

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS PROFESIONAL**

**“OBTENCIÓN DE UN CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA PARA UN  $f_c=800\text{kg/cm}^2$   
USANDO AGREGADOS DE LA CANTERA EL CHICHE - CAJAMARCA , ADITIVOS  
Y ADICION MINERAL”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
FERNANDO ARTURO VILLANUEVA SANCHEZ**

**Asesor:**

**M. en Ing. HÉCTOR PÉREZ LOAYZA**

**Cajamarca - Perú**

**- 2015 -**

## DEDICATORIA

*A Dios por guiarme en todo momento sobre todo en los momentos más difíciles de mi vida y por darme una familia maravillosa.  
¡Gracias Dios mío!*

*A mis muy queridos padres: Gilmer y Luz, por su total e incondicional apoyo durante el desarrollo de mi vida diaria y carrera profesional, y a mis hermanos Eliana, Adrian y Eduardo por su constante ayuda y confianza.*

*Un agradecimiento muy especial a mi asesor, el Ing. Hector Perez Loayza: por el apoyo, el compromiso y la confianza en mi en todo momento, siempre lo llevaré presente y nunca lo olvidaré.*

*A mis amigos: Paul Burgos, Andersson Rodriguez, Marco Malaver, Reymund Lobato, Rodil Bustamante y Carmen Perez, que me apoyaron en todo momento incondicionalmente en la a la realización y culminación de la presente tesis de investigación.*

*Y por último a mis demás familiares y personas amigas que me han apoyado en cierta manera a la realización y culminación de la presente tesis de investigación.*

*Gracias a todos por su confianza depositada Muchas Gracias*

*EL AUTOR*

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero expresar mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, específicamente a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil y a toda su plana docente, por los conocimientos y orientación impartidos durante mi formación profesional.

A mi asesor el M. en I. Héctor Pérez Loayza, por su continuo asesoramiento y puesta de confianza en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Marco Zegarra y al Ing. Moises Aarones, representantes de la empresa ULMEN Perú S.A, por la donación de los aditivos: Nanosilice Gaia Superplastificante; además de la información brindada, sin los cuales no hubiera sido posible la realización de este trabajo de investigación.

Al Sr. Juan Villanueva Zumarán, Técnico del Laboratorio de Ensayo de Materiales así, por su incondicional apoyo en la realización de las pruebas de laboratorio.

Así mismo resaltar el apoyo y colaboración de mis amigos quienes en todo momento me brindaron aliento y su mano amiga en el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

Finalmente a todas aquellas personas que de una u otra manera me brindaron su apoyo y respaldo.

*EL AUTOR*

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito fundamental determinar la cantidad adecuada de microsilíce, nanosilíce y superplastificante, que se debe agregar a un diseño de mezcla de concreto de alta resistencia, para lograr las propiedades físicas, mecánicas y elásticas, deseadas. Los porcentajes de microsilíce adoptados son: 5, y 10% del peso de cemento, el 1% Y 2% de nanosilíce y el Superplastificante con el 1.1% del peso del cemento, para lograr una resistencia especificada de 800 kg/cm<sup>2</sup> y cuyos resultados han sido comparados con las características de un concreto normal solo con aditivo superplastificante, de alta resistencia al que se le ha denominado muestra patrón.

Para ello se realizó diferentes ensayos de laboratorio que se llevaron a cabo y conforme lo establece las normas ACI, ASTM, NTP, que rigen los procedimientos y materiales que se deben utilizar para tener los mejores resultados y así obtener diseños óptimos.

Una vez conocidas las características y propiedades físicas de los agregados, se procederá a realizar un diseño teórico, el cual debe cumplir con los parámetros de autocompactabilidad descritos en la normativa internacional.

Establecido el diseño teórico del Concreto de Alta Resistencia, se procedió a evaluarlo en laboratorio, realizando los ensayos en estado fresco: “Cono de Abrams”, y de Fluidéz; además en estado endurecido: “Resistencia a la Compresión”, éste último ensayo realizado a los 7, 14 y 28 días de curado.

Para la elaboración del diseño de mezcla se ha utilizado el Método de Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados, cuya resistencia a la compresión especificada del Concreto ( $f'c$ ) es de 800 kg/cm<sup>2</sup>.

Los resultados obtenidos del ensayo en concreto fresco y en concreto endurecido, indican que a medida en que se aumenta el contenido de microsilíce en la mezcla la trabajabilidad, adherencia y la resistencia a la compresión aumentan, hasta alcanzar un máximo contenido luego del cual la segregación y exudación aumentan y la resistencia a la compresión disminuye.

# ÍNDICE

	<b>PÁG.</b>
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv
Índice	v

## CAPÍTULO I

### ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción	2
1.2. Planteamiento del Problema	4
1.3. Hipótesis	6
1.4. Importancia	6
1.5. Objetivos	7
1.6. Alcances	7

## CAPÍTULO II

### LOS AGREGADOS Y SUS CARACTERÍSTICAS

2.1. Elección de la Cantera para el presente trabajo	11
2.1.1. Ubicación	11
2.1.2. Geología	11
2.2. Características Físicas de los Agregados de la Cantera	
2.2.1. Forma y textura superficial	14
2.2.2. Análisis Granulométrico	15
2.2.3. Tamaño máximo del agregado	21
2.2.4. Módulo de Finura	21
2.2.5. Peso específico y absorción	23
2.2.6. Porcentaje de humedad	24
2.2.7. Peso unitario	24
2.2.8. Resistencia a la abrasión	26

## CAPÍTULO III

## **EL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA**

3.1. Concreto de alta resistencia	29
3.1.1. Tipos de concreto	30
3.1.2. Antecedentes	31
3.2. Relacion Agua/ Material Cementante	35
3.2.1. Asentamiento	35
3.3. ¿Para qué es necesario el concreto de alta resistencia?	36
3.3.1. Aplicaciones practicas del concreto de alta resistencia alrededor del mundo	42
Ventajas	43
Edificios altos de concreto de alta resistencia	45
3.4. Materiales	55
3.4.1. Cemento	56
3.4.2. Adiciones	56
Microsilice	56
Nanosilice	57
3.4.3. Arena	58
3.4.4. Grava	58
3.4.5. Agua	60
3.4.6. Aditivo Superplastificante	61
3.4.7. Nanosilice	62

## **CAPÍTULO IV**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

4.1. Material de Estudio	65
4.1.1. Universo Muestral	65
4.1.2. Muestras	65
4.2. Materiales, equipos y herramientas	66
4.2.1. Materiales utilizados en la investigación	66
4.2.2. Equipos utilizados en la investigación	66
4.2.3.	

## **CAPÍTULO V DISEÑO DE MEZCLAS**

5.1. Definición	76
5.2. Consideraciones básicas	76
5.3. Métodos de Diseño de Mezcla	77
5.4. Factores que intervienen en la selección de las proporciones de la mezcla	77
5.5. Pasos generales en los métodos de diseño de mezclas	79
5.6. Proceso de Diseño de Mezcla Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados	81
5.7. Diseño de Mezcla “Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados” con cemento Pacasmayo tipo I para $f'c= 800\text{kg/cm}^2$ .	80
a. Diseño de mezcla patrón	87
b. Diseño del diseño 1	89
c. Diseño del diseño 2	91
5.8. Caracterización del Concreto en Estado Fresco	93
A. Medir la extensión de flujo	93

## **CAPÍTULO VI RESULTADOS**

6.1. Resultados	96
Ensayo de Resistencia a la Compresión	96

## **CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

7.1 Conclusiones	122
7.2 Recomendaciones	123

## **CAPÍTULO VIII BIBLIOGRAFÍA**

8.1. Referencias Bibliográficas	125
---------------------------------	-----

**CAPÍTULO IX**  
**ANEXOS**

10.1. Hoja Técnica de la Nanosilice GAIA	134
10.2. Hoja Técnica del Aditivo Superplastificante SIKAMENT 290N	136
10.3. Hoja Técnica del Aditivo Microsilice SIKAFUME	138
10.4. Hoja Técnica del Cemento Pacasmayo tipo I	140
10.5. Panel Fotografico	134

## Simbología

$AC_3$	:	Aluminato tricálcico.
AMV	:	Agente modificador de viscosidad.
a/c	:	Relación agua / cemento
a/f	:	Relación agua / finos
$Ca(CH)_2$	:	Hidróxido de calcio
CB	:	Coefficiente de bloqueo.
CH	:	Hidróxido de calcio
$C_{1.7}SH_4$	:	Silicato de calcio hidratado
$C_3AH_6$	:	Aluminato tricálcico hidratado
$C_6A\hat{S}_3H_{32}$	:	Estringuita
$C_4A\hat{S}H_{12}$	:	Sulfo aluminato de calcio hidratado o monosulfo aluminato
C-S-H	:	Hidrato de silicato de calcio o silicato de calcio hidratado.
$C\hat{S}H_2$	:	Yeso
Df	:	Diámetro final.
F	:	Porcentaje o factor de relleno.
FAC <sub>4</sub>	:	Ferrito aluminato tetracálcico.
FH <sub>3</sub>	:	Hidróxido de hierro (III)
H <sub>2</sub> O	:	Agua
CAR	:	Concreto de Alta Resistencia.
CC	:	Concreto convencional
SC <sub>2</sub>	:	Belita o silicato dicálcico.
SC <sub>3</sub>	:	Alita o silicato tricálcico.
SiO <sub>2</sub>	:	Dióxido de silicio
s.p.c.	:	Sobre el peso de cemento.
$\hat{S}$	:	Sulfato
Tf	:	Tiempo final.
s.s.s.	:	Saturado superficialmente seco.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## 1.1. INTRODUCCIÓN:

Las últimas décadas en el campo de la investigación de materiales, se han intensificado los trabajos relacionados con el mejoramiento de los materiales utilizados en las estructuras de infraestructura en el área de ingeniería civil, con el objetivo de mejorar sus propiedades y economizar su costo de fabricación y los que su utilización implique. Una de las últimas tecnologías desarrolladas con muchas aplicaciones en este campo es la utilización de agregados que califiquen las exigencias de las normas técnicas vigentes así como el uso de aditivos súper plastificantes y la adición mineral de micro sílice y nanosilice, lo que permite llegar a obtener concretos que en estado fresco y endurecido cumplan los requerimientos de trabajabilidad, resistencia y durabilidad, que como su nombre lo indica, desarrollan altas resistencias mecánicas.

Es en el marco de esta tecnología que se desarrolla el presente trabajo, que tiene como objeto principal la determinación de la influencia de las características de los agregados, aditivos y la micro sílice en el concreto frente a la resistencia mecánica que puede alcanzar, así como también la forma como puede variar su módulo de elasticidad y las propiedades físicas del concreto en estado fresco, como endurecido.

Para determinar la influencia de estos parámetros, se realiza el presente trabajo experimental que consiste en la obtención del diseño de mezclas con diferentes porcentajes de estos materiales para lograr concretos de alta resistencia, con un  $f_c$  igual o mayor a  $800\text{kg/cm}^2$ .

El Concreto de Alta Resistencia es un tipo de concreto de alto desempeño, que comúnmente tiene una resistencia a la compresión especificada de  $420\text{ kg./cm}^2$  o más. La producción de concreto de alta resistencia requiere un estudio específico así como un control de calidad más exigente en comparación con el concreto normal convencional.

Es el concreto que se usa en la construcción de estructuras de gran altura y de grandes luces, y en elementos de concreto pre y post esforzado que se caracteriza por una mayor resistencia que aquel que se emplea en concreto reforzado ordinario. Se le somete a cargas muy altas, y por lo tanto un aumento en su calidad generalmente conduce a resultados más

económicos. El uso de concreto de alta resistencia permite la reducción de las dimensiones de la sección de los miembros a un mínimo, lográndose ahorros significativos en carga muerta siendo posible que se venzan grandes claros y grandes alturas y resulten técnica y económicamente posibles. Las objetables deflexiones y el agrietamiento, que de otra manera estarían asociados con el empleo de miembros esbeltos sujetos a elevados esfuerzos, pueden controlarse con facilidad mediante el pre esfuerzo. La práctica actual exige una resistencia de 350 a 500 kg/cm<sup>2</sup> o de mayor resistencia, para el concreto pre o post tensado, mientras el valor correspondiente para el concreto reforzado es de 200 a 250 g/cm<sup>2</sup> aproximadamente. Este concreto tiene un módulo de elasticidad más alto que el concreto de resistencia convencional, de tal manera que se reduce cualquier pérdida de la fuerza pretensora debido al acortamiento elástico del mismo. Las pérdidas por flujo plástico que son aproximadamente proporcionales a las pérdidas elásticas, son también menores. Alta resistencia en el concreto pre esforzado es necesaria por varias razones: primero, para minimizar su costo, los anclajes comerciales para el acero de pre esfuerzo son siempre diseñados con base de concreto de alta resistencia. Segundo, el concreto de alta resistencia a la compresión ofrece una mayor resistencia a tensión y cortante, así como a la adherencia y al empuje, y es deseable para las estructuras de concreto presforzado ordinario. Por último, otro factor es que el concreto de alta resistencia está menos expuesto a las grietas por contracción que aparecen frecuentemente en el concreto de baja resistencia antes de la aplicación del pre esfuerzo. Para obtener una resistencia de 800 kg/cm<sup>2</sup> o mayor resistencia, es necesario usar una relación agua-cemento de 0.40 o menor, en peso. Con el objeto de facilitar el colado, se necesitaría un revenimiento de 5 a 10 cm a menos que se fuera a aplicar el vibrador más tiempo de lo ordinario y en la mayoría de los casos se debe usar un concreto con una consistencia fluidica.

## 1.2- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En el Perú los concretos utilizados con mayor frecuencia, con fines estructurales, se especifican generalmente con una resistencia mecánica comprendida dentro del rango de 175 a 250 Kg/cm<sup>2</sup> y muy pocas veces se requieren concretos de 250 a 800 Kg/cm<sup>2</sup> considerando entre otros a estos últimos, como concretos de alta resistencia.

Hacen varios años en los países desarrollados se han realizado construcciones utilizando concretos cuya resistencia a la compresión oscila entre 500 y 1,200 Kg/cm<sup>2</sup> y últimamente hasta 2500kg/cm<sup>2</sup>.

No obstante, la evolución de los concretos de alta resistencia ha sido lenta, así por ejemplo en los Estados Unidos en los años de 1950 se consideraban como concretos de alta resistencia a los que tenían una resistencia a la compresión de 350 Kg/cm<sup>2</sup>. En la década del 60 se consideraba a los que estaban dentro del rango de 420 a 525 Kg/cm<sup>2</sup>. En la década de los 70 se fabricaban concretos superiores a los 630 Kg/cm<sup>2</sup>. Recientemente se alcanzan concretos del orden de 1,000 Kg/cm<sup>2</sup> en elementos prefabricados y pretensados de concreto.

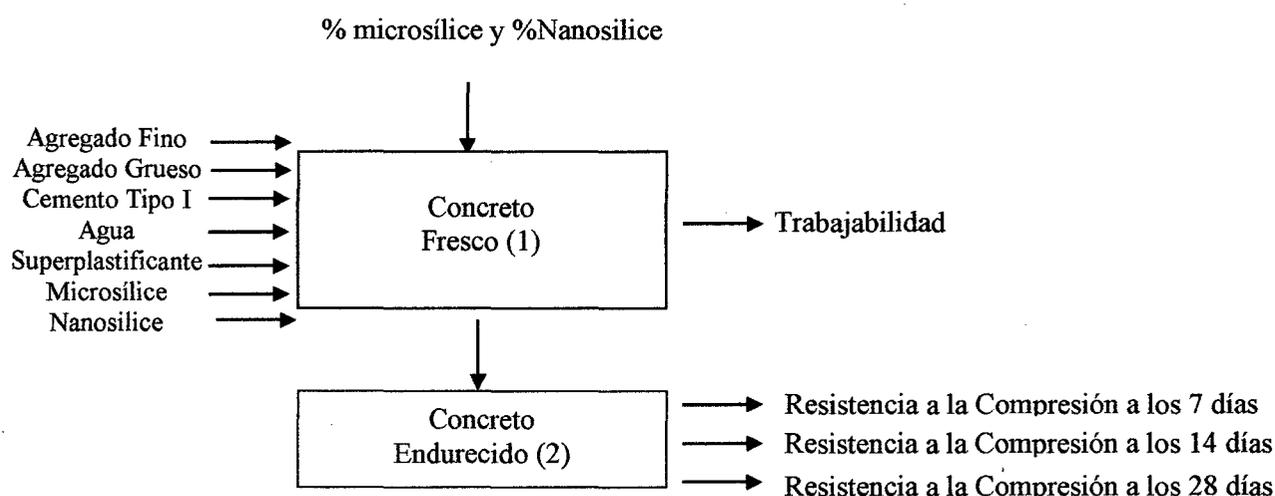
En todo lugar del territorio peruano y a nivel de todo el mundo, el costo del terreno se va incrementando y consecuentemente hay la necesidad de optimizar las áreas disponibles para la expansión de la infraestructura habitacional, y otras, entonces se comienza a planificar un muchas ciudades un crecimiento urbano en altura, abandonando la tendencia de un crecimiento urbano horizontal, de igual modo en la proyección de infraestructura vial, se proyectan hoy, puentes sin pilares centrales por tener estos, menor riesgo de colapso por erosión de las cimentaciones de los pilares centrales tradicionales. En la construcción de puentes de luces considerables es necesario usar concretos de alta resistencia.

En adelante el manejo de concretos de alta resistencia se volverá más cotidiano y necesario por la nuevas características obras de construcción civil, por lo que es necesario intensificar estudios acerca de las bondades y limitaciones de diversos tipos de aditivos y adiciones en la obtención de concretos especiales necesarios para diversas clases de estructuras que

adiciones en la obtención de concretos especiales necesarios para diversas clases de estructuras que hoy y mañana se plantearan, en la perspectiva de optimizar tiempos y costos en la industria de la construcción.

### 1.2. 1. PROBLEMA:

¿En qué medida incide el porcentaje de microsílíce y nano sílice en un concreto de alta resistencia?



**Diagrama 1.** Esquema del Problema de Investigación.

- V.I. : Porcentaje de microsílíce  
 V.II. : Porcentaje de Nano sílice  
 V.III. : Porcentaje aditivo superplastificante  
 V.D. : (1) Trabajabilidad  
 (2) Resistencia a la Compresión  
 Muestra: (1) Agregado Fino, Agregado Grueso, Cemento Tipo I, agua, Superplastificante, microsílíce y nanosilíce.  
 (2) Probeta  
 Fenómenos: (1) Concreto Fresco  
 (2) Concreto Endurecido

### **1.3. HIPÓTESIS:**

A medida que se incrementa el porcentaje de microsilíce y nano sílice, la trabajabilidad, la resistencia mecánica y el módulo de elasticidad del concreto se incrementara, debido al incremento de la cohesión entre los agregados y la pasta.

### **1.4. IMPORTANCIA:**

Es de significativa importancia conocer el efecto que tiene el aumentar el porcentaje de microsilíce y nanosilíce en un concreto de alta resistencia, porque nos permite conocer las cantidades óptimas para un diseño definido, para que la mezcla alcance buenas propiedades reológicas en estado fresco y la resistencia necesaria en estado endurecido para las aplicaciones que sea requerido.

En el estudio del concreto de alta resistencia es importante realizar la mayor cantidad de pruebas en distintos equipos que evalúen sus propiedades, debido a que es un concreto nuevo en la región

### **Limitaciones:**

Para la realización del presente trabajo se tendrán las siguientes limitaciones:

- La escases de canteras de agregados de buena calidad necesarios para su elaboración.
- La presencia de sustancias degradantes como sulfatos, cloruros, materia orgánica tanto en los agregados, como en el agua de mezcla como en el suelo de fundación.
- La obtención de adiciones minerales en el mercado local.
- El control de la temperatura de curado del concreto.

## **1.5.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.**

### **1.5.1.-Objetivo General.**

- Lograr el diseño de una mezcla de concreto de alta resistencia a la compresión, cuyo  $f^c$ : 800 kg/cm<sup>2</sup> o mayor, utilizando agregados de las canteras de Cajamarca y aditivo súper plastificante, micro sílice y nanosilice.

### **1.5.2.-Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados.
- Obtener las propiedades físicas y químicas del cemento a emplear.
- Determinar las propiedades y proporciones del aditivo
- Determinar las propiedades y proporciones de la micro sílice.
- Determinar las propiedades y proporciones de la nanosilice.
- Comprobar el comportamiento del aditivo, nanosilice y micro sílice, elegidos para la elaboración de mezcla de concreto de alta resistencia empleando el cemento Pacasmayo Tipo I.

## **1.6.-Alcances:**

La investigación estará centrada en el diseño de mezclas de concreto de alta resistencia con el uso de agregados de una cantera importante de la ciudad de Cajamarca, micro sílice y aditivos super plastificantes.

Se determinara los porcentajes óptimos de estos materiales para lograr un concreto altamente resistente, que en estado fresco y endurecido cumpla con las especificaciones técnicas propuestas.

Esta tesis beneficiará al Departamento de Cajamarca, donde se proyectan obras estructurales de mediana y gran envergadura como: edificios de gran altura, construcción prioritaria de puentes pre y post tensados para mejorar el acceso a las provincias que

conforman dicho departamento, y por ende mejorar las vías de comunicación que se encuentran actualmente deterioradas en nuestro país.

Se anhela que sirva como una fuente bibliográfica para otros trabajos de naturaleza similar que se realicen en el futuro, y también como referente en trabajo de campo de la ingeniería civil.

## **6.-CARACTERÍSTICAS LOCALES.**

### **UBICACIÓN:**

El presente trabajo se realizara en la ciudad de Cajamarca-Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de Cajamarca.- Esta se encuentra situada en la zona Norte de la Sierra del Perú, aproximadamente a 176 Km. del cruce de la Carretera Panamericana Norte (km. 686), se localiza entre las coordenadas 7°10'48" y 7°11'36" latitud sur y 78°03'18" Longitud Oeste.

### **ALTITUD:**

Su altitud es de 2,750 m.s.n.m.

### **CLIMA:**

Presenta un clima variado teniendo cambios de temperatura promedio anual de 11°C. Las temperaturas máximas llegan a superar los 20°C, mientras que las temperaturas mínimas promedio se encuentran por debajo -10°C, ocasionando heladas en los meses de julio a setiembre, por lo que se le considera zona de exposición moderada al intemperismo.

### **ACCESIBILIDAD.**

La accesibilidad a la ciudad de Cajamarca, puede ser vía aérea Lima-Cajamarca (960Kms) durante 50 minutos de vuelo y mediante transporte terrestre, mediante una carretera totalmente pavimentada

**JUSTIFICACIÓN:**

El diseño de mezcla de concreto de alta resistencia se justifica por cuanto es de vital importancia para obras de mediana y gran envergadura, y porque se consigue muchas ventajas respecto a los concretos tradicionales; así por ejemplo en la construcción de Edificio de gran altura o puentes de grandes luces lográndose una optimización en capacidad portante, secciones esbeltas y reducción de costos de una manera significativa.

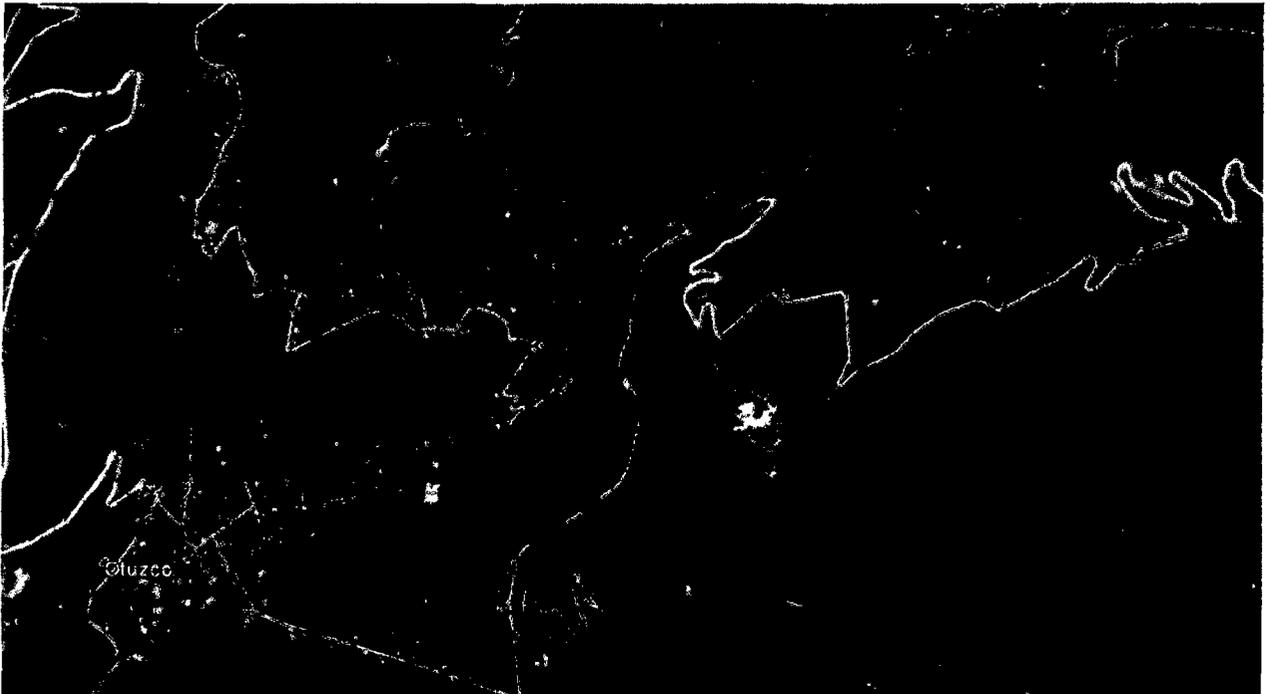
# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEORICO**

## **2.-LOS AGREGADOS Y SUS CARACTERISTICAS**

### **2.1 Elección de la Cantera para el presente trabajo:**

**2.1.1. Ubicación.-** La Cantera está ubicada por los alrededores del Centro poblado de Otuzco, Provincia de Cajamarca, para la extracción del material existe buena accesibilidad lo que favorece significativamente para la realización de las diversas obras de ingeniería.



### **2.1.2. Geología.**

#### **Características de las Formaciones Geológicas del Valle de Cajamarca**

Las rocas empleadas en el área, corresponden a rocas sedimentarias y efusivas volcánicas que geológicamente son de edad cretácica y terciaria respectivamente; distinguiéndose además acumulaciones de lechos lacustres y suelos que constituyen depósitos inconsolidados.

Las rocas sedimentarias que dentro de la columna estratigráfica según su antigüedad, corresponden a las formaciones geológicas Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Inca, Chulec, Pariatambo, Yumagual, Quilquiñán, Mujarrum y Cajamarca, están constituidas por la siguiente descripción litológica:

**-La Formación Chimú (ki-chim)**, la más antigua de la edad cretácico, son una alternancia de areniscas, cuarcitas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas en bancos gruesos, su afloramiento se localizan a la salida de Cajamarca – San Juan – Chilete (Sector Guitarrero).

**-La Formación Santa (ki-sa)**, de edad cretáceo inferior restringidamente representada hacia el sur de Cajamarca por un afloramiento alargado en dirección este – oeste, está constituido por una intercalación de rocas lutitas y calizas margosas y areniscas gris oscuras. Las rocas de esta formación por intemperismo adquieren un tono gris marrón y topográficamente conforman depresiones, siempre dan terrenos blandos deleznable y fangosos. Se le encuentra en la carretera Cajamarca – Chilete (Sector Guitarrero).

**-La Formación Carhuaz (ki-ca)**, de edad cretáceo inferior también emplazada en el sur, alargada de este a oeste, consta de una alternancia de areniscas con lutitas grises las primeras con matices rojizos, violetas y verdosas que les permite una fácil diferenciación en el campo. Aflora en la cantera Cajamarca – Chilete (Sector Guitarrero); cerro Balconcillo, al este de los Baños del Inca.

**-La Formación Farrat (ki-f)**, de edad cretáceo inferior representa el mayor emplazamiento de rocas sedimentarias del área, localizándose al nor este, norte y sur de la ciudad, e inclusive constituye el basamento rocoso, por su lado de la ciudad de Cajamarca está conformado por rocas cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grano grueso, fácilmente confundibles con las descritas, pudiendo diferenciarse estableciendo sus relaciones estratigráficas. Estas rocas cuarcitas debido a su gran resistencia al

intemperismo, conforman escarpas y altas cumbres que contrastan con el fuerte moldeamiento de las rocas de las otras formaciones.

**-La Formación Inca (ki-in)**, de edad cretáceo inferior representado por un delgado afloramiento hacia el este de los Baños del Inca y también al sur oeste de la ciudad, alargados en dirección este – oeste, es un gran paso transicional de la formación Farrat, constituida por una intercalación de areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y lechos de cuarcitas dando su superficie un matiz rojizo.

**-La Formación Chulec (ki-chu)**, con la misma localización que la formación Inca, está constituida por una secuencia bastante fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren un color crema amarillento, que permite distinguirlo en el campo.

**-La Formación Pariatambo (ki-pa)**, localizada para el nor oeste de los Baños del Inca, en forma alargada, al igual que hacia el este de la ciudad, donde se emplaza afloramientos también con el mismo alargamiento este – oeste, está constituido por una alternancia con lutitas con lechos delgados de calizas bituminosas negruscas, extractos calcáreos con nódulos silíceos (chert) y dolomíticos con un característico olor fétido al fracturarlos.

**-Formación Yumagual (ks-yu)**, emplazado también al nor este de los Baños del Inca y con mayor representatividad hacia el este de la ciudad de Cajamarca, consiste en una secuencia de margas y calizas gris verduscas, en bancos más o menos uniformes y que debido a su dureza uniforme presenta escarpas enlojadas .

**-Formación Quilquiñán y Mujarrum (ks-qm)**, localizada al nor este de los Baños del Inca y con mayor representación al oeste de la ciudad, tiene forma alargada.

## **-Depósitos Clásticos Cuaternarios**

Con ésta denominación se reconoce a las diferentes acumulaciones de material inconsolidado, producto de la desintegración de las rocas de basamento descritas, con diferente grado de transporte, que se han depositado en las pequeñas cuencas interandinas (lacustres), en las faldas de los cerros y laderas (aluviales) y en los lechos de ríos (fluviales).

Los materiales aluviales, producto de la desintegración de las rocas de basamento y con poco recorrido, se encuentran depositados en las laderas inferiores de los cerros y están constituidos por clastos sub angulosos de diferente litología (cuarcitas, areniscas, calizas) en un aglutinante generalmente arcilloso a arena arcilloso. Es sobre estos materiales donde se ubica la ciudad de Cajamarca, mayormente.

Los materiales fluviales localizados en los cursos de los ríos Mashcón y Chonta y sus tributarios más importantes, están constituidos por cantos rodados, de naturaleza volcánica mayormente (andesitas y dacitas), así como de matriz arenosa suelta y que constituyen fuentes de extracción de materiales agregados para la construcción.

### **2.2. Características Físicas de los Agregados de la Cantera:**

#### **2.2.1. Forma y textura superficial:**

a) **Forma.**- La grava de ésta cantera se caracteriza por presentar partículas de forma sub angular y angular; formas que son adquiridas luego de ser chancado el material para obtener un T.M.N 3/4" (20 m.m.) cumpliendo así con las "Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante".

El agregado fino presenta una forma de grano angular y sub angular.

b) **Textura.**- El agregado grueso o piedra chancada de la cantera presenta una textura lisa y áspera, al igual que el agregado fino o arena gruesa.

### 2.2.2. Análisis Granulométrico:

**TABLA N° 2.1.- Análisis Granulométrico para agregado fino correspondiente al 1° ensayo.**

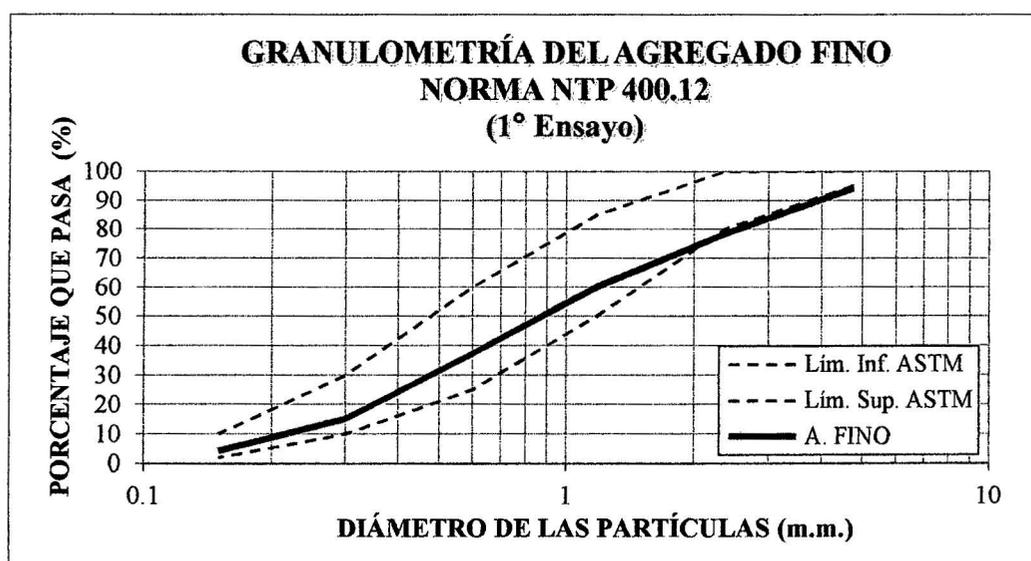
#### A. AGREGADO FINO

##### 1° ENSAYO

Peso de la muestra = 1200.00 gr

Tamiz		Peso Retenido(gr)	Retenido parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que pasa(%)
N°	(mm)				
4	4.76	253.60	21.13	21.13	78.87
8	2.36	207.40	17.28	38.42	61.58
16	1.18	152.50	12.71	51.13	48.88
30	0.6	158.20	13.18	64.31	35.69
50	0.3	182.00	15.17	79.48	20.53
100	0.15	193.30	16.11	95.58	4.42
200	0.075	48.50	4.04	99.63	0.37
Cazoleta		4.50	0.38	100.00	0.00

**GRÁFICA N° 2.1.- Curva Granulométrica para agregado fino correspondiente al 1° ensayo.**



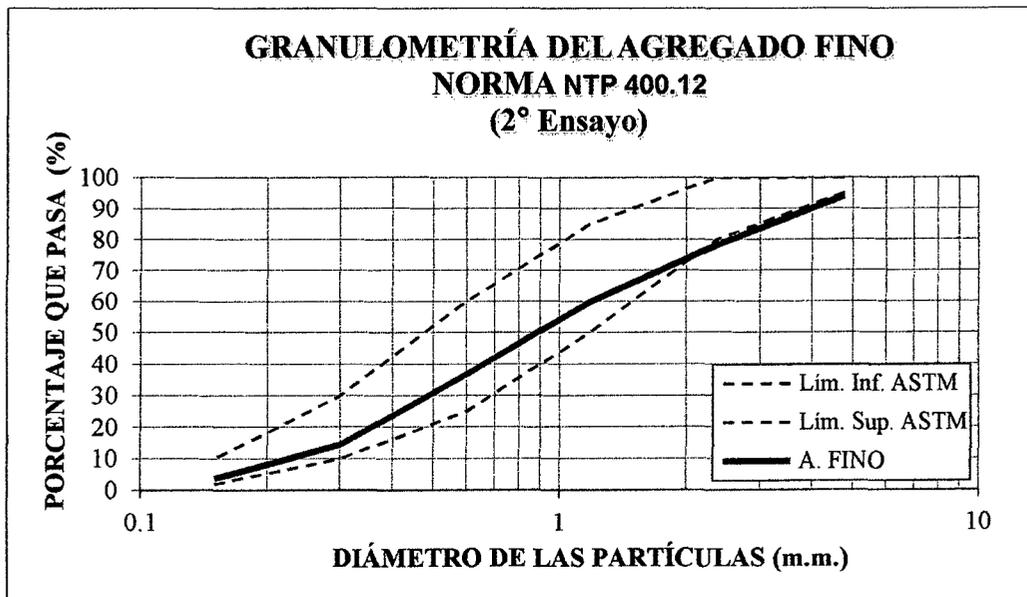
**TABLA N° 2.2.- Análisis Granulométrico para agregado fino correspondiente al 1° ensayo.**

**2° ENSAYO**

Peso de la muestra = 1000.00 gr

Tamiz		Peso Retenido(gr)	Retenido parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que pasa(%)
N°	(mm)				
4	4.76	183.9	18.39	18.39	81.61
8	2.36	153.1	15.31	33.70	66.30
16	1.18	115.6	11.56	45.26	54.74
30	0.6	130.7	13.07	58.33	41.67
50	0.3	141.9	14.19	72.52	27.48
100	0.15	211.1	21.11	93.63	6.37
200	0.075	48.8	4.88	98.51	1.49
<b>Cazoleta</b>		14.9	1.49	100.00	0.00

**GRÁFICA N° 2.2.- Curva Granulométrica para agregado fino correspondiente al 2° ensayo.**



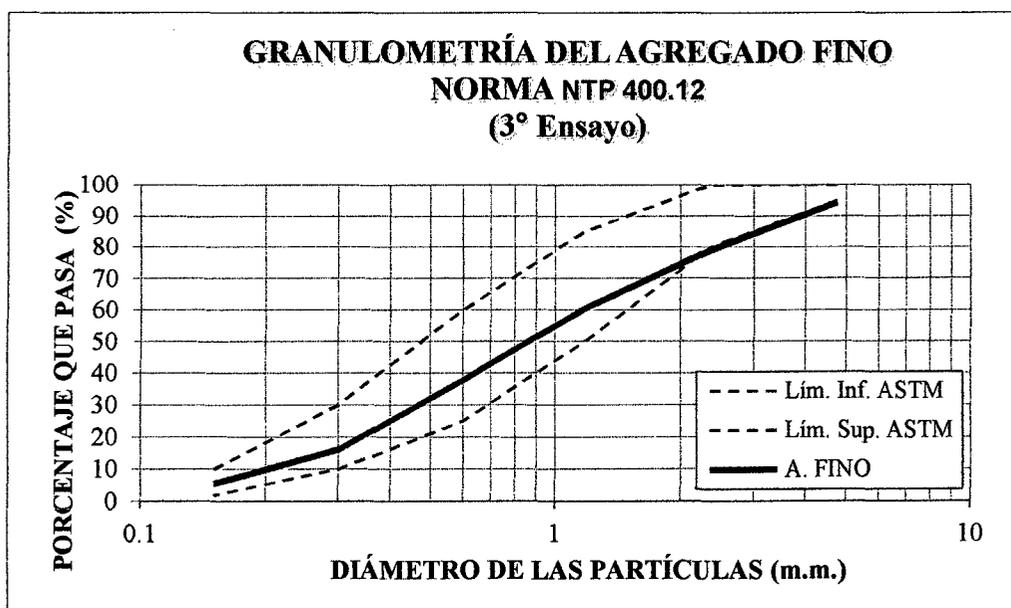
**TABLA N° 2.3.- Análisis Granulométrico para agregado fino correspondiente al 3° ensayo.**

**3 ° ENSAYO**

Peso de la muestra = 1100.00 gr

Tamiz		Peso Retenido(gr)	Retenido parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que pasa(%)
N°	(mm)				
4	4.76	220.1	20.009	20.01	79.99
8	2.36	186.34	16.940	36.95	63.05
16	1.18	142.21	12.928	49.88	50.12
30	0.6	152.1	13.827	63.70	36.30
50	0.3	138.4	12.582	76.29	23.71
100	0.15	205.64	18.695	94.98	5.02
200	0.075	48.65	4.423	99.40	0.60
<b>Cazoleta</b>		6.56	0.596	100.00	0.00

**GRÁFICA N° 2.3.- Curva Granulométrica para agregado fino correspondiente al 3° ensayo.**



**TABLA N° 2.4.- Análisis Granulométrico para agregado grueso correspondiente al 1° Ensayo.**

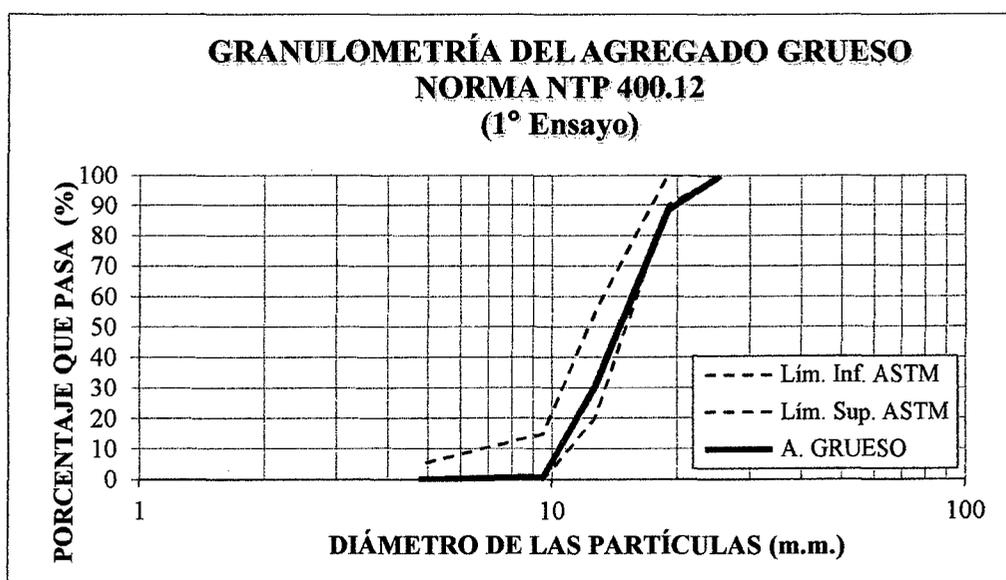
**B. AGREGADO GRUESO**

**1° ENSAYO**

Peso de la muestra = 8000.00 gr

Tamiz		Peso Retenido(gr)	Retenido parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que pasa(%)
N°	(mm)				
2"	50.00	0.000	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.000	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.000	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.421	5.26	5.26	94.74
1/2"	12.70	4.285	53.56	58.83	41.18
3/8"	9.51	2.397	29.96	88.79	11.21
N°4	4.76	0.873	10.91	99.70	0.30
<b>Cazoleta</b>		0.024	0.30	100.00	0.00

**GRÁFICA N° 2.4.- Curva Granulométrica para agregado grueso correspondiente al 1° ensayo.**



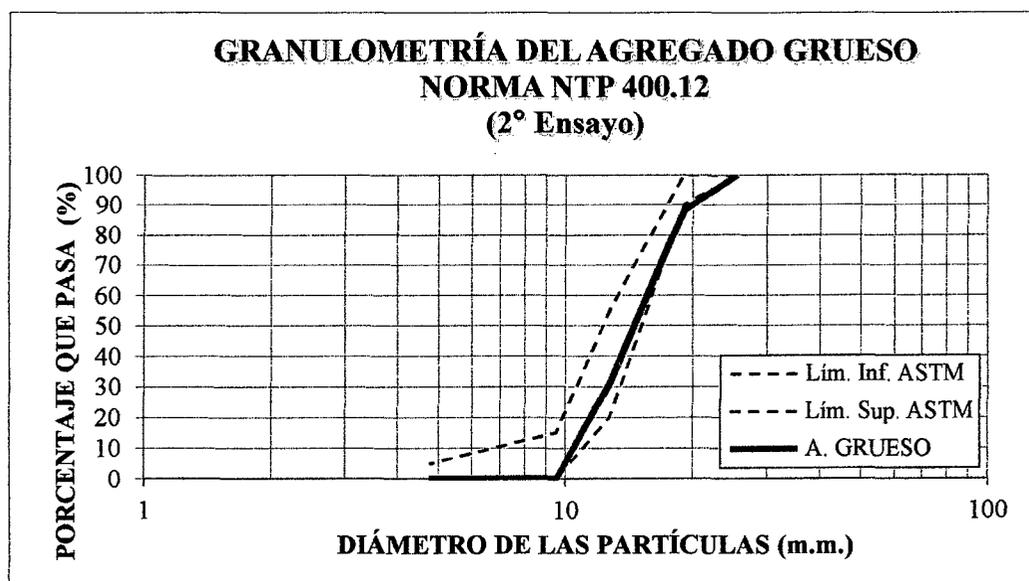
**TABLA N° 2.5.- Análisis Granulométrico para agregado grueso correspondiente al 2° ensayo.**

**2 ° ENSAYO**

Peso de la muestra = 8000.00 gr

Tamiz		Peso Retenido(gr)	Retenido parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que pasa(%)
N°	(mm)				
2"	50.00	0.000	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.000	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.000	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.503	6.29	6.29	93.71
1/2"	12.70	4.575	57.19	63.47	36.53
3/8"	9.51	2.171	27.14	90.61	9.39
N°4	4.76	0.754	9.42	100.04	-0.04
<b>Cazoleta</b>		<b>0.500</b>	<b>6.25</b>	<b>106.29</b>	<b>6.29</b>

**GRÁFICA N° 2.5.- Curva Granulométrica para agregado grueso correspondiente al 2° ensayo.**



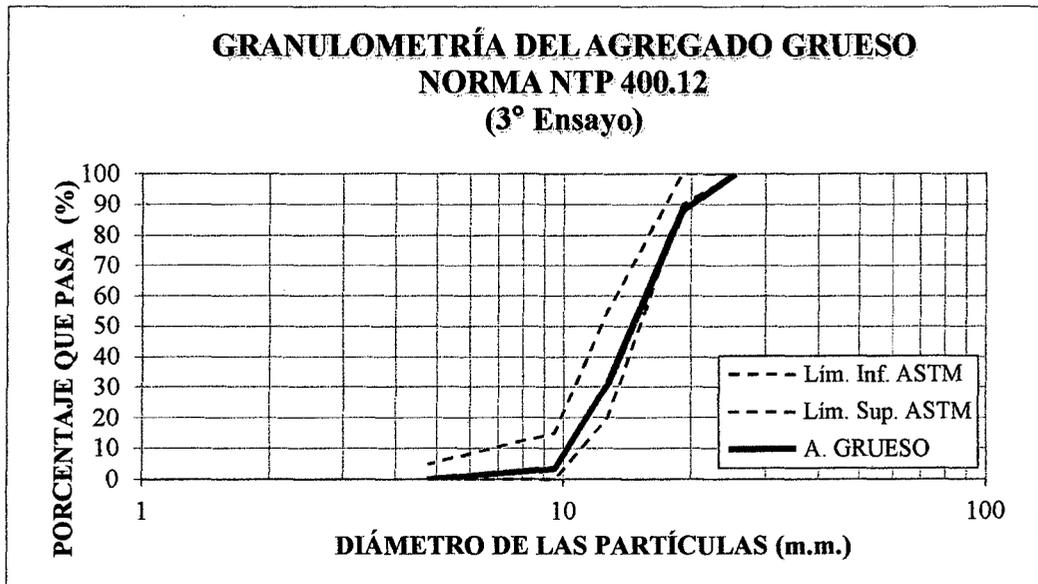
**TABLA N° 2.6.- Análisis Granulométrico para agregado grueso correspondiente al 3° ensayo.**

**3 ° ENSAYO**

Peso de la muestra = 8000.00 gr

Tamiz		Peso Retenido(gr)	Retenido parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que pasa(%)
N°	(mm)				
2"	50.00	0.000	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.000	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.000	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.503	6.29	6.29	93.71
1/2"	12.70	4.575	57.19	63.47	36.53
3/8"	9.51	2.171	27.14	90.61	9.39
N°4	4.76	0.454	5.67	96.29	3.71
<b>Cazoleta</b>		0.300	3.75	100.04	0.04

**GRÁFICA N° 2.6.- Curva Granulométrica para agregado grueso correspondiente al 3° ensayo.**



### 2.2.3. Tamaño máximo del agregado.

Tamaño Máximo del Agregado = 1/2" (12.7 mm.).

### 2.2.4. Módulo de Finura.

#### A. AGREGADO FINO

##### 1 ° ENSAYO

$$m_{f1} = \frac{21.13 + 38.42 + 51.13 + 64.31 + 79.48 + 95.58 + 99.63}{100}$$

$$m_{f1} = 3.500$$

##### 2 ° ENSAYO

$$m_{f2} = \frac{18.39 + 33.70 + 45.26 + 58.33 + 72.52 + 93.63 + 98.51}{100}$$

$$m_{f2} = 3.218$$

##### 3° ENSAYO

$$m_{f3} = \frac{20.01 + 36.95 + 49.88 + 63.70 + 76.29 + 94.98 + 99.40}{100}$$

$$m_{f3} = 3.418$$

##### PROMEDIO

$$m_f = \frac{3.500 + 3.218 + 3.418}{3}$$

$$m_f = 3.38$$

**B. AGREGADO GRUESO**

**1 ° ENSAYO**

$$m_{g1} = \frac{0 + 5.26 + 88.79 + 99.708 + 500}{100}$$

$$m_{g1} = 6.937$$

**2 ° ENSAYO**

$$m_{g2} = \frac{0 + 6.29 + 90.61 + 96.29 + 500}{100}$$

$$m_{g2} = 6.932$$

**3 ° ENSAYO**

$$m_{g3} = \frac{0 + 63.75 + 90.38 + 99.38 + 500}{100}$$

$$m_{g3} = 6.898$$

**PROMEDIO**

$$m_g = \frac{6.937 + 6.932 + 6.898}{3}$$

$$m_g = 6.93$$

## 2.2.5. Peso específico y absorción.

**Tabla 2.7.- Datos de ensayos de pesos específicos para agregado fino.**

Descripción	Ensayos			Promedio
	E - 1	E - 2	E - 3	
$W_{\text{Fiola}} \text{ (gr.)}$	213.3	213.3	213.3	
$W_{\text{Fiola} + \text{agregado}} \text{ (gr.)}$	713.30	713.30	713.30	
$W_{\text{Fiola} + \text{agregado} + \text{agua}} \text{ (gr.) SSS}$	1024.10	1026.00	1024.00	
Volumen de agua añadida (Va)	310.80	312.70	310.70	
TARA	N - 1	N - 2	N - 3	
$W_{\text{Tara}} \text{ (gr.)}$	73.60	73.80	74.10	
$W_{\text{Tara} + \text{M seca}} \text{ (gr.)}$	567.10	567.60	567.60	
$W_{\text{Muestra seca}} \text{ (gr.) (Wo)}$	493.50	493.80	493.50	
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.61	2.64	2.61	2.62
PESO ESPEC. DE MASA SSS	2.64	2.67	2.64	2.65
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.70	2.73	2.70	2.71
PORCENTAJE DE ABSORCION	1.32	1.26	1.32	1.30

**Tabla 2.8.- Datos de ensayos de pesos específicos para agregado grueso.**

Descripción	Ensayos			Promedio
	E - 1	E - 2	E - 3	
$W_{\text{agregado S.S.S}} \text{ (gr)} \quad \text{(B)}$	5047.90	5047.40	5047.90	
$W_{\text{Agregado} + \text{Malla}} \text{ (gr)}$	7633.00	7630.00	7536.00	
$W_{\text{Malla}} \text{ (gr)}$	2550.00	2550.00	2550	
$W_{\text{Malla sumergida}} \text{ (gr)}$	2480.00	2480.00	2480.00	
$W_{\text{Malla} + \text{grava sumergida}} \text{ (gr)}$	5655.50	5655.00	5654.50	
$W_{\text{Grava sumergida}} \text{ (gr)} \quad \text{(C)}$	3175.50	3175.00	3174.5	
$W_{\text{Muestra seca}} \text{ (gr)} \quad \text{(A)}$	4979.60	4980.40	4979.90	
Peso específico de masa	2.66	2.66	2.66	2.66
Peso específico de masa SSS	2.70	2.70	2.69	2.70
Peso específico aparente	2.76	2.76	2.76	2.76
Porcentaje de absorción	1.37	1.35	1.37	1.36

### 2.2.6. Porcentaje de humedad

**Tabla 2.9.- Datos de ensayos de contenido de humedad realizados para agregado fino.**

Descripcion	Formula	Ensayos			Promedio
		E - 01	E - 02	E - 03	
Peso Tara	-	73.9	74	73.6	
Peso Tara + muestra Humeda	-	573.90	574.00	573.60	
Peso de la Muestra Humeda	Mh	500.00	500.00	500.00	
Peso de Tara + Muestra Seca		552.90	552.84	552.82	
Peso de la Muestra secada al horno (gr)	Ms	479.00	478.84	479.22	
Peso del agua perdida (gr)	CA=(MH-MS)	21.00	21.16	20.78	
Contenido de Humedad (%)	CA/MS*100	4.38	4.42	4.34	<b>4.380</b>

**Tabla 2.10.- Datos de ensayos de contenido de humedad realizados para agregado grueso.**

Descripcion	Formula	Ensayos			Promedio
		E - 01	E - 02	E - 03	
Peso Tara	PT	73.9	130	73	
Peso Tara + muestra	PT+MH	1193.10	2152.10	1193.90	
Peso de la Muestra Humeda	Mh	1119.20	2022.10	1120.90	
Peso de Tara + Muestra Seca	T+Ms	1183.70	2134.60	1183.70	
Peso de la Muestra secada al horno (gr)	Ms	1109.80	2004.60	1110.70	
Pesi del agua perdida (gr)	CA=(MH-MS)	9.40	17.50	10.20	
Contenido de Humedad (%)	CA/MS*100	0.85%	0.87%	0.92%	<b>0.88%</b>

### 2.2.7. Peso unitario.

**Tabla 2.11.- Datos de ensayos de peso unitario compactado para agregado fino.**

DESCRIPCION	Ensayos			Promedio
	E - 01	E - 02	E - 03	
Peso del Molde en Kg	4.220	4.220	4.220	
Peso del Molde mas muestra en Kg	20.434	20.432	20.430	
Peso de la Muestra	16.214	16.212	16.210	
Volumen del Molde en m3	0.010	0.010	0.010	
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1680.860	1680.652	1680.445	<b>1680.652</b>

**Tabla 2.12.- Datos de ensayos de peso unitario suelto seco para agregado fino.**

DESCRIPCION	Ensayos			Promedio
	E - 01	E - 02	E - 03	
Peso del Molde en Kg	4.220	4.220	4.220	
Peso del Molde mas muestra seca (Kg)	19.269	19.279	19.290	
Peso de la Muestra	15.049	15.059	15.070	
Volumen del Molde en m3	0.010	0.010	0.010	
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1560.087	1561.124	1562.264	

**Tabla 2.13.- Datos de ensayos de peso unitario compactado para agregado grueso.**

DESCRIPCION	Ensayos			Promedio
	E - 01	E - 02	E - 03	
Peso del Molde en Kg	4.220	4.220	4.220	
Peso del Molde mas muestra en Kg	19.408	19.410	19.411	
Peso de la Muestra	15.188	15.190	15.191	
Volumen del Molde en m3	0.010	0.010	0.010	
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1574.497	1574.704	1574.808	

**Tabla 2.14.- Datos de ensayos de peso unitario suelto seco para agregado grueso.**

DESCRIPCION	Ensayos			Promedio
	E - 01	E - 02	E - 03	
Peso del Molde en Kg	4.220	4.220	4.220	
Peso del Molde mas muestra en Kg	18.424	18.426	18.426	
Peso de la Muestra	14.204	14.206	14.206	
Volumen del Molde en m3	0.010	0.010	0.010	
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1472.489	1472.696	1472.696	

2.2.8. Resistencia a la abrasión.

Tabla 2.15.- Datos del ensayo de resistencia a la abrasión correspondientes al 1° ensayo.

TAMICES		RETENIDO EN		B
ABERTURA	PASA			
1 1/2"	37.5 mm	1"	25.4 mm	-
1"	25.4 mm	3/4"	19.0mm	-
3/4"	19.0mm	1/2"	12.7 mm	2500g
1/2"	12.7 mm	3/8"	9.51 mm	2500g
TOTAL				5000g

Peso Inicial    5000    gr  
 Pt                    240    gr  
 Pt + m            4123    gr  
 Peso Final        3883    gr

$$\begin{aligned} \text{\% de Desgaste} &= \frac{(5000 - 3883) \times 100}{5000} \\ \text{\% De} &= 22.34\% \end{aligned}$$

Tabla 2.16.- Datos del ensayo de resistencia a la abrasión correspondientes al 2° ensayo.

TAMICES		RETENIDO EN		B
ABERTURA	PASA			
1 1/2"	37.5 mm	1"	25.4 mm	-
1"	25.4 mm	3/4"	19.0mm	-
3/4"	19.0mm	1/2"	12.7 mm	2500g
1/2"	12.7 mm	3/8"	9.51 mm	2500g
TOTAL				5000g

Peso Inicial    5000    gr  
 Pt                    235    gr  
 Pt + m            4097    gr  
 Peso Final        3862    gr  
                           % De            =    22.76%

**Tabla 2.17.- Datos del ensayo de resistencia a la abrasión correspondientes al 3° ensayo.**

TAMICES		RETENIDO EN		B
ABERTURA	PASA			
1 1/2"	37.5 mm	1"	25.4 mm	-
1"	25.4 mm	3/4"	19.0mm	-
3/4"	19.0mm	1/2"	12.7 mm	2500g
1/2"	12.7 mm	3/8"	9.51 mm	2500g
<b>TOTAL</b>				<b>5000g</b>

Peso Inicial      5000    gr  
 Pt                    235     gr  
 Pt + m            4080    gr  
 Peso Final        3845    gr

$$\begin{aligned} & \% \text{ de Desgaste} \\ & = \frac{(5000 - 3845) * 100}{5000} \\ & \% \text{ De} \quad \quad \quad = \quad \quad \quad \mathbf{23.10\%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Promedio del \% de} \\ & \text{desgaste} \quad \quad \quad = \quad \quad \quad \mathbf{22.73\%} \end{aligned}$$

**CAPÍTULO III**  
**EL CONCRETO DE ALTA**  
**RESISTENCIA**

### **3.1 CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA**

El concreto de cemento Pórtland es actualmente el material de construcción más utilizado en el mundo porque para la mayoría de las aplicaciones ofrece propiedades de ingeniería y estéticas adecuadas a bajo costo. Las mezclas de concreto se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos del diseño arquitectónico y estructural.

El concreto en estado endurecido soporta de manera adecuada las cargas de compresión, por esta razón la resistencia a compresión del material es la que tradicionalmente se especifica en los proyectos de construcción. Debido a que la resistencia del concreto es una función del proceso de hidratación, que es relativamente lento, las especificaciones y las pruebas para medir la resistencia del concreto se basan en muestras bajo condiciones normalizadas. Se realizan pruebas para diferentes propósitos, pero los dos objetivos principales de una prueba son el control de calidad y el cumplimiento de las especificaciones.

La calidad y las especificaciones difieren de acuerdo con el tipo de aplicación del concreto: edificios, puentes, túneles, pavimentos, pisos, etc. Cuando no se requiere una propiedad especial en el material, se emplea concreto normal con propiedades convencionales. Sin embargo, cada vez es más común especificar características especiales en el concreto debido a complejidades en los proyectos, ya sean por su tamaño como los grandes edificios o puentes, o por condiciones desfavorables de exposición de la estructura como en obras marítimas o plantas de tratamiento de aguas residuales.

Este artículo expone las propiedades más importantes del concreto normal y del concreto de alto comportamiento, en particular se hace referencia al concreto de alta resistencia en cuanto a su forma de producción y sus aplicaciones en edificios altos. Se presentan los resultados del proyecto de investigación sobre concretos de alta resistencia realizados en el Laboratorio de Construcción de la Universidad Autónoma Metropolitana en la Unidad Azcapotzalco.

### 3.1.1 TIPOS DE CONCRETO

El concreto es una mezcla de cemento, agua, agregados grueso y fino (grava y arena), aditivos y aire (Figura 1). En concretos de características especiales se incluyen en la mezcla adiciones minerales como la ceniza volante (fly ash) o los colorantes. En estado fresco, es una mezcla fluida que se puede moldear aún después de algunas horas de haber sido elaborada, hasta que se presenta el fraguado inicial del concreto a partir del cual comienza a endurecer, ganando resistencia conforme avanza el tiempo.



Es evidente que las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido, dependen fundamentalmente de las características de cada uno de sus componentes, pero es indudable que la relación agua/cemento, la calidad y naturaleza de los agregados son aspectos que influyen en la mayor parte de dichas propiedades.

Tabla 1. Requisitos del concreto (Reglamento de Construcciones para el D.F.)

Tipo de Concreto	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia Normal Clase 1	> 2,200	250-400	11,000 $f'c$ (b) 14,000 $f'c$ (c)
Resistencia Normal Clase 2	1,900-2,200	200-250	8,000 $f'c$
Alta resistencia	> 2,200	400-700	8,500 $f'c + 50,000$ (b) 8,500 $f'c + 110,000$ (c)

En las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones se establecen los requisitos

que debe cumplir el concreto de resistencia normal empleado para fines estructurales y las obras en las que pueden ser utilizados cada una de las clases de concreto. La Tabla 1 presenta los requisitos respecto a propiedades como el peso volumétrico, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad necesarias en las obras donde se especifique concreto normal estructural, concreto de alta resistencia y concreto ligero.

En términos generales, el concreto de resistencia normal es una mezcla de cemento, agua, agregados grueso y fino (grava y arena) y aire, de aplicación convencional en elementos como: cimentaciones, muros, columnas, losas y vigas en edificaciones que requieren resistencias a la compresión entre 150 y 400 kg/cm<sup>2</sup>.

El concreto de alto comportamiento es un material de aplicación especial, de acuerdo con características específicas requeridas en las construcciones, como: alta resistencia, bajo o alto peso volumétrico, resistente a agentes químicos, a condiciones de clima extremo o tránsito intenso. Para dosificar estos concretos se utilizan, además de los materiales convencionales del concreto, aditivos químicos y minerales. Pueden ser necesario emplear técnicas especiales de mezclado, colocación y curado.

Actualmente los concretos de alto comportamiento están siendo usados principalmente en edificaciones como grandes edificios, puentes, túneles y presas, las cuales requieren de una alta resistencia, durabilidad y alto módulo de elasticidad.

**Antecedentes.** Cuando se habla de concreto de alta resistencia, es necesario indicar el rango de valores para los que el término debe aplicarse, pero antes de intentar acotar las resistencias para las cuales puede usarse esta acepción, puede ser útil describir cómo se han venido incrementando en las últimas décadas los valores de la resistencia a la compresión. En los años cincuenta, un concreto con resistencia a los esfuerzos de

compresión de 350 kg/cm<sup>2</sup> (34.3 MPa) era considerado de alta resistencia; hoy día, este valor es considerado normal. En la siguiente década, valores de los esfuerzos de compresión de 400 a 500 kg/cm<sup>2</sup> (39.2 a 49.1 MPa) eran usados comercialmente en algunos sitios (principalmente en países del primer mundo), y para los ochenta ya se producían concretos con valores que llegaban casi al doble.

El desarrollo del incremento de la resistencia del concreto ha sido gradual, y seguramente las investigaciones que se efectúen encontrarán concretos con resistencias superiores. Hoy día se habla ya de concretos de muy alta resistencia, cuya clasificación se propone en cuatro clases diferentes, basándose en las resistencias promedio y en la facilidad con las que éstas se pueden alcanzar (Tabla 3).

Tabla 3. Concretos de muy alta resistencia

Clase	Resistencia a la compresión	
	(kg/cm <sup>2</sup> )	MPa
I	750	75
II	1,000	100
III	1,250	125
IV	Más de 1,500	Más de 150

Tipo de Concreto	
Alta resistencia	En cimentaciones especiales, edificios de concreto de gran altura y puentes
Alto módulo de elasticidad	En cimentaciones especiales, edificios de concreto de gran altura y puentes
Resistencia a la abrasión	Pavimentos de concreto y pisos industriales con tránsito pesado de maquinaria o vehículos y en obras hidráulicas
Mayor durabilidad y vida útil prolongada.	En obras públicas como: presas, aeropuertos, puertos, puentes, carreteras y túneles
Baja permeabilidad	Concreto que protege al acero de refuerzo de la corrosión como en obras marítimas, plantas de tratamiento y plantas industriales.
Resistencia al ataque químico	Su aplicación puede ser en hospitales, plantas agrícolas o industrias donde se trabaje con sustancias ácidas.
Alta resistencia a la congelación y deshielo	Estructuras de concreto sujetas a clima extremo de bajas temperaturas
Tenacidad y resistencia al impacto	Plantas industriales y talleres mecánicos, donde se requiere de una alta resistencia y dureza superficial del concreto

Pierre Claude Aitcin, "Concretos de muy alta resistencia"

Estas clasificaciones no se definieron simplemente desde un punto de vista académico, ni por representar múltiplos exactos de 25 MPa (255 kg/cm<sup>2</sup>), sino porque corresponden a barreras tecnológicas actuales; sin embargo, debe reconocerse que no representan límites absolutos y seguramente se podrán encontrar excepciones.

Como se ha mencionado anteriormente, los concretos de alta resistencia se han podido elaborar desde los años sesenta, en las siguientes décadas se comercializaron principalmente en Norteamérica (en el área de Chicago-Montreal-Toronto y Seattle) y en algunos países de Europa. En los últimos años se han utilizado intensamente en el sudeste asiático y en la actualidad en medio oriente. En estos lugares, la integración de equipos de trabajo formados por arquitectos, ingenieros especializados en estructuras, constructores, empresas de concreto premezclado y laboratorios especializados, ha permitido que se utilice más este material de gran comportamiento, alcanzando cada vez mayores valores en su resistencia. Y por otra parte, se han construido edificios y puentes de dimensiones y claros más grandes, para los que anteriormente se pensaba por definición en estructuras de acero.

Investigaciones sobre la elaboración de concretos de alta resistencia indican que es necesario el empleo de características especiales en los componentes del concreto y en los procedimientos de mezclado y de dosificación, a continuación se mencionan las más importantes:

- **Cemento.** Son recomendables los tipos I y II, con contenidos significativos de silicato tricálcico (mayores que los normales), módulo de finura alto y composición química uniforme.
- **Grava.** De alta resistencia mecánica, estructura geológica sana, bajo nivel de absorción, buena adherencia, de tamaño pequeño y densidad elevada.
- **Arena.** Bien graduada, con poco contenido de material fino plástico y módulo de finura controlado (cercano a 3.00).
- **Agua.** Requiere estar dentro de las normas establecidas.
- **Aditivos.** Es recomendable emplear alguno o una combinación de los aditivos químicos: superfluidificantes y retardantes; y, de los aditivos minerales, ceniza volante (fly ash), microsílca (silica fume) o escoria de alto horno.
- **Mezcla.** Relaciones agua/cemento bajas (de 0.25 a 0.35), período de curado más largo y controlado, compactación del concreto por presión y confinamiento de la mezcla en dos direcciones.

- **Procedimientos de mezclado.** Adicionar selectivamente cada uno de los componentes del concreto, mezclar previamente el cemento y el agua con una revolvedora de alta velocidad y utilización de revibrado.

Adicionalmente, para la producción de este tipo de concretos son indispensables el empleo selectivo de materiales, un enfoque diferente en los procedimientos de diseño y elaboración de las mezclas, atención especial en la compactación y un control de calidad más riguroso.



Burj Dubai, Emiratos Árabes. Con 818 m de altura es el rascacielos más alto del mundo y pertenece a la generación de las construcciones elevadas de concreto de alta resistencia.

### **3.2. DISEÑO QUE NO PUEDEN DESCUIDARSE**

#### **RELACIÓN AGUA/MATERIAL CEMENTANTE**

La curva de relación agua/material cementante es imperativa y esta tiene que desarrollarse siempre con las proporciones del material cementante suplementario considerado.

Así mismo, esta curva puede llegar a tener variaciones en los aditivos utilizados, por ejemplo, en el caso del paso de una resistencia de 6000 psi a 7000 psi, puede pasar de plastificante a superplastificante.

Las relaciones para los diseños evaluados de 7000 psi a 14000 psi pueden estar entre 0.25 a 0.40, teniendo en cuenta que los componentes de la mezcla no incluyen ningún agente acelerante de la actividad (nano sílice o un material cementante suplementario de alto costo como el humo de sílice). Para el rango de resistencias mencionadas, los diseños pueden seguir siendo de un costo no tan elevado debido a su materia prima.

## **RELACIÓN ARENA/AGREGADO**

Esta relación es fundamental, puesto que dependiendo de sus características físicas, además de que su contenido dentro de la mezcla sea alto, puede llegar a afectar considerablemente los contenidos de agua. Es importante la mínima relación arena agregado posible, manteniendo la mejor manejabilidad y trabajabilidad de la mezcla; la inclusión de grava fina dentro del diseño, favorece estas características en la mezcla.

Considerar una relación inicial entre 0.35 y 0.43, es un buen punto para ir ajustando la mezcla en términos de contenido de arena respecto a facilidad de colocación y resistencia.

## **ASENTAMIENTO**

El asentamiento recomendado para el desarrollo de mezclas de alta resistencia es mayor a 8"; los asentamientos de 4" a 6" presentan inconvenientes con el manejo en obras debido a su alta viscosidad y peso. Estos tipos de concretos con asentamientos de 9" permiten el fácil manejo y aplicación.

La alta viscosidad de estos concretos se debe a las cuantías de cementante y altas dosificaciones de aditivo superplastificante, el cual es necesario para facilitar la defloculación de las partículas cementantes, permitiendo las reducciones significativas de agua.

Palabras más, palabras menos, para la consecución de los diseños de 7000 psi a 14000 psi, debe tenerse en cuenta el uso de adiciones, agregados de tamaño máximo de 3/8" y 1/2" y el uso de superplastificantes con policarboxilatos. Además, tienen que considerarse relaciones

de agua – material cementante inferiores a 0.40, arena – agregado entre 0.35 y 0.43 y asentamientos mayores a 8”.

Con las anteriores consideraciones, se desarrollan las curvas de agua – material cementante, por material cementante binario o ternario utilizado; esto es crucial como input de diseño y como curva de optimización de producto.

### 3.3 ¿Para QUÉ es necesario el concreto de alta resistencia?

- Para colocar el concreto en servicio a una edad mucho menor, por ejemplo dar tráfico a pavimentos a 3 días de su colocación.
- Para construir edificios altos reduciendo la sección de las columnas e incrementando el espacio disponible.
- Para construir superestructuras de puentes de mucha luz y para mejorar la durabilidad de sus elementos.
- Para satisfacer necesidades específicas de ciertas aplicaciones especiales como por ejemplo durabilidad, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión. Entre algunas de dichas aplicaciones se cuentan presas, cubiertas de graderías, cimentaciones marinas, parqueaderos, y pisos industriales de tráfico pesado. (Cabe señalar que el concreto de alta resistencia no es garantía por sí mismo de durabilidad).

Cuando se habla de concreto de alta resistencia, es necesario indicar el rango de valores para los que el término debe aplicarse, pero antes de intentar acotar las resistencias para las cuales puede usarse esta acepción, puede ser útil describir cómo se han venido incrementando en las últimas décadas los valores de la resistencia a la compresión. En los años cincuenta, un concreto con resistencia a los esfuerzos de compresión de 350 kg/cm<sup>2</sup> (34.3 MPa) era considerado de alta resistencia; hoy día, este valor es considerado normal. En la siguiente década, valores de los esfuerzos de compresión de 400 a 500 kg/cm<sup>2</sup> (39.2 a 49.1 MPa) eran usados comercialmente en algunos sitios (principalmente en países del primer mundo), y para los ochenta ya se producían concretos con valores que llegaban casi al doble.

El desarrollo del incremento de la resistencia del concreto ha sido gradual, y seguramente las investigaciones que se efectúen encontrarán concretos con resistencias superiores. Hoy día se habla ya de concretos de muy alta resistencia, cuya clasificación se propone en cuatro clases diferente, 1 basándose en las resistencias promedio y en la facilidad con las que éstas se pueden alcanzar tabla 1.

Estas clasificaciones no se definieron simplemente desde un punto de vista académico, ni por representar múltiplos exactos de 25 MPa (255 kg/cm<sup>2</sup>), sino porque corresponden a barreras tecnológicas actuales; sin embargo, debe reconocerse que no representan límites absolutos y seguramente se podrán encontrar excepciones.

Como se ha mencionado anteriormente, los concretos de alta resistencia se han podido elaborar desde los años sesenta; sin embargo, en la actualidad sólo se han podido comercializar intensamente en algunos lugares del mundo, como son el área de Chicago-Montreal-Toronto, Seattle y, en forma más aislada, en otros países. En estos lugares, la integración de equipos de trabajo formados por diseñadores, constructores, empresas de concreto premezclado y laboratorios especializados ha permitido que se utilice más este material de gran comportamiento, alcanzando cada vez mayores valores en su resistencia. Y por otra parte, se han construido edificios y puentes de dimensiones y claros más grandes, para los que anteriormente se pensaba por definición en materiales diferentes al concreto.

El reto que tenemos en nuestro país es, sin duda, empezar con el uso de estos materiales por parte de los diseñadores, y con la regulación de los mismos en los códigos y reglamentos correspondientes, pero las empresas premezcladoras deben garantizar su disposición, y los laboratorios, a su vez, deben ser capaces de llevar el control de calidad respectivo. Consideramos que existe actualmente la tecnología disponible para comenzar a utilizarlos; sólo basta dar el primer paso. Creemos que trabajos como éste contribuyen en parte a lograr tal propósito.

### **Objetivo**

El propósito de este trabajo es presentar los resultados y experiencias obtenidos en el laboratorio de relacionados con la elaboración de mezclas de concreto de alta resistencia, en los que a la fecha se han logrado alcanzar valores de 800 kg/cm<sup>2</sup> 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.

Por otra parte, es importante señalar que se tratará de utilizar el equipo que se emplea comúnmente en un laboratorio universitario, el que puede corresponder al empleado en las obras. El propósito es tratar de economizar en el costo del concreto y de hacer accesible el procedimiento de mezclado en este tipo de circunstancias.

El alcance que se plantea este trabajo es encontrar las mejores mezclas de concreto que logren las más altas resistencias, teniendo en cuenta el procedimiento de mezclado, puesto que algunos investigadores señalan que es importante la secuencia de cada uno de los elementos del concreto.

Es conveniente destacar que aquí se presentan resultados parciales y que las resistencias logradas a la fecha se han obtenido mediante procedimientos sin control de calidad "rigurosos", como generalmente lo recomiendan la mayoría de los especialistas vinculados con estos materiales.

### **Análisis de la información**

Hasta la fecha existen diversas investigaciones a escala nacional e internacional para la obtención de procedimientos de elaboración de concretos de alta resistencia; incluso, como se mencionó anteriormente, en algunas partes se comercializan concretos de este tipo. El análisis de la información disponible permitió establecer las siguientes vertientes de trabajo sobre el programa de investigación:

I Características necesarias en los materiales que componen el concreto para lograr alta resistencia a la compresión.

I Aditivos recomendables para lograr alto comportamiento en el concreto.

I Revisión de los procedimientos de mezclado y de dosificación propuestos en cada una de las referencias analizadas.

### ***Requisitos de los materiales.***

De acuerdo con las fuentes de información, se requieren al menos las siguientes características en los materiales que componen el concreto:

**Cemento.** Son recomendables los tipos I y II, con contenidos significativos de silicato tricálcico (mayores que los normales), módulo de finura alto y composición química uniforme.

**Grava.** De alta resistencia mecánica, estructura geológica sana, bajo nivel de absorción, buena adherencia, de tamaño pequeño y densidad elevada.

**Arena.** Bien graduada, con poco contenido de material fino plástico y módulo de finura controlado (cercano a 3.00).

**Agua.** Requiere estar dentro de las normas establecidas.

**Mezcla.** Relaciones agua/cemento bajas (de 0.25 a 0.35), mezclado previo del cemento y del agua con revolvedora de alta velocidad, empleo de agregados cementantes, período de curado más largo y controlado, compactación del concreto por presión y confinamiento de la mezcla en dos direcciones.

**Aditivos.** Es recomendable emplear alguno o una combinación de los aditivos químicos: superfluidificantes y retardantes; y, de los aditivos minerales, ceniza volante (fly ash), microsílica (silica fume) o escoria de alto horno.

**Procedimientos de mezclado.** Cuando el parámetro más importante por obtener es alta resistencia a la compresión, es conveniente emplear bajas relaciones agua/cemento, cuidando esencialmente la trabajabilidad del concreto y, en consecuencia, su revenimiento. En términos generales, el procedimiento de mezclado requiere, entre otros factores, mezclado previo del cemento y del agua con una revolvedora de alta velocidad, uso de

aditivos, empleo de agregados cementantes, periodo más largo de curado, de ser posible con agua, compactación del concreto por presión y confinamiento del concreto en dos direcciones.

Adicionalmente, para la producción de este tipo de concretos son indispensables el empleo selectivo de materiales, un enfoque diferente en los procedimientos de diseño y elaboración de las mezclas, atención especial en la compactación y un control de calidad más riguroso.

Algunos investigadores usan como técnicas para la producción de concretos de alta resistencia su composición, una alta velocidad de mezclado y revibrado, y eventualmente la adición de algún aditivo para incrementar la resistencia del concreto.

**A.1. Arena** La selección del agregado fino se realizó sobre la base de obtener las mejores condiciones de limpieza en cuanto a materiales contaminantes, teniendo presente que no es tan relevante la granulometría para lograr concretos de alto comportamiento. Esto último tiene relación con que este tipo de concretos contiene un alto volumen de cementantes finos, lo cual hace que la graduación de la arena usada sea poco importante en comparación con las requeridas para concretos normales. Lo que sí es recomendable es que el módulo de finura sea cercano a 3.00, sobre todo si tomamos en cuenta que se han elaborado mezclas para concretos de alta resistencia con módulos que oscilan entre 2.83 y 3.36. Estos valores ayudan a obtener una mejor trabajabilidad y resistencia a la compresión.

Se analizó la arena proveniente de la mina de Santa Fe, de origen andesítico, de acuerdo con las Normas Oficiales, y se obtuvieron los resultados que se presentan en las tablas.

Por último, es recomendable limitar la cantidad de finos hasta un máximo de 10 por ciento, y muy especialmente los finos plásticos que puedan llegar a contener, con lo que se estará evitando la contracción lineal que estas partículas originan en la mezcla de concreto.

**A.2. Agua.** En la elaboración de concretos normales y de alta resistencia, los requisitos y características del agua sólo deben satisfacer las normas correspondientes. Para verificar las propiedades del agua empleada en las diferentes mezclas, se realizó un análisis químico-biológico en los laboratorios de química de la propia Universidad. Los resultados obtenidos

se compararon con los requerimientos de la Norma, encontrándose dentro de los límites que establece la misma.

**A.3. Aditivos.** El proyecto consideró el empleo de aditivos minerales y químicos; en el primer caso, se estimó conveniente el uso de microsilica, mientras que para los aditivos químicos se emplearon superfluidificantes y reductores de agua de alta eficiencia. |

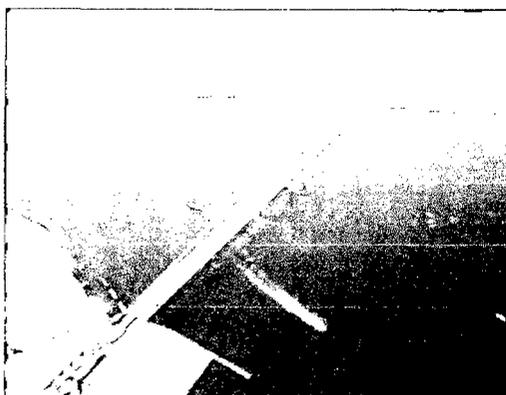
**Microsilica.** Es un aditivo a partir de microsilica compactada y seca que produce en el concreto cualidades especiales en dos aspectos: rellena los espacios entre las partículas del cemento e incrementa la cantidad de gel de silicatos de calcio, mejorando la resistencia y reduciendo la permeabilidad.

**Aditivos químicos.** El aditivo superfluidificante se empleó en combinación con un reductor de agua de alta eficiencia y retardador del fraguado para mejorar la plasticidad del concreto y controlar el tiempo de fraguado de la mezcla.

Con esta información, establecimos la necesidad de ver cómo se comportaban cada uno de los cementos con los diferentes aditivos químicos seleccionados. Se empleó la norma ASTM C-109 para la determinación de resistencia en la prueba de compresión. La primera mezcla de mortero se realizó con la finalidad de observar el comportamiento de los elementos en condiciones normales.

Una vez elaboradas las pruebas en morteros sin aditivos, se efectuaron los ensayos en los morteros con aditivos para determinar qué cemento, mezclado con el aditivo químico, sería el más apropiado para obtener los mejores resultados conforme a los propósitos del trabajo. Los resultados finales de esta etapa, morteros de cemento con aditivos.

**3.1.1. Aplicaciones prácticas del concreto de alta resistencia alrededor del Mundo.**-En la actualidad, el CAR está resultando especialmente ventajoso en la construcción de estructuras de gran altura y estructuras dxe grandes luces.



## **IMPORTANCIA DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS ALTOS**

El notable incremento en la resistencia del concreto alcanzado en los últimos años le ha permitido ir desplazando progresivamente al acero en la construcción de edificios altos. Hasta hace unos 30 años, y desde la irrupción de los rascacielos dentro del paisaje urbano, la estructura metálica ha sido la tipología fundamental por lo que se refiere al material

Constituyente de la misma. Sin embargo, el empleo del concreto como material base en las estructuras de los edificios altos se ha incrementado notablemente en los últimos años.

El principal factor que ha permitido esta evolución ha sido el incremento producido en las características mecánicas del mismo. Valores entre 60 y 80 MPa (600 y 800 kg/cm<sup>2</sup>) son actualmente fáciles de obtener, y con una dosificación aún más estudiada, junto a las adiciones de microsilica, se pueden alcanzar valores superiores a los 80 o 100 MPa (800 o 1,000 kg/cm<sup>2</sup>).

Un dato objetivo que confirma lo anterior se obtiene del análisis de la relación de los edificios más altos del mundo. De los resultados se observa que se produce no sólo un descenso del porcentaje de edificios construidos con estructura metálica y un aumento

de los de estructura de concreto, sino que el número de estos últimos llega a ser superior al de los primeros.

El concreto de alta resistencia puede considerarse un tipo particular de concreto de alto comportamiento. En éste no sólo puede ser la alta resistencia una de sus características, sino también la superior durabilidad. En el caso que nos compete, en su aplicación a las estructuras de edificios altos son, sin embargo, su mayor resistencia y las consecuencias que de ella se derivan el parámetro más significativo.

**Ventajas del concreto de alta resistencia en edificios altos.** Las alternativas que se plantean habitualmente en este tipo de edificios son la estructura metálica y la constituida con concreto de alta resistencia, entendiéndose por éste el que alcanza una resistencia característica superior a los 50 MPa (500 kg/cm<sup>2</sup>). De esta última se pueden subrayar las siguientes ventajas frente a la primera:

- Mayor rigidez y, por tanto, mejor comportamiento ante acciones horizontales.
- Mayor amortiguamiento intrínseco.
- Menor costo del material.
- En algunas ocasiones, condicionantes locales y de mercado dificultan el acceso a elementos metálicos en la cantidad necesaria; los materiales constitutivos del concreto prácticamente siempre están accesibles con la calidad mínima requerida.
- Más fácil conservación, sobre todo en estructuras expuestas a la acción de los agentes medioambientales.
- Mejor comportamiento ante la acción del fuego.

Frente a estos argumentos, la tipología metálica puede esgrimir, básicamente, una mayor rapidez de ejecución.

Otra alternativa es la estructura de concreto normal, entendiendo por tal aquél cuya resistencia característica es igual o inferior a 50 MPa. Sin embargo, y aunque en el proyecto y ejecución de edificios altos se está empleando este tipo de concretos, los primeros presentan frente a ellos las siguientes ventajas:

- Las secciones de las columnas (elementos dimensionados, básicamente, frente a esfuerzos de compresión) son más reducidas.
- Su módulo de deformación es más elevado y, por tanto, tienen un menor acortamiento debido a esfuerzos axiales.
- La deformación de los elementos estructurales horizontales (vigas y entrepisos), para un mismo peralte, es menor.
- El peso propio global de la estructura es inferior, pudiendo suponer cierta reducción de la cimentación.
  
- El plazo de ejecución de la obra se puede ver reducido al permitir menor tiempo de encofrado, tanto de elementos horizontales como de muros y columnas.
- Aumento de la vida útil de la estructura del edificio. El incremento de la resistencia característica del concreto lleva asociada una mayor capacidad y, por tanto, una mayor resistencia ante el ataque de agentes agresivos externos al mismo.

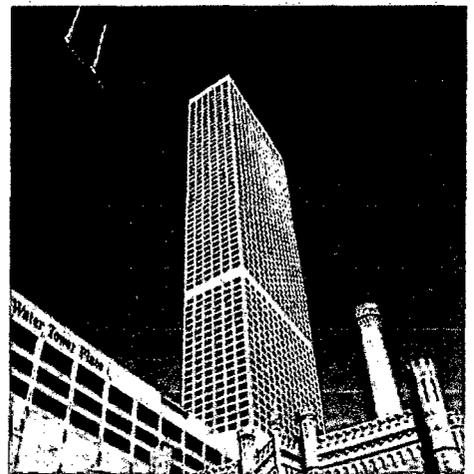
Frente a estos argumentos, el "concreto normal" presenta un mejor conocimiento tecnológico (dosificación, comportamiento a mediano y largo plazo, etc.) y un precio unitario inferior, si bien el costo total de la estructura no se reduce en la misma proporción que la del concreto de alta resistencia, ya que los volúmenes de concreto empleados son superiores.

**Edificios altos de concreto de alta resistencia.** La distribución geográfica de este tipo de construcciones se encuentra centrada en tres zonas: Norteamérica (fundamentalmente Estados Unidos), Europa occidental y Sureste asiático. Aunque en la primera se produjeron las realizaciones iniciales y en la segunda se continuaron

sus pasos con algunos años de retraso, es en el continente asiático donde se están desarrollando los últimos proyectos.

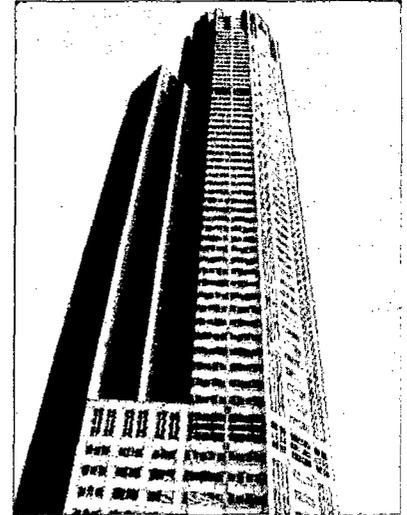
A continuación se hace una presentación de los edificios más emblemáticos construidos con estructura de concreto reforzada de alta resistencia, se aprecia el incremento en los valores de la resistencia a la compresión y de la participación de este material de alto comportamiento en las partes de la estructura, se agregan comentarios de algunos aspectos particulares de las mismas.

**Water Tower Place.** Este edificio de concreto de alta resistencia está localizado en el centro de Chicago, fue construido en 1975 hasta una altura de 262 m. El funcionamiento del edificio es de tipo mixto, cuenta con un centro comercial, departamentos y oficinas, en su interior tiene una calle peatonal que comunica las distintas zonas del edificio (Figura 2). En su construcción se emplearon diferentes mezclas de concreto colocadas por seis grúas, el concreto de mayor resistencia a la compresión se colocó en las columnas, alcanzando un valor de 62 MPa (620 kg/cm<sup>2</sup>).



Este edificio demuestra la capacidad de la tecnología del concreto alcanzada en esa época para edificios altos. El sistema estructural empleado combina un núcleo de concreto reforzado en forma de tubo, columnas interiores de acero y un sistema de losa de acero con concreto.

**South Wacker Drive.** Este edificio, situado en Chicago y terminado en 1990, tiene 65 plantas y una altura de 293 m. La disposición de su planta varía a lo largo de su altura, siendo un hexágono irregular en las inferiores y un octágono en las superiores.



Por razones técnicas y económicas se eligió una estructura completa de concreto armado, aunque se analizaron estructuras mixtas. La cimentación está constituida por una losa de 2.40 m de espesor, situada sobre 26 pilotes empotrados en el lecho de roca 1.80 metros.

El núcleo central está formado por muros que forman una "C" en planta, los espesores de los mismos varían con la altura. El entrepiso está constituido por vigas de concreto, sobre las que se sitúan vigas pretensadas prefabricadas.

El concreto empleado es variable en función de la altura a la que se encuentre el elemento estructural, disminuyendo su resistencia de proyecto a medida que se asciende. Los tipos empleados son los siguientes:

- Columnas: 84 MPa(640 kg/cm<sup>2</sup>) en las 13 plantas inferiores; 42 MPa (420 kg/cm<sup>2</sup>) en la planta más elevada, disminuyendo progresivamente entre ambos límites.
- Muros (núcleo central): 64 a 56 MPa . (640 a 560 kg/cm<sup>2</sup>)
- Entrepisos: 63 MPa (630 kg/cm<sup>2</sup>) en las plantas inferiores; 52 MPa (520 kg/cm<sup>2</sup>) en las plantas superiores.

**Two Union Square.** Edificio ubicado en la ciudad de Seattle en el oeste de Estados Unidos, construido en 1990, cuenta con 56 pisos y 225 metros de altura (Figura 4). De los edificios de gran altura en el mundo, es posiblemente la construcción en donde se ha empleado el concreto de más

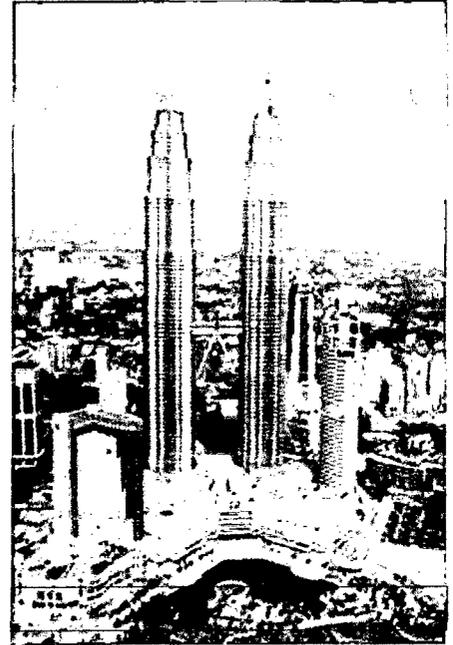
alta resistencia. Se empleó concreto de 1,335 kg/ cm<sup>2</sup> (133

MPa) de resistencia a la compresión, el proyectista de la estructura requería un módulo de elasticidad de 420,000 kg/cm<sup>2</sup> (42 GPa), para lograr este valor era necesario

tener una resistencia a la compresión del concreto de la magnitud proyectada, mientras que sólo se requerían 980 kg/cm<sup>2</sup> Consecuentemente, el diseño de la mezcla estuvo regido por el módulo de elasticidad.



**Petronas Towers.** Este conjunto de dos torres se construyó en 1990, de 88 plantas cada una (82 sobre rasante y seis plantas sótano), se encuentra situado en Kuala Lumpur, Malasia. Con sus 450 m, constituye uno de los edificios más altos del mundo. Cada torre tiene planta circular encontrándose adosados a ellas edificios de 38 plantas (Figura 5).



Se plantearon cinco alternativas estructurales para el diseño del edificio, eligiéndose la de núcleo y perímetro de concreto. Las ventajas de esta opción son las siguientes:

- La transmisión de cargas verticales a través de columnas de concreto de alta resistencia se realiza con menor costo que con elementos metálicos.
- Las pantallas de concreto del núcleo sirven de muros compartidos frente al fuego y transmiten a la cimentación las cargas verticales;
- El sistema de concreto frente a las cargas laterales tiene mayor amortiguación que la estructura metálica.

La cimentación del edificio está formada por una losa de 4.50 m de espesor apoyada sobre 104 pilotes de profundidad variable.

El esquema estructural está formado, fundamentalmente, por un núcleo central, que sirve también como elemento conductor de las comunicaciones verticales en el edificio, y por una corona perimetral constituida por 16 columnas y las vigas respectivas que las unen en cada planta.

El concreto dispuesto en las columnas, varía en función de la altura, siendo de una resistencia a la compresión de 80 MPa (800 kg/cm<sup>2</sup>) entre la cimentación y la planta 23, de 60 MPa (600 kg/cm<sup>2</sup>) entre ésta y la planta 61, y de 40 MPa (400 kg/cm<sup>2</sup>) hasta la última planta.

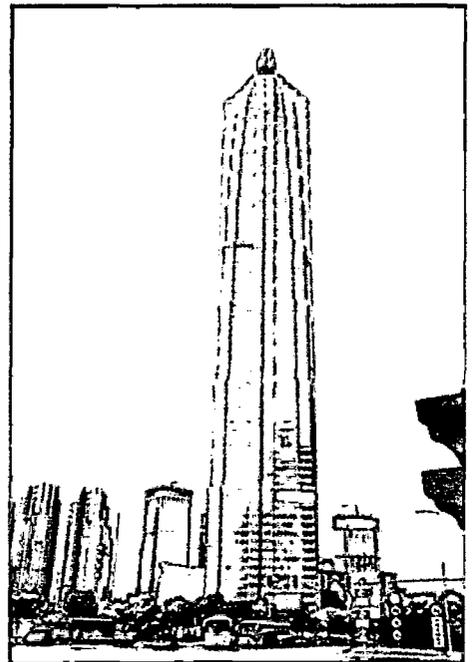
**Jin Mao Tower.** Este edificio, con 88 plantas y 421 m de altura, se encuentra situado en la ciudad de Shanghai, se terminó su construcción en 1999. Su uso es de oficinas en las 50 plantas inferiores y de hotel en las 38 superiores, siendo la superficie total de 280.000 m

La solución estructural mixta adoptada combina las ventajas del concreto (masa, resistencia, rigidez y amortiguamiento) con las del acero (resistencia, rapidez de construcción, capacidad para claros grandes y ligereza). El esquema estructural está formado, básicamente, por un núcleo central

octogonal de concreto armado y por 16 columnas situadas en las fachadas con una distribución simétrica.

Las columnas perimetrales se encuentran divididas en ocho mixtas y ocho metálicas. La cimentación está constituida por una losa de concreto que transmite la carga al terreno a través de 429 pilotes.

El tipo de concreto puesto en obra, tanto en el núcleo central como en los soportes mixtos exteriores, varía con la altura del edificio de 60 MPa (600 kg/cm<sup>2</sup>) de cimentación hasta la planta 31, de 50 MPa (500 kg/cm<sup>2</sup>) entre ésta y la 64, y de 40 MPa (400 kg/cm<sup>2</sup>) hasta la última planta.



**The Plaza 66 Tower.** La torre 2 de este conjunto fue terminada en 2007 en Shanghai, China, el proyecto hace un balance entre requerimientos de la ingeniería estructural, de la visión arquitectónica y de los aspectos de la construcción. La estructura está formada por un núcleo, columnas y losas de concreto de alta resistencia de 60 MPa ( $600 \text{ kg/cm}^2$ ), de 224 metros de altura y 46 pisos de oficinas.



El proceso de análisis y diseño, desde la fase conceptual al diseño detallado, considero los siguientes aspectos: cálculo y mitigación de los efectos de los asentamientos diferenciales de las pilas de cimentación mediante el uso de modelos de elemento finito; determinación de un sistema estructural adecuado revisando opciones múltiples a través de análisis aproximado de comparación de costos; diseño de un puente de acero en forma curvada 65 metros de largo entre las torres 1 y 2; y, diseño del remate en azotea en forma de linterna de un elemento de acero en doble voladizo por medio de un modelo estructural tridimensional.

La torre 2 del edificio The Plaza 66 es la nueva adición al proyecto de la torre 1 en Shanghai, China. La torre 1, con una altura de 282 metros y 62 pisos, fue terminada en 2001. Ambos edificios fueron diseñados completamente con estructura de concreto de alta resistencia.

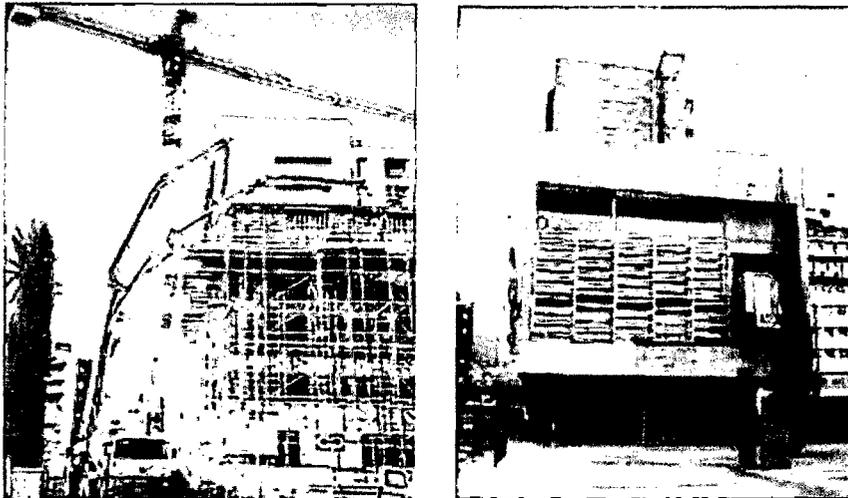
**Análisis de las soluciones estructurales.** Tras la descripción efectuada del sistema estructural planteado en cada uno de los edificios comentados, desarrollados todos ellos con concreto de alta resistencia, en esta parte se exponen aspectos generales sobre los criterios estructurales para su aplicación en futuros proyectos y construcciones, como:

- La tipología estructural responde a una solución "tubo en tubo", o bien a un núcleo central y un pórtico perimetral en la fachada.
- En edificios que superan las 80 plantas y los 400 m de altura se plantea una conexión entre los sistemas estructurales central y perimetral mediante vigas radiales de gran peralte.
- El esquema estructural y el dimensionamiento se encuentran diseñados de tal forma que las acciones horizontales debidas al viento o al sismo sean absorbidas en su totalidad por el núcleo central, o repartidas con el sistema perimetral.
- El núcleo central, en todos los casos, se proyecta de concreto reforzado de alta resistencia.
- Las columnas que constituyen la corona resistente perimetral son de concreto, metálicas o mixtas, combinándose en algunas ocasiones más de una de estas tipologías en el mismo edificio.
- Las vigas perimetrales de concreto se proyectan generalmente con el mismo tipo de concreto que las columnas que unen.
- Los entrepisos están realizados con vigas interiores de concreto armado o metálicas, sobre las que se extiende una losa de concreto colada en sitios.
- El concreto de alta resistencia, entre 60 y 80 MPa (600 y 800 kg/cm<sup>2</sup>), se utiliza en elementos estructurales que resisten, básicamente, esfuerzos axiales de compresión (muros del núcleo de rigidización y columnas), estando proyectados los elementos horizontales (vigas y entrepisos) con concreto normal, 25 a 35 MPa (250 a 350 kg/cm<sup>2</sup>) de resistencia a la compresión.

- La resistencia del concreto utilizado en edificios de gran altura varía en función de la altura del edificio, reduciéndose la exigencia de sus características mecánicas a medida que se asciende.

Finalmente, es conveniente señalar que, aunque en algunos edificios altos se ha empleado concreto de alta resistencia, no debe olvidarse que en otros muchos se han utilizado y se utilizan con éxito concretos normales con una resistencia de proyecto entre

40 y 50 MPa (400 y 500 kg/cm<sup>2</sup>). Éstos permiten una obtención más fácil de las características mecánicas con un precio unitario inferior, manteniendo en gran medida las ventajas de rigidez, amortiguación, confort y costo que los primeros tienen frente a las estructuras metálicas.



**Figura 3.4.- Ayuntamiento de Mollet del Vallès**

## 1. Perú.

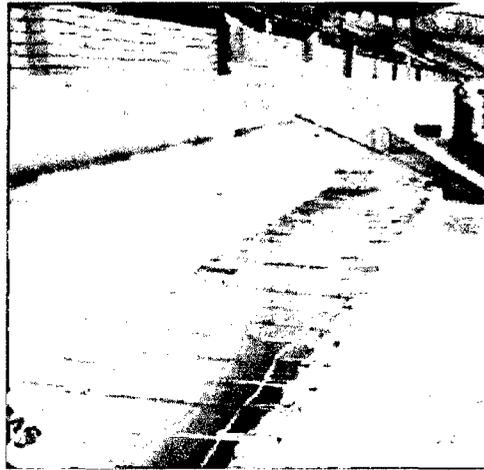
**1.1. Estadio Nacional.-** Debido a la realización de la Copa América, el contratista (HV Contratistas S.A.) necesitaba reparar las graderías altas de occidente y oriente así como las vigas de peralte invertido de los voladizos del estadio cuyos concretos se encontraban deteriorados por problemas de corrosión. El plazo de entrega de la obra fue de dos semanas por lo que se requería de una mezcla de concreto que sea de fácil colocación debido al espacio reducido para la colocación y a la consecuente imposibilidad de vibrado del concreto tanto en las graderías como en las vigas, de elevadas resistencias iniciales debido al corto plazo de entrega de los trabajos, con propiedades de contracción controlada debido al vaciado de concreto nuevo sobre el existente y de fragua retardada debido al poco volumen de concreto utilizado para la restauración de las graderías.

Graderías altas de tribuna occidental:

Las mezclas empleadas para cumplir con las solicitudes del proyecto fueron:

- a) Para las graderías: concreto autocompactable de resistencia a los tres días  $f'c = 600\text{kg/cm}^2$ , de contracción controlada y con retardante de fragua (fragua inicial  $\geq 8$  horas) distribuido por Firth (mezcla: M1).
- b) Para las vigas: grout autocompactable de reparación embolsado distribuido por Química Suiza.
- c) Para el concreto de las graderías se utilizó una bomba que descargaba la mezcla en un recipiente ubicado en el centro de gravedad de los trabajos de reparación. Desde este punto la mezcla era transportada en buguis hasta su punto final de descarga.

d) Esta operación hacía que el vaciado se haga lento por lo que se utilizó retardantes de fragua para la mezcla.



**Figura 3.5.-** Tribuna occidental del Estadio Nacional.

**1.2. Gaseoducto Camisea.-** Debido a que las especificaciones del proyecto indicaban que tanto la tubería que transporta el gas como la que transporta la red de cableado óptico para el control de las válvulas del sistema estén asentadas sobre una cama de arena compactada y que todo el conjunto esté contenido dentro de un tubo de acero hermético de mayor diámetro que corre paralelo a la Panamericana Sur y que atraviesa en forma subterránea las principales avenidas en los puentes Alipio Ponce, Atocongo, Benavides, Primavera y Javier Prado; se requería que el espacio interior sobrante del tubo de acero exterior se rellene por razones sísmicas con un material de similar densidad que el de la cama de asiento (arena) y que el circundante (suelo natural), es decir densidad = 2000 Kg/m<sup>3</sup>, y que este cubriera toda la longitud del tubo (de 20 a 40 m); por lo que el contratista (GyM S.A.) necesitaba de una mezcla de densidad controlada que garantice el efectivo llenado del espacio del tubo sin posibilidad de vibrado durante la colocación.

### **La torre del centro cívico**

En el periodo 1970-1980 se construyó la torre del Centro Cívico, de 102 m de altura, con 34 pisos. En esta ocasión, se utilizaron concretos de resistencia de 420 k/cm<sup>2</sup>, empleando aditivos reductores de agua.



### **LAS TORRES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CEMENTOS LIMA**

En la actualidad el Intercambiador de Calor N° 2 de Cementos Lima, con 110m de altura, tiene la mayor extensión, como edificio industrial.

En diciembre del Año 2008 Proyectamos El Intercambiador No 3 de Cementos Lima, que se construirá próximamente.

La Estructura de Concreto Armado alcanza los 141m. De altura, y la instalación mecánica se eleva 24m por encima, haciendo una altura total de 165m. Por lo que se convertirá en el edificio más alto del Perú.

Los ingenieros encargados del Proyecto fueron Diego Padilla y Michael Berninzon.



### 3.4. MATERIALES

#### 3.4.1. CEMENTO

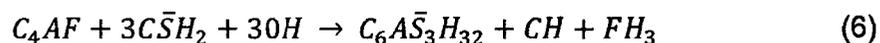
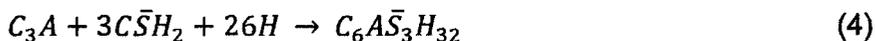
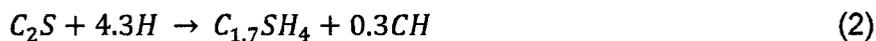
##### Composición Química del Cemento

- Oxido Cálcico                      CaO (63-66 %)
- Sílice                                      SiO<sub>2</sub> (21-24 %)
- Alúmina                      Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4-8 %)
- Oxido Férrico                      Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2-4 %)
- Otros Óxidos                      MgO, SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

##### Composición Mineralógica del Cemento

- Alita o Silicato Tricálcico                      (SC<sub>3</sub>) 3CaO.SiO<sub>2</sub> (45-60 %)
- Belita o Silicato Bicálcico                      (SC<sub>2</sub>) 2CaO.SiO<sub>2</sub> (20-30 %)
- Aluminato Tricálcico                                      (AC<sub>3</sub>) 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4-12 %)
- Ferrito-Aluminato Tetracálcico                      (FAC<sub>4</sub>) 4CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10-20 %)

##### Reacciones Sintetizadas de Hidratación del Cemento



**A.2.- Aditivos Minerales.-** El empleo de un material polvoriento adicional es imprescindible para satisfacer la alta demanda de finos que requiere el concreto autocompactante, sin incrementar excesivamente el contenido de cemento. De esta manera, se consigue una reducción de costos, disminución de la inestabilidad volumétrica y el incremento en la viscosidad.

Se consideran finos las partículas  $< 0.125\text{mm.}$ , y pueden ser de distinta naturaleza; filler calizo, escoria de alto horno molida, cenizas volantes, microsíllice.

- **Microsíllice.-** Es un subproducto de desecho de la elaboración del ferrosilicio y silicio metálico. Es así, que cuando se caracterizan los residuos de la industria del ferrosilicio se determina que éstos poseen un alto porcentaje de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Y descubren que este polvo posee una importante propiedad puzolánica, es decir, reacciona con la cal libre que se forma durante el proceso de hidratación del cemento Portland.

Esta cal libre ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) es a su vez un subproducto de la compleja reacción química que se produce cuando mezclamos el cemento hidráulico con el agua.

Se convierte en agente para la nucleación de los hidratos de cemento, reaccionando puzolánicamente con la cal durante su hidratación para formar los compuestos cementantes estables de silicato de calcio hidratado (C-S-H). Asimismo, al reducir el espacio disponible para la formación del C-S-H, se favorece la formación de compuestos internos, de mayor resistencia.

La disponibilidad de reductores de agua de alto rango ha facilitado el uso del humo de sílice como parte del material cementante para la producción de los CAC. Los contenidos normales varían entre el 5 y el 16 % sobre el peso del cemento.

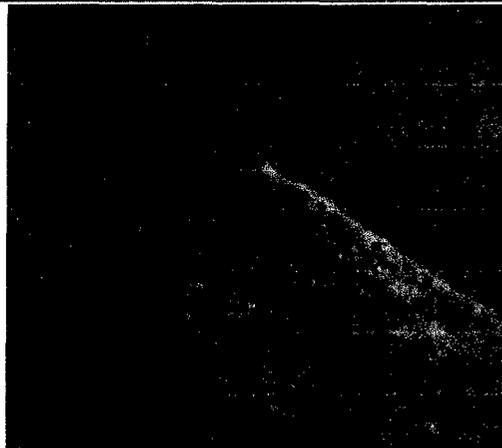
Actúa además como relleno físico o filler, aumentando la compactación de la mezcla. Reduce considerablemente la exudación en el concreto fresco debido a su gran superficie específica y capacidad para retener agua.

Lo interesante de este material es que combina la propiedad puzolánica con una alta finura y no reacciona con el agua.

Según su hoja técnica de la Microsilice su uso puede variar hasta un 10% del peso del cemento, pero con fines de investigación se han tomado para este trabajo los valores de 8% y 16% del peso del cemento.

**Tabla 3.1. Propiedades físicas de la microsilíce.**

<b>PROPIEDADES FISICAS</b>			
	<b>Típico</b>	<b>Garantizado</b>	<b>Standard</b>
<b>Densidad</b>	<b>2.30</b>	<b>2.25</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>



**Figura 3.6.- Microsilíce**

**3.4.3. Arena.-** No existen limitaciones en cuanto a la naturaleza de la arena. Se debe emplear arenas continuas, sin cortes en la granulometría, y preferiblemente naturales. Generalmente la arena puede representar el 60-50% de la cantidad total de árido, en función de la naturaleza y cantidad de la adición y de cemento y de las características de la grava.

Es preferible un cierto aporte de finos por parte de las arenas, para reducir la demanda de adición y cemento.

**3.4.4. Grava:** El contenido de árido grueso será inferior en comparación con los hormigones convencionales, y se verá sujeto a mayores exigencias.

El incremento en la resistencia a medida que se disminuye el tamaño máximo del agregado se debe a la reducción en los esfuerzos de adherencia debido al aumento de la superficie específica de las partículas. La adherencia a una partícula de 76 mm es apenas 1/10 que a una de 12.5 mm. Se debe recordar aquí que las fuerzas de vínculo dependen de la forma y textura superficial del agregado grueso (mecánicas), eventual reacción química entre los componentes de la pasta de cemento y los agregados, como por ejemplo las calizas, y de las ya explicadas fuerzas de atracción molecular (tipo Van der Waal's).

Esto es llamado el efecto tamaño del agregado en el concreto. El tamaño del agregado determinará también el tamaño de la zona de transición de la pasta de cemento.

Otro aspecto que tiene que ver con el tamaño máximo del agregado es el hecho de que existe una mayor probabilidad de encontrar fisuras o fallas en una partícula de mayor tamaño debido a los procesos de explotación del material en las canteras (dinamitado), y debido a la reducción de tamaño (trituración), lo que lo convertirá en un material indeseable para su utilización en concreto. El tamaño máximo deberá guardar relación con la distancia entre armaduras, no siendo recomendable emplear tamaños superiores a 20mm, ya que implica un elevado riesgo de bloqueo y segregación de la masa. Los mejores resultados globales se consiguen empleando tamaños máximos entre 12 y 16mm.

También se considera que la alta resistencia producida por agregados de menor tamaño se debe a una baja en la concentración de esfuerzos alrededor de las partículas, la cual es causada por la diferencia de los módulos elásticos de la pasta y del agregado.

Muchos estudios han demostrado que la grava triturada produce resistencias mayores que la grava redondeada. Esto se debe a la trabazón mecánica que se desarrolla con las partículas angulares. Sin embargo, se debe evitar una angularidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la trabajabilidad a que esto conlleva. El agregado ideal debe

ser limpio, cúbico, angular, triturado 100 % con un mínimo de partículas planas y elongadas.

En el año 2014 en la Universidad Nacional de Cajamarca se hizo una tesis de investigación donde el alumno de la escuela de Ingeniería Civil Matias Tejada Arias que demostró que el lavado del agregado influye directamente en la resistencia del concreto, aumentando su resistencia hasta en un 35%, por lo cual es esencial que el agregado pase por un proceso de limpieza antes de usarlo en la mezcla.

**3.4.5. Agua.-** La cantidad de agua total empleada debe guardar relación con el volumen de finos, con una relación 0,9 - 1,05. Relaciones volumétricas agua/finos (a/f) inferiores a 0.9 generan concretos demasiado cohesivos, que necesitan mucho volumen para autocompactarse. Contrariamente, relaciones a/f superiores a 1,05 implican un elevado riesgo de exudación.

El contenido de agua debe limitarse para evitar fenómenos de exudación, segregación y bloqueo del árido grueso al paso a través de las armaduras.

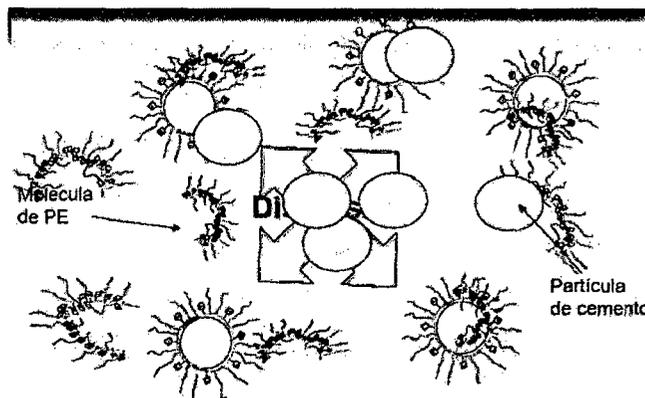
La dosificación de agua y el cálculo de la relación a/c debe considerar la cantidad y el tipo de adición; también debe prestarse atención a la humedad y absorción de los agregados. La relación resultante, definida en forma estricta, no siempre es baja. El uso de superplastificantes no asegura esta condición ya que el contenido de polvo es alto.



**Figura 3.7.- Fenómeno de exudación de un concreto convencional.**

**3.4.6. Aditivo Superplastificante.-** El aditivo superplastificante es imprescindible para la confección de un concreto autocompactante. No todos los tipos son utilizables. Los aditivos basados en naftalen-sulfonatos o condensados de melamina no ofrecen suficiente poder reductor de agua y en consecuencia, los únicos tipos utilizables son los basados en éter policarboxílico modificado, capaces de reducir agua en valores superiores al 35%.

Independientemente del poder reductor de agua, las características del aditivo deben ajustarse a las características de cada aplicación (en función de si se demanda elevada resistencia inicial, prolongado mantenimiento de la consistencia, etc.) y en correspondencia al tipo de cemento, adición y áridos empleados.



**Figura 3.8.- Mecanismo de acción del superplastificante en el proceso de hidratación del cemento.**

#### **3.4.8. Nanosílice**

La nanosílice está constituida por partículas de tamaño nanométricos (decenas de nanómetros) compuestas mayoritariamente por  $\text{SiO}_2$ . Cuando la sílice se mezcla con iones de calcio, sodio o potasio, como los productos provenientes de la reacción de hidratación del cemento, produce partículas de C-S-H (gel), que es el "pegamento" del concreto, lo que mantiene cohesionado a todas sus partículas. El nanosílice está especialmente diseñado para obtener 180 min de mantenimiento de la consistencia. Se trata

de un aditivo en estado líquido. Es un aditivo reductor de agua de alta actividad.

Los mecanismos propuestos de los fenómenos que ocurren al incorporar las nanopartículas de sílice en el cemento se pueden recoger de la siguiente manera:

- Estas actúan como núcleos durante el proceso de hidratación gracias a su alta energía superficial y a la actividad de los átomos en su superficie que le permiten generar muchos más sitios de nucleación para la formación de los productos de hidratación. Lo cual se traduce en una mejora de la adherencia del cemento hidratado y aumento de la cinética de hidratación del cemento, lo cual es favorable para la resistencia (Qing et al, 2006; Li et al, 2004; Li, Xiao & Ou, 2004; Björnström et al, 2004).
- A través de la reacción de las partículas de nanosílice con el  $\text{Ca(OH)}_2$  (portlandita o CH) y del aceleramiento del proceso de hidratación, este C-S-H (gel) llena los espacios vacíos para mejorar la densidad, la cohesión y la impermeabilidad, mejorando la integración y estabilidad de los 5 productos de hidratación, esto a su vez incrementa la resistencia. (Ji, 2005; Li, Xiao & Ou, 2004).

#### Ventajas de usar nanosílice

- Versátil: Desde altas resistencias, tanto a compresión como a tracción, a bajas dosis (1-1.5% en peso del cemento) hasta propiedades autocompactante a altas adiciones.
- Posee una muy buena trabajabilidad, incluso a valores muy pequeños de la relación agua cemento (A/C) como 0.2. Como consecuencia de lo anterior, el concreto "se coloca solo" según los comentarios de los operadores. Esta trabajabilidad hace innecesario el uso de superplastificantes, excepto pequeñas dosis para los concretos autocompactantes.
- Alta velocidad de reacción.
- Tiene más de 90% de rendimiento que las formulaciones de microsílice, cemento y superplastificantes para el concreto.
- Tiene entre 0 y 1% de permeabilidad.
- Es amistosa del medio ambiente y de la salud de los operarios de sílice.

- Mismo precio que usar microsílíce tradicional con superplastificantes y/o fibras asociados.
- El uso de nanosílíce en la mezcla de concreto limita el desarrollo de corrosión debido a que el concreto es más denso y no permite el flujo de agua. Propiedades
- Gran poder plastificante y reductor de agua.
- Incremento de la resistencia mecánica a edades iniciales y finales.
- Reducción de la permeabilidad del hormigón, y, por tanto, aumento de la durabilidad potencial del mismo.
- No produce retrasos anómalos del fraguado.
- Evita la segregación y la exudación excesiva.
- Mejora el acabado y la textura superficial del hormigón.

Según su hoja técnica de la Nanosilice su uso puede variar hasta un 3% del peso del cemento, se han tomado para este trabajo los valores de 1% y 2% del peso del cemento con fines de investigación de su comportamiento y de su influencia .

**CAPÍTULO IV**  
**MATERIALES Y MÉTODOS**

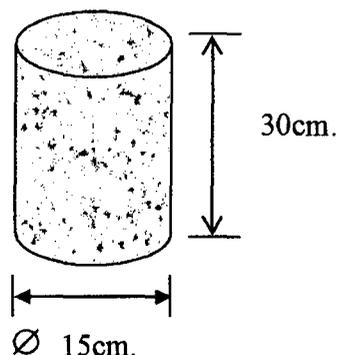
## 4.1. Material de Estudio.

### 4.1.1. ASPECTOS PREVIOS

El tipo de investigación, en la presente tesis, fue aplicada, con un nivel descriptivo en su primera parte, luego explicativo y finalmente comparativo. Por la naturaleza de las variables fue una investigación de diseño experimental con un grupo de control y con sólo pos-prueba.

**4.1.2. Universo Muestral.-** El universo muestral estará constituido por Agregado Fino y Agregado Grueso (Cantera del Chicche – Cajamarca), Cemento Extraforte (Cemento Pacasmayo Tipo ICo), agua potable (Cajamarca), Superplastificante SIKAMENT N290, Microsílice SIKAFUME y Nanosilice ULMEN GAIA NANOSILICE

**4.1.3. Muestras.** La unidad de análisis fue denominada "especímenes de concreto", que es la denominación técnica correcta, sin embargo se le denomina también "probetas". En consecuencia, la población de estudio fue el conjunto de especímenes de concreto; por lo tanto, la muestra fue intencional y considerada por 90 especímenes en total: 30 especímenes para los ensayos (o experimentos) de la resistencia a la compresión del concreto con 1.1 % de aditivo Superplastificante utilizando Cemento Pacasmayo Tipo I; 30 especímenes para los ensayos (o experimentos) de la resistencia a la compresión del concreto con 1% de aditivo Superplastificante, 5% de Microsílice y 1% de Nanosilice utilizando Cemento Pacasmayo Tipo I y finalmente 30 especímenes para los ensayos (o experimentos) de la resistencia a la compresión del concreto con 1% de aditivo Superplastificante, 10% de Microsílice y 2% de Nanosilice utilizando Cemento Pacasmayo Tipo I.



## **4.2. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS**

### **4.2.1. MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN**

Juego de tamices para el ensayo de granulometría de los agregados, probetas de vidrio para medir cantidades pequeñas de agua, molde cónico para determinar si el agregado fino ha alcanzado el estado superficialmente seco, canastilla metálica para la determinación del peso específico del agregado grueso, moldes para llenado de especímenes de concreto, recipientes para trasladar-pesar-llenar agregados a la mezcladora, papel, libreta de apuntes.

### **4.2.2. EQUIPOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN**

Estufa para secar las muestras de agregado, balanza para medir el peso de los componentes y materiales utilizados en los ensayos, prensa hidráulica para aplicar carga a compresión axial a los especímenes, deformímetro para medir las deformaciones de los especímenes según el incremento de carga, cronómetro para medir el tiempo de duración del ensayo a compresión desde el inicio de aplicación de carga hasta la rotura, vernier para medir las dimensiones de los especímenes antes del ensayo de compresión, equipo para determinar el Slump o asentamiento, equipo para determinar peso unitario de los agregados y del concreto, máquina de los ángeles para medir el porcentaje de desgaste del agregado grueso, mezcladora de concreto para mezclar los componentes del concreto, computadora para procesar los datos e información recopilado en los diferentes ensayos, impresora para imprimir en soporte de papel los reportes de los ensayos según los datos recopilados.

### **4.2.3. HERRAMIENTAS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN**

Regla metálica graduada para medir el asentamiento (slump) del concreto y las alturas de los especímenes, marcador de concreto para codificar los especímenes, badilejo para remezclar los componentes del concreto en la bandeja, caretilla para trasladar los especímenes desde la poza del curado hasta la máquina de compresión, martillo de goma para golpear las paredes

laterales exteriores del molde de los especímenes durante el vaciado, palanas para llenar los recipiente con agregado para su posterior pesado, cucharón para llenar los moldes de los especímenes entre otros usos.

### **3.2.6. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.**

Se realizó según la NTP 339.183.

**a. Utilización de materiales.** Se utilizó moldes cilíndricos para especímenes, varilla de compactación de 1.6cm de diámetro por 60cm de largo, martillo de goma de aproximadamente 0.5 kg, probetas graduadas de vidrio, herramientas pequeñas (palanas, baldes, cucharones, badilejo, guantes, reglas, aceite), bandeja de metal, balanza, cono de Abrams, mezcladora de concreto.

#### **b. Procedimiento.**

**b.1. Mezclado.-** Una vez encontrada las proporciones para una tanda de diseño de 0.22m<sup>3</sup>, que permita colar 10 tres probetas estándar de ensayo, se procedió a su elaboración. Primeramente se pesó y midió adecuadamente cada uno de los componentes los agregados y cemento haciendo uso de la balanza, la cantidad requerida de agua, así como el aditivo utilizado en las mezclas de experimentación se lo midió haciendo uso de las probetas graduadas de vidrio, una vez medidos los componentes se los puso a mezclar a la mezcladora de concreto, introduciendo primeramente el agregado grueso con una parte del agua de mezcla, se puso en funcionamiento la mezcladora y se agregó el agregado fino y el cemento, se mezcló aproximadamente 03 minutos, luego se reposo aproximadamente 03 minutos cubriendo la parte superior de la mezcladora, finalmente se mezcló 02 minutos, se vació la mezcla en una bandeja limpia con la mezcladora en funcionamiento. Cuando se utilizó aditivo en la mezcla el aditivo fue mezclado completamente con el agua y se siguió el mismo procedimiento de mezcla.

**b.2. Medición del asentamiento.-** Con la mezcla en la bandeja se procedió inmediatamente a la medición del asentamiento (Slump) a través del cono de Abrams de acuerdo a la NTP 339.035, con el siguiente procedimiento: Se

humedeció primeramente el cono y la placa de base, se lo colocó en un lugar adecuado y se lo fijó, luego con la ayuda de un cucharón se llenó la tercera parte, se lo compactó con la varilla metálica con 25 golpes distribuidos uniformemente, se llenó las 2/3 partes y compactó como en el paso anterior, se lo llenó completamente hasta el rebose y compactó con 25 golpes, luego se lo enrasó con la varilla compactadora, con cuidado se lo retiró verticalmente el cono y se lo colocó de madera invertida sobre de la placa metálica a lado de la mezcla, se colocó horizontalmente la varilla compactadora y con la ayuda de una regla graduada se midió el asentamiento.

**b.3. Llenado de moldes.-** Inmediatamente después de medido el asentamiento se regresó la mezcla a la bandeja y se remezcló, con un cucharón y se procedió inmediatamente al llenado del molde cilíndrico previamente acondicionado (ajustado y aceitado para evitar adherencia del concreto a las paredes del molde al momento del desencofrado), con el cucharón se introdujo la mezcla hasta la tercera parte del molde, con la varilla compactadora se golpeó 25 veces uniformemente en la superficie del concreto, con el martillo de goma se golpeó 12 veces las paredes exteriores del molde en su tercera parte, luego se llenó las 2/3 partes y se repitió el paso anterior, finalmente se llenó la última capa hasta el rebose y se compactó con la varilla metálica y golpeándose con el martillo de goma 12 veces en las paredes exteriores del molde, se enrasó con la varilla y se alisó con una plancha, se quitó el material excedente y se pesó la probeta con concreto fresco para la determinación de peso unitario del concreto, se lo cubrió con una bolsa plástica y trasladó y acondicionó en un lugar adecuado para luego ser desmoldado a las 24 horas.

**b.3. Curado de especímenes.-** Los especímenes fueron colocados en un lugar adecuado para su curado inicial durante 48 horas, se los codificó adecuadamente y traslado inmediatamente al pozo de curado del laboratorio y se lo introdujo completamente en el agua hasta completar los 28 días de elaborado.

#### 4.2.4. PRUEBA DE ESPECÍMENES A LA COMPRESIÓN.

Según la NTP339.034.

**a. Selección de materiales.** Prensa hidráulica, balanza, vernier, regla graduada, deformímetro, cronómetro, marcador de concreto.

**b. Procedimiento.** Luego que los especímenes fueron curados durante 28 días, se los trasladó para ser ensayados a compresión, antes de su rotura se los codificó, pesó, midió sus dimensiones de diámetro tomando dos medidas por cada cara perpendiculares entre sí, de altura se lo midió en las dos caras opuestas del espécimen, una vez registrado los datos anteriormente descritos, se procedió a la rotura de la siguiente manera:

Con la maquina encendida, se colocó el espécimen en la máquina de ensayo a compresión, se ubicó primeramente la placa circular inferior de refrentado con almohadilla de neopreno adecuadamente centrada, luego se colocó el espécimen alineado su eje con el centro de la placa, luego se colocó la placa superior correctamente centrada, posteriormente se bajó cuidadosamente la prensa hasta superponerse al espécimen.

Se ubicó el deformímetro en el lugar adecuado y se procedió a aplicar carga axial uniforme y continua hasta la rotura del espécimen, teniendo en cuenta el rango de velocidad de carga normado (0.20 a 0.30 Mpa/s), verificando y anotando las deformaciones por cada tonelada de carga aplicada.

Se controló el tiempo de duración de la prueba contabilizado desde el primer incremento de carga hasta la rotura.

Una vez rota la probeta se registró la carga de rotura y analizó el tipo de fractura.

**c. Expresión de resultados.** Con los datos registrados de diámetro, altura, peso, tiempo de duración del ensayo, carga de rotura, tipo de fractura, se los procesó y se encuentra los siguientes resultados:

Área: se calculó el área encontrando el diámetro promedio en cm y aplicando la fórmula de área de la sección circular  $(\pi \cdot D^2)/4$ .

Esfuerzo: Representa la resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>), se calculó dividiendo la carga de rotura en kilogramos entre el área en cm<sup>2</sup>.

Peso unitario de concreto: Con el dato de altura y diámetro promedio del espécimen, se calculó su volumen en m<sup>3</sup> y con el dato de peso del espécimen se encontró el peso unitario del concreto en (kg/m<sup>3</sup>), aplicando la siguiente fórmula:

$$PUC^{\circ}(Kg/m^3) = \text{Peso del espécimen} / \text{Volumen del espécimen.}$$

El tiempo que demora la rotura sirvió para tener una idea de cuánto puede soportar una estructura de concreto antes de llegar al colapso para una sollicitación de carga determinada.

El registro del tipo de fractura sirvió para analizar la falla de la pasta o de los agregados, como también tener conocimiento de la correcta elaboración de especímenes.

Se realizó las curvas esfuerzo deformación unitaria y se calculó gráficamente el módulo de elasticidad para cada espécimen.

#### **4.2.5. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.**

Antes del tratamiento y análisis de los datos y presentación de resultados, según el diseño de la investigación, se trató y analizó los datos y se presentó los resultados de las características de los materiales utilizados en la mezcla. Los resultados del tratamiento y análisis de los datos de las características de los materiales fueron del cemento, agua, de los agregados y del aditivo. Se presentaron las siguientes características de los agregados: peso específico y absorción, peso unitario, contenido de humedad, análisis granulométrico, porcentaje del material más fino del tamiz N° 200, resistencia mecánica a la abrasión, características de los ensayos en resumen, y los requerimientos que deberían cumplir los agregados para concreto. Estos resultados de las características de los materiales se presentaron en los anexos A. El resultado de las características del Huso granulométrico C, y el Huso granulométrico 57 se presentó en un gráfico de dispersión para los tres ensayos de la caracterización de los materiales.

Los datos se trataron y analizaron de acuerdo a los dos diseños de la investigación y se presentaron los resultados según las observaciones. La presentación de estos datos se dio en tablas y gráficos. En las tablas se consideraron ocho columnas: el número de orden, la codificación, la altura, el área, el peso, la carga, el esfuerzo y el tipo de falla de cada uno de los especímenes tanto del grupo de control como del grupo experimental. En los gráficos de barras y de dispersión sólo se consideró el esfuerzo (resistencia a la compresión) que es la variable dependiente donde se midió la influencia del aditivo (variable independiente) para cada tipo de cemento.

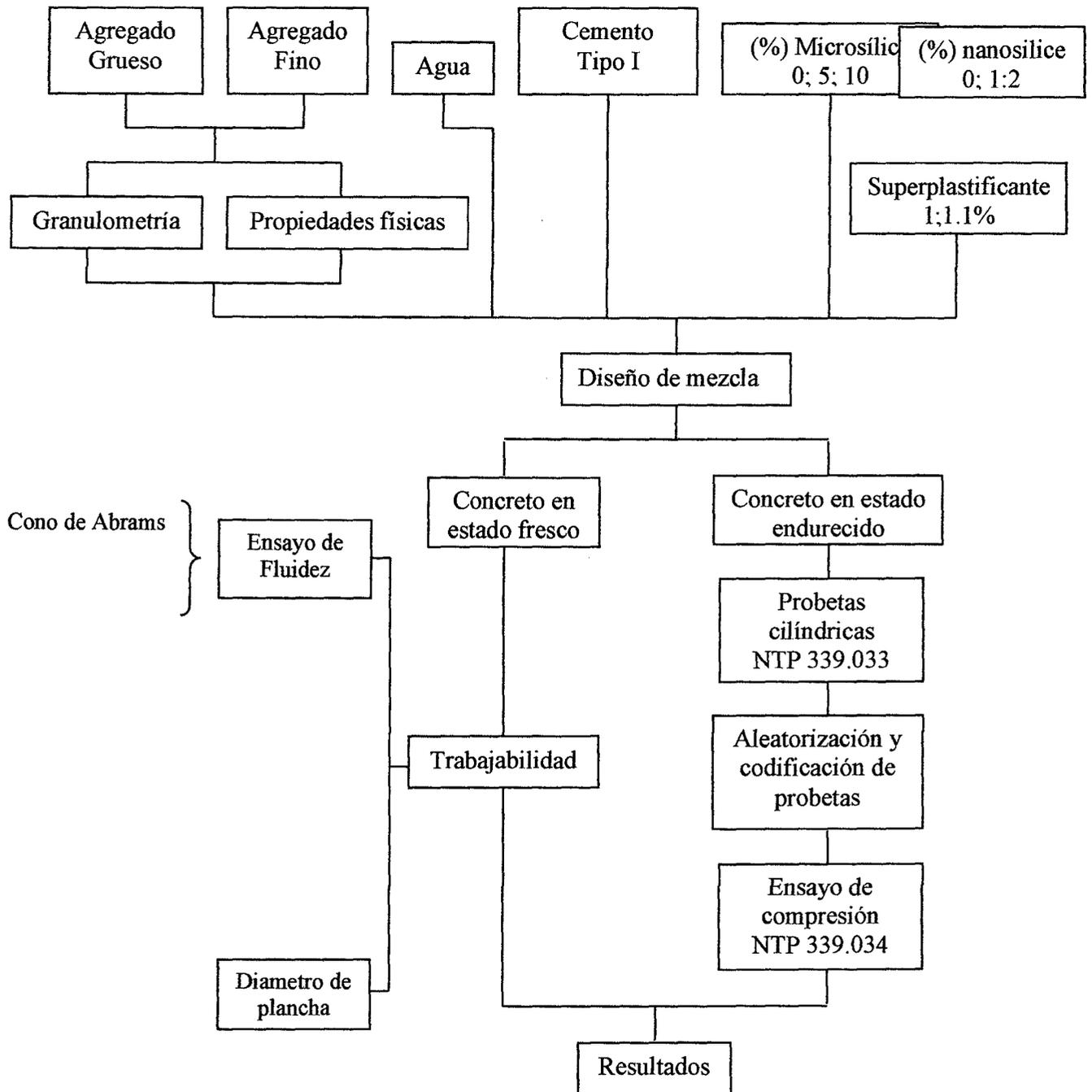
El análisis de datos de las observaciones de los diseños uno y dos de la investigación se realizó teniendo en cuenta el promedio de la resistencia a la compresión de los 30 especímenes por cada grupo, que coincide con el logro de los cuatro primeros objetivos planteados en la investigación, con la presentación de sus resultados en una tabla de resumen.

Con el análisis de los resultados promedios anteriores se realizó la prueba de hipótesis indicando la contrastación de la hipótesis general.

### **Contrastación y validación de hipótesis**

Diseño del modelo de comprobación Evidentemente que el sistema de contrastación de hipótesis se efectuó mediante la comparación mediante indicadores entre el método propuesto y el método tradicional. Esta comparación se dio en todos los modelos de contrastación que tengan que ver con los modelos y con las hipótesis.

#### 4.2.6. Procedimiento Experimental.



**Diagrama 4.1. Diagrama del circuito experimental para la evaluación de un concreto de Alta Resistencia.**

**CAPÍTULO V**  
**DISEÑO DE MEZCLAS**

## **Manera de diseñar mezclas de concreto de alta resistencia.**

Un óptimo diseño de concreto resulta de la selección de los materiales disponibles en la localidad, que permitan que el concreto en estado plástico sea de fácil colocación y acabado, y que aseguren el desarrollo de la resistencia y demás propiedades del concreto endurecido que especifique el diseñador. Algunos de los conceptos básicos que es necesario manejar para su realización son los siguientes:

- Los agregados deben ser resistentes y durables. No es necesario que sean duros o de alta resistencia, pero si necesitan ser compatibles, en términos de rigidez y resistencia con la pasta de cemento. En general se emplean agregados gruesos del menor tamaño máximo posible para lograr dichos concretos. La arena debe ser mas gruesa que la que se permite en la ASTM C 33 (módulo de inura mayor de 3.2) debido al gran contenido de inos de los materiales cementantes.
- Las mezclas de concreto de alta resistencia tienen un mayor contenido de materiales cementantes que incrementan el calor de hidratación y posiblemente produzcan una mayor contracción (retracción) por secado, creando un mayor potencial de agrietamiento. La mayoría de mezclas contienen una o más adiciones como cenizas volantes (clase C o F), cenizas de alto horno molidas, microsílíce, metacaolín o materiales puzolánicos de origen natural.
- El concreto de alta resistencia necesita por lo general tener una baja relación agua/material cementante (A/C), dicha relación debe estar en el rango de 0.23 a 0.35. Relaciones A/C tan bajas solo se pueden obtener con muy altas dosificaciones de aditivos reductores de agua de alto rango (o superplastificantes) de acuerdo al tipo F o G de la ASTM C 494. Un aditivo tipo A reductor de agua puede usarse en combinación.
- El contenido total de materiales cementantes debe estar alrededor de 700 lbs/yd<sup>3</sup> (415 kg/m<sup>3</sup>), pero no más de 1100 lbs/yd<sup>3</sup> (650 kg/m<sup>3</sup>).
- El uso de aire incorporado en este concreto ocasionará una gran reducción en la resistencia deseada .

Es necesaria una mayor atención y evaluación al considerar las limitaciones impuestas por las especificaciones a las demás propiedades del concreto como la fluencia, la retracción y el módulo de elasticidad. El ingeniero puede fijar límites en dichas propiedades según el diseño de la estructura. Los estudios actuales no pueden proveer la guía necesaria para desarrollar relaciones empíricas entre estas propiedades en base a ensayos tradicionales, y algunos otros ensayos son demasiado especializados y costosos para evaluar las mezclas.

Teóricamente, se puede conseguir una baja fluidez, baja retracción y un módulo de elasticidad alto con un mayor volumen de agregado, y así mismo una cantidad menor de pasta en el concreto. Esto se logra empleando el mayor tamaño de agregado posible, y un agregado fino con gradación de mediana a gruesa. Usando un tamaño máximo de agregado, como 3/8" (9.5 mm) puede usarse para producir concreto de alta resistencia a la compresión, pero se sacrificarán propiedades como fluidez, contracción por secado y módulo de elasticidad. Si se encuentran dificultades para alcanzar una alta resistencia, no se podrá aumentar ésta simplemente aumentando la cantidad de material cementante. Factores como materiales nocivos en los agregados, estructura de los agregados, caras fracturadas del agregado grueso, forma y textura, y limitantes a los ensayos pueden impedir que se alcance una resistencia alta.

Las proporciones finales de la mezclas determinan mediante mezclas de prueba realizadas en el laboratorio o en pequeñas mezclas en campo. La producción, transporte, colocación y acabado del concreto de alta resistencia puede diferir de forma significativa de los procedimientos empleados con el concreto convencional. Para proyectos de mucha importancia es muy recomendable que se incluya un vaciado (colado) de prueba y su evaluación como un pago específico en el contrato. Las reuniones previas a la licitación y a la construcción son muy importantes para asegurar el éxito de los proyectos en los que se emplee concreto de alta resistencia. Durante la construcción se deben tomar medidas extra para protegerlo de la contracción por secado y agrietamiento por temperatura en las secciones delgadas. Se puede requerir mucho tiempo antes de poder descimbrar (desencofrar) el concreto de este tipo.

Los cilindros de concreto de alto desempeño deben ser cuidadosamente moldeados, curados, refrentados y ensayados. Es necesario tener precauciones adicionales con el manejo de los especímenes de prueba a muy temprana edad. Se puede experimentar un tiempo prolongado de endurecimiento. Las normas ASTM son revisadas continuamente para considerar precauciones especiales adicionales necesarias para la evaluación de concreto de alta resistencia. Se debe prestar atención especial al tipo de molde, curado, tipo de material de refrentado, y características de capacidad de carga de la máquina de ensayo.

**5.1. Definición.-** El diseño de mezclas puede definirse, como una serie de fases para seleccionar los ingredientes adecuados para el concreto y determinar sus cantidades relativas; con el propósito de elaborar, tan económicamente como sea posible, un concreto que desarrolle propiedades requeridas, tanto en su estado fresco como endurecido.

**5.2. Consideraciones básicas.-** Las mezclas de concreto deben ser diseñadas para cumplir los siguientes requerimientos:

- Una resistencia a la compresión mínima a los 28 días, basada en el valor asumido por el diseñador de la estructura.
- En cuanto a durabilidad, el concreto debe ser capaz de resistir aquellas condiciones de exposición, que podrían privarlo de su utilidad, como son: ataque de los sulfatos, congelación y deshielo, humedecimiento y secado, calentamiento y enfriamiento, productos químicos, agentes descongelantes, etc.
- Una trabajabilidad adecuada que permita en la obra una compactación completa con el equipo disponible.
- Ser económica, para la cual se debe reducir al mínimo la cantidad de necesaria de cemento sin sacrificar la calidad del concreto. Como la calidad depende principalmente de la relación agua-cemento, la cantidad de agua debe reducirse al mínimo para reducir la cantidad de cemento necesaria.

### **5.3. Métodos de Diseño de Mezcla.**

La búsqueda de una dosificación o diseño óptimo de un concreto es fundamental, puesto que condiciona todas las propiedades del concreto, tales como: trabajabilidad, resistencia y durabilidad.

Cualquiera que fuera el método elegido para el diseño, las proporciones de concreto, incluyendo la relación agua-cemento, se establecerán tomando como base la experiencia de campo o mezclas de prueba en laboratorio con los materiales que se van a utilizar.

En el caso de no contar con ninguna de las bases anteriores, está permitido basar las proporciones del concreto en los límites de la relación agua - cemento que se muestran en las tablas del ACI.

Se ha creído conveniente utilizar el Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados, ya que éste método toma en cuenta tanto el módulo de finura del agregado fino y del agregado grueso, para determinar la cantidad de dichos agregados en la mezcla de concreto.

### **5.4. Factores que intervienen en la selección de las proporciones de la mezcla.**

En la mayoría de los casos se dan especificaciones de obra, en las cuales pueden fijarse algunos o todos los factores que a continuación se señalan.

- Resistencia (media mínima).
- Control de calidad.
- Durabilidad.
- Trabajabilidad.
- Tamaño máximo del agregado.
- Relación agua-cemento.
- Requisitos especiales relativos al empleo de aditivos, cemento o agregados especiales.
- Proporciones de mezcla y pesos por carga.

Es necesario aclarar que en éste acápite simplemente se han mencionado dichos factores, puesto que en su debida oportunidad ya han sido tratados.

### 5.5. Pasos generales en los métodos de diseño de mezclas.

Asumiendo que se conocen todas las características de los materiales como son el tipo de Cemento elegido y sus propiedades, los agregados y sus pesos específicos y pesos unitarios secos, granulometrías, humedades, absorciones y las condiciones particulares de la obra a ejecutar, todos los métodos aplican los siguientes pasos:

- 1) Estableciendo de cantidad de agua por m<sup>3</sup> de concreto en función de las condiciones de trabajabilidad, el Tamaño Máximo de los agregados y ocasionalmente el Tipo de Cemento.
- 2) Definición de la relación Agua/Cemento en peso en base a la resistencia en compresión solicitada o requisitos de durabilidad.
- 3) Cálculo de la cantidad de cemento en peso en función de la relación Agua/Cemento y la cantidad de agua definidas en 1 y 2):

$$\text{Cemento}(kg) = \frac{\text{Peso del Agua (kg)}}{\text{Relación A/C}}$$

- 4) Cálculo de los volúmenes absolutos del agua y el cemento:

$$\text{Vol. Abs. Cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso del Cemento (kg)}}{\text{Peso Espec. Cemento (kg/m}^3\text{)}}$$

$$\text{Vol. Abs. Agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso del Agua (kg)}}{\text{Peso Espec. Agua (kg/m}^3\text{)}}$$

- 5) Estimación del porcentaje de aire por m<sup>3</sup> y el volumen absoluto que atraparé el concreto en función de las características granulométricas de los agregados.

- 6) Obtención del volumen absoluto que ocuparán los agregados, restando de  $1 \text{ m}^3$  los volúmenes hallados de cemento, agua y aire.

*Volumen Absoluto de Agregados*

$$= 1 \text{ m}^3 - \text{Vol. Abs. Cemento (m}^3) - \text{Vol. Abs. Agua (m}^3) - \text{Vol. Aire (m}^3)$$

- 7) Definición de la proporción en volumen absoluto en que intervendrán el agregado grueso y el fino en la mezcla. (Por el método preferido).

$K$  = Porcentaje en que interviene la piedra.

$K-1$  = Porcentaje en que interviene la arena.

- 8) Distribución del volumen obtenido en 6) en la proporción definida en 7).

$$\text{Vol. Abs. Piedra (m}^3) = K \times \text{Vol. Abs. Agregados (m}^3)$$

$$\text{Vol. Abs. Arena (m}^3) = (K - 1) \times \text{Vol. Abs. Agregados (m}^3)$$

- 9) Cálculo de los pesos que corresponden a los volúmenes de agregados obtenidos en 8) utilizando los pesos específicos secos:

$$\text{Peso Piedra (kg)} = \text{Vol. Abs. Piedra (m}^3) \times \text{Peso Espec. Piedra (kg/m}^3)$$

$$\text{Peso Arena (kg)} = \text{Vol. Abs. Arena (m}^3) \times \text{Peso Espec. Arena (kg/m}^3)$$

- 10) Corrección por humedad y absorción del diseño.

a) *Peso de la Piedra húmeda (kg) =*  
*= Peso seco Piedra (kg)  $\times$  (1 + Humedad Piedra en valor absoluto)*

b) *Peso de la Arena húmeda (kg) =*  
*= Peso seco Arena (kg)  $\times$  (1 + Humedad Arena en valor absoluto)*

c) *Balance Agua en la Piedra =*  
*(Puede ser positivo o negativo)*  
*= Humedad Piedra - Absorción Piedra (Valores absolutos)*

- d) *Balance Agua en la Arena =*  
*(Puede ser positivo o negativo)*  
*= Humedad Arena – Absorción Arena (Valores absolutos)*
- e) *Contribución de Agua por la Piedra(kg) =*  
*(Puede ser positivo o negativo, es decir añadir o quitar agua)*  
*= Balance Agua en la piedra x Peso Piedra húmeda (kg)*
- f) *Contribución de Agua por la Arena(kg) =*  
*(Puede ser positivo o negativo, es decir añadir o quitar agua)*  
*= Balance Agua en la arena x Peso Arena húmeda (kg)*
- g) *Agua Final en el diseño =*  
*= Agua(kg) – Contrib. Agua Piedra(kg) – Contrib. Agua Arena (kg)*

11) Diseño Final:

Agua Final (kg), Peso Húmedo Piedra (kg), Peso Húmedo Arena (kg),  
 Peso Cemento (kg).

12) Elaboración del diseño final en laboratorio y a escala de obra para la verificación práctica de sus propiedades con objeto de confirmarlo o corregirlo.

Como se aprecia, los diseños se calculan inicialmente en base a los pesos secos de los agregados para luego corregirlos al establecer su condición de humedad real, sin embargo la experiencia demuestra que esto es sólo una aproximación que hay que corregir en forma práctica al ejecutar las mezclas de prueba.

Hay que tener presente al usar aditivos (que normalmente son líquidos), el incluir en su intervención cuantificándolos como parte del agua de mezcla en el cálculo de la relación Agua/Cemento.

## **5.6. Proceso de Diseño de Mezcla Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados.**

Un proceso de diseño muestra la secuencia de las decisiones, hasta llegar a determinar la cantidad de cada ingrediente por mezcla.

Si se desea obtener una mezcla satisfactoria, un proceso de diseño no debe terminar con el cálculo de las proporciones, sino que también se deben hacer mezclas de prueba, revisar las propiedades de esas mezclas y ajustar las proporciones de ellas, precedidas de nuevas mezclas de prueba hasta obtener una mezcla óptima.

Sin embargo, la mezcla elaborada y utilizada en obra, es la única que puede garantizar que todas las propiedades del concreto sean satisfactorias en cada detalle de esa obra en particular.

### **a) Información necesaria para la dosificación de mezclas utilizando el Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados.**

Éste método al igual que en otros, para poder dosificar una mezcla de concreto, antes se debe poseer cierta información de las características de los materiales a emplearse, como son:

- Análisis granulométrico de los agregados.
- Peso específico de masa y porcentaje de absorción de los agregados.
- Peso específico del cemento.
- Peso unitario de los agregados.
- Contenido de humedad de los agregados.
- Experiencia sobre la cantidad de agua para la mezcla en base a los agregados disponibles.
- Tablas de interrelación entre la resistencia y la relación agua-cemento.

## **b) Alcances.**

- En el Método de Diseño del Comité 211 del American Concrete Institute, se determina en primer lugar los contenidos de cemento, agua, aire, agregado grueso y por diferencia de la suma de volúmenes absolutos en relación con la unidad, el volumen absoluto y peso seco del agregado fino.
- De esta manera, sea cual fuere la resistencia deseada, en tanto se mantengan constantes el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino, el contenido total de agregado grueso en la mezcla será el mismo, independientemente del contenido de pasta.
- Este hecho ha llevado a muchos investigadores a cuestionar el Método de Diseño del ACI y buscar un procedimiento en el cual la relación fino - grueso se modifique en función del contenido de pasta en consideración al contenido de cemento de ésta.
- Stanton Walker, conjuntamente con el grupo de investigación del Laboratorio de Concreto de la Universidad de Maryland, ha formulado un procedimiento de selección de las proporciones de la unidad cúbica de concreto en el cual los porcentajes de agregado fino y grueso se modifican en función de sus granulometrías y superficies específicas, a partir de la determinación del módulo de fineza de la mejor combinación de agregados para las condiciones planteadas por las especificaciones de obra.
- En el Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados, los contenidos de agregado fino y grueso varían para las diferentes resistencias, siendo ésta variación función, principalmente, de la relación Agua/Cemento y del contenido total

del agua, expresados a través del contenido de cemento de la mezcla.

- Este método tiene como consideración fundamental, además de la ya expresada, la premisa de que el módulo de fineza del agregado, fino o grueso, es un índice de su superficie específica y que en la medida que ésta aumenta se incrementa la demanda de pasta, así como si se mantiene constante la pasta y se incrementa la fineza del agregado disminuye la resistencia por adherencia.
- Como consecuencia de las investigaciones realizadas se ha podido establecer una ecuación que relaciona el módulo de fineza de los agregados fino y grueso, así como su participación porcentual en el volumen absoluto total de agregado. Aplicando dicha ecuación es posible determinar el valor del módulo de fineza de la combinación de agregados más conveniente para condiciones dadas de la mezcla.
- Dicha ecuación es:

$$m = r_f m_f + r_g m_g \quad \dots\dots\dots(\alpha)$$

En el cual:

$m$  : Módulo de fineza de la combinación de agregados.

$m_f$  : Módulo de fineza del agregado fino.

$m_g$  : Módulo de fineza del agregado grueso.

$r_f$  : Porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado.

$r_g$  : Porcentaje de agregado grueso en relación al volumen absoluto total de agregado.

- Del análisis de la ecuación se puede deducir que el módulo de fineza de una combinación de agregados fino y grueso es igual a la suma de los productos de los módulos de fineza de cada ingrediente al volumen absoluto de todos los ingredientes.
- Aplicando la relación ( $\alpha$ ) es posible obtener los diversos valores del módulo de fineza de la combinación de agregados que dan las mejores condiciones de trabajabilidad para diversos contenidos de cemento por metro cúbico de concreto. Dichos valores están indicados en la tabla 5.1.

**Tabla N° 5.1.- Módulo de fineza de la combinación de agregados.**

TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO (MÁXIMO)	MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS, EL CUAL DA LAS MEJORES CONDICIONES DE TRABAJABILIDAD PARA LOS CONTENIDOS DE CEMENTO EN SACO / M3 INDICADOS.			
	6	7	8	9
3 / 8 "	3.96	4.04	4.11	4.19
1 / 2 "	4.46	4.54	4.61	4.69
3 / 4 "	4.96	5.04	5.11	5.19
1 "	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2 "	5.56	5.64	5.71	5.79
2 "	5.86	5.94	6.01	6.09
3 "	6.16	6.24	6.31	6.39
Estos valores están referidos al agregado grueso, adecuadamente graduado, con un contenido de vacíos del orden del 35 %. Los valores deben incrementarse o disminuirse en 0.1 por cada 5 % de disminución o incremento en el porcentaje de vacíos.				

- Es importante señalar que los valores de la tabla están referidos a agregado angular y adecuadamente graduado, con un contenido de vacíos del orden del 35%. Para condiciones diferentes se debe seguir lo indicado en la tabla.

- Se ha establecido que los agregados fino y grueso comprendidos dentro de las especificaciones de la Norma ASTM C 33 deben producir concretos trabajables, en condiciones ordinarias, cuando el módulo de la fineza de la combinación de agregados se aproxima a los valores de la tabla la tabla 5.1.
- Del análisis de esta tabla se aprecia que es necesario conocer, para determinar el módulo de fineza de la combinación de agregados, el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el contenido de cemento de la unidad cúbica de concreto.
- Es importante igualmente recordar que los valores de la tabla 5.1 corresponden a concreto sin aire incorporado y pueden producir buenas mezclas cuando se emplean los métodos de colocación y compactación usuales. Sin embargo, pueden ser algo sobre arenosos para ser empleados en pavimentos o en estructuras en las que se utiliza concreto ciclópeo.
- Cuando las condiciones de colocación son muy favorables los valores tomados de la tabla 5.1 pueden incrementarse hasta 0.2. Igualmente, cuando se ha incorporado aire a la mezcla, el valor tomado de la tabla puede ser incrementado en 0.1 para obtener adecuado beneficio de la incorporación de aire sobre la trabajabilidad.
- La proporción de agregado fino, del módulo de fineza conocido, en relación al volumen absoluto total de agregado necesario para, de acuerdo a la riqueza de la mezcla, obtener un módulo de fineza determinado en la combinación de agregados puede ser calculada, a partir de la siguiente ecuación:

$$r_f = \frac{m_g - m}{m_g - m_f} \dots\dots\dots(\beta)$$

- El valor obtenido de esta ecuación, multiplicado por el volumen absoluto de agregado, nos permite conocer el volumen absoluto de agregado fino. Por diferencia se puede determinar el volumen absoluto de agregado grueso.
- Ambos volúmenes absolutos, multiplicados por sus respectivos pesos secos sólidos, permiten calcular pesos secos por unidad de volumen del concreto, de los agregados fino y grueso.

### **5.7. Diseño de Mezcla “Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados” con cemento Pacasmayo tipo I para $f'c = 800\text{kg/cm}^2$ .**

#### **a) Características de los materiales a usar para la elaboración del concreto:**

- Cantera donde se extraen los materiales: Cantera Chicche

## DISEÑO MEZCLA PATRON

- 1)  $f_c = 800 \text{ Kg/cm}^2$ .
- 2)  $f_{cr} = 1.2 \times 800 = 960 \text{ Kg/cm}^2$ .
- 3) T.M.N. =  $\frac{1}{2}$ "
- 4) Selección del Slump  
Slump = 5" – 9"
- 5) Volumen de agua =  $227 \text{ lts/m}^3$ .  
Por efecto del Superplastificante  
 $V_{\text{agua}} = 227 - 0.20 \times (227) = 181.6$   
 $V_{\text{agua}} = 181.6 \text{ lts/m}^3$ .
- 6)  $V_{\text{aire atrapado}} = 2.5\%$
- 7) Relación a/c = 0.28
- 8) F.C =  $181.6/0.28 = 648.60 \text{ Kg/cm}^2 = 15.26 \text{ bolsas/m}^3$ .
- 9) Calculo del  $V_{\text{abs}}$  de la pasta

- a. Cemento =  $648.60/3130 = 0.207220 \text{ m}^3$ .
- b. Agua =  $181.6/1000 = 0.18160 \text{ m}^3$ .
- c. Aire =  $2.50/100 = 0.0250 \text{ m}^3$ .
- d. Aditivo =  $\frac{0.011 \times 648.6}{1200} = 0.005946 \text{ m}^3$ .

$$\Sigma V_{\text{abs pasta}} = 0.4198 \text{ m}^3.$$

- 10)  $V_{\text{abs agregados}} = 1 - 0.4198 \text{ m}^3$ .  
 $V_{\text{abs agregados}} = 0.5802 \text{ m}^3$ .

- 11) Calculo del módulo de finura de la combinación de agregados

$$m = r_f \cdot m_f + r_g \cdot m_g$$
$$5.20 = r_f \cdot 3.38 + r_f \cdot 6.93$$
$$r_f = \frac{m_g - m}{m_g - m_f}$$
$$r_f = \frac{6.93 - 5.20}{6.93 - 3.38} \times 100 = \frac{1.73}{3.55} \times 100$$
$$r_f = 49 \%$$

$$r_g = 51 \%$$

12)  $V_{\text{abs del Af}} = 0.49 \times 0.5802 = 0.2843 \text{ m}^3$ .

13)  $V_{\text{abs del Ag}} = 0.51 \times 0.5802 = 0.2959 \text{ m}^3$ .

14)  $\text{Peso seco de Af} = 0.2843 \times 2620 = 744.87 \text{ Kg/m}^3$ .

15)  $\text{Peso seco del Ag} = 0.2959 \times 2660 = 787.09 \text{ Kg/m}^3$ .

16) **Peso húmedo del:**

$$A_{\text{húmedo}} = 744.87 \times (1+4.38\%) = 777.50 \text{ Kg/m}^3$$

$$A_{\text{g húmedo}} = 787.09 \times (1+0.88\%) = 794.02 \text{ Kg/m}^3$$

17) **Humedad superficial de los agregados**

$$\text{Del } A_F = 4.38\% - 1.30\% = +3.08 \%$$

$$\text{Del } A_G = 0.88\% - 1.36\% = -0.48 \%$$

18) **Aporte de humedad de los agregados**

$$\text{Del } A_F = 744.87 \times (+0.0308) = +22.94 \text{ lts.}$$

$$\text{Del } A_G = 787.09 \times (-0.0048) = -3.78 \text{ lts.}$$

$$\text{Aporte total} = 22.94 - 3.78 = 19.16 \text{ lts.}$$

19)  $\text{Agua efectiva} = 181.6 - 19.16 = 162.44 \text{ lts/m}^3$ .

20) **MEZCLA PATRON:**

a. Cemento	= 648.60 Kgs/m <sup>3</sup> = 15.26 bolsas/m <sup>3</sup> .
b. Agua efectiva	= 162.44 lts/m <sup>3</sup> .
c. AF húmedo	= 777.50 Kgs/m <sup>3</sup> . = 778 Kg/m <sup>3</sup> .
d. AG húmedo	= 794.02 Kgs/m <sup>3</sup> . = 794 Kg/m <sup>3</sup>
e. Sikament 290N (1.1%)	= 5.95 lts/m <sup>3</sup> .

## DISEÑO D1

- 1)  $f_c = 800 \text{ Kg/cm}^2$ .
- 2)  $f_{cr} = 1.2 \times 800 = 960 \text{ Kg/cm}^2$ .
- 3) T.M.N. =  $\frac{1}{2}$ "
- 4) Selección del Slump  
Slump = 5" – 9"
- 5) Volumen de agua =  $227 \text{ lts/m}^3$ .  
Por efecto del Superplastificante  
 $V_{\text{agua}} = 227 - 0.20 \times (227) = 181.6$   
 $V_{\text{agua}} = 181.6 \text{ lts/m}^3$ .
- 6)  $V_{\text{aire atrapado}} = 2.5\%$
- 7) Relación a/c = 0.28
- 8) F.C =  $181.6/0.28 = 648.60 \text{ Kg/cm}^2 = 15.3 \text{ bolsas/m}^3$ .
- 9) Calculo del Vabs de la pasta

a. Cemento	= $648.60/3130$	= $0.207220 \text{ m}^3$ .
b. Agua	= $181.6/1000$	= $0.18160 \text{ m}^3$ .
c. Aire	= $2.50/100$	= $0.0250 \text{ m}^3$ .
d. Sikament 290 N	= $\frac{0.01 \times 648.6}{1200}$	= $0.005405 \text{ m}^3$ .
e. Micro sílice	= $\frac{0.05 \times 648.6}{2200}$	= $0.014741 \text{ m}^3$ .
f. Nanosilice	= $\frac{0.01 \times 648.6}{1030}$	= $0.006297 \text{ m}^3$ .

$$\Sigma V_{\text{abs pasta}} = 0.4403 \text{ m}^3.$$

- 10)  $V_{\text{abs agregados}} = 1 - 0.4416 \text{ m}^3$ .  
 $V_{\text{abs agregados}} = 0.5597 \text{ m}^3$ .

- 11) Calculo del módulo de finura de la combinación de agregados

$$m = r_f \cdot m_f + r_g \cdot m_g$$
$$5.20 = r_f \cdot 3.38 + r_f \cdot 6.93$$
$$r_f = \frac{m_g - m}{m_g - m_f}$$

$$r_f = \frac{6.93 - 5.20}{6.93 - 3.38} \times 100 = \frac{1.73}{3.55} \times 100$$

$$r_f = 49 \%$$

$$r_g = 51 \%$$

12)  $V_{\text{abs del Af}} = 0.49 \times 0.5597 = 0.2743 \text{ m}^3$ .

13)  $V_{\text{abs del Ag}} = 0.51 \times 0.5597 = 0.2854 \text{ m}^3$ .

14)  $\text{Peso seco del Af} = 0.2743 \times 2620 = 718.67 \text{ Kg/m}^3$ .

15)  $\text{Peso seco del Ag} = 0.2854 \times 2660 = 759.16 \text{ Kg/m}^3$ .

16) **Peso húmedo del:**

$$A_{f\text{húmedo}} = 718.67 \times (1 + 4.38\%) = 750.15 \text{ Kg/m}^3$$

$$A_{g\text{húmedo}} = 759.16 \times (1 + 0.88\%) = 765.84 \text{ Kg/m}^3$$

17) **Humedad superficial de los agregados**

$$\text{Del } A_F = 4.38\% - 1.30\% = +3.08 \%$$

$$\text{Del } A_G = 0.88\% - 1.36\% = -0.48 \%$$

18) **Aporte de humedad de los agregados**

$$\text{Del } A_F = 718.67 \times (+0.0308) = +22.14 \text{ lts.}$$

$$\text{Del } A_G = 759.16 \times (-0.0048) = -3.64 \text{ lts.}$$

$$\text{Aporte total} = 22.14 - 3.64 = 18.50 \text{ lts.}$$

19)  $\text{Agua efectiva} = 181.6 - 18.50 = 163.10 \text{ lts/m}^3$ .

20) **MEZCLA D1:**

a. **Cemento** =  $648.60 \text{ Kgs/m}^3 = 15.26 \text{ bolsas/m}^3$ .

b. **Agua efectiva** =  $163.10 \text{ lts/m}^3$ .

c. **AF húmedo** =  $750.15 \text{ Kgs/m}^3 = 750 \text{ Kg/m}^3$

d. **AG húmedo** =  $765.84 \text{ Kgs/m}^3 = 766 \text{ Kg/m}^3$

e. **Sikament 290N (1.0%)** =  $5.41 \text{ lts/m}^3$ .

f. **Microsilice (5.0%)** =  $14.74 \text{ Kgs/m}^3$ .

g. **Nanosilice (1.0)** =  $6.30 \text{ lts/m}^3$ .

## DISEÑO D2

- 1)  $f_c = 800 \text{ Kg/cm}^2$ .
- 2)  $f_{cr} = 1.2 \times 800 = 960 \text{ Kg/cm}^2$ .
- 3) T.M.N. =  $\frac{1}{2}$ "
- 4) Selección del Slump  
 $\text{Slump} = 5'' - 9''$
- 5) Volumen de agua =  $227 \text{ lts/m}^3$ .  
Por efecto del Superplastificante  
 $V_{\text{agua}} = 227 - 0.20 \times (227) = 181.6$   
 $V_{\text{agua}} = 181.6 \text{ lts/m}^3$ .
- 6)  $V_{\text{aire atrapado}} = 2.5\%$
- 7) Relación a/c = 0.28
- 8) F.C =  $181.6/0.28 = 648.60 \text{ Kg/cm}^2 = 15.3 \text{ bolsas/m}^3$ .
- 9) Calculo del  $V_{\text{abs}}$  de la pasta

a. Cemento	= $648.60/3130$	= $0.207220 \text{ m}^3$ .
b. Agua	= $181.6/1000$	= $0.18160 \text{ m}^3$ .
c. Aire	= $2.50/100$	= $0.0250 \text{ m}^3$ .
d. Sikament 290 N	= $\frac{0.01 \times 648.6}{1200}$	= $0.005405 \text{ m}^3$ .
e. Micro sílice	= $\frac{0.10 \times 648.6}{2200}$	= $0.029481 \text{ m}^3$ .
f. Nanosilice	= $\frac{0.02 \times 648.6}{1030}$	= $0.012594 \text{ m}^3$ .

$$\Sigma V_{\text{abs pasta}} = 0.4613 \text{ m}^3.$$

- 10)  $V_{\text{abs agregados}} = 1 - 0.4613 \text{ m}^3$ .  
 $V_{\text{abs agregados}} = 0.5387 \text{ m}^3$ .

- 11) Calculo del módulo de finura de la combinación de agregados

$$m = r_f \cdot m_f + r_g \cdot m_g$$
$$5.20 = r_f \cdot 3.38 + r_f \cdot 6.93$$
$$r_f = \frac{m_g - m}{m_g - m_f}$$

$$r_f = \frac{6.93 - 5.20}{6.93 - 3.38} \times 100 = \frac{1.73}{3.55} \times 100$$

$$r_f = 49 \%$$

$$r_g = 51 \%$$

12)  $V_{\text{abs del Af}} = 0.49 \times 0.5387 = 0.2640 \text{ m}^3$ .

13)  $V_{\text{abs del Ag}} = 0.51 \times 0.5387 = 0.2747 \text{ m}^3$ .

14)  $\text{Peso seco del Af} = 0.2640 \times 2620 = 691.68 \text{ Kg/m}^3$ .

15)  $\text{Peso seco del Ag} = 0.2747 \times 2660 = 730.70 \text{ Kg/m}^3$ .

16) **Peso húmedo del:**

$$A_{f\text{húmedo}} = 691.68 \times (1+4.38\%) = 721.98 \text{ Kg/m}^3$$

$$A_{g\text{húmedo}} = 730.70 \times (1+0.88\%) = 737.13 \text{ Kg/m}^3$$

17) **Humedad superficial de los agregados**

$$\text{Del } A_F = 4.38\% - 1.30\% = +3.08 \%$$

$$\text{Del } A_G = 0.88\% - 1.36\% = -0.48 \%$$

18) **Aporte de humedad de los agregados**

$$\text{Del } A_F = 691.68 \times (+0.0308) = +21.30 \text{ lts.}$$

$$\text{Del } A_G = 730.13 \times (-0.0048) = -3.51 \text{ lts.}$$

$$\text{Aporte total} = 21.30 - 3.51 = 17.79 \text{ lts.}$$

19)  $\text{Agua efectiva} = 181.6 - 17.79 = 163.81 \text{ lts/m}^3$ .

20) **MEZCLA D2:**

a. **Cemento** =  $648.60 \text{ Kgs/m}^3 = 15.26 \text{ bolsas/m}^3$ .

b. **Agua efectiva** =  $163.81 \text{ lts/m}^3$ .

c. **AF húmedo** =  $721.98 \text{ Kgs/m}^3 = 722 \text{ Kg/m}^3$

d. **AG húmedo** =  $737.13 \text{ Kgs/m}^3 = 737 \text{ Kg/m}^3$

e. **Sikament 290N (1.0%)** =  $5.41 \text{ lts/m}^3$ .

f. **Microsilice (10.0%)** =  $29.48 \text{ Kgs/m}^3$ .

g. **Nanosilice (2.0%)** =  $12.59 \text{ lts/m}^3$ .

$$r_f = \frac{6.93 - 5.20}{6.93 - 3.38} \times 100 = \frac{1.73}{3.55} \times 100$$

$$r_f = 49 \%$$

$$r_g = 51 \%$$

12)  $V_{\text{abs del Af}} = 0.49 \times 0.5416 = 0.2654 \text{ m}^3$ .

13)  $V_{\text{abs del Ag}} = 0.51 \times 0.5416 = 0.2762 \text{ m}^3$ .

14)  $\text{Peso seco del Af} = 0.2654 \times 2650 = 703.31 \text{ Kg/m}^3$ .

15)  $\text{Peso seco del Ag} = 0.2762 \times 2680 = 740.22 \text{ Kg/m}^3$ .

16) **Peso húmedo del:**

$$A_{\text{húmedo}} = 703.31 \times (1 + 4.36\%) = 733.97 \text{ Kg/m}^3$$

$$A_{\text{húmedo}} = 740.22 \times (1 + 0.88\%) = 746.73 \text{ Kg/m}^3$$

17) **Humedad superficial de los agregados**

$$\text{Del Af} = 4.36\% - 1.67\% = +2.69 \%$$

$$\text{Del Ag} = 0.88\% - 1.51\% = -0.63 \%$$

18) **Aporte de humedad de los agregados**

$$\text{Del Af} = 703.31 \times (+0.0269) = +18.92 \text{ lts.}$$

$$\text{Del Ag} = 740.22 \times (-0.0063) = -4.66 \text{ lts.}$$

$$\text{Aporte total} = 18.92 - 4.66 = 14.26 \text{ lts.}$$

19)  $\text{Agua efectiva} = 181.6 - 14.26 = 163.34 \text{ lts/m}^3$ .

20) **MEZCLA D2:**

a. **Cemento** =  $648.60 \text{ Kgs/m}^3 = 15.26 \text{ bolsas/m}^3$ .

b. **Agua efectiva** =  $163.34 \text{ lts/m}^3$ .

c. **AF húmedo** =  $733.97 \text{ Kgs/m}^3$ .

d. **AG húmedo** =  $746.73 \text{ Kgs/m}^3$ .

e. **Sikament 290N** =  $5.19 \text{ lts/m}^3$ .

f. **Microsilice** =  $64.86 \text{ Kgs/m}^3$ .

g. **Nanosilice** =  $9.73 \text{ lts/m}^3$ .

**5.8. Caracterización del Concreto en Estado Fresco.-** Una vez obtenida la mezcla se procedió a medir la trabajabilidad del concreto en estado fresco, que consistió en:

**A. Medir la extensión de flujo.**

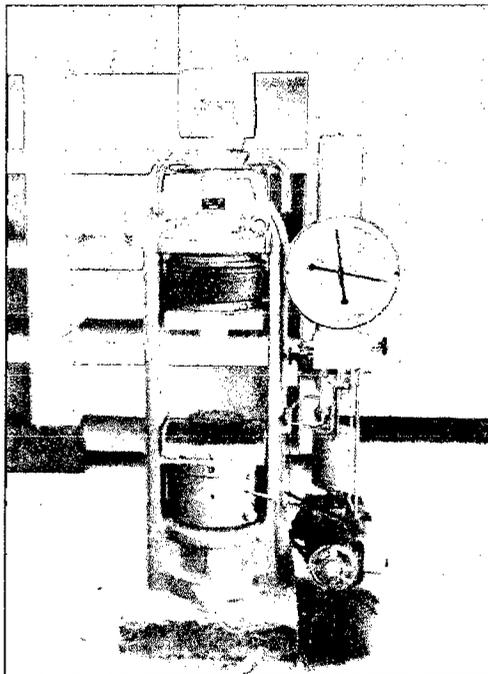
**A.1 Método del Cono de Abrams.- Procedimiento:**

- ✦ Se requieren 6 litros de concreto para realizar el ensayo, que se toman como muestra de manera normal.
- ✦ Comprobamos que la superficie plana o base está firme y perfectamente horizontal. Se humedeció con un paño, teniendo especial cuidado en no dejar agua libre. Se humedeció de igual manera el interior del cono y se colocó el cono sobre la base.
- ✦ Sujetamos firmemente el cono y lo rellenamos vertiendo el concreto con ayuda del embudo de forma continua y sin ningún tipo de compactación.
- ✦ Nivelamos el concreto de la superficie con el borde superior del cono.
- ✦ Antes de que transcurriera 1 minuto se levantó verticalmente el cono, de forma cuidadosa y continua (2 a 3 segundos), dejando que el hormigón se extienda sobre la base.
- ✦ Tomamos el tiempo en el cual el flujo de concreto demora en alcanzar un diámetro de 50cm.

Tomamos el diámetro máximo alcanzado por el concreto cuando éste ha terminado de fluir.

### **Caracterización del Concreto en Estado Endurecido.**

**Resistencia a la Compresión.-** Se preparó un total de 100 probetas de concreto autocompactante, la elaboración de éstas se basó en la norma NTP 339.033, seguidamente se llevaron a un curado de 7, 14 y 28 días y posteriormente se ensayaron en el equipo de compresión hidráulica del Laboratorio del Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería – UNC, según la norma técnica peruana NTP 339.034. Este equipo realiza el ensayo con una velocidad de presión de 2.50 KN/s.



**Fotografía 5.1.- Máquina de compresión hidráulica.**

# **CAPÍTULO VI**

## **RESULTADOS**

## LISTADO DE TABLAS

**TABLA 3.1: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS.**

Agregados \ Características	A. FINO	A. GRUESO
Peso específico de Masa	2.62 gr/cm <sup>3</sup>	2.66 gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto	1561 Kg/cm <sup>3</sup>	1473 Kg/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado	1681 Kg/cm <sup>3</sup>	1575 Kg/cm <sup>3</sup>
Peso específico superficialmente seco	2.65 gr/cm <sup>3</sup>	2.70 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura	3.38	6.93
Contenido de Humedad	4.38%	0.88%
Absorción	1.30%	1.36%
Partículas menores a #200	1.53%	
Perfil	Angular	Angular
T.M.N.		1/2"
Abrasión		22.73%

**TABLA 3.2: CANTIDAD DE MATERIALES POR METRO CUBICO PARA CADA DOSIFICACION**

TIPO DE MEZCLA	Cemento	Agua Efectiva	AF húmedo	AG húmedo	Superplastificante	Microsilice	Nanosilice
	Kg/m <sup>3</sup>	Lts/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Lts/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Lts/m <sup>3</sup>
MP	648.6	162.44	778	794	5.95	-	-
D1	648.6	163.10	750	766	5.41	14.74	6.30
D2	648.6	163.81	722	737	5.41	29.48	12.59

M P: Mezcla de concreto con cemento Pacasmayo tipo I con aditivo SIKAMENT 290N con 1.10% del peso del factor cemento.

M 1: Mezcla de concreto con Cemento Pacasmayo tipo I con aditivo SIKAMENT 290N, SIKA FUME, y GAIA con proporciones de 1.00%, 5.00% y 1.00% del peso del factor cemento respectivamente.

M 2: Mezcla de concreto con Cemento Pacasmayo tipo I con aditivo SIKAMENT 290N, SIKA FUME, y GAIA con proporciones de 1.00%, 10.00% y 2.00% del peso del factor cemento respectivamente.

Las proporciones que aparecen en el cuadro se lograron con el ajuste previo en las mezclas de prueba.

TABLA 3.3: ESFUERZO A COMPRESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> ); A 7 DÍAS DE CURADO			
Probeta N°	MP	D1	D2
1	612.10	677.96	719.53
2	633.12	678.29	716.98
3	595.07	682.69	718.68
4	651.50	675.63	718.24
5	639.45	664.33	705.23
6	664.79	666.60	706.12
7	632.24	661.91	706.61
8	655.17	663.15	704.80
9	635.80	680.09	708.08
10	642.99	676.78	707.50
<b>Val. Promedio</b>	636.22	672.74	711.18
<b>C.V. %</b>	3.05%	1.11%	0.84%

TABLA 3.4: ESFUERZO A COMPRESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> ); A 14 DÍAS DE CURADO			
Probeta N°	MP	D1	D2
1	732.94	753.18	847.86
2	723.20	759.45	849.38
3	731.23	767.40	854.92
4	719.48	765.09	848.42
5	715.65	758.73	844.21
6	718.47	760.73	847.50
7	716.09	753.08	848.45
8	710.86	751.87	847.37
9	713.83	756.86	855.98
10	704.51	751.48	845.01
<b>Val. Promedio</b>	718.63	757.79	848.91
<b>C.V.%</b>	1.15%	0.69%	0.42%

**TABLA 3.5: ESFUERZO A COMPRESIÓN (Kg/cm<sup>2</sup>); A 28 DÍAS DE CURADO**

Probeta N°	MP	D1	D2
1	801.22	854.06	939.03
2	819.87	860.75	936.87
3	841.78	847.85	942.91
4	807.41	852.31	943.32
5	805.19	857.85	941.59
6	810.38	850.28	945.26
7	809.55	855.01	940.05
8	815.62	849.03	943.33
9	814.42	845.28	937.78
10	809.20	836.71	949.27
<b>Val. Promedio</b>	813.46	850.91	941.94
<b>C.V.%</b>	1.32%	0.76%	0.37%

**TABLA 3.6: RESUMEN RESULTADOS AL ESFUERZO DE COMPRESIÓN**

MUESTRA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )		
	7 días	14 días	28 días
<b>MP</b>	636.22	718.63	813.46
<b>D1</b>	672.74	757.79	850.91
<b>D2</b>	711.18	848.91	941.94

**TABLA 3.7: PORCENTAJES DE RESISTENCIA AL ESFUERZO DE COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS**

MUESTRA	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	
	28 días	%
<b>MP</b>	813.46	101.68
<b>D1</b>	850.91	106.36
<b>D2</b>	941.94	117.74

**TABLA 3.8: MÓDULO DE ELASTICIDAD A LA COMPRESIÓN (Kg/cm<sup>2</sup>) A LOS 7 DÍAS**

Probeta	MP	D1	D2
1	320296.15	331319.73	338004.21
2	323876.79	331373.34	337600.56
3	317348.72	332090.33	337870.55
4	326958.15	330940.26	337799.22
5	324941.99	329083.37	335727.75
6	329160.71	329457.92	335869.05
7	323727.44	328685.02	335948.96
8	327569.04	328889.99	335658.12
9	324328.93	331667.43	336182.44
10	325537.02	331127.26	336090.12
<b>Promedio</b>	324374.49	330463.47	336675.10
<b>C.V. %</b>	1.01%	0.37%	0.28%

**TABLA 3.9: MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN (KG/CM<sup>2</sup>); A 14 DÍAS DE EDAD**

Probeta	MP	D1	D2
1	340119.22	343274.66	357503.64
2	338585.07	344244.71	357725.47
3	339851.14	345467.44	358531.64
4	337996.03	345112.46	357584.95
5	337388.46	344132.69	356969.59
6	337836.96	344442.07	357450.74
7	337458.26	343260.14	357588.77
8	336626.31	343071.58	357432.18
9	337100.11	343844.14	358685.25
10	335612.69	343010.92	357087.59
<b>Promedio</b>	337857.42	343986.08	357655.98
<b>C.V. %</b>	0.39%	0.24%	0.15%

**TABLA 3.10: MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN (KG/CM<sup>2</sup>); A 28 DÍAS DE EDAD**

Probeta	MP	D1	D2
1	350600.16	358407.10	370471.10
2	353384.17	359377.66	370170.17
3	356613.81	357501.85	371007.95
4	351527.61	358151.40	371064.93
5	351194.38	358956.59	370825.62
6	351970.90	357856.74	371332.63
7	351847.70	358545.14	370612.00
8	352751.61	357674.21	371066.61
9	352572.87	357126.81	370297.29
10	351794.86	355870.69	371887.51
<b>Promedio</b>	352425.81	357946.82	370873.58
<b>C.V. %</b>	0.45%	0.26%	0.13%

TABLA 3.11: PORCENTAJES DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE COMPRESIÓN(Kg/cm<sup>2</sup>) A LOS 28 DÍAS

MUESTRA	MODULO DE ELASTICIDAD	PORCENTAJE
MP	351917 Kg/cm <sup>2</sup>	100.57
D1	357946 Kg/cm <sup>2</sup>	102.15
D2	370873.58 Kg/cm <sup>2</sup>	105.84

**TABLA 3.12: RESUMEN COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS AL ESFUERZO DE COMPRESIÓN**

f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ), A LOS DÍAS DE ENSAYO							COMPARACIÓN
COMPARACIÓN	SIGNO	7	SIGNO	14	SIGNO	28	
MP	Menor	30	menor	40	menor	41	D1
D1	>	41	>	40	>	30	MP
D2	>	38	>	91	>	91	D1

## ANALISIS DE COSTOS

**TABLA 3.13: RESUMEN DE COSTOS DE CONCRETO POR M3, DE CADA TIPO DE MUESTRA**

<b>1. CONCRETO (MUESTRA MP)</b>	<b>f'c Promedio (28d):</b>	<b>810.03 kg/cm2</b>
	<b>1.93</b>	<b>(kg/cm2)/(S/.)</b>
<b>2. CONCRETO (MUESTRA D1)</b>	<b>f'c Promedio (28d):</b>	<b>850.91 kg/cm2</b>
	<b>1.55</b>	<b>(kg/cm2)/(S/.)</b>
<b>3. CONCRETO (MUESTRA D2)</b>	<b>f'c Promedio (28d):</b>	<b>941.94 kg/cm2</b>
	<b>1.37</b>	<b>(kg/cm2)/(S/.)</b>

**TABLA 3.14: RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE CONCRETO DE CADA TIPO DE MUESTRA**

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>
<b>Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil</b>

<b>ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA TESIS DE CONCRETO</b>					
<b>OBTENCION DE UN CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA PARA UN <math>f'_c=800 \text{ Kg/cm}^2</math>, USANDO ADREGADOS DE LA CANTERA EL CHICHE - CAJAMARCA, ADITIVOS Y ADICION MINERAL</b>					
<b>Tesista: VILLANUEVA SANCHEZ, Fernando Arturo</b>			<b>CAJAMARCA. MARZO DEL 2015</b>		
<b>TIPO DE MEZCLA MP</b>	$f'_c = 810.03$		$\text{Kg/cm}^2$	<b>C.U.</b>	<b>582.65</b>
	Rendimiento	12.00	m3/dia		
DESCRIPCION/RECURSO	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>96.31</b>
Operario	hh	1.00	0.6667	18.36	12.24
Oficial	hh	1.00	0.6667	15.39	10.26
Peón	hh	8.00	5.3333	13.84	73.81
<b>MATERIALES</b>					<b>470.12</b>
Cemento Portland TIPO 1	Bls		15.2612	22.00	335.75
Super plastificante SIKAMENT 290 N	Lts		7.1300	7.60	54.19
Agua	m3		0.1663	5.00	0.83
Agregado fino húmedo	m3		0.7860	45.00	35.37
Agregado grueso húmedo	m3		0.7997	55.00	43.98
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>					<b>16.22</b>
Herramientas manuales	%MO		3%	96.31	2.89
Mezcladora de C°, de 11 pc	hm	1.00	0.6667	15.00	10.00
Vibrador de C°, de $\varnothing 1.5''$	hm	0.50	0.3333	10.00	3.33

<b>TIPO DE MEZCLA D1</b>	$f'_c = 850.91$		$\text{Kg/cm}^2$	<b>C.U.</b>	<b>764.61</b>
	Rendimiento	12.00	m3/dia		
DESCRIPCION/RECURSO	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>96.31</b>
Operario	hh	1.00	0.6667	18.36	12.24
Oficial	hh	1.00	0.6667	15.39	10.26

Peón	hh	8.00	5.3333	13.84	73.81
<b>MATERIALES</b>					<b>652.07</b>
Cemento Portland TIPO 1	Bls		15.2612	22.00	335.75
Super plastificante SIKAMENT 290 N	Lts		5.1900	7.60	39.44
Nano sílice GAIA	Lts		6.4900	7.47	48.48
Agua	m3		0.1669	5.00	0.83
Micro sílice SIKA FUME	Lts		32.4300	4.65	150.80
Agregado fino húmedo	m3		0.7605	45.00	34.22
Agregado grueso húmedo	m3		0.7735	55.00	42.54
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>					<b>16.22</b>
Herramientas manuales	%MO		3%	96.31	2.89
Mezcladora de C°, de 11 pc	hm	1.00	0.6667	15.00	10.00
Vibrador de C°, de Ø 1.5"	hm	0.50	0.3333	10.00	3.33

TIPO DE MEZCLA D2	f'c = 941.94		Kg/cm <sup>2</sup>	C.U. = S/.	961.20
	Rendimiento	12.00	m3/dia		
DESCRIPCION/RECURSO	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>96.31</b>
Operario	hh	1.00	0.6667	18.36	12.24
Oficial	hh	1.00	0.6667	15.39	10.26
Peón	hh	8.00	5.3333	13.84	73.81
<b>MATERIALES</b>					<b>848.67</b>
Cemento Portland TIPO 1	Bls		15.2612	22.00	335.75
Super plastificante SIKAMENT 290 N	Lts		5.1900	7.60	39.44
Nano sílice GAIA	Lts		12.9800	7.47	96.96
Agua	m3		0.1633	5.00	0.82
Micro sílice SIKA FUME	Lts		64.8600	4.65	301.60
Agregado fino húmedo	m3		0.7340	45.00	33.03
Agregado grueso húmedo	m3		0.7467	55.00	41.07
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>					<b>16.22</b>
Herramientas manuales	%MO		3%	96.31	2.89
Mezcladora de C°, de 11 pc	hm	1.00	0.6667	15.00	10.00
Vibrador de C°, de Ø 1.5"	hm	0.50	0.3333	10.00	3.33

**TABLA 4.1: HUSOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO**

TAMIZ	PORCENTAJE DE PESO (MASA) QUE PASA			
	LÍMITES TOTALES	*C	M	F
9.50 mm 3/8"	100	100	100	100
4.75 mm N°4	95-100	95 – 100	89 – 100	89 – 100
2.36 mm N°8	80-100	80 – 100	65 – 100	80 – 100
1.18 mm N°16	50-85	50 – 85	45 – 100	70 – 100
0.60 mm N°30	25-60	25 – 60	25 – 80	55 – 100
0.30 mm N°50	10-30	10 – 30	5 – 48	5 – 70
0.15 mm N°100	2-10	2 – 10	0 - 12*	0 – 12

\* Incrementar a 5% para agregado fino triturado, excepto cuando se use para pavimentos.-

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037- ASTM C 33

**TABLA 4.2: HUSOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO**

Nº A.S.T. M	TAMAÑO O NOMINAL	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100m m 4"	90m m 3.5"	75m m 3"	63m m 2.5"	50m m 2"	37,5m m 1.5"	25m m 1"	19m m ¾"	12,5m m ½"	9,5m m 3/8"	4,75m m N°4	2,36m m N°8	1,18m m N°16	
1	3½" a	100	90		25		0		0						
	1½"		100		60		15		5						
2	2½" a			100	90	35	0		0						
	1½"				100	70	15		5						
3	2" a				100	90	35	0		0					
	1"					100	70	15		5					
357	2" a				100	95		35		10		0			
	N°4					100		70		30		5			
4	1½" a				100		90	20	0		0				
	¾"						100	55	15		5				
467	1½" a				100		95		35		10	0			
	N°4						100		70		30	5			
5	1" a						100	90	20	0	0				
	½"							100	55	10	5				
56	1" a						100	90	40	10	0	0			
	3/8"							100	85	40	15	5			
57	1" a						100	95		25		0	0		
	N°4							100		60		10	5		
6	¾" a						100		90	20	0	0			
	3/8"								10	55	15	5			
67	¾" a							100	90		20	0	0		
	N°4								100		55	10	5		
7	½" a								100	90	40	0	0		
	N°4									100	70	15	5		
9	3/8" a									100		85	10	0	0
	N°8										100	30	10	5	

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037- ASTM C 33

**TABLA 4.3: TIPO DE GRADACIÓN SEGÚN PESO RETENIDO PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE ESFERAS**

TAMAÑO DE LOS TAMICES		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (gr)			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
37.50 mm (1 1/2")	25.40 mm (1")	1250 ± 25	-----	-----	-----
25.40 mm (1")	19.00 mm (3/4")	1250 ± 25	-----	-----	-----
19.00 mm (3/4")	12.70 mm (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10	-----	-----
12.70 mm (1/2")	9.51 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10	-----	-----
9.51 mm (3/8")	6.35 mm (1/4")	-----	-----	2500 ± 10	-----
6.35 mm (1/4")	4.76 mm (Nº 4)	-----	-----	2500 ± 10	-----
4.76 mm (Nº 4)	2.36 mm (Nº 8)	-----	-----	-----	5000 ± 10

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.019

**TABLA 4.4: NÚMERO DE ESFERAS SEGÚN TIPO DE GRADACIÓN DEL MATERIAL**

GRADACIÓN	NÚMEROS DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS (grs)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 15

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.019

**TABLA 4.5: RELACIÓN DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS CON LOS ASPECTOS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO**

Características de los agregados	Aspectos influidos en el Concreto	
	Concreto Fresco	Concreto Endurecido
Granulometría	Manejabilidad Requerimiento de agua Sangrado	Resistencia mecánica Cambios volumétricos Economía
Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros finos indeseables)	Requerimiento de agua Contracción plástica	Durabilidad Resistencia mecánica Cambios volumétricos
Densidad (gravedad específica)	Peso unitario	Peso unitario
Sanidad	Requerimiento de agua	Durabilidad
Absorción y porosidad	Pérdida de revenimiento Contracción plástica	Durabilidad Permeabilidad
Forma de las partículas	Manejabilidad Requerimiento de agua Sangrado	Resistencia mecánica Cambios volumétricos Economía
Textura superficial	Manejabilidad Requerimiento de agua	Durabilidad Resistencia al desgaste Economía
Tamaño máximo	Segregación Peso unitario Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Cambios volumétricos Peso unitario Permeabilidad Economía
Reactividad con los álcalis		Durabilidad
Módulo de elasticidad		Módulo de elasticidad Cambios volumétricos
Resistencia a la abrasión		Resistencia a la abrasión Durabilidad
Resistencia mecánica (por aplastamiento)		Resistencia mecánica
Partículas friables y terrones de arcilla	Contracción plástica	Resistencia mecánica Durabilidad Reventones superficiales
Coefficiente de expansión térmica		Propiedades térmicas

Fuente: Manual de tecnología del concreto, Comisión Federal De Electricidad (pág 101)

**TABLA 4.6: PRINCIPALES COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND**

Cemento	C3S	C2S	C3A	C3AF	CaSO4	CaO Libre	MgO
Tipo I	59	15	12	8	2.9	0.8	2.4
Tipo II	46	29	6-8*	12	2.8	0.6	3.0
Tipo III	60	12	12-15*	8	3.9	1.3	2.6
Tipo IV	30-35*	40**-46	5-7*	13	2.9	0.3	2.7
Tipo V	43	36	4-5*	12	2.7	0.4	1.6

(\*) Como máximo

(\*\*) Como mínimo

Fuente: Tecnología del concreto, A.M Neville y J.J. Brooks

**TABLA 4.7: AJUSTE PRINCIPAL PARA BRINDAR LAS CARACTERÍSTICAS ESPECIALES AL CEMENTO**

Tipo	Característica	Ajuste Principal
I	Sin características especiales	Sin ajustes específicos
II	Moderado 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

Fuente: Manual de tecnología del concreto, Comisión Federal De Electricidad (pág. 19)

Silicato tricálcico  $3CaO SiO_2$  = C3S

Silicato dicálcico  $2CaO SiO_2$  = C2S

Aluminato tricálcico  $3CaO Al_2O_3$  = C3A

Aluminoferrito tetracálcico  $4CaO Al_2O_3 Fe_2O_3$  = C4AF

**TABLA 4.8: MODIFICACIONES POSIBLES EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO CON EL USO DE ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE MEZCLADO**

Conceptos	Mezcla sin aditivo	Mezclas con reductor de agua		
		(1)	(2)	(3)
Contenido de agua	A	$A' < A$	A	$A' < A$
Contenido de cemento	C	C	C	$C' < C$
Material cementante/agua	A/C	$A'/C < A/C$	A/C	$A'/C' = A/C$
Revenimiento	r	r	$r' > r$	r
Resistencia a compresión	R	$R' > R$	R	R

Fuente: Manual de tecnología del concreto, Comisión Federal De Electricidad. 213 pág.

**TABLA 4.9: RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA**

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'c < 21$	$f'cr = f'c + 7,0$
$21 < f'c < 35$	$f'cr = f'c + 8,5$
$f'c > 35$	$f'cr = 1,1 f'c + 5,0$

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE 060)

**TABLA 4.10: CONSISTENCIA Y ASENTAMIENTOS**

Consistencia	Asentamiento	Trabajabilidad
Seca	0" a 2"	Poco trabajable
Plástica	3" a 4"	Trabajable
Húmeda	≥ 5"	Muy Trabajable

Fuente: "Diseño de mezclas" Enrique Rivva López

**TABLA 4.11: ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN**

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	ASENTAMIENTO	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: ACI 211

**TABLA 4.12: REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y DE CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES VALORES DE ASENTAMIENTO Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADOS**

ASENTAMIENTO	Agua , en l/m <sup>3</sup> , para los tamaños máximos nominales del agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
<b>CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO</b>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	11
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	----
Cont. Aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>CONCRETO CON AIRE INCORPORADO</b>								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	----
Promedio recomendable para el contenido total de aire (%)	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: ACI 211 y ACI 318

**TABLA 4.13: VOLUMEN UNITARIO DE AGUA DE MEZCLADO, PARA ASENTAMIENTOS Y TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL**

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Volumen unitario de agua (lt/m <sup>3</sup> ); para asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
	1" a 2"		3" a 4"		6" a 7"	
	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Fuente: "Diseño de mezclas" Enrique Rivva López

**TABLA 4.14: RELACIÓN AGUA/MATERIAL CEMENTANTE Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

f <sub>cr</sub> (28 días)	Estimación de la relación agua / material cementante en peso para agregado del tamaño máximo nominal indicado		
	3/8"	3/4"	1 1/2"
140	0.87	0.85	0.8
175	0.79	0.76	0.71
210	0.72	0.69	0.64
245	0.66	0.62	0.58
280	0.61	0.58	0.53
315	0.57	0.53	0.49
350	0.53	0.49	0.45

\* Esta tabla ha sido confeccionada un grupo de investigadores de la Nacional Ready Mixed Concrete Association.

\*\* Los valores corresponden a concretos sin aire incorporado. En concretos con aire incorporado, la reacción agua/cemento deberá estimarse sobre la base de la reducción del 5% en la resistencia por cada 1% de aire incorporado

Fuente: "Diseño de mezclas" Enrique Rivva López

<b>TABLA 4.15: REQUISITOS PARA CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN</b>		
Condición de la exposición	Relación máxima agua-material cementante(en peso) para concreto de peso normal	f <sub>c</sub> mínimo(Mpa) para concretos de peso normal o con agregados ligeros
Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua.	0.5	28
Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes.	0.45	31
Para proteger de la corrosión el refuerzo de acero cuando el concreto está expuesto a cloruros provenientes de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o a salpicaduras del mismo origen.	0.4	35

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE 060)

**TABLA 4.16: MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS**

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos / metro cúbico indicados			
	6	7	8	9

3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

\* Los valores de la tabla están referidos a agregado grueso de perfil angular y adecuadamente graduado, con un contenido de vacíos del orden del 35%. Los valores indicados deben incrementarse o disminuirse en 0.1 por cada 5% de disminución o incremento del porcentaje de vacíos.

\*\* Los valores de esta tabla pueden dar mezclas ligeramente sobre arenosas para pavimento o estructuras ciclópeas. Para condiciones de colocación favorables deben ser incrementados en 0.2.

Fuente: Universidad de Maryland (Diseño de mezclas. Rivva López)

**TABLA 4.17: LÍMITES DE SUSTANCIA PERMISIBLES EN EL AGUA DE MEZCLA O CURADO.**

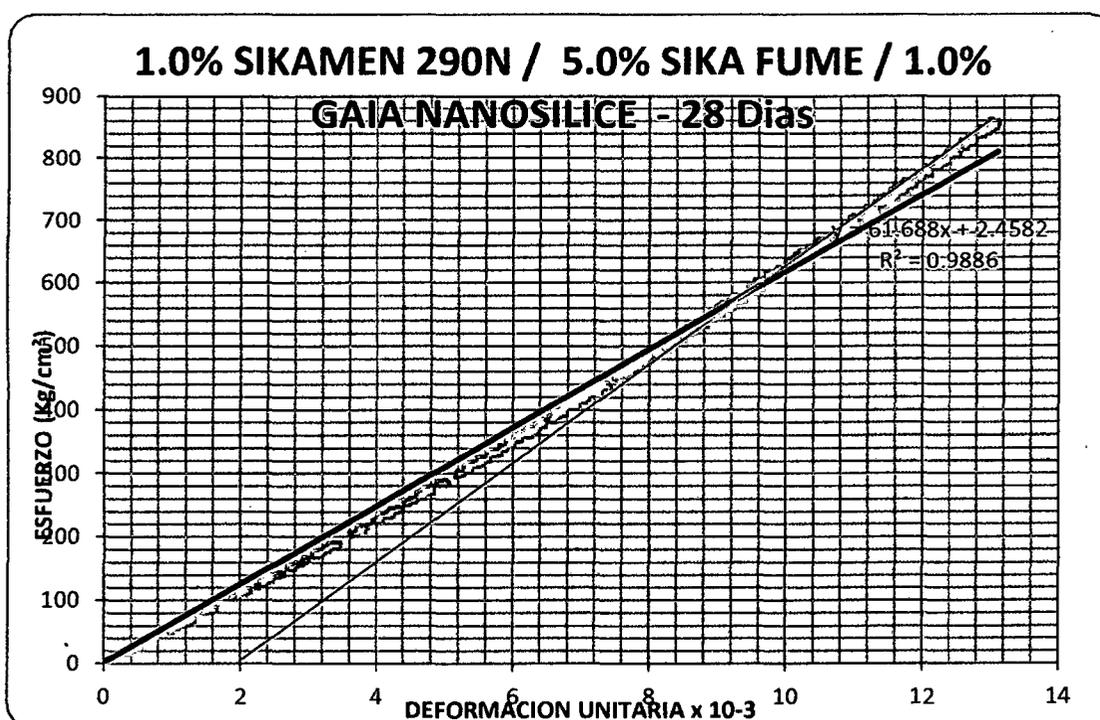
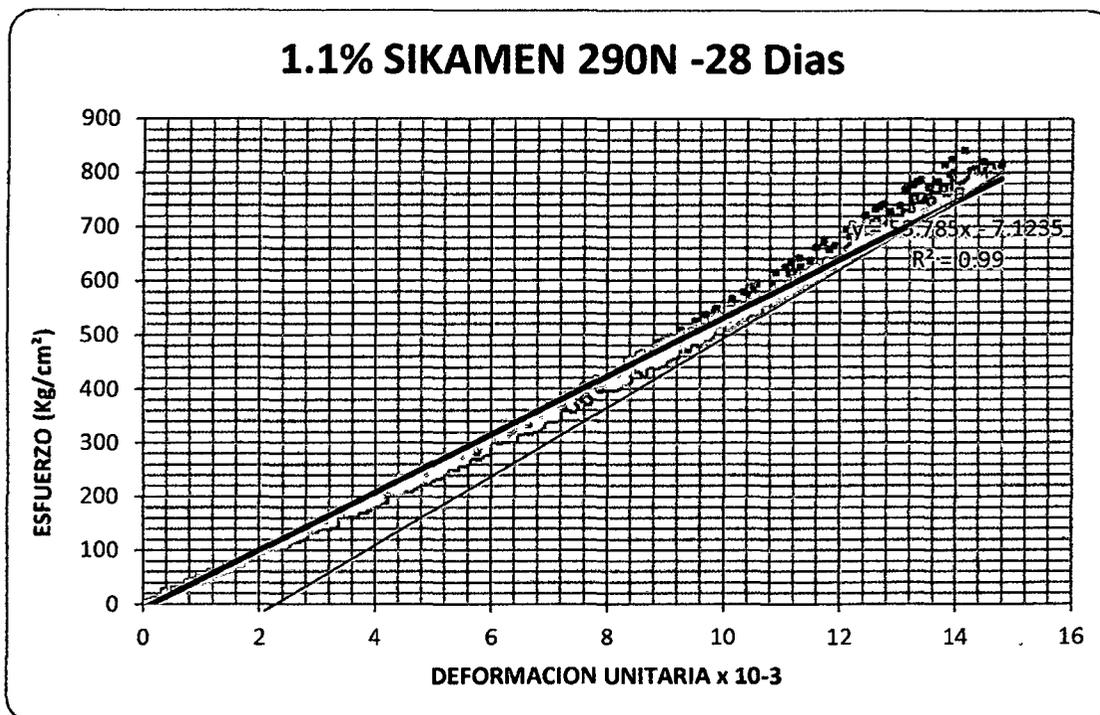
Descripción	Límites permisibles
Sólidos en suspensión	5000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Alcalinidad (NaHCO <sub>3</sub> )	1000 ppm máximo
Sulfatos (ión SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	600 ppm máximo
Cloruros (ión Cl <sup>-1</sup> )	1000 ppm máximo
pH	entre 5.0 y 8.0
De preferencia el agua a emplear debe ser potable.	
Fuente: Norma Técnica Peruana 339.088	

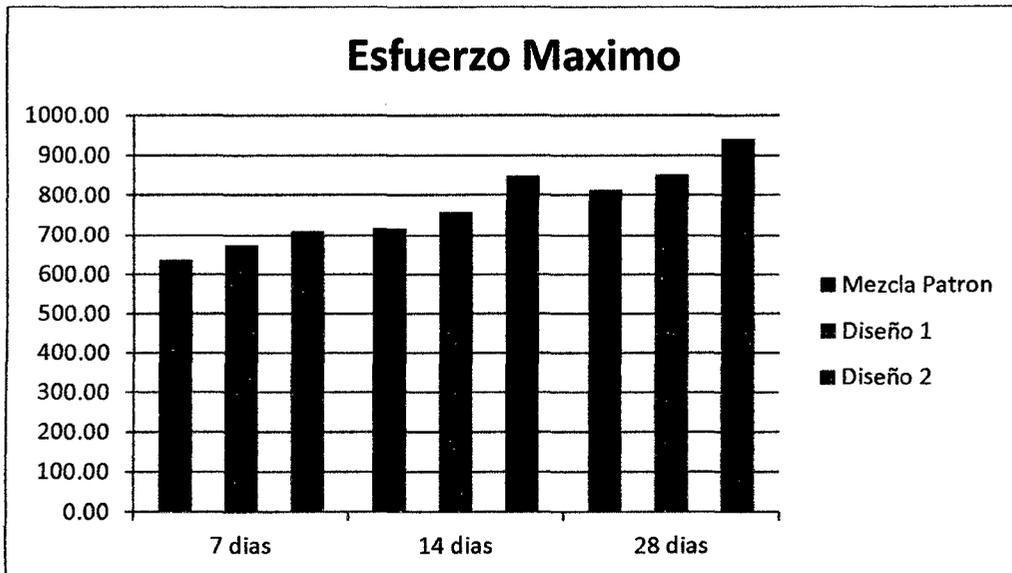
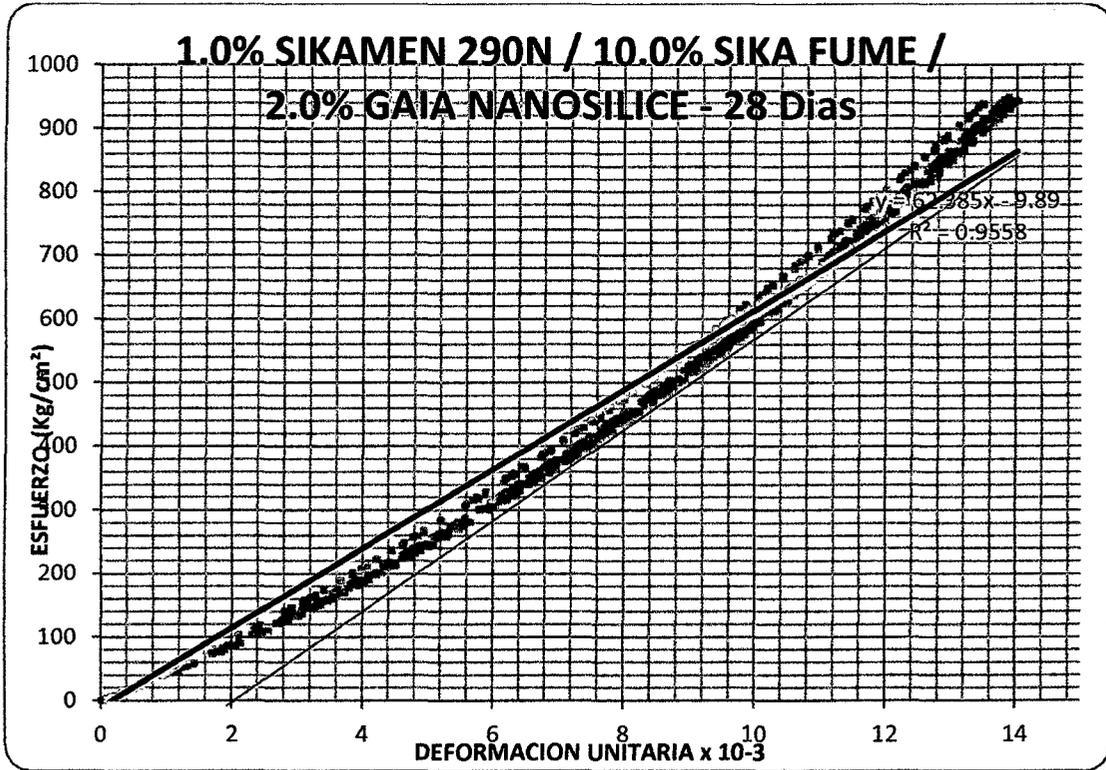
**TABLA 4.18: LÍMITES DE SUSTANCIA QUÍMICAS PERMISIBLES EN EL AGUA DE MEZCLA O CURADO NO POTABLE.**

Descripción	Límites permisibles
Cloruros (ión Cl <sup>-1</sup> )	300 ppm máximo
Sulfatos (ión SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	300 ppm máximo
Sales de magnesio	150ppm máximo
Sales solubles totales	1500 ppm máximo
pH	mayor de 7

Sólidos en suspensión	1500 ppm máximo
Materia orgánica	10 ppm máximo
Fuente: Norma Técnica Peruana 339.088	

### LISTADO DE GRAFICOS





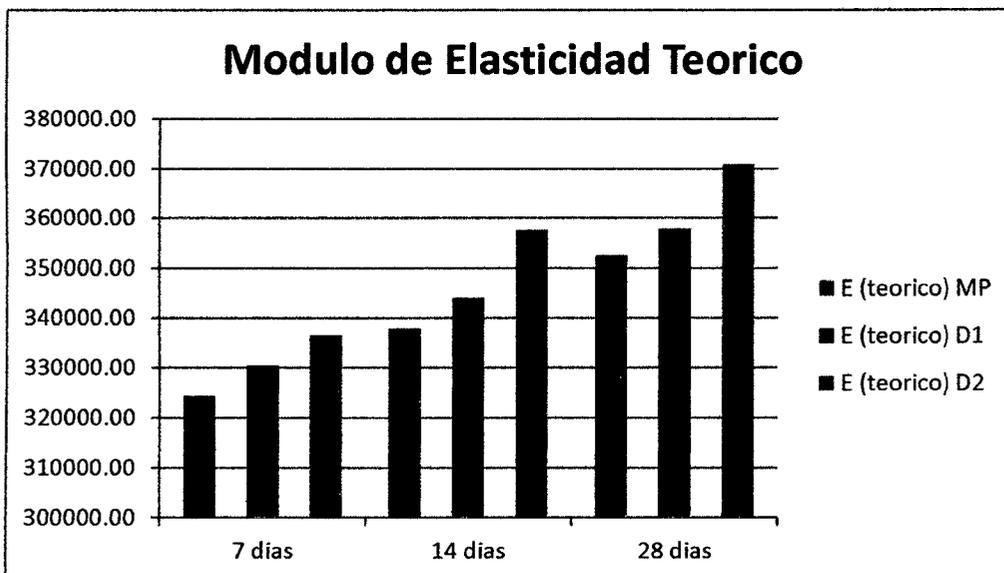
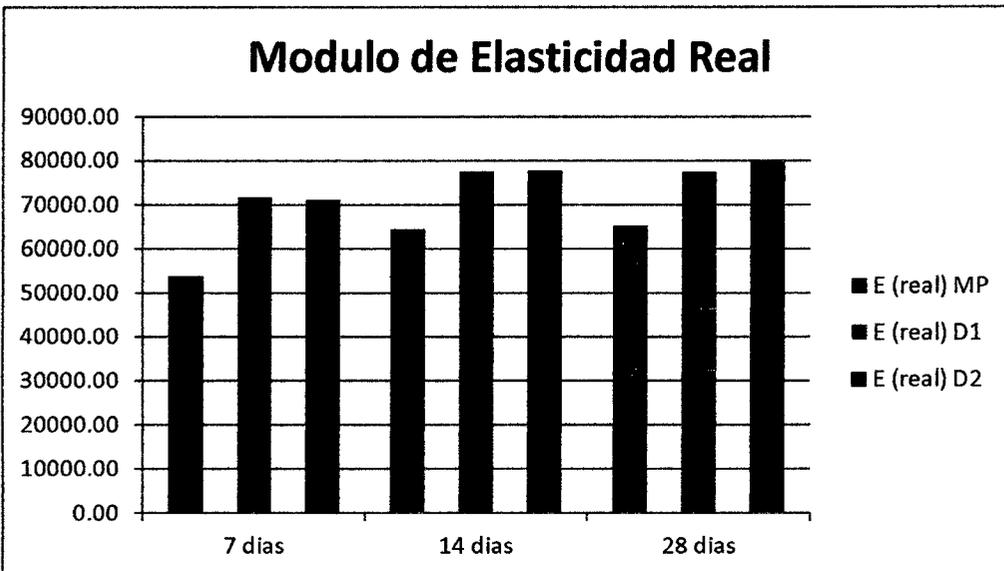
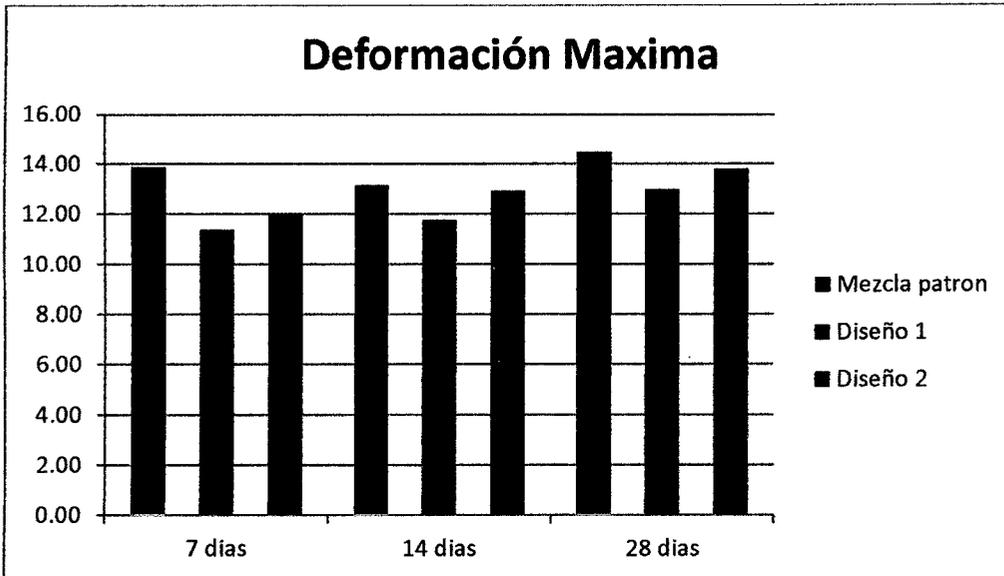


TABLA 4.19 RESULTADOS DE LAS PROBETAS ENSAYADAS

PROBETA	Def. Maxima	Esf. Maximo	E (teorico)	E (real)	Tiempo	Falla	Comportamiento	
MP 7d	1	13.51	612.10	320296.15	53160.26	6.33	Columnar	Fragil
	2	13.35	633.12	323876.79	55785.03	6.21	Columnar	Fragil
	3	13.33	595.07	317348.72	52499.71	6.08	Columnar	Fragil
	4	13.42	651.50	326958.15	57027.50	6.11	Transversal	Fragil
	5	13.72	639.45	324941.99	54560.71	6.58	Transversal	Fragil
	6	16.21	664.79	329160.71	46774.60	6.53	Tranversal	Fragil
	7	13.25	632.24	323727.44	56177.71	6.30	Transversal	Fragil
	8	14.07	655.17	327569.04	54271.00	6.17	Transversal	Fragil
	9	13.69	635.80	324328.93	54403.79	6.24	Tranversal	Fragil
	10	14.14	642.99	325537.02	52974.98	6.09	Transversal	Fragil
MP 14 d	11	12.79	732.94	340119.22	67934.74	6.28	Transversal	Fragil
	12	12.71	723.20	338585.07	67515.00	6.22	Transversal	Fragil
	13	13.20	731.23	339851.14	65313.56	6.03	Transversal	Fragil
	14	12.38	719.48	337996.03	69294.29	6.12	Transversal	Fragil
	15	13.95	715.65	337388.46	59871.15	6.53	Columnar	Fragil
	16	13.84	718.47	337836.96	60660.60	6.54	Transversal	Fragil
	17	13.37	716.09	337458.26	62988.50	6.25	Columnar	Fragil
	18	13.25	710.86	336626.31	63211.41	6.18	Transversal	Fragil
	19	13.13	713.83	337100.11	64112.08	6.19	Columnar	Fragil
	20	12.86	704.51	335612.69	64871.68	6.10	Transversal	Fragil

MP 28 d	21	13.95	801.22	350600.16	67058.94	6.41	Transversal	Fragil
	22	14.48	819.87	353384.17	65718.90	6.30	Transversal	Fragil
	23	14.15	841.78	356613.81	69309.14	6.16	Transversal	Fragil
	24	14.33	807.41	351527.61	65504.11	6.20	Transversal	Fragil
	25	14.52	805.19	351194.38	64327.27	7.06	Transversal	Fragil
	26	14.62	810.38	351970.90	64206.69	7.02	Columnar	Fragil
	27	14.57	809.55	351847.70	64388.37	6.38	Columnar	Fragil
	28	14.79	815.62	352751.61	63790.86	6.26	Columnar	Fragil
	29	14.60	814.42	352572.87	64643.37	6.32	Transversal	Fragil
	30	14.77	809.20	351794.86	63388.17	6.18	Transversal	Fragil
D1 7d	31	11.36	677.96	331319.73	72446.99	6.30	Transversal	Fragil
	32	11.25	678.29	331373.34	73317.59	6.25	Transversal	Fragil
	33	11.17	682.69	332090.33	74424.20	6.05	Transversal	Fragil
	34	11.41	675.63	330940.26	71798.84	6.15	Transversal	Fragil
	35	11.08	664.33	329083.37	73169.95	6.55	Columnar	Fragil
	36	11.09	666.60	329457.92	73362.25	6.57	Columnar	Fragil
	37	11.04	661.91	328685.02	73226.73	6.27	Transversal	Fragil
	38	11.75	663.15	328889.99	67982.05	6.21	Transversal	Fragil
	39	11.87	680.09	331667.43	68923.57	6.21	Columnar	Fragil
	40	11.90	676.78	331127.26	68380.16	6.13	Transversal	Fragil
D1 14d	41	11.61	753.18	343274.66	78374.55	6.34	Columnar	Fragil
	42	11.79	759.45	344244.71	77542.70	6.28	Transversal	Fragil
	43	11.83	767.40	345467.44	78041.05	6.09	Transversal	Fragil
	44	11.95	765.09	345112.46	76867.88	6.18	Transversal	Fragil

	45	11.89	758.73	344132.69	76712.64	6.59	Transversal	Fragil	
	46	11.84	760.73	344442.07	77271.90	6.60	Transversal	Fragil	
	47	11.71	753.08	343260.14	77560.46	6.31	Transversal	Fragil	
	48	11.71	751.87	343071.58	77435.12	6.24	Transversal	Fragil	
	49	11.75	756.86	343844.14	77664.43	6.25	Transversal	Fragil	
	50	11.72	751.48	343010.92	77327.72	6.16	Transversal	Fragil	
	D1 28d	51	12.98	854.06	358407.10	77778.35	6.36	Transversal	Fragil
		52	13.01	860.75	359377.66	78189.78	6.31	Columnar	Fragil
		53	12.96	847.85	357501.85	77324.88	6.11	Columnar	Fragil
		54	13.09	852.31	358151.40	76853.21	6.21	Columnar	Fragil
55		13.11	857.85	358956.59	77233.03	7.01	Transversal	Fragil	
56		13.09	850.28	357856.74	76698.76	7.03	Transversal	Fragil	
57		13.04	855.01	358545.14	77435.41	6.33	Transversal	Fragil	
58		12.85	849.03	357674.21	78280.52	6.27	Transversal	Fragil	
59		12.89	845.28	357126.81	77617.26	6.27	Transversal	Fragil	
60		12.85	836.71	355870.69	77093.50	6.18	Transversal	Fragil	
D2 7d	61	11.77	719.53	338004.21	73639.18	6.39	Columnar	Fragil	
	62	12.19	716.98	337600.56	70389.53	6.33	Transversal	Fragil	
	63	12.23	718.68	337870.55	70269.81	6.14	Columnar	Fragil	
	64	11.88	718.24	337799.22	72702.62	6.23	Columnar	Fragil	
	65	12.20	705.23	335727.75	69154.99	7.04	Transversal	Fragil	
	66	11.96	706.12	335869.05	70930.44	7.05	Transversal	Fragil	
	67	12.01	706.61	335948.96	70575.18	6.36	Columnar	Fragil	
	68	11.90	704.80	335658.12	71184.45	6.29	Columnar	Fragil	

	69	12.00	708.08	336182.44	70842.75	6.30	Transversal	Fragil
	70	11.91	707.50	336090.12	71416.75	6.20	Transversal	Fragil
D2 14 d	71	12.75	847.86	357503.64	78890.18	6.40	Transversal	Fragil
	72	12.94	849.38	357725.47	77669.93	6.35	Transversal	Fragil
	73	13.12	854.92	358531.64	76865.33	6.15	Transversal	Fragil
	74	12.76	848.42	357584.95	78882.68	6.25	Columnar	Fragil
	75	13.13	844.21	356969.59	75842.38	7.05	Columnar	Fragil
	76	13.09	847.50	357450.74	76442.99	7.07	Transversal	Fragil
	77	12.73	848.45	357588.77	79085.06	6.37	Transversal	Fragil
	78	13.06	847.37	357432.18	76589.09	6.31	Columnar	Fragil
	79	13.07	855.98	358685.25	77336.15	6.31	Transversal	Fragil
	80	12.66	845.01	357087.59	79294.22	6.22	Columnar	Fragil
	D2 28d	81	13.47	939.03	370471.10	81879.56	6.45	Transversal
82		13.48	936.87	370170.17	81579.38	6.41	Transversal	Fragil
83		13.92	942.91	371007.95	79072.26	6.20	Columnar	Fragil
84		14.02	943.32	371064.93	78501.69	6.31	Columnar	Fragil
85		13.83	941.59	370825.62	79587.20	7.10	Transversal	Fragil
86		13.80	945.26	371332.63	80119.09	7.13	Transversal	Fragil
87		13.75	940.05	370612.00	80036.08	6.42	Columnar	Fragil
88		13.84	943.33	371066.61	79658.70	6.37	Columnar	Fragil
89		14.00	937.78	370297.29	78162.78	6.36	Transversal	Fragil
90		13.87	949.27	371887.51	79968.50	6.28	Transversal	Fragil

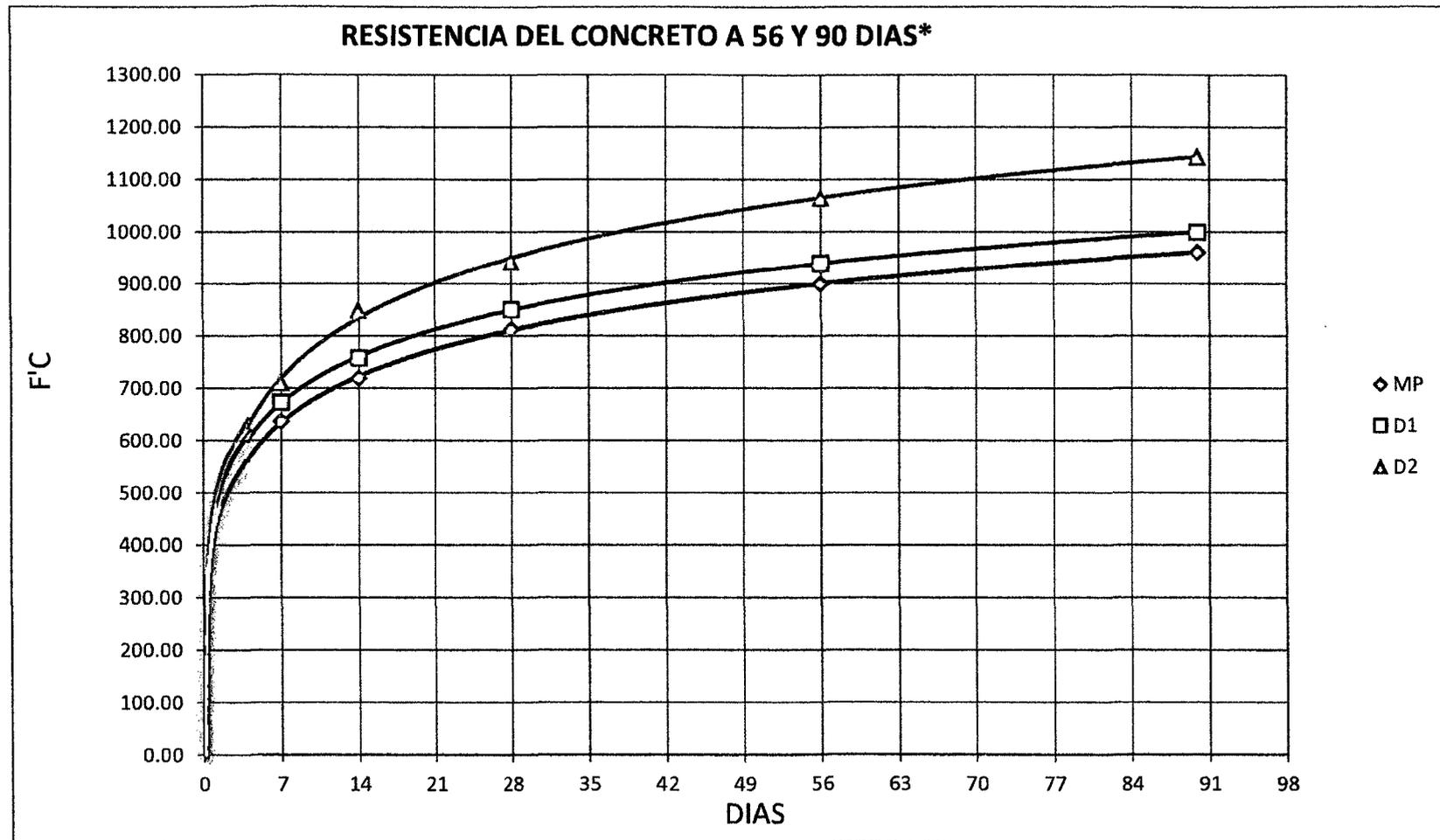
**TABLA 4.20. RESUMEN DE LOS ENSAYOS**

<b>RESUMEN</b>					
<b>PROBETA</b>		<b>Def. Maxima</b>	<b>Esf. Maximo</b>	<b>E (teorico)</b>	<b>E (real)</b>
<b>MP</b>	7 dias	13.87	636.22	324374.49	53763.53
	14 dias	13.15	718.63	337857.42	64577.30
	28 dias	14.48	813.46	352425.81	65233.58
<b>D1</b>	7 dias	11.39	672.74	330463.47	71703.23
	14 dias	11.78	757.79	343986.08	77479.85
	28 dias	12.99	850.91	357946.82	77450.47
<b>D2</b>	7 dias	12.00	711.18	336675.10	71110.57
	14 dias	12.93	848.91	357655.98	77689.80
	28 dias	13.80	941.94	370873.58	79856.52

**TABLA 4.21 : RESUMEN DE RESISTENCIAS A DIFERENTES DIAS**

<b>Dias</b>	<b>MP</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>
<b>7</b>	636.22	672.74	711.18
<b>14</b>	718.63	757.79	848.91
<b>28</b>	813.46	850.91	941.94
<b>56</b>	900.00	938.64	1064.77
<b>90</b>	960.66	999.62	1143.75

GRAFICO: RELACION F'C VS PROBETAS



\*Resistencia proyectada a 56 y 90 dias

# **CAPÍTULO VII**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

De todo lo expuesto a lo largo de esta Tesis, se resaltan a continuación las principales conclusiones a que se ha llegado.

### **Sobre la influencia del porcentaje de los aditivos en las propiedades de concreto:**

- En el presente estudio después de su ejecución se llegaron a las siguientes conclusiones:
  - 1.- Se logró obtener un diseño de mezclas apropiado y óptimo para lograr el concreto cuyo fue  $f'c = 800 \text{ kg/cm}^2$ .
  - 2.- Se logro adicionalmente obtener un incremento de resistencia mecánica a la compresión a los 28 días del 17% ( $941.94 \text{ kg/cm}^2$ ) con 1.0% de Sikament 290, 5% de SikaFume y 1% de Gaia Nanosilice.
  - 3.- Se logro también determinar la influencia del superplastificante micro y nano sílice en obtención de los concreto de alta resistencia.
  - 4.- Además también se llevo a la conclusión de que para llegar a una resistencia de  $f'c = 800 \text{ kg/cm}^2$  es mejor utilización del superplastificante Sikament 290N, debido a que llega a la resistencia deseada a un costo mucho menor a comparación de cuando se utilizo tanto el micro y el nanosilice.
  - 6.- Los agregados usados reúnen las propiedades físico-mecánicas adecuadas exigidas y necesarias para la elaboración de este tipo de concreto especial.
  - 7.- La dispersión de valores de resistencia y modulo de elasticidad obtenida es minima lo que permite afirmar que el grado de confiabilidad de los resultados es aceptable.
- Se logró determinar la influencia del porcentaje de aditivo en las propiedades del concreto, obteniéndose de Superplastificante 1.0%, microsilice 10% y de nanosilice 2.0% del peso del cemento, como el porcentaje que genero la mayor resistencia del concreto elaborado ( $941.94 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de edad), así como el máximo valor de su Módulo de Elasticidad ( $370873.58 \text{ kg/cm}^2$ )
- En estado fresco cumplió con los requerimientos de trabajabilidad y asentamiento con un incremento de 1.2 pulgadas, lográndose una mezcla más trabajable, sin la presencia de exudación ni segregación y con una apariencia equilibrada).

- Del tratamiento estadístico de los resultados de resistencia a los 7 días, se deduce que los tres tipos de probetas ensayadas, tienen una mínima dispersión de valores lo que significa que tienen la misma tendencia y su diferencia es pequeña, se agrupan estadísticamente en un mismo grupo.

### **Sobre los análisis de Resistencia, Módulo de elasticidad y Modo de falla.**

- A los 28 días de edad de las probetas, se observa claramente que las elaboradas con el concreto que contiene de Superplastificante 1.0%, microsilice 10% y de nanosilice 2.0% del peso del cemento son las que alcanzan el mayor valor de resistencia a la compresión.
- La variación de los valores del Módulo de Elasticidad, sigue la misma variación que el de la resistencia, es decir con la edad del concreto así como la cantidad del superplastificante reductor de agua.
- El modo de falla del concreto con aditivo, fue súbito, lo que demuestra que el aditivo usado influye en el tipo de ruptura del concreto de alta resistencia, efecto que se tendrá en cuenta en el diseño estructural de los elementos vaciados con este tipo de material.

### **RECOMENDACIONES**

Las futuras líneas de investigación que se proponen se refieren principalmente al uso de aditivos y su aplicación a concretos cuya  $f'c$  sea mayor a 800 Kg/cm<sup>2</sup>

- Se recomienda realizar ensayos preliminares para determinar el tiempo de fragua cuando se usa el aditivo SIKAMENT-290N, SIKAFUME Y GAIA NANOSILICE en la proporción del 1.0%, 10.0% y 2.0% respectivamente del peso del cemento a usar, ya que tiene tendencia a reducirse.
- Se recomienda solo la utilización del superplastificante Sikament290N con el SikaFume.
- Se recomienda solo utilizar el superplastificante mencionado y la Nanosilice, ya que pareciera que no son compatibles ambas adiciones con el aditivo usado.
- Se recomienda continuar con estudios de esta naturaleza, para determinar la variación de las propiedades físico mecánicas del concreto de alta resistencia utilizando otros aditivos existentes en el mercado de Cajamarca

**CAPÍTULO VIII**  
**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Rivva López, Enrique: “Diseño de Mezclas”, Lima – Perú, Edit. Hozlo S.C.R.L., 1999.
- [2] Gonzáles, M. “Aditivos y adiciones del concreto; norma y aplicaciones”. Disponible en: <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/reologT9.htm>.
- [3] Asocem “Aditivos del Concreto”.  
Disponible en: <http://www.asocem.org.pe/aditivo.pdf>.
- [4] EFNARC “Especificaciones y directrices para el Hormigón autocompactable – HAC”. Disponible en: <http://www.efnarc.org/pdf/SandGforSCCSpanish.pdf>.
- [5] Nasvik, J. “El ABC del concreto autocompactable” Construcción y Tecnología. Disponible en: <http://www.imcyc.com/cyt/enero04/publireportajegrace.htm>.
- [6] Gonzáles de la Cotera, M. Investigación: “Comportamiento Filler Calizo en los Concretos Autocompactados”. Asocem – España. 2002
- [7] Angulo, F. y Guzmán, E. Investigación: “En qué medida influye el porcentaje de superplastificante Viscocrete – 1110 sobre la trabajabilidad en estado fresco y la resistencia a la compresión en estado endurecido de un concreto de alta resistencia”. Trujillo – Perú. 2007
- [8] Ensayos de caracterización del CAR en estado fresco.  
Disponible en: <http://biblioteca.upc.es/PFC/arxiu/migrats/36022-7.pdf>.
- [9] Bernardo de la Peña, R. “Ensayos de Trabajabilidad CAR”. Disponible en: [http://www.seconstruye.com/jh2003/PDF/trabajos/BernaPena\\_RodrVern.pdf](http://www.seconstruye.com/jh2003/PDF/trabajos/BernaPena_RodrVern.pdf).
- [10] Quiminet. ¿Qué es la microsílíce? Disponible en: <http://www.quiminet.com>.
- [11] BASF The Chemical Company. GLENIUM 3200 HES, Aditivo Reductor de Agua de alto Rango Para Concreto.  
Disponible en: [www.basf-cc.com.mx/es/Proyectos/.../Glenium3200HES.pdf](http://www.basf-cc.com.mx/es/Proyectos/.../Glenium3200HES.pdf)
- [12] Revista del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid. Nº. 225. Por M<sup>a</sup>. José Lana Lana, Arquitecto Técnico. Hormigón autocompactable. Disponible en: <http://www.arquitectura-tecnica.com/BIA3.htm>.
- [13] Estado del Arte del Hormigón Autocompactable. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3358/4/36022-4.pdf>.

- [14] BASF The Chemical Company. RHEOMAC SF100, Aditivo Mineral Microsilíce compactada formulada para la elaboración de Concreto. Disponible en: [www.basf-cc.com.mx/.../Rheomac\\_SF\\_100/.../RheomacSF100.pdf](http://www.basf-cc.com.mx/.../Rheomac_SF_100/.../RheomacSF100.pdf)
- [15] Especificaciones y directrices para el Hormigón autocompactable – HAC. Disponible en: <http://www.efnarc.org/pdf/SandGforSCCSpanish.pdf>.
- [16] Aguila Idalberto. Contaminación atmosférica: el caso del concreto. Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción. Disponible en: <http://www.imcyc.com/revistact06/abr07/PROBLEMAS.pdf>.
- [17] H. Fuchs. La Microsilíce o Humo de sílice. Su historia y su descripción como material. Disponible en: [http://www.construyendosoluciones.com/archivos/biblioteca/15/104/La\\_microsilice\\_o\\_HumodeSilice.pdf](http://www.construyendosoluciones.com/archivos/biblioteca/15/104/La_microsilice_o_HumodeSilice.pdf).
- [18] Grupo de Investigación en Materiales de Construcción. EIMAT – UNT. “Hormigón Autocompactante”. Trujillo – Perú. 2007.
- [19] Ensayos de caracterización del HAC en estado fresco. Disponible en: <http://bibliotecnica.upc.es/PFC/arxiu/migrats/36022-7.pdf>.
- [20] BERNARDO DE LA PEÑA, R. “Ensayos de Trabajabilidad HAC” Disponible en: [http://www.seconstruye.com/jh2003/PDF/trabajos/BernaPena\\_RodrVern.pdf](http://www.seconstruye.com/jh2003/PDF/trabajos/BernaPena_RodrVern.pdf).
- [21] Especificaciones y Directrices para el Hormigón Autocompactable. Disponible en: <http://www.efnarc.org/pdf/SandGforSCCSpanish.pdf>.
- [22] Centro de Investigaciones Avanzadas en Tecnología del Hormigón. Universidad Nacional de Córdoba. “Hormigón de Alto Desempeño Para Estructuras”. Argentina. 2006.
- [23] MEHTA and AITCIN, “Microstructural Basis of Selection of Materials and Mix Proportions for High – Strenght Concrete”, ACI SP-121, USA, 1990.
- [24] Métodos de caracterización del hormigón autocompactante. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3358/4/36022-4.pdf>.
- [25] Hormigón de alto desempeño para estructuras. Informaciones técnicas. Disponible en: [http://www.ficem.org/site/media/ICPA\\_Hormigón\\_de\\_alto\\_desempeño\\_para\\_e\\_structuras.doc](http://www.ficem.org/site/media/ICPA_Hormigón_de_alto_desempeño_para_e_structuras.doc).
- [26] Arciresa. Constituyentes de microsilíce. Disponible en: <http://eoficina.e.telefonica.net/sites/0307/Org207056/pwe/pwe/microsilice.pdf>.

[27] Bravo Sobrino, Marina. "Caracterización y utilización del hormigón autocompactable". Universidad Politécnica de Cataluña. 2004

Actin, P.C., P. Laplate y C. Bedard (1987), "Development and experimental use of a 90 MPa field concrete", ACI SP-87-5, pp. 51-70.

Bentur, A. y M.D. Cohen, "Effect of condensed silica fume on the microstructure of the interfacial zone in portland cement mortars", Journal of the American Ceramic Society, vol. 70, 1987, pp. 783-43.

Fiorato, Anthony E. "PCA research on high-strength concrete", Concrete international: Design & Construction, vol. II, núm. 4, abril de 1989, pp. 44-50.

Goldman, A. y A Bentur, "Bond effects in high strength silica fume concretes", presentado para su publicación, RAF.

González-isabel, Germán, Hormigón de alta resistencia, INTEMAC, España 1993.

Mendoza, C.J.,C. Aire y A. Fuentes, "Concretos de alta resistencia, fabricados con materiales comunes en el Distrito Federal", informe preliminar para la Dirección General de Obras, Departamento del Distrito federal, junio de 1991.

Perenchio, W.F. y P. Klieger, "Some physical properties of high strength concrete", Research and Development Bulletin, núm. RD 056.01t, Portland Cement Association, 1978, p. 7.

1. Diseño y control de mezclas de concreto, Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, Portland Cement Association, 2004.

2. Concretos de alta resistencia, Flores A., González F., Rocha, L. y Vázquez A., Revista Construcción y Tecnología, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, diciembre de 2000.

3. Evolution of Concrete Skyscrapers: from Ingalls to Jin Mao, Mir M. Ali, Electronic Journal of Structural Engineering, Vol. 1, No.1 (2001) pp. 2-14.

4. Structural Design Challenges for Plaza 66 Tower 2, Dennis C.K. Poon, Ling-en Hsiao, Steve

5. Zuo y Yi Zhu, Structures: 2008: Crossing Borders, American Society of Civil Engineers.

6. 1. Diseño y control de mezclas de concreto, Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, Portland Cement Association, 2004.

7.

8. 2. Concretos de alta resistencia, Flores A., González F., Rocha, L. y Vázquez A., Revista Construcción y Tecnología, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, diciembre de 2000.

9.

10. 3. Evolution of Concrete Skyscrapers: from Ingalls to Jin Mao, Mir M. Ali, Electronic

11. Journal of Structural Engineering, Vol. 1, No.1 (2001) pp. 2-14.

12.

13. 4. Structural Design Challenges for Plaza 66 Tower 2, Dennis C.K. Poon, Ling-en Hsiao, Steve Zuo y Yi Zhu, Structures: 2008: Crossing Borders, American Society of Civil Engineers.

## **NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS**

- NTP 334.005:2001 CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento portland. 2a. ed. R. 132-2001-INDECOPI-CRT (2001-12-03).
- NTP 339.034:2008 HORMIGÓN (CONCRETO), Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 3a. ed. R. 001-2008/INDECOPI-CRT (2008-01-25).
- NTP 339.035:1999 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams. 2a. ed. R. 21-99-INDECOPI-CRT (1999-04-29).
- NTP 339.036:1999 HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco. 2a. ed. R. 21-99-INDECOPI-CRT (1999-04-29).
- NTP 339.070:1982 HORMIGÓN (CONCRETO). Toma de muestras de agua para la preparación y curado de morteros y hormigones de cemento portland.
- NTP 339.077:2003 HORMIGÓN (CONCRETO). Métodos de ensayo normalizado para la exudación del hormigón (concreto). 2a. ed. R. 20-2003-CRT-INDECOPI (2003-02-22).
- NTP 339.088:2006 HORMIGÓN (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos R. 13-2006/CRT-INDECOPI (2006-03-06).
- NTP 339.185:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. R. 48-2002-INDECOPI-CRT (2002-05-30).
- NTP 400.011:1976 AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos R. 758-76 (1976).

- NTP 400.012:2001 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 2a. ed. R. 71-2001-INDECOPI-CRT (2001-07-17).
- NTP 400.017:1999 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. 2a. ed. R. 21-99-INDECOPI-CRT (1999-04-29).
- NTP 400.019:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores para abrasión e impacto en la máquina de los Angeles. 2a. ed. R. 7-2002-INDECOPI-CRT (2002-02-09).
- NTP 400.021:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. 2a. ed. R. 48-2002-INDECOPI-CRT (2002-05-30).
- NTP 400.022:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino. 2a. ed. R. 48-2002-INDECOPI-CRT (2002-05-30).
- NTP 400.037:2002 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto) R. 13-2002-INDECOPI-CRT (2002-02-27).

## **NORMAS AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM)**

ASTM International, West Conshohocken, PA, [www.astm.org](http://www.astm.org)

### **CEMENTO**

- ASTM C150-07 Standard Specification for Portland Cement.
- ASTM C188-95 (2003) Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.
- ASTM C595-08 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.

## **AGREGADOS**

- ASTM C127-07 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM C128-07a Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM C131-06 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- ASTM C136-06 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- ASTM C227-03 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method).
- ASTM C289-07 Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method).
- ASTM C29/C29M-07 Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate.
- ASTM C295-03 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete.
- ASTM C33-07 Standard Specification for Concrete Aggregates.
- ASTM C40-04 Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete.
- ASTM C535-03e1 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- ASTM C566-97(2004) Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.
- ASTM C586-05 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates (Rock-Cylinder Method).
- ASTM D75-03 Standard Practice for Sampling Aggregates.

## **ADITIVOS**

- ASTM C494/C494M-08 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.

## **CONCRETO**

- ASTM C138/138M-07 Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.
- ASTM C143/143M-05a Standard Test Method for Slump of Hydraulic - Cement Concrete.
- ASTM C172-07a Standard for Sampling Freshly Mixed Concrete.
- ASTM C192/C192M-07 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
- ASTM C39/C39M-05e1 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C78-08 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).

# **CAPÍTULO IX**

## **ANEXOS**

**ANEXO I:**

**FICHAS TECNICAS DE LOS ADITIVOS  
USADOS**

# FICHA TECNICA

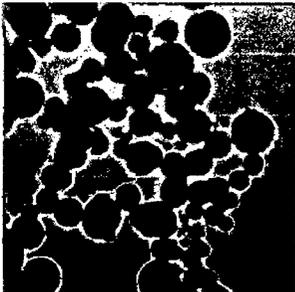
## GAIA Nanosilice

### Nano aditivo Superplastificante



Ficha Técnica  
Edición nº 1 11-2008  
Identificación nº 1.001  
Versión - 01  
GAIA Nanosilice

#### Descripción



Fotografía electrónica de selenosilice a 100 nm.  
partículas de sílice en nano partículas de cemento.

GAIA Nanosilice es un nano aditivo en estado líquido, a base de sílice con partículas de tamaño manométrico. Gran reductor de agua, de alta actividad. Pertenece a la línea GAIA NANOSILICE, donde las reacciones químicas en el hormigón convierten las nano

Cumple con todos los requerimientos de la norma ASTM C-494. Tipos A y F.

#### Aplicaciones

GAIA Nanosilice por su elevado poder de fluidificación y sumado a la capacidad de favorecer la evolución de resistencias, sobre todo a edades muy tempranas, lo hace ideal para:

- ❖ Industria del hormigón prefabricado, pretensado, armado y pos tensado.
- ❖ Hormigón Fast Track.
- ❖ Hormigón de Altas Prestaciones (AHR).
- ❖ Hormigón ligero de baja densidad.
- ❖ Y todas las aplicaciones tradicionales de microsilice.

#### Propiedades

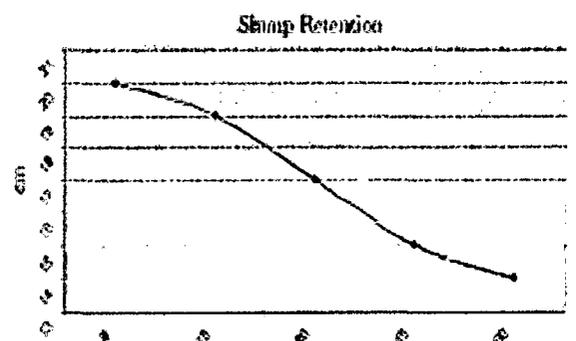
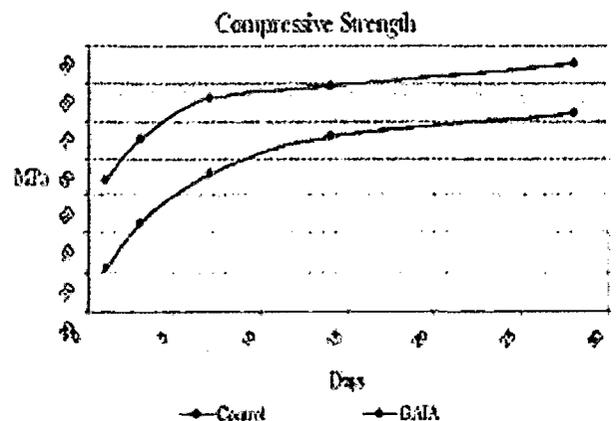
- ❖ Gran poder plastificante y reductor de agua.
- ❖ Incremento del desarrollo de alta resistencia inicial y final.
- ❖ Permeabilidad nula o casi nula por lo que aumenta la durabilidad del hormigón.
- ❖ No produce retrasos de fraguado.
- ❖ Ideal para Hormigón Fast Track.
- ❖ Evita la segregación y la excesiva exudación.
- ❖ Mejora el acabado y la textura de la superficie del hormigón.
- ❖ Evita la formación de coqueas y nidos de grava.



#### Características Técnicas

Al eliminar el total de la sílice en polvo en cualesquiera de sus alternativas y por su alta absorción de agua, nos permite eliminar superplastificantes y reducir al mínimo los reductores plastificantes.

- ❖ No contiene cloruros, ni ningún ingrediente promotor de la corrosión. Es utilizado sin problemas en hormigón armado y pretensado.
- ❖ Ideal para hormigones tipo "Fast Track", a usar dentro de las 24 horas posteriores, con adecuadas dosificaciones.
- ❖ Hormigones de altas prestaciones: 70 MPa R28.
- ❖ Cono de 78 a 50 cm. en 2 horas con R1 de 44 MPa y 80 MPa a R 28.
- ❖ Aumenta en más del 50% la resistencia a la flexotracción.
- ❖ Evita en gran medida las eflorescencias.



## Normas

Cumple con los requisitos y especificaciones para superplastificantes de norma SIA 162 (1989) y EN 942-2.

## Método de aplicación

- ❖ GAIA Nanosilíce se utiliza en dosis del 1 al 3% sobre el peso del cemento. Lo ideal es contactar el servicio técnico ULMEN para optimizar su uso. Vía e-mail es suficiente.
- ❖ GAIA Nanosilíce debe agregarse una vez tengamos mezclados los áridos con el cemento y después de haber echado el agua correspondiente. Dejar amasar sobre 10 a 12 minutos. No adicionar el producto sobre la masa seca de cemento y áridos.
- ❖ GAIA Nanosilíce puede ser utilizado en conjunto con otros aditivos de Ulmen, por lo que se recomienda realizar ensayos previos con la combinación deseada.
- ❖ En la producción, colocación y curado del hormigón se deben seguir las reglas de buena práctica habitualmente usadas.

<b>Propiedades Físicas y Químicas de GAIA Nanosilíce</b>	
Aspecto Físico	Líquido turbio ligeramente viscoso
Color	Cafe claro.
pH, 20° C	5,00 ± 1
Densidad, 20° C	1.030 ± 0.02 gr/ml.
Viscosidad 20° C	13 ± 2 sec. (C. Ford No. 4)
Contenido en cloruros	< 0,01%
Almacenamiento	Puede almacenarse durante 6 meses en su envase original cerrado, en lugar y protegido del sol, a temperaturas entre 5° y 35°.
Presentación	Bidón Plástico de 200 Kgs. Contenedor pallet de 1.000 Kg.
En caso de congelamiento del GAIA Nanosilíce puede ser utilizado si se descongela lentamente a temperatura de 20° C y se agita de forma intensa.	

## Reducción de costo

A consecuencia de la menor actividad operacional, menor flujo de material con la consiguiente reducción de inventario.

Y ---- es líquido, amigable con el medio ambiente y la salud de los trabajadores, [http://ec.europa.eu/employment\\_social](http://ec.europa.eu/employment_social)

La sílice en polvo es identificada como UN 1346, clase 4,1, grupo F III <http://www.unece.org/trans/danger>

**NOTA:** La información y, en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Ulmen son proporcionadas de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Ulmen. La presente ficha técnica sirve, al igual que todas las demás recomendaciones e información técnica, únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e informaciones reproducidos, se basan en nuestros conocimientos técnicos obtenidos en la bibliografía, en ensayos de laboratorio y en la práctica. Los datos sobre consumo y dosificación que figuran en esta ficha técnica, se basan en nuestra propia experiencia, por lo que estos son susceptibles de variaciones debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones reales, deberán determinarse en la obra, mediante ensayos previos y son responsabilidad del cliente. Para un asesoramiento adicional, nuestro Servicio Técnico, está a su disposición. Industrias ULMEN Europa, S. L. se reserva el derecho de modificar la composición de los productos, siempre y cuando éstos continúen cumpliendo las características descritas en la ficha técnica. Otras aplicaciones del producto que no se ajusten a las indicadas, no serán de nuestra responsabilidad. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de ésta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir garantía alguna respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como responsabilidad alguna que surja de cualquier relación legal. Otorgamos garantía en caso de defectos en la calidad de fabricación de nuestros productos, quedando excluidas las reclamaciones adicionales, siendo de nuestra responsabilidad tan solo la de reintegrar el valor de la mercancía suministrada. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Ficha Técnica local, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.

## INDUSTRIAS ULMEN EUROPA, S. L.

Oficinas: Calle Zaragoza, nº 15 - 3º - Puerta 6 (P. O. BOX 504) 12540 Vila-real (CASTELLÓN) SPAIN

Tel. - +34 964 538 238 - Fax - +34 964 782 261

Fábrica: P.I. El Palmeral, Sector Sur 6, Parc.17, Nave 1 12200 Onda (Castellón) SPAIN

[www.ulmen.es](http://www.ulmen.es) - [info@ulmen.es](mailto:info@ulmen.es)

## Sika® Fume

### Adición mineral - Microsilíce

#### Descripción

##### General

Es un aditivo en polvo compuesto por microsilíce (Sifca Fume) de alta calidad y que acondicionado a la mezcla de concreto o mortero, disminuye el lavado del cemento en el vaciado de la mezcla bajo agua. Sika® Fume no contiene cloruros y puede utilizarse en concretos y morteros en conjunto con un superplastificante para obtener la fluidez necesaria para la colocación del concreto.

#### Campos de aplicación

- En el concreto bajo agua en puentes, presas, reparaciones, rellenos, entre otros.
- En concretos de alta impermeabilidad y durabilidad.
- En concretos de alta resistencia (mayor a 500 kg/cm<sup>2</sup>).
- En concretos bombeados y proyectados.
- En morteros y lechadas de inyección.

#### Ventajas

- Disminuye la pérdida de cemento y elementos finos.
- Aumenta la resistencia mecánica.
- Aumenta la impermeabilidad.
- Aumenta la resistencia química.
- Aumenta la adherencia al acero.
- Permite utilizar mezclas altamente fluidas con alta cohesión.
- Aumenta la cohesión y disminuye la exudación de la mezcla fresca.
- Aumenta la durabilidad frente a agentes agresivos.
- Aumenta la resistencia a abrasión.

#### Datos Básicos

##### Aspecto

Polvo.

##### Color

Gris.

##### Presentación

Bolsa de 25 kg.

##### Almacenamiento

Se puede almacenar durante un año en su envase original cerrado en un lugar fresco y bajo techo.

## Datos Técnicos

Gravedad Específica 2,2

Blaine (superficie específica) 18,000 – 22,000 m<sup>2</sup>/kg.

### Análisis Químico

SiO <sub>2</sub>	93.0 % mín.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.80 % máx.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.40 % máx.
CaO	0.60 % máx.
MgO	0.60 % máx.
Na <sub>2</sub> O	0.20 % máx.
K <sub>2</sub> O	1.2 % máx.
C (libre)	2.0 % máx.
SO <sub>3</sub>	0.40 % máx.
L.O.I.	3.5 % máx.

Finura (diámetro promedio) 0.1 – 0.2 µm

Porcentaje pasando 45 µm 95 – 100 %

Partícula Esférica

Forma Amorfa

Norma Cumple con la norma CSA – A 3001 – 03

## Aplicación

**Consumo** Puede utilizarse en dosis de aproximadamente 10 % del peso del cemento. Se recomienda realizar ensayos previos para definir el consumo exacto.

**Método de aplicación** Se puede mezclar con productos Sikament<sup>®</sup> o ViscoCrete. La dosificación del concreto se realiza de acuerdo a la práctica normal para concreto bajo agua o para la aplicación específica que se requiera. La utilización conjunta de ambos productos asegura las características de cohesión, adherencia y resistencia en el concreto bajo agua. Sika<sup>®</sup> Fume se adiciona a la mezcladora junto con el cemento o la arena. El aditivo Sikament<sup>®</sup> se agrega diluido en el agua de amasado.

## Instrucciones de Seguridad

### Precauciones de manipulación

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protégase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintéticos y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

### Observaciones

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos soliciaria a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)



## Sikament® 290N

### Aditivo Polifuncional para Concreto

#### Descripción General

Sikament® 290N es un aditivo polifuncional para concretos que puede ser empleado como plastificante o superplastificante según la dosificación utilizada.  
Muy adecuado para plantas de concreto al obtener con un único aditivo dos efectos diferentes sólo por la variación de la proporción del mismo.

Sikament® 290N no contiene cloruros y no ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras.

#### Campos de aplicación

Sikament® 290N está particularmente indicado para:

- Todo tipo de concretos fabricados en plantas concretoras con la ventaja de poder utilizarse como plastificante o superplastificante con sólo variar la dosificación.
- En concretos bombeados porque permite obtener consistencias adecuadas sin aumentar la relación agua/cemento.
- Transporte a largas distancias sin pérdidas de trabajabilidad.
- Concretos fluidos que no presentan segregación ni exudación.

#### Ventajas

- Aumento de las resistencias mecánicas.
- Terminación superficial de alta calidad.
- Mayor adherencia a las armaduras.
- Permite obtener mayores tiempos de manejabilidad de la mezcla a cualquier temperatura.
- Permite reducir hasta el 25% del agua de la mezcla.
- Aumenta considerablemente la impermeabilidad y durabilidad del concreto.
- Facilita el bombeo del concreto a mayores distancias y alturas.
- Proporciona una gran manejabilidad de la mezcla evitando segregación y la formación de cangrejeras.
- Reductor de agua.

#### Datos Básicos

Aspecto Líquido.

Color Pardo oscuro.

Presentación Cilindro x 200 L  
Balde x 20 L  
Dispenser x 1000 L

Almacenamiento Un año en su envase original bien cerrado y bajo techo en lugar fresco resguardado de heladas. Para el transporte debe tomarse las precauciones normales para el manejo de un producto químico.

#### Datos Técnicos

Densidad 1,20 kg/L +/- 0,02

Norma Como plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo D y como superplastificante con la Norma ASTM C 494, tipo G.

<b>Aplicación Consumo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Como plastificante: del 0,3 % – 0,7 % del peso del cemento.</li> <li>■ Como superplastificante: del 0,7 % - 1,4 % del peso del cemento.</li> </ul>
<b>Método de aplicación</b>	<p><b>Como Plastificante.</b> Debe incorporarse junto con el agua de amasado.</p> <p><b>Como Superplastificante.</b> Debe incorporarse preferentemente una vez amasado el concreto y haciendo un re-amasado de al menos 1 minuto por cada m<sup>2</sup> de carga de la amasadora o camión concretoero.</p>
<b>Instrucciones de Seguridad Precauciones de manipulación</b>	<p>Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintéticos y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.</p>
<b>Observaciones</b>	<p>La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: <a href="http://www.sika.com.pe">www.sika.com.pe</a></p>
<b>Nota Legal</b>	<p>La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, susstratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web <a href="http://www.sika.com.pe">www.sika.com.pe</a>.</p>

**"La presente Edición anula y reemplaza la Edición N°8  
la misma que deberá ser destruida"**

Sika Perú S.A., Centro Industrial "Los Prados de Lurín" S/N, MZ  
"B" Lote 5 y 6 Lurín, Lima – Perú  
Tel: (51-1) 618-6060 / Fax: (51-1) 618-6070  
E-mail: [construccion@pe.sika.com](mailto:construccion@pe.sika.com) / Web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)





# CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Morerizo Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6200



SGC-REG-06-G002 -

Versión 01

## Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150

Pacasmayo, 01 de marzo del 2012

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	1.9	Máximo 6.0
SO <sub>3</sub>	%	2.6	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	2.6	Máximo 3.0
Residuo Insoluble	%	0.61	Máximo 0.75

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	7	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.16	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	3940	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.13	NO ESPECIFICA

### Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3 días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	27.0 (275)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	32.8 (335)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28 días (*)	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	39.1 (399)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

### Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	149	Mínimo 45
Fraguado Final	min	292	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados corresponden al promedio del cemento despachado en el año 2011.

(\*) Requisito opcional.

## APLICACIONES

De uso tradicional en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales de ningún tipo:

- Obras de concreto y de concreto armado en general.
- Para estructuras que requieren rápido desencofrado.
- Concreto en clima frío.
- Prefabricados.
- Pavimentos y cimentaciones.

**ANEXO II:**

**PANEL FOTOGRAFICO**



Fotografía N° 1: Se observa al tesista realizando el tamizado del agregado grueso.



Fotografía N° 2: Se puede observar al tesista realizando el ensayo de peso unitario del agregado fino.



Fotografía N° 3: Se puede observar al tesista en la construcción del pozo para el curado de los especímenes de concreto.



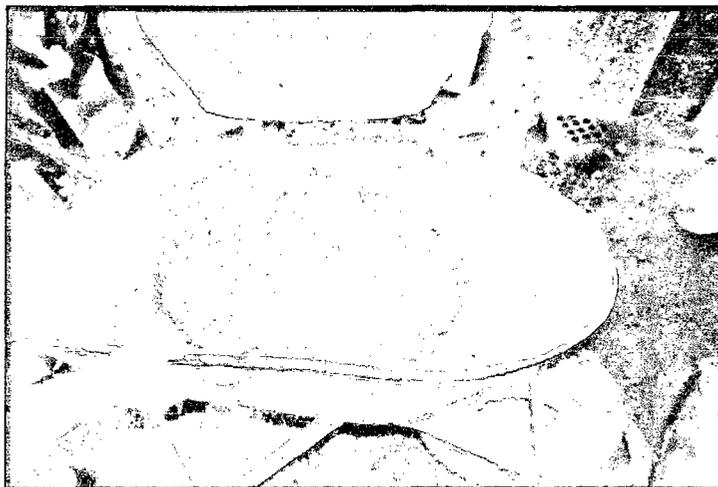
Fotografía N° 4: Se puede observar la tanda de la mezcla de prueba.



Fotografía N° 5: En esta toma se puede observar al tesista realizando la medición de la cantidad de aditivo a utilizar.



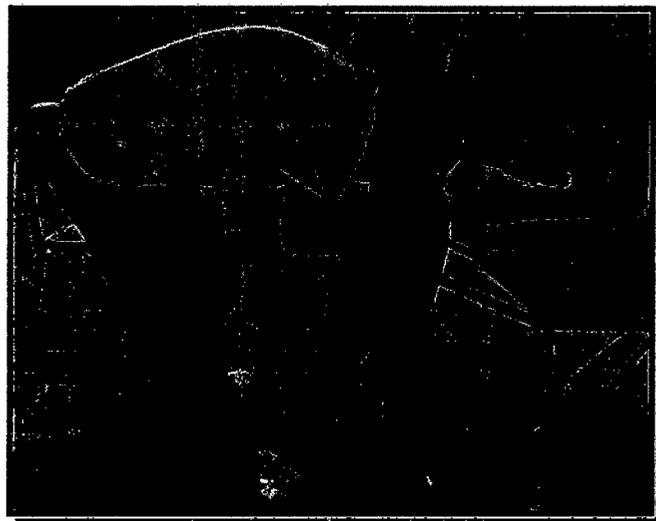
Fotografía N° 6: Aquí se observa el agua adicional que se está colocando a la mezcla.



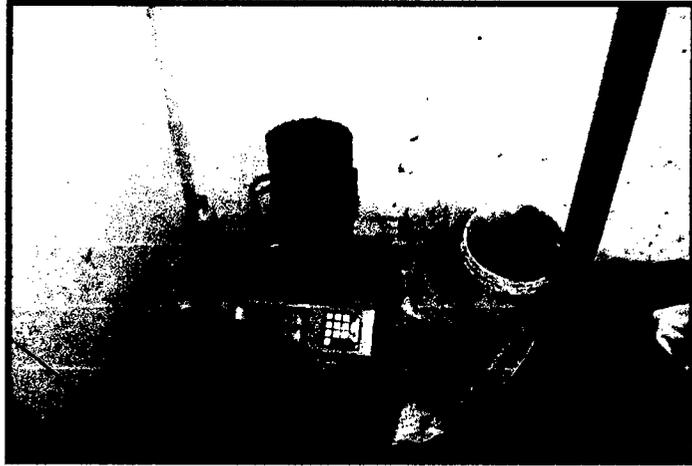
Fotografía N° 7: Se puede observar la tanda de la mezcla de prueba.



Fotografía N° 8: Se observa la medición del slam de la mezcla.



Fotografía N° 9: Se observa al tesista realizando la compactación de la los especímenes en los moldes.



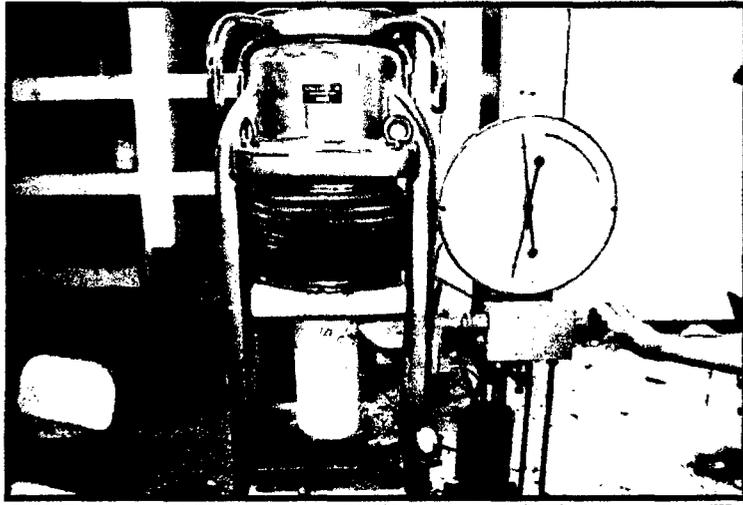
Fotografía N° 10: En esta imagen podemos observar el pesado de la mezcla dentro del molde.



Fotografía N° 11: En esta imagen se observa al tesista tapando el molde con bolsa para evitar la pérdida de agua.



Fotografía N° 12: En esta imagen se observa los especímenes de concreto dentro de la poza de curado.



Fotografía N° 13: Aquí podemos observar el prueba a compresión de la probeta.



Fotografía N° 14: Aquí podemos observar el tipo de fractura de una probeta.