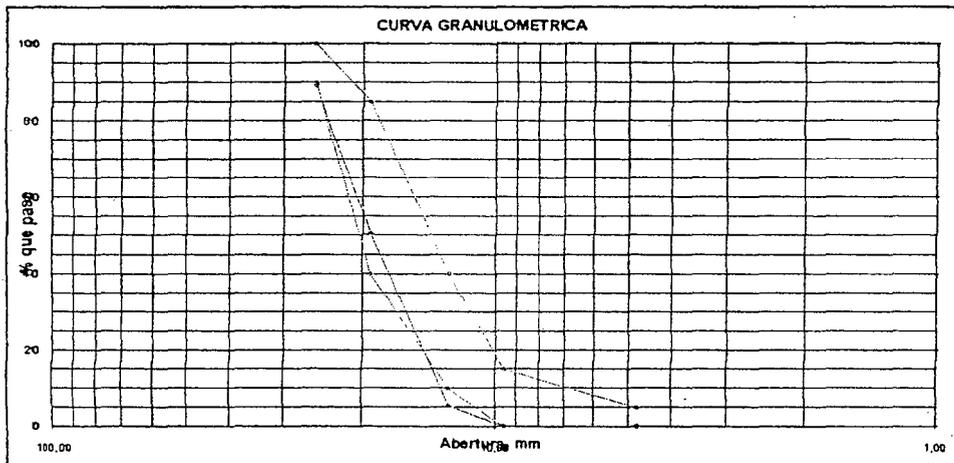
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTO

Morales - Perú

PROYECTO :	CONSTRUCCION DEL PUENTE VEHICULAR SANTA LUCIA		
UBICACION :	LOCALIDAD DE MUNCHIS, DISTRITO DE YURIMAGUAS, PROVINCIA DE ALTO AMAZONAS, REGION LORETO		
SOLICITA :	TESISTA		
CANTERAS :	GRAVA CHANCADA PIEDRA RIO HUALLAGA		
APOYO :	TEC. CEMESO	REVISADO : Ing. HSM.	FECHA : ABRIL DEL 2010

I. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM C 33-83)

PESO INICIAL SECO. [GR]		25000,00							
MALLAS	ABERTURA [MM]	PESO RETENIDO [GRS]	PORCENT.RET. [%]	PORCENT.RET. ACUMULADO [%]	PORCENT.ACUM. PASANTE [%]	ESPECIFICACIONES TECNICAS ASTM C-33 RUSO 457		CARACTERISTICAS FISICAS	
3"	75,000							DIÁMETRO NOMINAL MÁXIMO.	
2"	50,800							MÓDULO DE FINURA.	
1 1/2"	38,100				100,00			PESO ESPECÍFICO SECO (GR/CC)	2,67
1"	25,400	2681,00	10,70	10,70	89,30	90	100	ABSORCIÓN (%)	0,38
3/4"	19,050	9634,00	38,50	49,20	50,80	40	85	HUMEDAD (%)	0,00
1/2"	12,700	11318,00	45,30	94,50	5,50	10	40	PESO UNITARIO SUELTO (KG/M <sup>3</sup> )	1435,0
3/8"	9,525	1328,00	5,30	99,80	0,20	0	15	PESO UNITARIO COMPACTADO (KG/	1555,0
Nº 4	4,760	15,00	0,10	99,90	0,10	0	5		
< Nº 4	0,000	24,00	0,10	100,00	0,00				



2.0 PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO (NORMA ASTM C 128)

PROCEDIMIENTO		
1. PESO DE MUESTRA SECADA AL HORNO	[GR]	5220,0
2. PESO DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	[GR]	5240,0
3. PESO DE MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA	[GR]	3283,0
4. PESO ESPECIFICO DE MASA	[GR/CC]	2,67
5. PESO ESPECIFICO DE MASA SUPERFICIALMENTE SECO	[GR/CC]	2,68
6. PESO ESPECIFICO APARENTE	[GR/CC]	2,69
7. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	[%]	0,38

3.0 PESO UNITARIO (NORMA ASTM C 29)

PROCEDIMIENTO		P.U.S.		P.U.C.	
1. PESO MOLDE + MATERIAL	[Kg]	16,150	16,112	17,330	17,160
2. PESO MOLDE	[Kg]	2,782	2,782	2,782	2,782
3. PESO DEL MATERIAL	[Kg]	13,368	13,330	14,548	14,378
4. VOLUMEN DEL MOLDE	[M <sup>3</sup> ]	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093
5. PESO UNITARIO	[Kg/M <sup>3</sup> ]	1437,00	1433,00	1564,00	1546,00
6. PESO UNITARIO PROMEDIO	[Kg/M <sup>3</sup> ]	1435,00		1555,00	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y F.

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO  
F<sub>ck</sub> 280 Kg/cm<sup>2</sup> CONSTRUCCIÓN DEL PUNTE  
VILLICHAR SANTA LUCIA Y ANEXOS

# ANEXO II

## DISEÑO DE MEZCLAS 280 kg/cm<sup>2</sup>



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

## LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTO

JR. AMORARCA CUADRA 3 - TELEFAX 521402

MORALES - PERÚ

PROYECTO :	CONSTRUCCION DEL PUENTE VEHICULAR SANTA LUCIA	
UBICACION :	LOCALIDAD DE MUNCHIS, DISTRITO DE YURIMAGUAS, PROVINCIA DE ALTO AMAZONAS, REGION LORETO	
SOLICITA :	TESISTA	
CANTERAS :	AGREGADO FINO (RIO UQUIHUA) Y AGREGADO GRUESO (PLANTA DE CEMENTO)	
REALIZADO :	TEC. LAB. C. MENDOZA	REVISADO : Ing. HSM.

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

CARACTERISTICAS FISICAS		ARENA	GRAVA
PESO ESPECIFICO	[GR/CC]	2,57	2,67
ABSORCION	[%]	0,81	0,38
PESO UNIT. SUELTO	[Kg/m <sup>3</sup> ]	1500,00	1435,00
PESO UNIT. COMPACT.	[Kg/m <sup>3</sup> ]	1633,00	1555,00
TAM. MAX.	[PULG]		1"
TAM. MAX. NOMINAL	[PULG]		3/4"
MOD. FINEZA		2,20	
CONT. HUMEDAD	[%]	0,00	0,00
PORCENT DE AGREG.	[%]	0,40	0,60

### CEMENTO PACASMAYO ESPECIAL TIPO IP

PESO ESPECIFICO	[GR/CC]	3,11
-----------------	---------	------

### VALORES DE DISEÑO POR M<sup>3</sup> [PASTA]

CEMENTO	[Kg.]	425,00
AGUA	[LT.]	191,00
AIRE	[%]	1,50

RELACION A/C	0,45
--------------	------

SLUMP	2" - 3"
-------	---------

### VOLUMEN DE LA PASTA

CEMENTO	0,137	m <sup>3</sup>
AGUA	0,191	m <sup>3</sup>
AIRE	0,015	m <sup>3</sup>
	0,343	m <sup>3</sup>
VOLUMEN DE AGREGADOS	0,657	m <sup>3</sup>
ARENA	0,263	m <sup>3</sup>
PIEDRA	0,394	m <sup>3</sup>

### PESOS SECOS DE AGREGADOS

ARENA	676,0	Kg/m <sup>3</sup>
PIEDRA	1.053,0	Kg/m <sup>3</sup>

### GRADACION RECOMENDADA

ARENA	657,00	Kg/m <sup>3</sup>
PIEDRA	1072,00	Kg/m <sup>3</sup>

### HUMEDAD SUPERFICIAL DE AGREGADOS

HUMEDAD - ABSORCION	
ARENA	-0,81
PIEDRA	-0,38



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTO**  
 JR. AMORARCA CUADRA 3 - TELEFAX 521402  
 MORALES - PERÚ

**APOORTE DE HUMEDADES DE LOS AGREGADOS**

ARENA	-5,30	LT.
PIEDRA	-4,10	
	-9,40	

**AGUA EFECTIVA**

200,40	LT.
--------	-----

**DISEÑO EFECTIVO DE OBRA [EN LABORATORIO]**

CEMENTO	425,00	KG/M <sup>3</sup>
AGUA	200,40	LT/M <sup>3</sup>
ARENA	657,00	KG/M <sup>3</sup>
PIEDRA	1072,00	KG/M <sup>3</sup>

**TANDA DE LABORATORIO [FACTOR] : 0,0275**

CEMENTO	11,690	Kg
AGUA	5,510	LT.
ARENA	18,070	Kg
PIEDRA	29,480	Kg

**PROPORCION EN PESO**

CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA	
425/425	657/425	1072/425	200,4*42,5/425	
1,00	1,50	2,50	20,00	LT./BOLSA

**PESO UNITARIO DE AGREGADOS**

ARENA	1500,00	KG/M <sup>3</sup>
PIEDRA	1435,00	KG/M <sup>3</sup>

**PESOS POR PIE CUBICO DE MATERIALES**

CEMENTO	42,50	KG/P <sup>3</sup>
AGUA	20,00	LT/P <sup>3</sup>
ARENA	42,90	KG/P <sup>3</sup>
PIEDRA	41,00	KG/P <sup>3</sup>

**PESOS POR TANDA DE UN SACO**

CEMENTO	42,50	KG/SACO
AGUA	20,00	LT/SACO
ARENA	63,75	KG/SACO
PIEDRA	106,25	KG/SACO

**PIES CUBICOS POR SACO [DOSIFICACION EN VOLUMEN]**

CEMENTO	42,50	PIE <sup>3</sup> /SACO
AGUA	20,00	LT/SACO
ARENA	1,60	PIE <sup>3</sup> /SACO
PIEDRA	2,50	PIE <sup>3</sup> /SACO

**PROPORCION EN VOLUMEN**

CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA	
1,00	1,60	2,50	20,00	LT/SACO

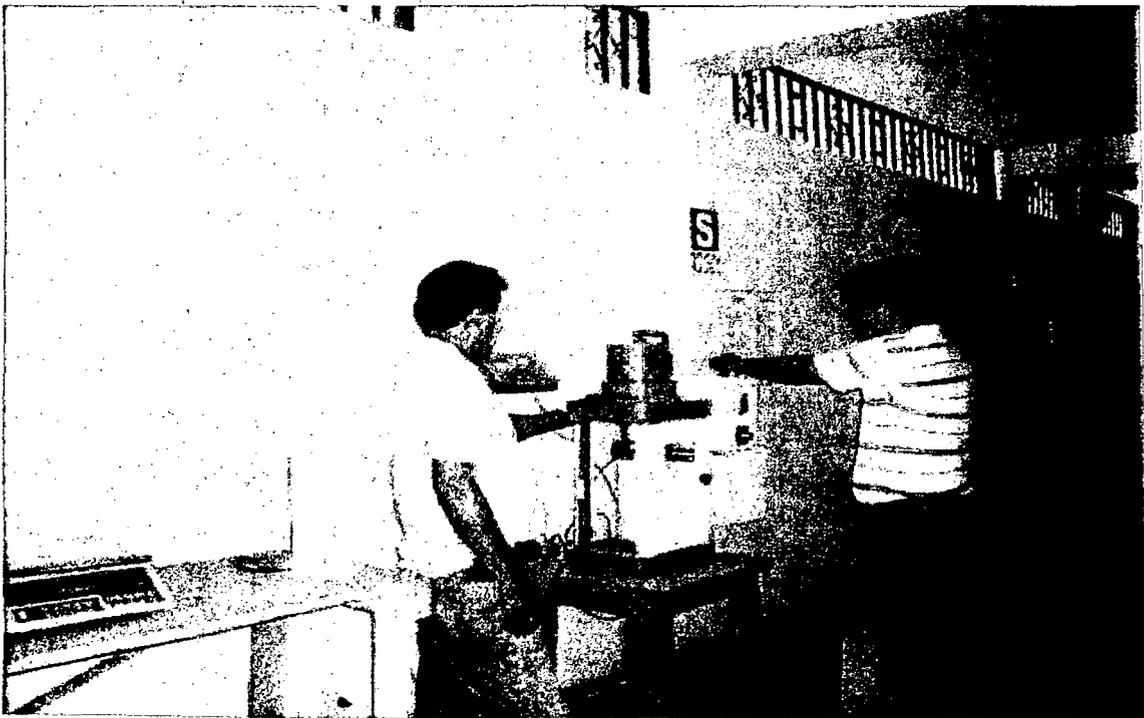
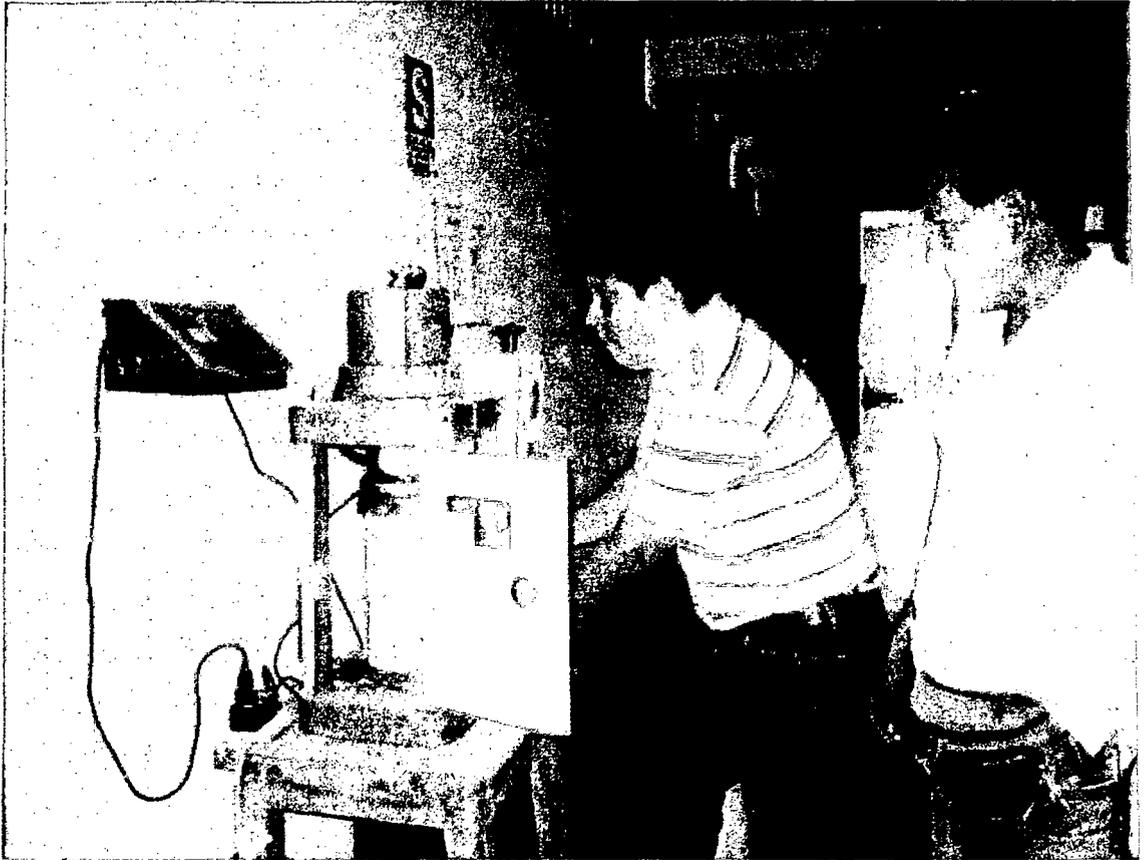


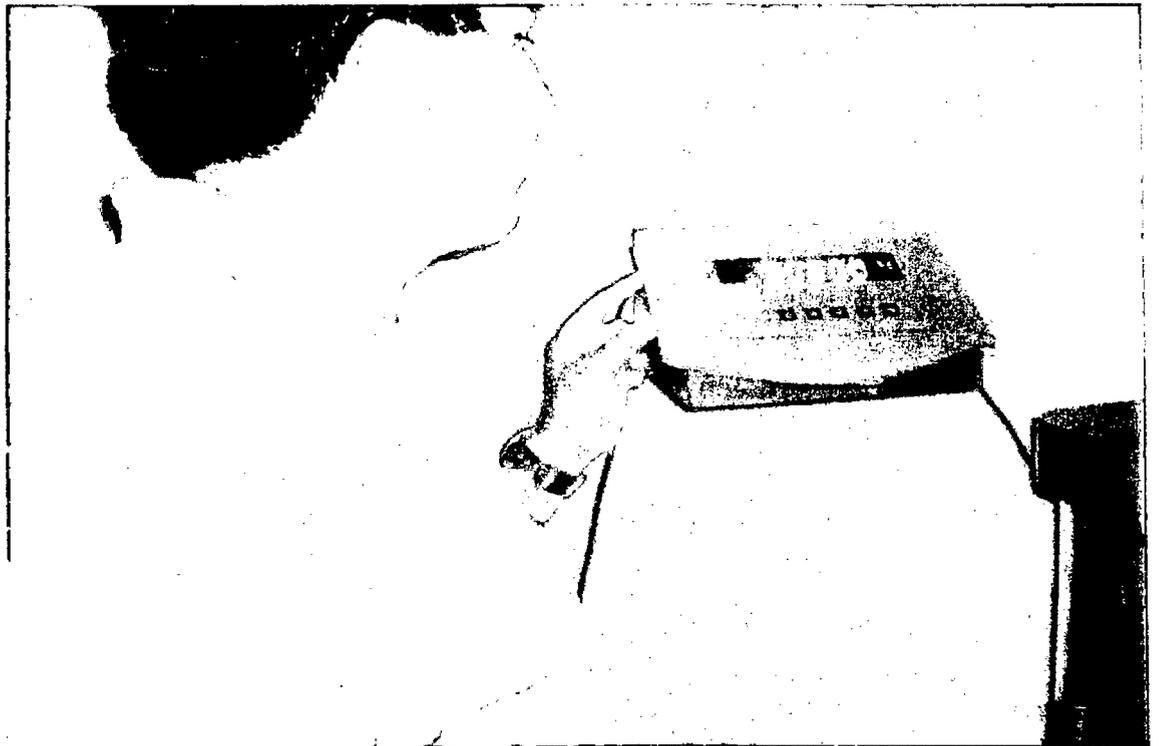
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MATERIALES DE ACERO Y P

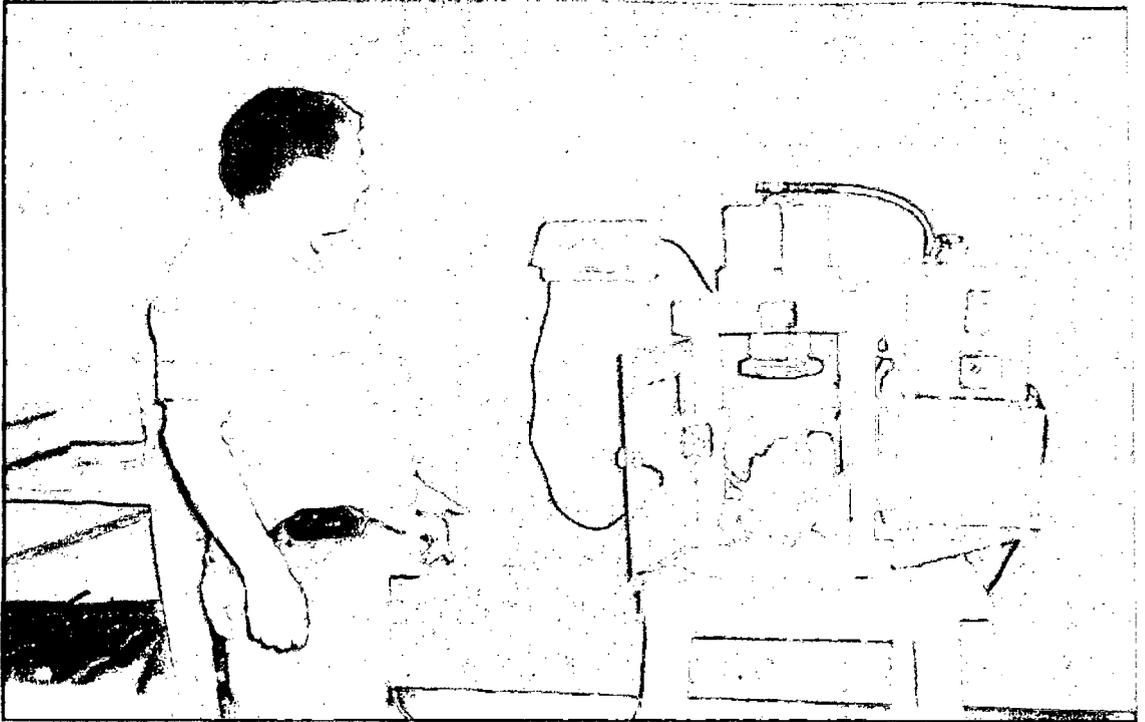
DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO  
F<sub>ck</sub> 280 Kg/cm<sup>2</sup> CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE  
VIAL EN LA SANTA CRUZ Y ADESNOS

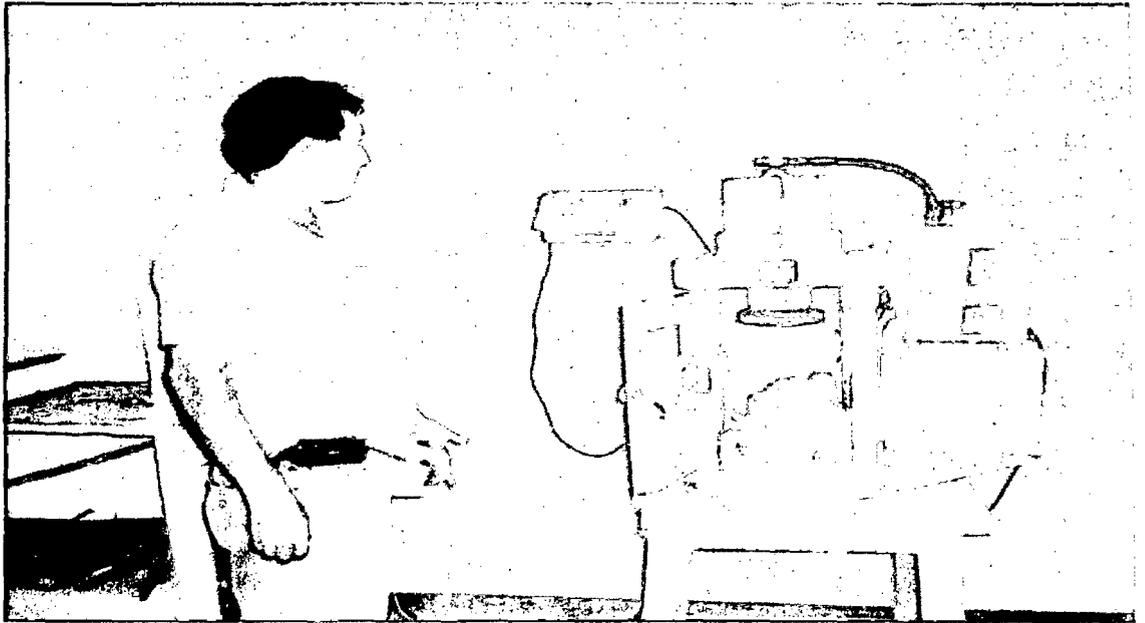
# **RESULTADOS DE ROTURAS DE COMPRESION DE ESPECIMENES DE PRUEBA**













WS



