

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE**

**INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**“EVALUACIÓN DEL CONCRETO  $F'_c=210$  KG/CM<sup>2</sup> A ALTAS  
TEMPERATURAS”**

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

**Tesistas:**

- **Bach. CHAUCA RODRÍGUEZ DEYNER ORLANDO.**
- **Bach. CRUZ CÓRDOVA MARCO ANTONIO.**

**Asesor:**

**Ing. JANET VERÓNICA SAAVEDRA VERA.**

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ**

**2014**

## DEDICATORIA

*A Dios, que me dio la oportunidad de  
vivir y por regalarme una familia  
maravillosa.*

*A mis Padres, con todo mi cariño y mi amor para las  
personas que hicieron todo en la vida para que yo  
pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la  
mano cuando sentía que el camino se terminaba.*

*A mis Hermanos, Porque siempre he  
contado con ellos para todo, gracias a la  
confianza que siempre nos hemos tenido;  
por el gran apoyo y amistad.*

**DEYNER.**

## DEDICATORIA

*A Dios por protegerme durante todo mi camino  
y darme fuerzas para superar obstáculos y  
dificultades a lo largo de toda mi vida.*

*A mis queridos padres, Por haberme apoyado en todo  
momento, por sus consejos, sus valores, por la  
motivación constante que me ha permitido ser una  
persona de bien, pero más que nada, por su amor.*

*A mis familiares, que directamente me  
impulsaron para llegar hasta este lugar, a todos  
ellos que me resulta muy difícil poder nombrarlos  
en tan poco espacio, sin embargo ustedes saben  
quiénes son.*

**MARCO.**

---

## AGRADECIMIENTO

*El presente trabajo de tesis primeramente nos gustaría agradecer a Dios por bendecirnos para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.*

*A nuestros docentes de nuestra casa superior de estudios por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.*

*De igual manera agradecer a nuestra asesora de Tesis, la Ing. JANET SAAVEDRA VERA, por su visión crítica, por su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos, que ayudan a formarte como persona e investigador.*

*Son muchas las personas que han formado parte de nuestra vida profesional a las que nos encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida quiero darles las gracias por formar parte de nosotros, por todo lo que nos han brindado y por todas sus bendiciones.*

*Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.*

**Chauca Rodríguez Deyner – Cruz Córdova Marco.**

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES</b> .....	5
<b>1.1. ASPECTOS INFORMATIVOS:</b> .....	6
1.1.1. TÍTULO: .....	6
1.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN:.....	6
1.1.3. UBICACIÓN: .....	6
a) Localidad donde se ejecutará el proyecto:.....	6
b) Institución donde se desarrollará el proyecto: .....	6
<b>1.2. PLAN DE INVESTIGACIÓN:</b> .....	7
1.2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: .....	7
1.2.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	9
1.2.3. IMPORTANCIA .....	10
1.2.4. OBJETIVOS .....	10
1.2.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.2.6. VARIABLES .....	11
1.2.7. DISEÑO CUASI – EXPERIMENTAL .....	11
.....	11
1.2.8. LIMITACIONES .....	12
1.2.9. ESTRATEGIA DE TRABAJO .....	12
1.2.9.1. Estrategia de Estudio .....	12
1.2.10. POBLACIÓN MUESTRAL.....	13
<b>2.1. GENERALIDADES DEL CONCRETO</b> .....	15
2.1.1. EL CONCRETO COMO MATERIAL .....	15
2.1.2. COMPONENTES DEL CONCRETO.....	16
2.1.2.1. Cemento Portland .....	16
2.1.2.1.1. Definición .....	16
2.1.2.1.2. Tipos .....	16
2.1.2.2. Agregados .....	17
2.1.2.2.1. Definición .....	17
2.1.2.2.2. Clasificación .....	18
2.1.2.2.3. Propiedades .....	20
2.1.2.2.4. Ensayos de Agregado para la dosificación de Mezclas .....	20
2.1.2.3. Agua .....	22

---

<b>2.1.2.3.1. Definición .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.4. PROPIEDADES DE RESISTENCIA DEL CONCRETO FRENTE AL FUEGO.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2. GENERALIDADES DEL CEMENTO .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.1. COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS.....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>86</b>
<b>CAPÍTULO IV: ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO .....</b>	<b>125</b>
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>171</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>176</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>178</b>
<b>PANEL FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>179</b>

---

## RESUMEN

El presente Proyecto de Investigación tiene por finalidad evaluar el comportamiento del concreto de  $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup> a altas temperaturas, se realizara debido a querer observar el comportamiento del concreto y como varia su resistencia cuando este es sometido a altas temperaturas de calor controladas, para lo cual se empleara probetas.

Para la realización del proyecto se procedió a habilitar los agregados tanto fino como grueso proveniente de las canteras Dulonp Y Besique respectivamente, luego se procederá a realizar 36 probetas con los agregados mencionados y uso de cemento portland Tipo I.

El diseño de mezcla para las relaciones  $a/c= 0.45, 0.50, 0.60$  fue realizado en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional del Santa, luego del diseño se procedió a el realizado de las probetas de concreto en dicho laboratorio las dosificaciones de las probetas son de  $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup>, separados en grupos de 12 por cada dosificación para posteriormente ser sometidas al fuego a temperaturas controladas las cuales son (300°C, 600°C, 800°C)

Los datos recolectados servirán para realizar un análisis comparativo ente el concreto patrón y el concreto sometido a altas temperaturas y así poder comprender cuál es la alternativa más recomendable a usar.

## ABSTRAC

This research project aims to evaluate the behavior of concrete  $f_c = 210\text{kg} / \text{cm}^2$  at high temperatures, due to want to be held to observe the behavior of concrete and its resistance varies as when it is subjected to high heat temperatures controlled , for which specimens were employed.

For the project proceeded to enable both fine and coarse aggregates from quarries Besique the Dulonp Y respectively, then proceed to make 36 specimens with the above additions and use of portland cement Type I.

The mix design for relationships  $w / c = 0.45, 0.50, 0.60$  was performed in the laboratory of soil mechanics of the Universidad Nacional del Santa, then design proceeded to the one made of concrete specimens in the laboratory dosages the specimens are of  $f'_c = 210\text{kg} / \text{cm}^2$ , divided into groups of 12 for each dosage to be subsequently subjected to fire at controlled temperatures which are (300 ° C, 600 ° C, 800 ° C).

The data collected will be used to conduct a comparative analysis being the particular pattern and concrete subjected to high temperatures and be able to understand what the most advisable to use alternative.



## INTRODUCCIÓN

Los incendios en edificaciones son eventos que amenazan la seguridad tanto de las personas que se encuentran en ellas como a la misma estructura. A nivel mundial existe una normativa que es cada vez más exigente para prevenir y tratar de minimizar sus efectos. En Venezuela se cuenta con normas muy estrictas para la prevención, detección y extinción de incendios en edificaciones, adicionalmente existe una serie de disposiciones para proteger a las estructuras antes de su colapso. Sin embargo el riesgo de que ocurra un incendio siempre estaría vigente, y aunado a las grandes construcciones en donde se alberga mayor cantidad de personas en centros comerciales y oficinas, este riesgo es aún mayor. Cuando ocurre un incendio, éste tiene un poder muy destructivo cuyo impacto puede ser catastrófico para el edificio, a las personas que están en él e inclusive a los vecinos de la misma. Dentro de este contexto, se tiene a las edificaciones construidas de concreto armado, que afortunadamente abundan en el país, esto representa una ventaja porque el concreto es un material que se comporta "muy bien", por sus características como son baja conductividad térmica que lo protege del fuego, no lo alimenta.

1. Las temperaturas máximas promedio, que se alcanzan en un incendio varían de 1250 °C a 1300 °C, con un tiempo para alcanzar tales temperaturas relativamente exponenciales, es decir, antes de los 60 minutos se llega a los 800 °C, destacándose que a los 30 minutos se alcanza un fuego totalmente desarrollado y llamas en combustión viva, lo cual facilita la propagación del mismo.
2. La razón de esta investigación es determinar el comportamiento de la resistencia de un elemento de concreto de resistencia de diseño de 210  $kg f /cm^2$  luego de ser sometido a fuego, cómo influye en su resistencia a la compresión, y obtener criterios

básicos para enfrentar técnicamente el problema de las estructuras de concreto armado, abarcando inclusive desde su concepción inicial, su diseño, para que brinden a las personas una resistencia al fuego adecuada que permita evacuar a las personas, protegerlas del incendio antes de su colapso si llegase el caso. Para lograr este objetivo se planteó un experimento de laboratorio en el cual se diseñó la mezcla, se preparó el concreto, se llenaron los moldes, se obtuvieron las probetas, se les aplicó un curado adecuado, se prepararon dos grupos, el primero se ensayó en condiciones normales y un segundo grupo se le aplicó un ensayo de exposición al fuego, para luego hacerle los estudios correspondientes.

# CAPÍTULO I: GENERALIDADES

## CAPÍTULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### **1.1. ASPECTOS INFORMATIVOS:**

##### **1.1.1. TÍTULO:**

"Evaluación del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> a altas temperaturas"

##### **1.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN:**

Cuasi - Experimental

##### **1.1.3. UBICACIÓN:**

###### **a) Localidad donde se ejecutará el proyecto:**

Distrito : Chimbote.

Provincia : Santa.

Región : Ancash.

###### **b) Institución donde se desarrollará el proyecto:**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil - UNS.

Laboratorio de Tecnología del Concreto EAPIC - UNS

Laboratorios de Ensayo de Materiales – Externos.

## 1.2. PLAN DE INVESTIGACIÓN:

### 1.2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

#### 1.2.1.1. Antecedentes y Fundamentación del Problema

##### A. Antecedentes Internacionales

Ricardo Orozco Paramo, alumno de la universidad michuacana de san Nicolás de hidalgo, en su tesis patologías del concreto, referente sobre la resistencia del concreto al fuego concluye: a mayor temperatura, mayor pérdida de resistencia en el concreto. Para temperaturas inferiores a 30°C la pérdida es poco significativa; sin embargo, la resistencia es menor en concretos con agregados calizos que con agregados silicios ligeros.

El contenido de humedad retrasa la elevación de temperatura a través del concreto. Si hay restricción para la expansión térmica del concreto, la capacidad de carga de la estructura aumenta al calentarse.

La manifestación del deterioro puede ser apreciables en ocasiones, al observarse la superficie del concreto carbonizada y con desprendimientos, pero en otras no resulta tan evidente, sin embargo, al transcurrir el tiempo, comienza a notarse daños que al principio pasaron inadvertidos. Por tal motivo, es deseable realizar este tipo de pruebas con objeto de conocer las propiedades reales del concreto

## B. Antecedentes Nacionales

Daniel Torrealba y Luis Zegarra; profesores del departamento de ingeniería de la universidad católica del Perú. (Año 2004) desarrollaron: la investigación: "determinación de la resistencia al fuego de estructuras de concreto armado" que tuvo como objetivos: analizar las estructuras de concreto armado ante la resistencia al fuego y determinar su resistencia.

El nivel de dicha investigación fue descriptivo explicativo, la cual llevo a la siguiente conclusión:

- La falla del concreto por acción del fuego es debida, principalmente a la acción opuesta entre la pasta, la cual tiende a contraerse debido a la perdida de humedad, lo que ocasiona agrietamiento y descascamiento, lo que produce un desprendimiento explosivo del concreto. Las consecuencias anteriores de agrietamiento y descascamiento expondrían al acero de refuerzo a la acción del fuego.

## C. FUNDAMENTACION DEL PROBLEMA

El fuego es un agente agresor de las estructuras en general, y en particular las de concreto. El ataque del fuego es un fenómeno muy complejo ya que actúa sobre un material compuesto de acero y de concreto, los mismo que tienen comportamiento y

reacciones muy diferentes ante temperaturas elevadas. La evaluación del problema requiere estudios experimentales y sobre todo cierto grado de especialización, en el que se deben considerar fundamentalmente los siguientes aspectos: alteraciones producidas en las propiedades mecánicas del concreto, efecto de las deformaciones consideradas como consecuencias de las dilataciones parcial o totalmente restringidas, esfuerzos producidos por gradientes de distribución de temperaturas. Y dado la situación, y de que el fuego es un agente perjudicial en diversos aspectos para el concreto y lo que se busca es evaluar la resistencia del concreto de  $F'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> frente a diversas temperaturas elevadas, entonces esto nos lleva a plantear el siguiente problema:

**¿CÓMO ES EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO DE  $F'c = 210$  KG/CM<sup>2</sup> AL SER EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS?**

### **1.2.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

- Difundir la importancia de la acción del fuego, que de una manera indirecta es un agente agresor del concreto que daña la estructura y que deja expuesta para el ataque de otros fenómenos.
- Dar mayor aplicabilidad a los proyectos en un entorno educativo profesional, donde se pretenda estudiar los marcos normativos que

- las entidades nacionales exigen para el diseño de estructuras sometidas a la acción prolongada del fuego o incendios
- Brindar un aporte bajo un análisis que permite evaluar la influencia que ejerce el fuego en el concreto. Donde se busca demostrar que el fuego provoca una variación desfavorable en cuanto a su resistencia a la compresión del concreto frente a la acción del fuego.
  - Brindar el conocimiento apropiados de los efectos que producen los incendios en el concreto esto con el buen criterio e ingeniería.

### **1.2.3. IMPORTANCIA**

Este trabajo de investigación es importante por que permite tener una visión global de la problemática, por ello es necesario hacer la evaluación de deficiencias que afectan la calidad del concreto a altas temperaturas; para posteriormente proponer una adecuada solución.

### **1.2.4. OBJETIVOS**

#### **1.2.4.1. Objetivo general**

- Determinar y evaluar la variación de su resistencia a la compresión después de estar sometidas a temperaturas de 400, 600 y 800 ° centígrados.

#### **1.2.4.2. Objetivos Específicos**

- Definir los tipos de concreto en función de su relación a/c, que reduzcan en un considerable porcentaje la resistencia del



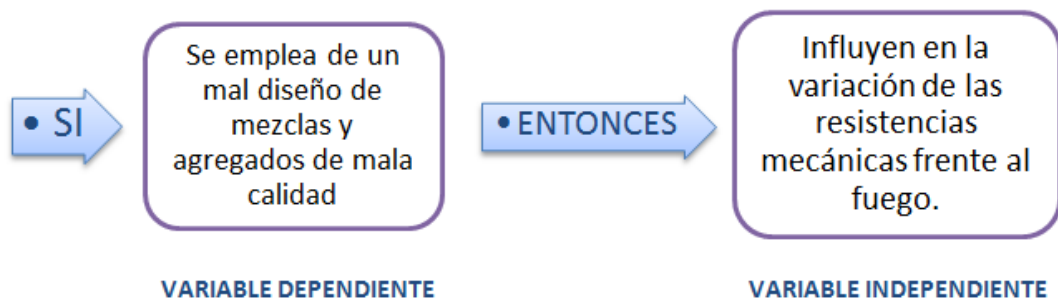
concreto al estar sujetas a altas temperaturas.

- Especificar las variaciones de las resistencias del concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> al estar bajo la acción de altas temperaturas.

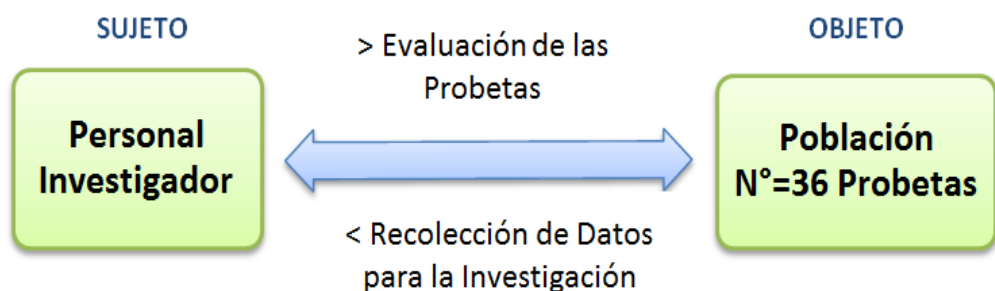
### 1.2.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

"Utilizar diseño de mezclas con relación a/c altas mayores a 0.45, el mal diseño de mezclas, agregados de alta conductividad térmica y mala calidad de agregados; influyen en la variación de las resistencias mecánicas del concreto ante la acción de altas temperaturas".

### 1.2.6. VARIABLES



### 1.2.7. DISEÑO CUASI – EXPERIMENTAL



## 1.2.8. LIMITACIONES

El trabajo de investigación se realizará a nivel de laboratorio, no se cuenta con la tecnología necesaria, para realizarlo con una muestra semi-real.

## 1.2.9. ESTRATEGIA DE TRABAJO

### 1.2.9.1. Estrategia de Estudio

El conjunto de características y propiedades del concreto y sus componentes de este, determina la calidad del mismo por lo tanto el presente trabajo de investigación al estudio de su propiedad principal que es su resistencia a la compresión; ya que si un concreto es resistente a la compresión entonces quiere decir que cumple con la mayoría de sus propiedades y características (impermeabilidad, peso unitario, contenido de aire, flexión, etc.)

Para determinar la resistencia a la compresión del concreto se usara los métodos que más se ajustan a la características de los componentes de este, entre ellos tenemos los siguientes métodos de diseño de mezcla: fuller, comité 211 del aci, y experimental, etc Este estudio se realizará de acuerdo a la edad de las probetas realizadas a base de un Diseño de Mezclas para Concretos de resistencia  $F'_c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> ejecutado en gabinete; se realizará

---

una evaluación de las de cada probeta en el momento de la ejecución del ensayo a la compresión después de haber sido sometidos a elevadas temperaturas (600 – 800 °C).

#### **1.2.10. POBLACIÓN MUESTRAL**

Conjunto de 36 probetas que se verificara en el laboratorio de concreto.

# CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### **2.1. GENERALIDADES DEL CONCRETO**

##### **2.1.1. EL CONCRETO COMO MATERIAL**

El concreto es básicamente una mezcla de agregados y pasta. La pasta está compuesta de Cemento Portland y agua, la cual une los agregados fino y grueso para formar una masa semejante a una roca, pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el Cemento y el agua.

La pasta está compuesta por Cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Es la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de éste.

El agregado es la fase discontinua del concreto dado que sus partículas no se encuentran unidas o en contacto unas con otras, sino que se encuentran separadas por espesores diferentes de la pasta endurecida.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos.

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado.

## 2.1.2. COMPONENTES DEL CONCRETO

### 2.1.2.1. Cemento Portland

#### 2.1.2.1.1. Definición

Es un aglomerante hidráulico y proviene de la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos y posterior molienda muy fina del "Clinker" que es el material resultante de la calcinación, con una pequeña adición de yeso, menores al 1% del peso total. El cemento posee la propiedad que al mezclarlo con agua forma una pasta aglomerante, que unido a los agregados y a medida que transcurre el tiempo va aumentando su resistencia y volviéndose más rígida.

#### 2.1.2.1.2. Tipos

Los tipos de cemento que existen son Los tradicionales: Cementos Portland. Tipo I, Tipo II, Tipo III, Tipo IV y Tipo V.

El cemento Portland normal debe cumplir con los requisitos indicados en la norma ASTM C 150 para los tipos I, II y V, los cuales se fabrican en el Perú. Alternativamente podrán emplearse los requisitos de las normas NTP para cementos.

- **Tipo I:** Es para uso general, donde no se requieran propiedades especiales.

- **Tipo II:** Donde se requiera moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos.
- **Tipo III:** Donde se requiera alta resistencia inicial.
- **Tipo IV:** Donde se requiera bajo calor de hidratación.
- **Tipo V:** Donde se requiera alta resistencia a los sulfatos.

También existen los Cementos Portland Adicionados que se les llama así porque contienen pequeños porcentajes de otros materiales denominados ADICIONES (puzolanas, escorias, caliza, filler etc). Esta incorporación contribuye a mejorar las propiedades del concreto. Entre ellos tenemos:

- C. Portland Pozolánicos: Tipo IP, Tipo IPM y Tipo P.
- C. Portland de escoria: Tipo IS, Tipo ISM y Tipo S.
- C. Portland compuesto: Tipo ICo.

## 2.1.2.2. Agregados

### 2.1.2.2.1. Definición

Es el conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas en la NTP 400.011. Los agregados son la parte inerte del concreto, sin embargo al constituir entre 65% y 75% aproximadamente del total del concreto, debemos tener muy clara su importancia, la cual antiguamente y durante muchos años fue poco considerada.

### 2.1.2.2.2. Clasificación

Los agregados por su tamaño generalmente se dividen en dos grupos: Agregado fino y Agregado grueso.

**Los agregados finos:** consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pasan la malla N°. 4 (4.75 mm) y los agregados gruesos consisten en grava o agregado triturado y son aquellas partículas retenidas en la malla No. 4. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.

Al observar la norma podemos ver que existen variedad de usos granulométricos en lo que lo básico es la variación del tamaño máximo del agregado grueso. Ver los usos granulométricos en las tablas 01 y 02 tanto para el agregado fino como para el agregado grueso respectivamente.

**Tabla N° 01: Uso Granulométrico para el Agregado Fino**

TAMIZ		% Que Pasa
(Pulg.)	(mm)	
3/8	9.50	100
N° 4	4.75	95 - 100
N° 8	2.36	80 - 100
N° 16	1.18	50 - 85
N° 30	0.60	25 - 60
N° 50	0.30	10 - 30
N° 100	0.15	0 - 10



Tabla N° 02: Uso Granulométrico para el Agregado Grueso

USO	TAMAÑO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25 mm	19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	
		4"	3 ½"	3"	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	¾"	N° 4	N° 8	N° 16	
1	3 ½" - 1 ½"	100	90 - 100		25 - 60		0 - 15		0 - 15						
2	2 ½" - 1 ½"			100	90 - 100	35 - 70	0 - 15		0 - 5						
3	2" - 1"				100	90 - 100	35 - 70	0 - 15		0 - 5					
357	2" - N° 4				100	95 - 100		35 - 70		0 - 30		0 - 5			
4	1 ½" - ¾"					100	90 - 100	20 - 55	0 - 15		0 - 5				
467	1" - N° 4					100	95 - 100		35 - 70		10 - 30	0 - 5			
5	1" - ½"						100	90 - 100	20 - 55	0 - 10	0 - 5				
56	1" - ¾"						100	90 - 100	40 - 85	10 - 40	0 - 15	0 - 5			
(*) 57	1" - N° 4						100	95 - 100		25 - 60		1 - 10	0 - 5		
6	¾" - ¾"							100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	0 - 5			
67	½" - N° 4							100	90 - 100		20 - 55	0 - 10	0 - 5		
7	¾" - N° 8								100	90 - 100	40 - 70	0 - 15	0 - 5		
8	½" - ¾"									100	85 - 100	10 - 30	0 - 10	0 - 5	
89	N° 4 - N° 8									100	90 - 100	20 - 35	5 - 30	0 - 10	
9	N° 4 - N° 16										100	85 - 100	10 - 40	0 - 10	

**NOTA:** Se permitirá el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, siempre y cuando existan estudios a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá concreto de la calidad requerida.

(\*): Para este tema de tesis, se empleó el Uso (57) por estar el agregado grueso dentro del rango de Tamaño Nominal permitido.

### 2.1.2.2.3. Propiedades

Existen muchas propiedades que deben cumplir los agregados, tales como propiedades físicas y mecánicas, asimismo propiedades térmicas, morfológicas, etc. A continuación detallamos alguna de ellas:

- Propiedades Mecánicas: Densidad, Dureza y Adherencia
- Propiedades Físicas: Granulometría, Peso unitario suelto y varillado, Peso específico, Contenido de humedad y Porcentaje de absorción.

### 2.1.2.2.4. Ensayos de Agregado para la dosificación de Mezclas

#### ✓ Granulometría

Con este ensayo de granulometría para ambos agregados podemos determinar el módulo de fineza y el tamaño máximo, tanto para el agregado fino como para el agregado grueso respectivamente. La granulometría es determinada por análisis de tamices (norma ASTM C 136).

**Módulo de Fineza:** Es la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas N°. 4, 8, 16, 30, 50 y 100 y posteriormente dividido entre 100. El módulo de fineza típico varía entre 2.3 y 3.1, representando el valor más alto una granulometría gruesa.

**Tamaño máximo:** Es la primera malla por la que pasa todo el agregado grueso.

**Tamaño máximo nominal:** Es la primera malla que produzca un retenido entre 5% y 10%.

✓ **Peso Unitario**

Es el peso por unidad de volumen (aparente). Se determinan dos formas de peso unitario.

**Peso Unitario Suelto:** En el que el recipiente se llena normalmente sin presión alguna.

**Peso Unitario Compactado:** En el que el recipiente se llena con tres capas compactando cada una con la varilla estándar.

✓ **Peso Específico**

Es el peso por unidad de volumen (agua desplazada por inmersión).

✓ **Contenido de Humedad**

Es el porcentaje de agua que contiene el agregado

✓ **Capacidad de Absorción**

Es aquel contenido de humedad que tiene el agregado que se encuentra en el estado saturado superficialmente seco. Este es el estado de equilibrio de los agregados, es decir en que no absorben ni sueltan agua.

### 2.1.2.3. Agua

#### 2.1.2.3.1. Definición

El agua es un elemento indispensable en la elaboración de la mezcla de concreto ya que sirve para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades. Esta agua debe cumplir ciertos requisitos para que no sea perjudicial al concreto.

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto. Pero en cualquier caso el agua a usar en la mezcla debe cumplir con los requisitos de la norma NTP 339.088.

### 2.1.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO

Las propiedades más importantes del concreto al estado fresco incluyen la trabajabilidad, consistencia, fluidez, cohesividad, contenido de aire, segregación, exudación, tiempo de fraguado, calor de hidratación y peso unitario. Y las propiedades más importantes del concreto al estado endurecido incluyen las resistencias mecánicas, durabilidad, cambios de volumen, permeabilidad, cambios de temperatura, contracción, módulo de elasticidad y deformaciones elásticas e inelásticas.

#### 2.1.4. PROPIEDADES DE RESISTENCIA DEL CONCRETO FRENTE AL FUEGO

El concreto es un material que tiene las propiedades adecuadas para proporcionar una protección contra al fuego. Las excelentes propiedades de resistencia permiten proteger vidas cumpliendo de forma eficaz todos los objetivos en cuanto a protección.

En comparación con otros materiales de construcción habituales, el concreto presenta de forma fácil y económica un mejor comportamiento frente al fuego, cabe resaltar que el concreto no arde, no aumenta la carga del fuego y detiene la propagación del mismo. De esta manera protege eficazmente, proporcionando recorridos de emergencia seguros a los ocupantes, el concreto tampoco produce humo ni gases tóxicos, lo que contribuye a disminuir el riesgo de los ocupantes. Disminuye la magnitud del incendio y con ello también el riesgo de contaminación ambiental.

La solidez del concreto frente al fuego facilita la extinción de los incendios y reduce el riesgo de colapso estructural. Convirtiéndose en un material fácil de reparar después de un incendio.

**El concreto tiene buenas propiedades con respecto a la resistencia al fuego.** Por lo que podemos considerar los siguientes criterios para definir el desempeño del concreto:

1. La capacidad para soportar cargas.
2. La resistencia a la penetración de las flamas.

3. La resistencia a la transferencia de calor, cuando el concreto se utiliza para proteger el acero.

En la práctica lo que se requiere del concreto estructural es que preserve durante cierto tiempo la acción de la estructura.

Vale la pena recordar que los metales pierden resistencia con el aumento de temperatura y en el caso del acero después de los 430 °C se empieza a perder resistencia, llegando hasta la mitad de su resistencia a los 600 grados C. Considerando solamente el comportamiento del concreto como material, el fuego introduce altos gradientes de temperatura y como consecuencia, las capas calientes de la superficie tienden a separarse y descascararse de la parte interior que está más fría; lo cual fomenta la formación de grietas en las juntas o en los planos de las varillas de refuerzo y una vez que el acero quede expuesto, conduce el calor y acelera su acción. **El efecto del aumento de la temperatura sobre la resistencia del concreto es insignificante a menos de 300 °C, pero después de los 400 °C puede ocurrir una pérdida muy importante de resistencia, llegando a valores inferiores al 45% de  $f'_c$ .**

En conclusión, se debe realizar un diseño integral de la estructura que va a resistir el fuego, teniendo en cuenta el espesor, profundidad de recubrimiento del acero y resistencia a la compresión del concreto (las mezclas más pobres sufren una pérdida de resistencia relativamente menor que las ricas), la temperatura y tiempo a la que estaría expuesto el concreto.

## 2.2. GENERALIDADES DEL CEMENTO

El cemento es un aglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada clinker, esta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso, este le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada hormigón o concreto. Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil.

### 2.2.1. COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND

El cemento Portland está formado, básicamente, por la molienda conjunta del producto de la cocción, hasta sinterización, de una mezcla de caliza (carbonatos cálcicos) y arcilla (silicatos de aluminio hidratado) que recibe el nombre de clinker y de un material empleado como regulador de fraguado que, generalmente, es yeso dihidrato. Los componentes principales del clinker son la cal, la sílice, el aluminio, y el hierro, en forma de óxidos.

Las margas presentan como principales contenidos los componentes calizos y componentes arcillosos en distintas proporciones, por lo que son utilizadas como principal materia prima. Otros productos de uso se utilizan

en el proceso de fabricación otros componentes como correctores de composición: arena, bauxita, mineral de hierro, pirita.

Los componentes principales del cemento Portland son:

#### **A) Clínker de cemento Pórtland (K)**

El clínker de cemento pórtland se obtiene por sinterización de una mezcla homogénea de materias primas (crudo, pasta o harina) conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y pequeñas cantidades de otras materias. El clínker de cemento pórtland es un material hidráulico que debe estar constituido al menos en dos tercios de su masa por silicatos de calcio [3CaO.SiO<sub>2</sub>] y [2CaO. SiO<sub>2</sub>], estando constituido el resto por fases del clínker conteniendo aluminio, hierro y por otros compuestos. La relación en masa (CaO) / (SiO<sub>2</sub>) no será menor de 2,0 y el contenido de óxido de magnesio (MgO) no excederá del 5,0 % en masa.

#### **B) Clínker de cemento Pórtland (K) empleado en cementos resistentes a los sulfatos y en cementos resistentes al agua de mar.**

Las especificaciones adicionales para los cementos comunes resistentes a los sulfatos y al agua de mar son, en cuanto a su clínker, las limitativas de su contenido de aluminato tricálcico y de la suma de sus contenidos de aluminato tricálcico y ferrito-aluminato tetracálcico.



### **C) Clínker de cemento de aluminato de calcio (K)**

El clínker de cemento de aluminato de calcio es un material hidráulico que se obtiene por fusión o sinterización de una mezcla homogénea de materiales aluminosos y calcáreos conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, siendo los principales los óxidos de aluminio, calcio y hierro ( $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ), y pequeñas cantidades de óxidos de otros elementos ( $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $S=,SO_3$ ,  $Cl^-$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , etc.). El componente mineralógico fundamental es el aluminato monocálcico ( $CaO Al_2O_3$ ).

### **D) Escoria granulada de horno alto (S)**

La escoria granulada de horno alto se por obtiene enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición adecuada, obtenida por la fusión del mineral de hierro en un horno alto y constituida al menos en dos tercios de su masa por escoria vítrea y que posee propiedades hidráulicas cuando se activa de manera adecuada. La escoria granulada de horno alto debe estar constituida al menos en dos tercios de su masa por la suma de óxido de calcio ( $CaO$ ), óxido de magnesio ( $MgO$ ) y dióxido de silicio ( $SiO_2$ ). El resto contiene óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ) junto con pequeñas cantidades de otros compuestos.

La escoria granulada es una especie de arena (el aspecto y color son parecidos) que se obtiene por enfriamiento brusco en agua de la ganga fundida procedente de procesos siderúrgicos. Sus partículas son

más o menos porosas y rechinan al aplastarlas con la mano. Al ser enfriada bruscamente en agua (temple) la escoria se vitrifica y se vuelve activa. Dado su contenido en cal combinada, la escoria no es una simple puzolana, sino que tiene de por sí propiedades hidráulicas, es decir, que es un verdadero cemento. Lo que sucede es que, por sí sola, la escoria fragua y endurece muy lentamente, por lo que debe ser acelerada por la presencia de algo que libere cal, como el clínker de Portland. Bastan muy pequeñas cantidades de este último componente para asegurar el fraguado y endurecimiento de la escoria molida. Por su composición y estabilidad la escoria es más dura que el clínker y por eso se muelen por separado.

#### **E) Puzolanas (P,Q)**

Las puzolanas son sustancias naturales de composición silíceo o sílico-aluminosa o combinación de ambas. Las puzolanas no endurecen por si mismas cuando se amasan con agua, pero finamente molidas y en presencia de agua reaccionan, a la temperatura ambiente normal, con el hidróxido de calcio disuelto  $[Ca(OH)_2]$  para formar compuestos de silicato de calcio y aluminato de calcio capaces de desarrollar resistencia. Estos compuestos son similares a los que se forman durante el endurecimiento de los materiales hidráulicos. Las puzolanas están compuestas esencialmente por dióxido de silicio reactivo ( $SiO_2$ ) y óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ). El resto contiene óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ) y

otros óxidos. Las puzolanas deben prepararse correctamente, es decir, deben ser seleccionadas, homogeneizadas, secadas o tratadas térmicamente y pulverizadas, dependiendo de su estado de producción o de suministro.

Las puzolanas naturales (P) son normalmente materiales de origen volcánico o rocas sedimentarias con composición química y mineralógica adecuadas, Las puzolanas naturales calcinadas (Q) son materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por tratamiento térmico.

Las puzolanas naturales calcinadas (Q) son materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por tratamiento térmico.

#### **F) Cenizas volantes (V, W)**

Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado. Las cenizas obtenidas por otros métodos no deberán emplearse en los cementos. Las cenizas volantes pueden ser de naturaleza silíceas o calcáreas. Las primeras tienen propiedades puzolánicas; las segundas pueden tener, además, propiedades hidráulicas.

Tiene influencia en la corrosión (más basicidad), en el desarrollo de resistencias más lentas. Además, exigen menos cantidad de agua y la

retienen más, produciendo menores retracciones y por tanto menores riesgos de fisuración.

La ceniza volante sílicea (V) es un polvo fino de partículas esféricas que tiene propiedades puzolánicas. Consta esencialmente de dióxido de silicio reactivo ( $SiO_2$ ) y óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ). El resto contiene óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ) y otros compuestos. La proporción de óxido de calcio reactivo será menor del 10,0% en masa, y el contenido de óxido de calcio libre, determinado por el método descrito en la norma UNE EN 451-1, no excederá del 1,0% en masa. Las cenizas volantes que tienen un contenido de óxido de calcio libre superior al 1,0% en masa pero inferior al 2,5% en masa son también aceptables con la condición de que el requisito de la expansión (estabilidad) no sobrepase los 10 mm cuando sea ensayada conforme a la norma UNE EN 196-3, usando una mezcla de un 30 % en masa de ceniza volante sílicea y un 70% en masa de un cemento tipo CEM I. El contenido de dióxido de silicio reactivo no será inferior al 25% en masa. Para su utilización en los cementos resistentes a los sulfatos (SR) y en los cementos resistentes a agua de mar (MR) deben cumplir una serie de especificaciones.

La ceniza volante calcárea (W) es un polvo fino que tiene propiedades hidráulicas o puzolánicas. Consta esencialmente de óxido de calcio reactivo ( $CaO$ ), dióxido de silicio reactivo ( $SiO_2$ ) y óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ). El resto contiene óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ) y otros compuestos. La proporción de óxido de calcio reactivo será superior a un 10,0% en

masa. Por un lado, si las cenizas volantes calcáreas contienen entre el 10,0% y el 15,0% en masa de óxido de cal reactivo, tendrán un contenido superior o igual al 25,0% en masa de dióxido de silicio reactivo. Por otro lado, cuando las cenizas volantes calcáreas tengan más del 15,0% en masa de óxido de calcio reactivo, tendrá una resistencia a compresión de al menos 10,0 MPa a 28 días, ensayadas conforme a la norma UNE EN 196-1.

Para la realización del ensayo de resistencia a compresión, la ceniza volante será previamente molida hasta una finura comprendida entre el 10% y el 30% en masa, expresada como la proporción en masa de la ceniza retenida sobre el tamiz de 40 micrómetros, siendo tamizada en húmedo. El mortero para ensayo de resistencia a compresión será preparado sólo con ceniza volante calcárea molida, en lugar de cemento. Las probetas de mortero deben ser desmoldadas 48 h después de su preparación y curadas con una humedad relativa de al menos 90% hasta el ensayo. La expansión (estabilidad de volumen) de las cenizas volantes calcáreas no sobrepasará los 10 mm cuando sean ensayadas conforme a la norma UNE EN 196-3, usando una mezcla de un 30% en masa de ceniza volante calcárea molida como se ha descrito anteriormente, y un 70% en masa de un cemento tipo CEM I. Si el contenido en sulfato ( $SO_3$ ) de la ceniza volante m, excede el límite superior permitido para el contenido en sulfato del cemento, esto debe tenerse en cuenta por el fabricante del cemento,

reduciendo convenientemente los constituyentes que contienen sulfato de calcio.

### **G) Esquisto Calcinado (T)**

El esquisto calcinado, particularmente el bituminoso, se produce en un horno especial a temperaturas de aproximadamente 800 °C. Debido a la composición del material natural y al proceso de producción, el esquisto calcinado contiene fases del clínker, principalmente silicato bicálcico y aluminato monocálcico.

También contiene proporciones mayores de óxidos puzolánicamente reactivos, especialmente dióxido de silicio, además de pequeñas cantidades de óxido de calcio libre y de sulfato de calcio. En consecuencia, en estado finamente molido, el esquisto calcinado presenta propiedades hidráulicas, como las del cemento Pórtland, así como propiedades puzolánicas.

### **H) Caliza (L, LL)**

Las calizas cumplirán con los siguientes requisitos:

- a) El contenido de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), calculado a partir del contenido de óxido de calcio, no será inferior al 75% en masa.
- b) El contenido de arcilla, determinado por el método del azul de metileno conforme a la norma UNE-EN 933-9 será menor de 1,20 g/100 g. Para este ensayo, la caliza estar molida a una finura

aproximada de 5000 cm<sup>2</sup>/g, determinada como superficie específica conforme a la norma UNE 80122.

- c) El contenido de carbono orgánico total (TOC), determinado conforme a la norma UNE-EN 13639, cumplirá uno de los siguientes criterios:

**Para los subtipos LL:** no excederá del 0,20% en masa.

**Para los subtipos L:** no excederá del 0,50% en masa.

#### **I) Humo de Sílice (D)**

El humo de sílice se origina por la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos de arco eléctrico, para la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio, y consiste en partículas esféricas muy finas conteniendo al menos el 85% en masa de dióxido de sílice amorfo. Es un subproducto de la obtención del silicio y el ferrosilicio. Se reduce en horno eléctrico cuarzo muy puro y carbón, recogándose el humo generado mediante filtro electrostático, es decir, recogiendo partículas de muy pequeño diámetro formadas, principalmente, por sílice muy reactiva.

#### **J) Componentes adicionales minoritarios**

Los componentes adicionales minoritarios son materiales minerales naturales o derivados del proceso de fabricación del clínker. Estarán correctamente seleccionados, homogeneizados, secados y

pulverizados, en función de su estado de producción o suministro. Los componentes adicionales minoritarios no aumentarán sensiblemente la demanda de agua del cemento, no disminuirán la resistencia del hormigón o del mortero en ningún caso, ni reducirán la protección de las armaduras frente a la corrosión. Estos componentes suelen mejorar las propiedades físicas de los cementos (tales como la docilidad o la retención de agua). La información sobre los componentes adicionales minoritarios del cemento será facilitada por el fabricante cuando lo solicite el usuario.

#### **K) Sulfato de Calcio**

El sulfato de calcio se añade durante la fabricación del cemento para controlar el fraguado. El sulfato de calcio puede ser yeso o anhidrita o cualquier, mezcla de ellos.

#### **L) Aditivos**

Los aditivos son componentes no contemplados en los apartados anteriores, que se añaden para mejorar la fabricación o las propiedades del cemento. La cantidad total de aditivos en los cementos no excederá del 1% en masa del cemento (a excepción de los pigmentos); mientras que la cantidad de aditivos orgánicos no excederá del 0,5 % en masa del cemento, medida sobre el residuo



seco. Estos aditivos no provocaran, aceleraran o facilitaran la corrosión de las armaduras cuando el hormigón sea armado.

## 2.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS

Los cementos se clasifican en **tipos**, según sus componentes, y en **clases** según su resistencia. El número que identifica a la clase corresponde a la resistencia mínima a compresión, a veintiocho días, expresada en newtons por milímetro cuadrado (N/mm<sup>2</sup>). Se exceptúan los cementos para usos especiales en que dicha resistencia se refiere a los noventa días. Los porcentajes en masa de los distintos tipos de cemento excluyen el regulador de fraguado y los eventuales aditivos. Por otra parte, conviene no confundir los aditivos al cemento con las adiciones; éstas se refieren siempre a uno o varios de los siguientes constituyentes: escoria de horno alto (S), humo de sílice (D), puzolana natural (P), puzolana natural calcinada (Q), ceniza volante silícea (V), ceniza volante calcárea (W), esquistos calcinados (T), caliza (L y LL).

### 2.2.2.1. CEMENTOS COMUNES

#### Cemento Portland

Los cementos Portland se obtienen por molturación conjunta de clínker Portland, una cantidad adecuada de regulador de fraguado y, eventualmente, hasta un 5 por 100 de adiciones. Se designará con las siglas CEM I, seguidas de la clase de resistencia (32,5 - 42,5 - 52,5) y

de la letra (R) si es de alta resistencia inicial o de (N) si es de resistencia inicial normal. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1.

Los cementos Pórtland con adiciones se vienen empleando en Europa, con gran éxito, por razones económicas. Por una parte, por el ahorro de energía que ello supone y, por otra, por el aprovechamiento de ciertos productos naturales y subproductos industriales. Los cementos Portland con adiciones tienen un comportamiento intermedio entre los Portland tipo I, por un lado, y los cementos de horno alto o puzolánicos, por otro. Estos cementos tienen las mismas clases resistentes que los cementos tipo I, se designarán con las siglas CEM II seguidas de una barra ( / ) y de la letra que indica el subtipo (A ó B) separada por un guión(-) de la letra identificativa del componente principal empleado como adición del cemento. A continuación se indicará la clase de resistencia (32,5-42,5-52,5), y seguidamente la letra R si se trata de un cemento de alta resistencia inicial o la letra N en el caso de ser de resistencia inicial normal.

TABLA I: CEMENTOS COMUNES

Tipos	Denominación	Designación	Composición (Proporción en masa <sup>1</sup> )										
			Componentes Principales										Componentes Minoritarios
			Clinker K	Escoria de horno alto S	Humo de sílice <sup>2</sup>	Puzolana		Cenizas Volantes		Esquistos calcinados T	Caliza <sup>4</sup>		
Natural P	Natural calcinada Q	Silíceas V				Calcáreas W	L	LL					
CEM I	Cemento Pórtland	CEM I	95 - 100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
CEM II	Cemento Pórtland con escoria	CEM II/A-S	80 - 94	6 - 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-S	65 - 79	21 - 35	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
	Cemento Pórtland con humo de sílice	CEM II/A-D	90 - 94	-	6 - 10	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/A-P	80 - 94	-	-	6 - 20	-	-	-	-	-	-	0 - 5
	Cemento Pórtland con puzolana	CEM II/B-P	65 - 79	-	-	21 - 35	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/A-Q	80 - 94	-	-	-	6 - 20	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-Q	65 - 79	-	-	-	21 - 35	-	-	-	-	-	0 - 5
	Cemento Pórtland con ceniza volante	CEM II/A-V	80 - 94	-	-	-	-	6 - 20	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-V	65 - 79	-	-	-	-	21 - 35	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/A-W	80 - 94	-	-	-	-	-	6 - 20	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-W	65 - 79	-	-	-	-	-	21 - 35	-	-	-	0 - 5
	Cemento Pórtland con esquistos calcinados	CEM II/A-T	80 - 94	-	-	-	-	-	-	6 - 20	-	-	0 - 5
		CEM II/B-T	65 - 79	-	-	-	-	-	-	21 - 35	-	-	0 - 5
	Cemento Pórtland con caliza	CEM II/A-L	80 - 94	-	-	-	-	-	-	-	6 - 20	-	0 - 5
		CEM II/B-L	65 - 79	-	-	-	-	-	-	-	21 - 35	-	0 - 5
		CEM II/A-LL	80 - 94	-	-	-	-	-	-	-	-	6 - 20	0 - 5
		CEM II/B-LL	65 - 79	-	-	-	-	-	-	-	-	21 - 35	0 - 5
	Cemento Pórtland mixto <sup>5</sup>	CEM II/A-M	80 - 94	← 6 - 20 →									
CEM II/B-M		65 - 79	← 21 - 35 →										0 - 5
CEM III	Cemento con escorias de horno alto	CEM III/A	35 - 64	36 - 65	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM III/B	20 - 34	66 - 80	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM III/C	5 - 19	81 - 95	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
CEM IV	Cemento Puzolánico <sup>5</sup>	CEM IV/A	65 - 89	-	← 11 - 35 →								0 - 5
		CEM IV/B	45 - 64	-	← 36 - 55 →								0 - 5
CEM V	Cemento compuesto <sup>5</sup>	CEM V/A	40 - 64	18 - 30	-	← 18 - 30 →							0 - 5
		CEM V/B	20 - 38	31 - 50	-	← 31 - 50 →							0 - 5

- 1) Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios (núcleo de cemento).
- 2) El porcentaje de humo de sílice está limitado al 10%.
- 3) El cemento pórtland mixtos CEM II/A-M y CEM III/B-M, en cemento puzolánicos CEM IV/A y CEM IV/B y en cementos compuestos CEM V/A y CEM V/B los componentes principales diferentes del Clinker deben ser declarados en la designación del cemento.
- 4) El contenido de carbono orgánico total (TOC), determinado conforme al UNE EN 13639, será al 0.20% en masa para calizas LL, o inferior al 0.50% en masa para calizas L.

**TABLA II: Prescripciones Mecánicas y Físicas de los Cementos Comunes**

**TABLA II: Prescripciones Químicas de los Cementos Comunes**

Característica	Norma de ensayo	Tipo de Cemento	Clase de Resistencia	Prescripción <sup>1</sup>
<b>Pérdida por Calcinación</b>	UNE-EN 196-2	CEM I CEM III	Todas	≤ 5.0 %
<b>Residuo insoluble</b>	UNE-EN 196-2 <sup>2</sup>	CEM I CEM III	Todas	≤ 5.0 %
<b>Contenido de sulfatos (Expresado como SO<sub>3</sub>)</b>	UNE-EN 196-2	CEM I CEM II <sup>2</sup>	32.5 N 32.5 R 42.5 N	≤ 3.5 %
			CEM 9V CEM V	42.5 R 52.5 N 52.5 R
		CEM III <sup>4</sup>	Todas	
			Todas	
<b>Contenido de Cloruros (Cl)</b>	UNE-EN 196-2	Todos <sup>5</sup>	Todas	≤ 1.0 % <sup>6</sup>
<b>Puzolanidad</b>	UNE-EN 196-5	CEM IV	Todas	Puzolanidad a la edad de 8 ó 15 días

- 1) En el caso en que las prescripciones se expresan en porcentajes, estos se refieren a la masa cemento final.
- 2) La determinación del residuo insoluble se realizará por el método basado en la disolución de la muestra en ácido clorhídrico y posterior ataque con disolución de carbonato de sodio
- 3) El cemento tipo CEM II/B-T puede contener hasta el 4.5% de sulfato para todas las clases de resistencia.
- 4) El cemento tipo CEM III/C puede contener hasta 4.5% en masa de sulfato.
- 5) El tipo de cemento CEM III puede contener más del 0.10% de cloruros, pero en tal caso el contenido máximo debe ser consignado en los envases y en los albaranes de entrega.
- 6) Para aplicaciones de presentado, el cemento puede haber sido fabricado expresamente con valores de cloruros inferiores al máximo admisible. En este caso, se debe expresar el valor real en los envases y albaranes de entrega, reemplazando en su caso, el valor por defecto del 0.10% en masa.

---

### 2.2.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CEMENTOS

#### A. FINURA DE MOLIDO

Es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que influye excesivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante su fraguado y primer endurecimiento.

Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan sólo en una profundidad de 0,01 mm, por lo que, si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte. Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy altos (lo que, en general, resulta perjudicial), el conglomerante resulta ser más susceptible a la meteorización (envejecimiento) tras un almacenamiento prolongado, y disminuye su resistencia a las aguas agresivas.

#### B. FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO

Cuando un cemento se amasa con agua en proporción del 20 al 35% en peso, se forma una pasta que mantiene su plasticidad durante un tiempo muerto después del cual la pasta empieza a rigidizarse rápidamente hasta que desaparece su plasticidad a la vez que va aumentando su resistencia de forma gradual. Este fenómeno es consecuencia de las precipitaciones sólidas o cristal que se producen

durante las reacciones de hidratación y que dan lugar a un aumento progresivo de la viscosidad de la pasta.

Hay que distinguir dos fases:

✓ **Fraguado**

La pasta pierde su plasticidad llegando a adquirir algo de resistencia. El fraguado va acompañado de desprendimiento de calor; al principio se observa una elevación fuerte de temperatura seguida de un fuerte descenso con un mínimo y luego, un pico que puede considerarse como el final del fraguado.

✓ **Endurecimiento**

Ganancia progresiva de resistencias de una pasta fraguada. Como progresivo desarrollo de resistencias mecánicas queda regulado por la naturaleza y estructura de las películas coloidales que recubren los granos y que avanzan hacia el núcleo en la hidratación. Es frecuente confundir los términos fraguado y endurecimiento cuando en realidad son dos fenómenos distintos y hasta tal punto lo son que pueden existir cementos de fraguado lento y de endurecimiento rápido. En la velocidad de fraguado y endurecimiento entran en juego:

- Finura de molido del cemento
- Temperatura del agua de amasado

- Presencia o no de materias orgánicas e inorgánicas y aditivos

### **C. EXPANSIÓN**

Los ensayos de estabilidad de volumen tienen por objeto manifestar, a corto plazo, el riesgo de expansión tardía que puede tener un cemento fraguado debida a la hidratación del óxido de calcio y/o del óxido de magnesio libres.

El método de ensayo (Norma europea EN 196-3). Consiste en un pequeño molde cilíndrico abierto por una generatriz y terminado por dos agujas para amplificar la expansión. Una vez relleno con la pasta de cemento, se mantiene 24 horas en la cámara húmeda. El aumento de la distancia de las dos puntas de las agujas después de sumergido el molde en agua en ebullición, durante tres horas, mide la expansión.

### **D. RESISTENCIA MECÁNICA**

La aplicación fundamental del cemento es la fabricación de morteros y hormigones destinados a la construcción de elementos en los que, generalmente, la propiedad más interesante es sus resistencias mecánicas; por consiguiente, los cementos, junto con los áridos, tienen que conferírseles y esto lo logran porque al amasarlos con agua dan lugar a pastas que endurecen y tienen una gran cohesión y, cuya porosidad va disminuyendo a la vez que las resistencias mecánicas van creciendo con el paso del tiempo, presentando, además, estas pastas

una gran adherencia con los áridos que componen el mortero y el hormigón.

#### 2.2.4. CARACTERÍSTICAS LIMITACIONES E INDICACIONES

	CEMENTOS PORTLAND TIPO I		
	Clases 32,5 y 32,5R	Clases 42,5 y 42,5R	Clases 52,5 y 52,5R
Características	- Bajo calor de hidratación. - Baja retracción.	- Resistencia mecánica alta. - Endurecimiento rápido.	- Resistencia mecánica muy alta, a todas edades. - Endurecimiento muy rápido.
Limitaciones	- Resistencia mecánica media. - Poca resistencia química.	- Poca resistencia química.	-Fuerte calor de hidratación -Tendencia a fisuras de afogado y retracción. -Poca resistencia química.
Indicado para	-Hormigón armado .-Hormigón en masa de pequeño o mediano volumen .-Pavimentos y firmes de carreteras. -Estabilización de suelos.	-Hormigón armado. -Hormigón pretensado. -Prefabricado, incluso con tratamiento higrotérmico.	-Obras de hormigón armado que requieren endurecimiento rápido y altas resistencias. -Hormigón pretensado. - Prefabricación. -Hormigonado en tiempo muy frío. -Desenfofrado muy rápido.
No indicado para	-Obras en aguas, terrenos o ambientes agresivos. -Macizos de gran volumen, sobre todo en dosificaciones altas.	-Obras en aguas, terrenos o ambientes agresivos. -Piezas de hormigón armado de gran espesor. -Elementos o piezas fisurables por retracción.	-Obras en aguas, terrenos o ambientes agresivos. -Obras de hormigón armado de mediano volumen o espesor. -Elementos o piezas fisurables por retracción.
Precauciones	-Cuidar el almacenamiento. No debe prolongarse más de tres meses.	-Cuidar el almacenamiento. No debe prolongarse más de dos meses. -Cuidar el amasado y, sobre todo, el curado. -Precauciones para evitar fisuración por retracción durante las primeras horas.	-Cuidar el almacenamiento. No debe prolongarse más de un mes. -Cuidar dosificación, amasado y, sobre todo, el curado. -Precauciones para evitar fisuración por retracción durante las primeras horas.



	<i>Tipo II-S</i>		<i>Tipo II-P y II-V</i>	
	<b>Clases 32,5 y 32,5R</b>	<b>Clases 42,5 y 42,5R</b>	<b>Clases 32,5 y 32,5R</b>	<b>Clases 42,5 y 42,5R</b>
Características	- Bajo calor de hidratación. - Baja retracción.	- Resistencia mecánica alta. - Baja retracción. - Moderado calor de hidratación.	- Bajo calor de hidratación. - Baja retracción. - Endurecimiento algo más lento que el portland I.	- Resistencia mecánica alta. - Baja retracción. - Moderado calor de hidratación. - Hormigones más impermeables.
Limitaciones	- Resistencia mecánica media. - Sensibles a las bajas	- Sensibles a las bajas temperaturas durante la ejecución.	- Resistencia mecánica media. - Endurecimiento sensible a los climas secos y fríos, secos y cálidos.	- Endurecimiento sensible a los climas secos y fríos, o secos y cálidos.
Indicado para	- Hormigón armado. - Hormigón en masa, incluso de gran volumen. - Pavimentos y cimentaciones. - Estabilización de suelos. - Obras de hormigón en masa en ambientes débilmente agresivos por salinidad o por sulfatos.	- Hormigón armado. - Hormigón en masa, incluso de gran volumen. - Pavimentos y cimentaciones. - Estabilización de suelos. - Obras de hormigón en masa en ambientes débilmente agresivos por salinidad o por sulfatos. - Prefabricación con tratamiento higrotérmico.	- Hormigón armado. - Hormigón en masa. - Pavimentos y cimentaciones. - Prefabricados con tratamiento higrotérmico.	- Hormigón armado. - Hormigón en masa que tolere un moderado calor de hidratación. - Hormigón armado o en masa en ambientes ligeramente agresivos por aguas puras, carbónicas o con débil acidez mineral. - Obras de gran impermeabilidad. - Prefabricación y pretensado.
No indicado para	- Hormigonado en tiempo de heladas. - Hormigón pretensado. - Obras en aguas, terrenos ambientes agresivos, salvo los indicados.	- Hormigonado en tiempo de heladas. - Hormigón pretensado con armaduras adherentes. - Obras en aguas, terrenos ambientes agresivos, salvo los indicados.	- Hormigonado en tiempo de heladas - Hormigón pretensado. - Obras en aguas, terrenos ambientes agresivos.	- Obras en aguas, terrenos o ambientes agresivos, salvo los indicados. - Macizos de gran volumen y piezas de gran espesor.
Precauciones	Curado prolongado en ambiente húmedo, sobretodo en climas fríos o temperaturas bajas, evitando la desecación. El almacenamiento no debe prolongarse más de tres meses.	Curado prolongado en ambiente húmedo, sobre todo en climas fríos o temperaturas bajas, evitando la desecación. El almacenamiento no debe prolongarse más de dos meses.	- Curado prolongado, en especial en climas secos y fríos. - Evitar desecación durante el primer periodo de endurecimiento en climas cálidos y secos. - El almacenamiento no debe prolongarse más de tres meses.	- Curado prolongado, en especial en climas secos y fríos. - Evitar desecación durante el primer periodo de endurecimiento en climas cálidos y secos. - El almacenamiento no debe prolongarse más de dos meses.
	El CEMENTO PORTLAND MIXTO (CEM II/A-M y B-M) tiene unas características y aplicaciones que pueden considerarse como suma de las correspondientes a los cementos tipos II-S, II-P y II-V. El CEMENTO PORTLAND CON CALIZA (CEM II/A-L) tiene unas aplicaciones análogas a las de los cementos portland de su misma clase, pero los hormigones con él fabricados presentan unas propiedades adicionales mejorando la hidratación, trabajabilidad, retracción, fisuración, etc.			

	Cementos de horno alto tipo III		Cemento Puzolánico Tipo IV
	III/A-32,5 y III/A-42,5	III/B-32,5 y III/B-42,5	Clases 32,5 y 42,5
Características	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderado calor de hidratación.</li> <li>- Baja retracción.</li> <li>- Mayor resistencia química que el portland.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo calor de hidratación.</li> <li>- Baja retracción.</li> <li>- Resistentes al agua de mar y a los sulfatos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigones más trabajables, más compactos, más impermeables y de mayor resistencia química que con el cemento portland.</li> </ul>
Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor trabajabilidad que el portland.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor trabajabilidad que el portland.</li> <li>- Muy sensibles a las bajas temperaturas.</li> <li>- Endurecimiento lento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evolución de resistencias más lenta que el portland.</li> </ul>
Indicado para	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obras de hormigón en masa, incluso de gran volumen.</li> <li>- Obras de hormigón en masa o armado en ambientes húmedos y ligeramente agresivos por salinidad o por sulfatos.</li> <li>- Cimentaciones, pavimentaciones y obras subterráneas.</li> <li>- Obras marítimas.</li> <li>- Ciertos prefabricados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obras de hormigón en masa, incluso de gran volumen.</li> <li>- Obras de hormigón en masa o armado en ambientes húmedos o agresivos por salinidad o por sulfatos.</li> <li>- Cimentaciones, pavimentaciones y obras subterráneas. Obras marítimas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obras de hormigón en masa de grandes volúmenes (grandes cimentaciones, muros de contención, presas, etc.).</li> <li>- Obras marítimas, vertederos industriales o sanitarios.</li> <li>- Obras en medios agresivos por aguas puras, carbónicas o con débil acidez.</li> <li>- Hormigones muy impermeables.</li> <li>- Prefabricados con tratamiento higrotérmico.</li> </ul>
No indicado para	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigonado a bajas temperaturas.</li> <li>- Obras en ambientes muy secos.</li> <li>- Hormigones vistos.</li> <li>- Obras de gran superficie y poco espesor.</li> <li>- Obras en ambiente muy agresivo.</li> <li>- Obras que requieren altas resistencias iniciales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigonado a bajas temperaturas.</li> <li>- Obras en ambientes muy secos.</li> <li>- Hormigones vistos.</li> <li>- Obras de gran superficie y poco espesor.</li> <li>- Obras que requieren altas resistencias iniciales.</li> <li>- Hormigón pretensado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigonado en climas secos o fríos.</li> <li>- Obras en ambientes muy agresivos.</li> <li>- Obras que requieren altas resistencias iniciales.</li> </ul>
Precauciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prolongar el amasado evitando exceso de agua.</li> <li>- Prolongar el curado, sobre todo en climas fríos o a temperaturas bajas, evitando al máximo la desecación prematura.</li> <li>- Prolongar el tiempo de desencofrado.</li> <li>- Preferir dosis ricas de clase 32,5 a dosis pobres de clase 42,5.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prolongar el amasado evitando exceso de agua.</li> <li>- Prolongar el curado, sobre todo en climas fríos o a temperaturas bajas, evitando al máximo la desecación prematura.</li> <li>- Prolongar el tiempo de desencofrado.</li> <li>- Preferir dosis ricas de clase 32,5 a dosis pobres de clase 42,5.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Curar prolongadamente, sobre todo en climas secos y fríos.</li> <li>- Evitar desecación durante el primer periodo de endurecimiento en climas cálidos y secos.</li> </ul>

## 2.2.5. CARACTERÍSTICAS LIMITACIONES E INDICACIONES

**Materias primas+correctores >crudo->horno > clínker + yeso->cemento**

Para la fabricación del cemento Portland hay dos sistemas que se denominan de "vía seca" y de "vía húmeda", y que prácticamente sólo difieren en la preparación de la materia prima o crudo que penetra en el horno

En el sistema de vía húmeda, las materias primas se deslíen en unos tanques y la pasta homogeneizada resultante alimenta el horno; en el sistema de vía seca, el horno se alimenta con la materia prima seca y pulverulenta y, en algunos casos, con nódulos realizados con esta materia amasada con muy pequeña cantidad de agua. El primer sistema, que ha sido muy empleado hasta hace unos años, tiene algunas ventajas que no llegan a compensar el mayor consumo de combustible requerido para evaporar la gran cantidad de agua que lleva la pasta, que oscila entre el 35 y el 50%, y el mayor costo y dimensión de los hornos, de aquí que actualmente, la mayor parte del cemento que se fabrica se realice por vía seca.

La vía seca permite un ahorro energético de como mínimo el 15% sobre la vía húmeda; por otra parte, la calidad del cemento es similar y el problema que podría achacársele de mayor contaminación ambiental está hoy en día solucionado con los filtros electrostáticos de gran

---

eficacia. En los últimos años se ha experimentado un gran avance en todo el proceso de fabricación del cemento, reduciendo el consumo energético y los costos, y mejorando la calidad y uniformidad de los productos obtenidos mediante la automatización de las plantas y el control continuo de la calidad.

DIAGRAMA  
 FABRICACION DE  
 CEMENTO PORTLAND

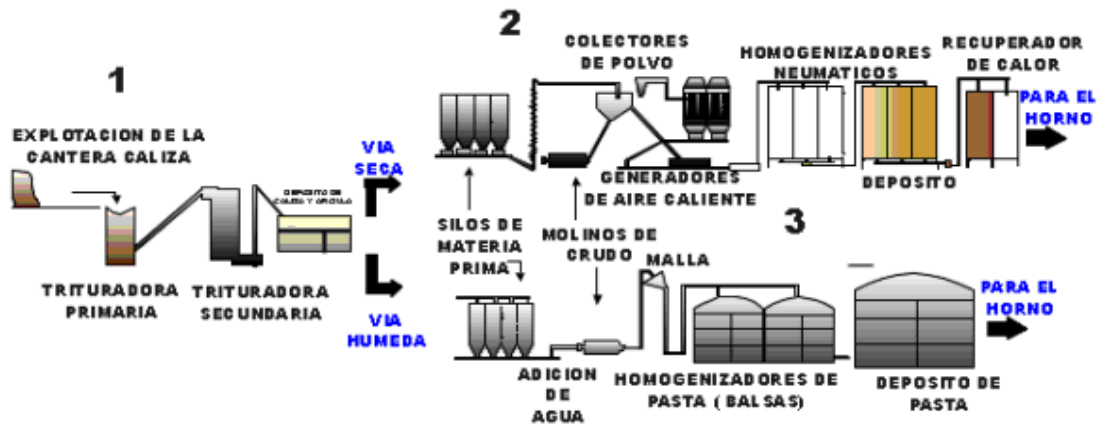
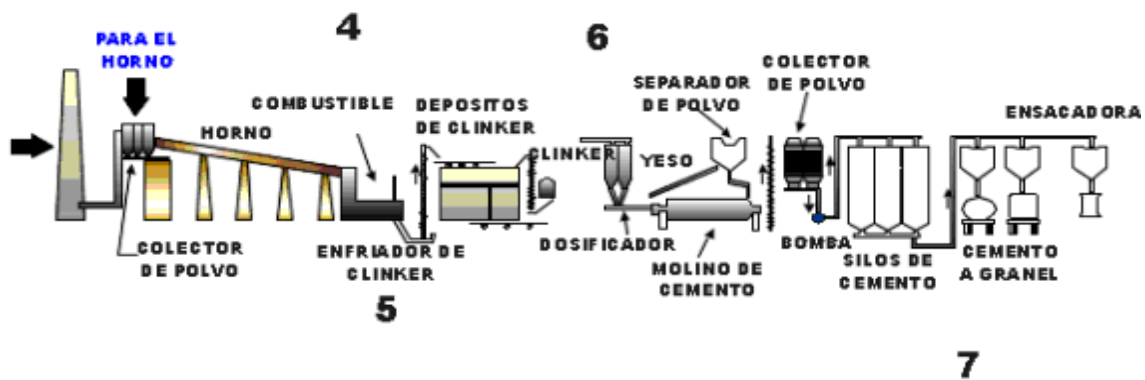


DIAGRAMA  
 FABRICACION DE  
 CEMENTO PORTLAND  
 fase 2



### 2.2.5.1. Obtención y preparación de las materias primas

Su obtención se lleva a cabo en canteras o minas a cielo abierto, donde los materiales blandos como las arcillas se obtienen por excavación y los materiales duros como las calizas mediante perforación o voladura, taqueo y trituración.

Las materias primas extraídas en la cantera por voladuras, se trituran en machacadoras de mandíbulas hasta un tamaño de 20-25 mm. El material triturado debe secarse dado que su humedad dificulta la posterior molienda. Posteriormente la mezcla de materias primas y de correctores, en su caso, perfectamente dosificada para que el contenido en óxidos sea el preciso para el tipo de cemento que se ha de fabricar, y molida recibe el nombre de crudo y con ella se alimenta el horno.

#### 2.2.5.2. Cocción

La cocción del crudo se realiza en hornos rotatorios ligeramente inclinados que están formados por un tubo cilíndrico de acero revestido interiormente de material refractario cuya longitud alcanza hasta 150 m y cuyo diámetro puede sobrepasar los 4.5m.

Produciéndose las siguientes reacciones:



En el horno, el crudo se transforma por cocción, hasta la sinterización, en clinker.

#### 2.2.5.3. Molienda

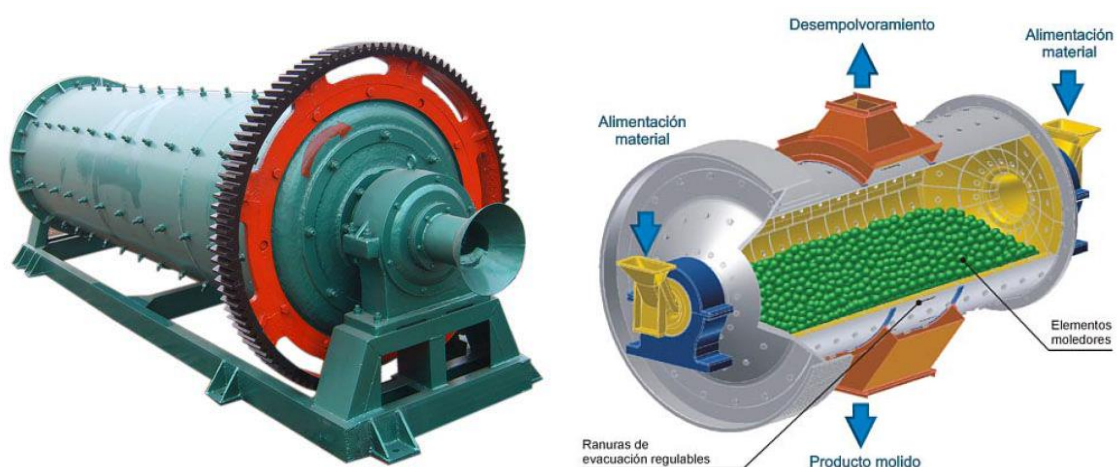
El clinker y el yeso (sulfato de calcio dihidrato) que actúa como regulador de fraguado se muelen conjuntamente a un grado de

finura elevado en molino de cemento, la proporción de yeso a emplear depende del contenido de aluminato tricálcico.

Aparte de estos dos componentes fundamentales pueden adicionarse al molino puzolanas anaturales, cenizas volantes, humo de sílice, escorias siderúrgicas, caliza, etc cuando se pretendan conseguir cementos de características especiales frente a determinados medios, así como mejorar el balance energético del proceso de fabricación.

Pueden añadirse también aditivos que en cantidades inferiores al 1% se pueden utilizar eventualmente para facilitar el proceso de fabricación del cemento, los aditivos no deben perjudicar las propiedades y comportamientos de los morteros y hormigones.

Los molinos de cemento son molinos de bolas que similares a los de crudo, llevan un estricto control de temperatura.



#### 2.2.5.4. Suministro, Recepción y Almacenamiento

Si se trata de sacos, éstos deben llevar impreso en una de sus caras el tipo y clases de cemento, así como la marca comercial y, eventualmente, las restricciones de empleo. La toma de muestras y los ensayos de recepción deben llevarse a cabo según indica la Instrucción española RC-08. Si el cemento posee un sello o marca de conformidad oficialmente homologado, la Dirección Facultativa puede eximirlo de los ensayos de recepción. Cuando el cemento experimenta un almacenamiento prolongado, puede sufrir alteraciones consistentes en la hidratación de sus partículas más pequeñas (meteorización), que pierden así su valor hidráulico. Esto se traduce en un retraso en los tiempos de fraguado y en una disminución de las resistencias mecánicas, especialmente las de compresión a cortas edades.

La meteorización del cemento se traduce también en un aumento de la pérdida al fuego, correspondiente a las partículas finas meteorizadas. Este ensayo es el que detecta la meteorización de forma más directa y cuantitativamente expresiva. A veces puede utilizarse un cemento ligeramente meteorizado, pero teniendo en cuenta sus nuevas características: su distinta granulometría, su retraso en el fraguado y su eventual pérdida de resistencias mecánicas. Al desaparecer los finos, disminuyen el calor de hidratación y la retracción en las primeras edades, requiriendo



tanta más agua de amasado cuanto mayor haya sido el proceso de meteorización.

## 2.2.6. MATERIALES COMPONENTES DEL CONCRETO

### 2.2.6.1. CEMENTO PORTLAND TIPO I

Es el producto final de la pulverización del clinker al cual se le añade yeso en cantidades pequeñas (3% a 6%) para controlar el endurecimiento violento; lográndose un polvo fino que pasa completamente la malla N° 200, y que está listo para su proceso de envasado y comercialización.

#### CLINKER

Es un producto artificial obtenido de la calcinación a elevadas temperaturas (1400-1450°C) de la mezcla en proporciones específicas de polvo de rocas arcillosas y calizas, obteniéndose módulos de varios tamaños usualmente  $\frac{1}{4}$ " a 1" de diámetro de color negro característico, reluciente y duros al enfriarse.

#### 2.2.6.1.1. COMPOSICIÓN DEL CEMENTO PÓRTLAND TIPO I

Como el cemento es una mezcla de muchos compuestos, resulta impráctica su representación con una fórmula química. No obstante los compuestos químicos establecidos por primera vez por Le Chatelier en 1852 y que son los que definen

el comportamiento del cemento hidratado, tenemos los siguientes:

**a) Silicato Tricálcico:**  $3CaO.SiO_2$

Este compuesto químico define la resistencia inicial y tiene incidencia directa en el calor de hidratación.

**b) Silicato Dicálcico:**  $2CaO.SiO_2$

Este compuesto define la resistencia a largo plazo, teniendo menos incidencia en el calor de hidratación.

**c) Aluminato Tricálcico:**  $3CaO.Al_2O_3$

Este compuesto por si solo no incide en la resistencia del cemento, pero en combinación con los silicatos condiciona el fraguado violento actuando como catalizador, por lo que es necesario añadir yeso en el proceso de 3% a 6% para controlarlo.

**d) Ferro Aluminato Tetracálcico:**  $4CaO.Al_2O_3$

Tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y en menor incidencia en el calor de hidratación.

**e) Oxido de Magnesio:** MgO

Este componente tiene importancia para contenidos mayores del 5% pues genera problemas de expansión en la pasta hidratada y endurecida.

**f) Oxido de Potasio y Sodio:  $K_2O_5NaO$**

Son más importantes estos álcalis cuando entran en contacto con cierto tipo de agregados produciéndose reacciones químicas generando expansiones en los cementos y morteros.

**g) Oxido de Magnesio y Titanio:  $Mn_2O_3, TiO_2$**

El primero no tiene significación especial en las propiedades del cemento, salvo en su colocación, que tiende a ser marrón si se tiene contenidos mayores al 3% y se ha observado que para cantidades mayores del 5% existe disminución de las resistencias a largo plazo.

El segundo componente influye en la resistencia, reduciéndola para contenidos mayores del 5%.

### **2.2.7. MECANISMO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO**

Se denomina hidratación del cemento al conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, que lleva consigo el cambio del estado plástico al endurecido. La velocidad con que se desarrolla la hidratación es directamente proporcional a la finura del cemento e inversamente al tiempo, por lo que inicialmente es muy rápida y va disminuyendo paulatinamente con el transcurso de los días, aunque nunca se llega a detener.

Dependiendo de la temperatura, el tiempo y la relación a/c que reaccionan, se puede definir los siguientes estados que se han

establecido de manera arbitraria para distinguir las etapas del proceso de hidratación:

### **A. PLÁSTICO**

Es la unión del agua y el polvo de cemento formando una pasta moldeable, cuanto mayor es la relación a/c, mayor es la contracción de partículas de cemento en la pasta compactada y por ende la estructura de los productos de hidratación son mucho más resistentes.

El período latente de reposo en que las reacciones se efectúan dura entre 40 min. y 120 min. Dependiendo de la temperatura del ambiente.

### **B. FRAGUADO INICIAL**

Es la condición de la pasta de cemento en las que se aceleran las reacciones químicas, empieza el endurecimiento y la pérdida de plasticidad, midiéndose en términos de la resistencia a deformarse.

Es la etapa en la que se evidencia el proceso exotérmico (reacciones que producen calor) donde se genera el ya mencionado calor de hidratación, que es consecuencia de las reacciones químicas descritas.

Se forma una estructura porosa llamado gel de hidratación de Silicatos de Calcio, con consistencia coloidal intermedia entre sólidos y líquidos que van rigidizándose a medida que siguen hidratándose los silicatos, este período dura alrededor de 3 horas.

En esta etapa la pasta puede remezclarse sin producir deformaciones

permanentes ni daños en la estructura que aún está en formación.

### **C. FRAGUADO FINAL**

Se obtiene al término de la de etapa de fraguado inicial caracterizándose por un endurecimiento significativo y deformaciones permanentes. La estructura del gel está constituida por el ensamble definitivo de sus partículas endurecidas.

### **D. ENDURECIMIENTO**

Se produce a partir del fraguado final y es el estado en que se mantienen e incrementan con el tiempo las características resistentes, es el estado final de la pasta en que se evidencia totalmente las influencias de la composición del cemento.

#### **2.2.8. ESTRUCTURA DEL CEMENTO HIDRATADO**

Un concepto básico que nos permite entender el comportamiento del concreto reside en que el volumen de los productos originados por la hidratación siempre es menor que la suma de los volúmenes de agua y cemento que los originan, debido a que por combinación química el volumen de agua disminuye en un 25%, lo que trae como consecuencia la contracción de la pasta endurecida.

Los productos de hidratación son:

- **GEL DE CEMENTO**

El agua contenida en este producto denominado "gel" es la que hidrata al cemento, por lo que no se evapora por ser intrínseca y esencial de la reacción química.

- **POROS DE GEL**

Son espacios muy pequeños entre los productos de gel de cemento, no siendo esenciales en la reacción química, por lo que pueden evaporarse.

- **POROS CAPILARES**

Son espacios con mayor tamaño que los poros gel, en donde se puede ubicar al agua capilar.

### **2.2.9. TIPOS DE CEMENTOS Y SUS APLICACIONES PRINCIPALES**

Los cementos Pórtland, se fabrican en cinco tipos cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de la especificación ASTM de Normas para el cemento Pórtland (C-150) tenemos:

#### **a)Cemento Portland TIPO I**

Es el cemento destinado a Obras de concreto en general uso general, donde no se requiere de propiedades especiales. Es el cemento que se utiliza para el desarrollo de la tesis de investigación.

#### **b)Cemento Portland TIPO I**

Es un cemento que presenta una moderada resistencia a los sulfatos y una moderada hidratación, recomendada para vaciados de

---

concreto masivos (moderado calor de hidratación).

### **c) Cemento Portland TIPO III**

Es un cemento que por su composición química ofrece una alta resistencia inicial, recomendado para climas fríos o para una puesta de Servicios más adelantada de las estructuras. El concreto hecho con el cemento Pórtland Tipo III desarrolla una resistencia en tres días igual a la desarrollada en los 28 días por concretos hechos con cemento Tipo I o Tipo II.

### **d)Cemento Portland TIPO IV**

Es un cemento de bajo calor de hidratación recomendado para vaciado de concreto masivo o para zonas altas de temperatura ambiente.

### **e)Cemento Portland TIPO V**

Este tipo de cemento se fabrica para zonas de trabajo donde exista un ataque bastante agresivo de sulfatos y es de moderado calor de hidratación.

También es importante mencionar otros tipos de cementos que son utilizados en nuestro medio, que son obtenidos a partir de algunos tipos de cementos mencionados anteriormente y por adición de algún material o sustancia, tenemos:

### **f) Cemento Portland TIPO IS**

Cemento al que se le ha añadido entre un 25 % a 70% de escoria de altos hornos referido al peso total.

### **g) Cemento Portland TIPO ISM**

Cemento al que se ha añadido menos del 25 % de escoria de altos hornos referido al peso total.

### **h) Cemento Portland TIPO IP**

Cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje que está entre el 15% y 40% de su peso total.

### **i) Cemento Portland TIPO IPM**

Cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje de hasta el 15% de su peso total.

El cemento empleado en la preparación del concreto deberá cumplir con algunos requisitos de las siguientes Normas ITINTEC para cementos Portland:

Cementos Portland Tipo I, II y V que corresponden respectivamente a las Normas ITINTEC 304.009, 334.038, 334.040

Cementos Portland Tipo IP y IPM que corresponden a la Normas ITINTEC 304.044.

## **2.3. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO (PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE PESO NORMAL)**

El proporcionamiento de mezclas de concreto, más comúnmente llamado diseño de mezclas es un proceso que consiste de pasos dependientes entre sí:



- a) Selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos).
- b) Determinación de sus cantidades relativas "proporcionamiento" para producir un, tan económico como sea posible, un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada.

Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales.

Aunque se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada así como una trabajabilidad apropiada. Además es asumido que si se logran estas dos propiedades las otras propiedades del concreto también serán satisfactorias (excepto la resistencia al congelamiento y deshielo u otros problemas de durabilidad tales como resistencia al ataque químico). Sin embargo antes de pasar a ver los métodos de diseño en uso común en este momento, será de mucha utilidad revisar, en más detalle, las consideraciones básicas de diseño.

### 2.3.1. CONSIDERACIONES BÁSICAS

#### A. Economía

El costo del concreto es la suma del costo de los materiales, de la mano de obra empleada y el equipamiento. Sin embargo excepto para algunos concretos especiales, el costo de la mano de obra y el equipamiento son muy independientes del tipo y calidad del concreto producido. Por lo tanto los costos de los materiales son los más importantes y los que se deben tomar en cuenta para comparar mezclas diferentes. Debido a que el cemento es más costoso que los agregados, es claro que minimizar el contenido del cemento en el concreto es el factor más importante para reducir el costo del concreto. En general, esto puede ser echo del siguiente modo:

- Utilizando el menor slump que permita una adecuada colocación.
- Utilizando el mayor tamaño máximo del agregado (respetando las limitaciones indicadas en el capítulo anterior).
- Utilizando una relación óptima del agregado grueso al agregado fino.
- Y cuando sea necesario utilizando un aditivo conveniente.

Es necesario además señalar que en adición al costo, hay otros beneficios relacionados con un bajo contenido de cemento. En general, las contracciones serán reducidas y habrá menor calor de hidratación. Por otra parte un muy bajo contenido de cemento, disminuirá la resistencia temprana del concreto y la uniformidad del concreto será una consideración crítica.

La economía de un diseño de mezcla en particular también debería tener en cuenta el grado de control de calidad que se espera en obra. Como discutiremos en capítulos posteriores, debido a la variabilidad inherente del concreto, la resistencia promedio del concreto producido debe ser más alta que la resistencia a compresión mínima especificada. Al menos en pequeñas obras, podría ser más barato "sobrediseñar" el concreto que implementar el extenso control de calidad que requeriría un concreto con una mejor relación costo – eficiencia.

## **B. Trabajabilidad**

Claramente un concreto apropiadamente diseñado debe permitir ser colocado y compactado apropiadamente con el equipamiento disponible. El acabado que permite el concreto debe ser el requerido y la segregación y sangrado deben ser minimizados. Como regla general el concreto debe ser suministrado con la trabajabilidad mínima que permita una adecuada colocación. La cantidad de agua requerida por trabajabilidad dependerá principalmente de las características de los agregados en lugar de las características del cemento.

Cuando la trabajabilidad debe ser mejorada, el rediseño de la mezcla debe consistir en incrementar la cantidad de mortero en lugar de incrementar simplemente el agua y los finos (cemento). Debido a esto es esencial una cooperación entre el diseñador y el constructor para asegurar una buena mezcla de concreto. En algunos casos una menos

mezcla económica podría ser la mejor solución. Y se deben prestar oídos sordos al frecuente pedido, en obra, de "más agua".

### **C. Resistencia y durabilidad**

En general las especificaciones del concreto requerirán una resistencia mínima a compresión. Estas especificaciones también podrían imponer limitaciones en la máxima relación agua/cemento (a/c) y el contenido mínimo de cemento. Es importante asegurar que estos requisitos no sean mutuamente incompatibles.

Como veremos en otros capítulos, no necesariamente la resistencia a compresión a 28 días será la más importante, debido a esto la resistencia a otras edades podría controlar el diseño.

Las especificaciones también podrían requerir que el concreto cumpla ciertos requisitos de durabilidad, tales como resistencia al congelamiento y deshielo o ataque químico. Estas consideraciones podrían establecer limitaciones adicionales en la relación agua cemento (a/c), el contenido de cemento y en adición podría requerir el uso de aditivos.

Entonces, el proceso de diseño de mezcla, envuelve cumplir con todos los requisitos antes vistos. Asimismo debido a que no todos los requerimientos pueden ser optimizados simultáneamente, es necesario compensar unos con otros; (por ejemplo puede ser mejor emplear una dosificación que para determinada cantidad de cemento no tiene la

mayor resistencia a compresión pero que tiene una mayor trabajabilidad).

Finalmente debe ser recordado que incluso la mezcla perfecta no producirá un concreto apropiado si no se lleva a cabo procedimientos apropiados de colocación, acabado y curado.

### **2.3.2. INFORMACION REQUERIDA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS**

- Análisis granulométrico de los agregados.
- Peso unitario compactado de los agregados (fino y grueso).
- Peso específico de los agregados (fino y grueso).
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso).
- Perfil y textura de los agregados.
- Tipo y marca del cemento.
- Peso específico del cemento.
- Relaciones entre resistencia y la relación agua/cemento, para combinaciones posibles de cemento y agregados.

### **2.3.3. PASOS PARA EL PROPORCIONAMIENTO**

Podemos resumir la secuencia del diseño de mezclas en::

1. Estudio detallado de los planos y especificaciones técnicas de obra.
2. Elección de la resistencia promedio ( $f'cr$ ).
3. Elección del Asentamiento (Slump).

4. Selección del tamaño máximo del agregado grueso.
5. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.
6. Selección de la relación agua/cemento (a/c).
7. Cálculo del contenido de cemento.
8. Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.
9. Ajustes por humedad y absorción.
10. Cálculo de proporciones en peso.
11. Cálculo de proporciones en volumen.
12. Cálculo de cantidades por tanda.

### **1) Especificaciones técnicas**

Antes de diseñar una mezcla de concreto debemos tener en mente, primero, el revisar los planos y las especificaciones técnicas de obra, donde podremos encontrar todos los requisitos que fijó el ingeniero proyectista para que la obra pueda cumplir ciertos requisitos durante su vida útil.

### **2) Elección de la resistencia promedio ( $f'cr$ )**

#### **A) Cálculo de la desviación estándar**

#### **MÉTODO 1**

Si se posee un registro de resultados de ensayos de obras anteriores deberá calcularse la desviación estándar. El registro deberá:

- a) Representar materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a aquellos que se espera en la obra que se va a iniciar.
- b) Representar a concretos preparados para alcanzar una resistencia de diseño  $f'c$  que este dentro del rango de  $\pm 70$  kg/cm<sup>2</sup> de la especificada para el trabajo a iniciar.

Si se posee un registro de 3 ensayos consecutivos la desviación estándar se calculará aplicando la siguiente fórmula:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}}$$

Donde:

$\bar{S}$  = Desviación estándar, en kg/cm<sup>2</sup>

$X_i$  = Resistencia de la probeta de concreto, en kg/cm<sup>2</sup>

$\bar{X}$  = Resistencia promedio de  $n$  probetas, en kg/cm<sup>2</sup>

$n$  = Número de ensayos consecutivos de resistencia.

- c) Consistir de por lo menos 30 ensayos consecutivo o dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos 30 ensayos. Si se posee dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos un registro de 30 ensayos consecutivos, la desviación estándar promedio se calculará con la siguiente fórmula:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)(S_1)^2 + (n_2 - 1)(S_2)^2}{(n_1 + n_2 - 2)}}$$

Donde:

$\bar{S}$  = Desviación estándar promedio en  $kg/cm^2$

$S_1, S_2$  = Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2  
respectivamente en  $kg/cm^2$

$n_1, n_2$  = Número de ensayos en cada grupos, respectivamente.

## **MÉTODO 2**

Si solo se posee un registro de 15 a 29 ensayos consecutivos, se calculara la desviación estándar "s" correspondiente a dichos ensayos y se multiplicara por el factor de corrección indicado en la tabla 2.1 para obtener el nuevo valor de "s".

El registro de ensayos a que se hace referencia en este Método deberá cumplir con los requisitos a), b) del método 1 y representar un registro de ensayos consecutivos que comprenda un periodo de no menos de 45 días calendario.

**Tabla 2.1. Factores de Corrección**

MUESTRAS	FACTOR DE CORRECCION
menos de 15	Usar tabla 2.2
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1



## B) Cálculo de la resistencia promedio requerida

Una vez que la desviación estándar ha sido calculada, la resistencia a compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ ) se obtiene como el mayor valor de las ecuaciones (1) y (2). La ecuación (1) proporciona una probabilidad de 1 en 100 que el promedio de tres ensayos consecutivos estará por debajo de la resistencia especificada. La ecuación (2) proporciona una probabilidad de similar de que ensayos individuales estén 35kg cm<sup>2</sup> por debajo de la resistencia especificada.

- a) Si la desviación estándar se ha calculado de acuerdo a lo indicado en el Método 1 o el Método 2, la resistencia promedio requerida será el mayor de los valores determinados por las formulas siguientes usando la desviación estándar "s" calculada.

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34 s \quad (1)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33 s - 35 \quad (2)$$

Donde:

S=desviación estándar, en kg/cm<sup>2</sup>.

- b) Si se desconoce el valor de la desviación estándar, se utilizara la Tabla 2.2 para la determinación de la resistencia promedio requerida.

**Tabla 2.2. Resistencia a la Compresión Promedio**

$f'_c$	$f'_{cr}$
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Sobre 350	$f'_c + 98$

### 3) Elección del Asentamiento (Slump)

- Si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la siguiente tabla:

**Tabla 3.1. Consistencia y Asentamientos**

Consistencia	Asentamiento
Seca Plástica Fluida	0" (0mm) a 2" (50mm) 3" (75mm) a 4" (100mm) ≥ 5" (125mm)

- Si las especificaciones de obra no indican la consistencia, ni asentamiento requeridos para la mezcla a ser diseñada, utilizando la tabla 3.2 podemos seleccionar un valor adecuado para un determinado trabajo que se va a realizar. Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser colocadas eficientemente.

**Tabla 3.2. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción**

TIPOS DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO (cm)	
	MÁXIMO	MÍNIMO
- Zapatas y muros de cimentación reforzados.	8	2
- Zapatas simples, cajones y muros de subestructura.	8	2
- Vigas y muros reforzados	10	2
- Columnas	10	2
- Pavimentos y losas	8	2
- Concreto ciclópeo y masivo.	5	2

#### 4) Selección de tamaño máximo del agregado

Las Normas de Diseño Estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que sea económicamente disponible, siempre que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura.

La *Norma Técnica de Edificación E. 060* prescribe que el agregado grueso no deberá ser mayor de:

- a.  $1/5$  de la menor dimensión entre las caras de encofrados; o
- b.  $1/3$  del peralte de la losa; o
- c.  $3/4$  del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de presfuerzo. El tamaño máximo nominal determinado aquí, será usado también como tamaño máximo simplemente.

Se considera que, cuando se incrementa el tamaño máximo del agregado, se reducen los requerimientos del agua de mezcla, incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregados hasta 40mm ( $1\frac{1}{2}$ "'). En tamaños mayores, sólo es aplicable a concretos con bajo contenido de cemento.

#### 5) Estimación del agua de mezclado y contenido de aire

La tabla 5.1, preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI, nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado.

**Tabla 5.1. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.**

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)		Agua en lt/m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
		10 mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	20 mm (3/4")	25 mm (1")	40 mm (1 1/2")	50 mm (2")	70 mm (3")	150 mm (6")
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")		205	200	185	280	160	155	145	125
80 a 100 (3" a 4")		225	215	200	295	175	170	170	140
150 a 180 (6" a 7")		240	230	210	205	185	180	180	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).		3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")		180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100 (3" a 4")		200	190	180	175	160	155	150	135
150 a 180 (6" a 7")		215	205	190	185	170	165	160	---
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5	4.5*	4.0*

Los valores del asentamiento para concreto con agregado más grande que 40mm (1½") se basan en las pruebas de Slump hechas después de retirar las partículas mayores de 40mm (1½") por tamizado húmedo.

Estos contenidos de agua de mezclado son valores máximos para agregado grueso angular y bien formado, y cuya granulometría está dentro de las especificaciones aceptadas (ASTM C 33 o ITINTEC 400.037).

\* Para concreto que contiene agregado grande será tamizado húmedo por una malla de 40mm (1½") antes de evaluar el contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en material más pequeño que 40mm (1½") debe ser el tabulado en la columna de 40mm (1½"). Sin embargo, los cálculos iniciales de las proporciones deben basarse en el contenido de aire como un porcentaje de la mezcla completa.

\*\* Estos valores se basan en el criterio de que se necesita un 9% del contenido de aire en la fase de mortero del concreto.

Como se observa, la tabla 5.1 no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados. Debemos hacer presente que estos valores tabulados son lo suficientemente aproximados para una primera estimación y que dependiendo del perfil, textura y granulometría de los agregados, los valores requeridos de agua de mezclado pueden estar algo por encima o por debajo de dichos valores. Al mismo tiempo, podemos usar la

tabla 5.2 para calcular la cantidad de agua de mezcla tomando en consideración, además de la consistencia y tamaño máximo del agregado, el perfil del mismo. Los valores de la tabla 5.2 corresponden a mezclas sin aire incorporado.

**Tabla 5.2. Contenido de agua de mezcla**

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Contenido de agua en el concreto, expresado en $lt/m^3$ , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
		25mm a 50mm (1"-2")		75mm a 100mm (3"-4")		150mm a 175mm (6"-7")	
mm.	Pulg.	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso
9.5	3/8"	185	212	201	227	230	250
12.7	1/2"	182	201	197	216	219	238
19.1	3/4"	170	189	185	204	208	227
25.4	1"	163	182	178	197	197	216
38.1	1½"	155	170	170	185	185	204
50.8	2"	148	163	163	178	178	197
76.2	3"	136	151	151	167	163	182

La tabla 5.2 nos muestra también el *volumen aproximado de aire atrapado*, en porcentaje, a ser esperado en un concreto sin aire incorporado y los promedios recomendados del contenido total de aire, en función del grado de exposición, para concretos con aire incorporado intencionalmente por razones de durabilidad a ciclos de congelamiento y deshielo, agua de mar o sulfatos.

Obtenidos los valores de cantidad de agua y de aire atrapado para un metro cúbico de concreto procedemos a calcular el volumen que ocupan dentro de la unidad de volumen de concreto:

$$\text{Volumen de agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{contenido de agua de mezcla (lts/m}^3\text{)}}{\text{Peso específico del agua (1000 kg/m}^3\text{)}}$$

## 6) Elección de la relación agua/cemento (a/c)

Existen dos criterios (por resistencia, y por durabilidad) para la selección de la relación a/c, de los cuales se elegirá el menor de los valores, con lo cual se garantiza el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones. Es importante que la relación a/c seleccionada con base en la resistencia satisfaga también los requerimientos de durabilidad.

### 6.1. Por resistencia

Para concretos preparados con cemento Pórtland tipo 1 o cementos comunes, puede tomarse la relación a/c de la tabla 6.1.

**Tabla 6.1. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS ( $F'_{cr}$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )*	RELACIÓN AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

\* Los valores corresponden a resistencias promedio estimadas para concretos que no contengan más del porcentaje de aire mostrado en la tabla 5.1. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme aumenta el contenido de aire.

## 6.2. Por durabilidad

La Norma Técnica de Edificación E.060 prescribe que si se desea un concreto de baja permeabilidad, o el concreto ha de estar sometido a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda. Se deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla 6.2.

**Tabla 6.2. Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sometida a condiciones especiales de exposición**

CONDICIONES DE EXPOSICIÓN	RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA.
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce.	0.50
b) Expuesto a agua de mar o aguas salobres.	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales. (*)	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.	0.45
b) Otros elementos.	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de esta agua.	0.40
Si el reubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.	0.45

(\*) La resistencia  $F'c$  no deberá ser menor de 245 kg/cm<sup>2</sup> por razones de durabilidad.

## METODO DE FÜLLER:

Este método es general y se aplica cuando los agregados no cumplan con la Norma ASTM C 33. Asimismo se debe usar para dosificaciones con más de 300 kg de cemento por metro cúbico de concreto y para tamaños máximos del agregado grueso comprendido entre 20mm (3/4") y 50mm (2").

$$\text{Relación: } a/c = \frac{1}{Z}; Z = K_1 \cdot R_m + 0.5$$

Donde:

$K_1$  : Factor que depende de la forma del agregado. De 0.0030 a 0.0045 para piedra chancada y de 0.0045 a 0.0070 para piedra redondeada.

$R_m$ : Resistencia promedio requerida.

### 7) Cálculo del contenido de cemento

Una vez que la cantidad de agua y la relación a/c han sido estimadas, la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua por la relación a/c. Sin embargo es posible que las especificaciones del proyecto establezcan una cantidad de cemento mínima. Tales requerimientos podrían ser especificados para asegurar un acabado satisfactorio, determinada calidad de la superficie vertical de los elementos o trabajabilidad.

$$\text{Contenido de cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de agua mezclado (lts/m}^3\text{)}}{\text{Relación a/c (para } f'_{cr}\text{)}}$$

$$\text{Volumen de cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de cemento (kg)}}{\text{Peso específico del cemento (kg/m}^3\text{)}}$$



## 8) Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.

### MÉTODO DE FÜLLER

$$P_d = 100\sqrt{d/D}$$

Donde:

$P_d$  : % que pasa por la malla  $d$ .

$d$  : Abertura de la malla de referencia.

$D$  : Tamaño máximo del agregado grueso.

La relación arena/agregado, el volumen absoluto, se determina gráficamente:

- Se dibujan las curvas granulométricas de los 2 agregados.
- En el mismo papel, se dibuja la parábola de Füller (Ley de Füller).
- Por la malla N<sup>o</sup> 4 trazamos una vertical la cual determinará en las curvas trazadas 3 puntos.

$A$  = % Agregado fino que pasa por la malla N<sup>o</sup> 4.

$B$  = % Agregado grueso que pasa por la malla N<sup>o</sup> 4.

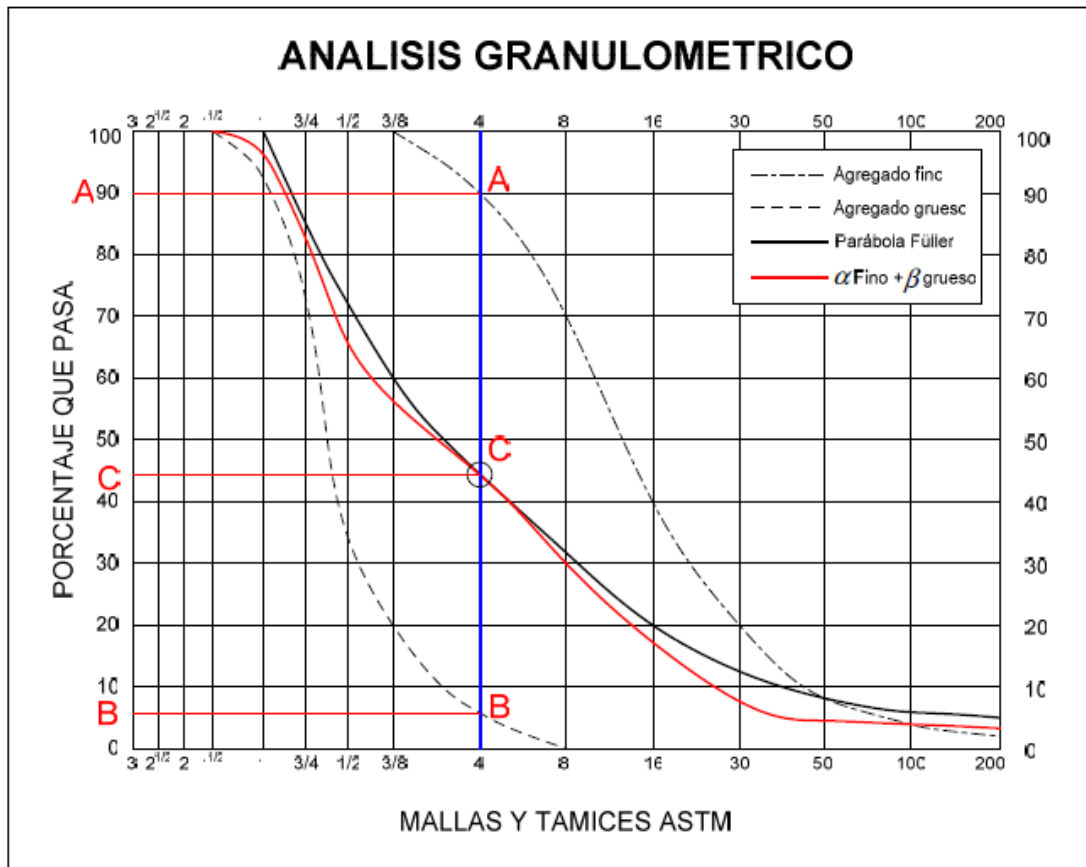
$C$  = % Agregado ideal que pasa por la malla N<sup>o</sup> 4.

Si llamamos:

$a$  : % en volumen absoluto del agregado fino dentro de la mezcla de agregados.

$b$  : % en volumen absoluto del agregado grueso dentro de la mezcla de agregados.

Figura 8.1. Proporcionamiento de agregados, Método de *Füller*



La figura 8.1. Nos muestra un ejemplo de la determinación de las proporciones de agregado fino y agregado grueso en relación a volumen total de agregados por metro cúbico de concreto.

$$\alpha = \frac{C - B}{A - B} \times 100$$

$$\beta = 100 - \alpha$$

Teniendo los valores de a y b podemos calcular el volumen de agregado fino y agregado grueso por metro cúbico de concreto, de la siguiente manera:

$$\text{Vol. total de agregados} = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento})$$

$$Vol. agregadosfino (m^3) = \frac{\alpha}{100} x Vol. total de agregados (m^3)$$

$$Vol. agregadosgrueso (m^3) = \frac{\beta}{100} x Vol. total de agregados (m^3)$$

Obtenidos los volúmenes de agregado fino y grueso dentro de un metro cúbico de concreto, calculamos los pesos de agregado fino y grueso para un metro cúbico de concreto:

$$Peso ag. fino (kg/m^3) = (Vol. ag. fino)(Peso específico del ag. fino)$$

$$Peso ag. grueso (kg/m^3) = (Vol. ag. grueso)(Peso específico del ag. grueso)$$

#### **METODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI:**

Se determina el contenido de agregado grueso mediante la tabla 7.1, elaborada por el Comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. La tabla 7.1 permite obtener un coeficiente  $0 b / b$  resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 7.1. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto**

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
		MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
mm.	Pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8"	5.00	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

\* Los volúmenes de agregado grueso mostrados, está en condición seca y compactada, tal como se describe en la norma ASTM C29.

Estos volúmenes han sido seleccionados a partir de relaciones empíricas para producir concretos con un grado adecuado de trabajabilidad para construcciones armadas usuales. Para concretos menos trabajables, tales como el requerido en la construcción de pavimentos, pueden incrementarse los valores en 10% aprox. Para concretos más trabajables, tales como los que pueden requerirse cuando la colocación es hecha por bombeo, los valores pueden reducirse hasta en un 10%.

Obtenido  $b / b_0$  procedemos a calcular la cantidad de agregado grueso necesario para un metro cúbico de concreto, de la siguiente manera:

$$\text{Peso seco del A. grueso (kg/m}^3) = \frac{b}{b_0} \times (\text{Peso unitario compactado del A. grueso})$$

Entonces los volúmenes de los agregados grueso y fino serán:

$$\text{Vol. agregado grueso (m}^3) = \frac{\text{Peso seco del A. grueso}}{\text{Peso específico del A. grueso}}$$

$$\text{Vol. agregado fino (m}^3) = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. A. grueso})$$

Por consiguiente el peso seco del agregado fino será:

$$\text{Peso A. fino (kg/m}^3) = (\text{Vol. A. fino})(\text{Peso específico del A. fino})$$

### METODO DEL MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS:

Las investigaciones realizadas en la Universidad de Maryland han permitido establecer que la combinación de los agregados fino y grueso, cuando éstos tienen granulometrías comprendidas dentro de los límites que establece la Norma ASTM C 33, debe producir un concreto trabajable en condiciones ordinarias, si el módulo de fineza de la combinación de agregados se aproxima a los valores indicados en la tabla 7.2.

**Tabla 7.2. 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 contenidos de cemento en sacos/metro cúbico indicados.				
mm.	Pulg.	5	6	7	8	9
10	3/8"	3.88	3.96	4.04	4.11	4.19
12.5	1/2"	4.38	4.46	4.54	4.61	4.69
20	3/4"	4.88	4.96	5.04	5.11	5.19
25	1"	5.18	5.26	5.34	5.41	5.49
40	1 1/2"	5.48	5.56	5.64	5.71	5.79
50	2"	5.78	5.86	5.94	6.01	6.09
70	3"	6.08	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 en el porcentaje de vacíos.

\*\* Los valores de la Tabla pueden dar mezclas ligeramente sobrearenosas para pavimentos o estructuras ciclópeas. Para condiciones de colocación favorables pueden ser incrementados en 0.2.

De la tabla 7.2 obtenemos el módulo de fineza de la combinación de agregados ( $c m$ ), al mismo tiempo contamos, previamente, con valores de los módulos de fineza del agregado fino ( $m f$ ) y del agregado grueso ( $m g$ ),

de los cuales haremos uso para obtener el porcentaje de agregado fino respecto al volumen total de agregados mediante la siguiente fórmula:

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \times 100$$

Donde:

$r_f$  = Porcentaje del volumen de agregado fino con respecto al volumen total de agregados.

Entonces los volúmenes de agregado fino y agregado grueso por metro cúbico de concreto son:

$$\text{Vol. total de agregados} = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. cemento})$$

$$\text{Vol. agregados fino (m}^3\text{)} = \frac{r_f}{100} \times (\text{Vol. total de agregados})$$

$$\text{Vol. agregados grueso (m}^3\text{)} = \text{Vol. total de agregados} - \text{Vol. agregado fino}$$

Por tanto, los pesos de los agregados en un metro cúbico de concreto son:

$$\text{Peso A. fino (kg/m}^3\text{)} = (\text{Vol. A. fino})(\text{Peso específico del A. fino})$$

$$\text{Peso A. grueso (kg/m}^3\text{)} = (\text{Vol. A. grueso})(\text{Peso específico del A. grueso})$$

#### **METODO DE WALKER:**

La tabla 7.3, elaborado por Walter, permite determinar el porcentaje aproximado de agregado fino en relación al volumen total de agregados, en función del módulo de fineza del agregado fino, el tamaño máximo nominal del agregado grueso, el perfil del mismo y el contenido de cemento en la unidad cúbica de concreto.

**Tabla 7.3. Porcentaje de agregado fino**

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso		Agregado Redondeado				Agregado Angular			
		Factor cemento expresado en sacos por metro cúbico				Factor cemento expresado en sacos por metro cúbico			
mm.	Pulg.	5	6	7	8	5	6	7	8
<b>Agregado Fino – Módulo de Fineza de 2.3 a 2.4</b>									
10	3/8	60	57	54	51	69	65	61	58
12.5	1/2	49	46	43	40	57	54	51	48
20	3/4	41	38	35	33	48	45	43	41
25	1	40	37	34	32	47	44	42	40
40	1 1/2	37	34	32	30	44	41	39	37
50	2	36	33	31	29	43	40	38	36
70	3	34	32	30	28	41	38	36	34
<b>Agregado Fino – Módulo de Fineza de 2.6 a 2.7</b>									
10	3/8	66	62	59	56	75	71	67	64
12.5	1/2	53	50	47	44	61	58	55	53
20	3/4	44	41	38	36	51	48	46	44
25	1	42	39	37	35	49	46	44	42
40	1 1/2	40	37	35	33	47	44	42	40
50	2	37	35	33	32	45	42	40	38
70	3	35	33	31	30	43	40	38	36
<b>Agregado Fino – Módulo de Fineza de 3.0 a 3.1</b>									
10	3/8	74	70	66	62	84	80	76	73
12.5	1/2	59	56	53	50	70	66	62	59
20	3/4	49	46	43	40	57	54	51	48
25	1	47	44	41	38	55	52	49	46
40	1 1/2	44	41	38	36	52	49	46	44
50	2	42	38	36	34	49	46	44	42
70	3	39	36	34	32	46	43	41	39

\* Los valores de la Tabla corresponden a porcentajes del agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado.

\*\* Los valores corresponden a agregado grueso angular en concretos de peso normal sin aire incorporado.

De la tabla obtenemos el valor de  $\alpha$  (porcentaje de agregado fino), con el cual procedemos de la siguiente manera:

$$Vol. total de agregados = 1 - (Vol. agua + Vol. aire + Vol. cemento)$$

$$Vol. agregado fino (m^3) = \frac{\alpha}{100} \times (Vol. total de agregados)$$

$$Vol. agregado grueso (m^3) = Vol. total de agregados - Vol. A. fino$$

Por tanto, los pesos de los agregados en un metro cúbico de concreto son:

$$Peso A. fino (kg/m^3) = (Vol. A. fino) \times (Peso específico del A. fino)$$

$$\text{Peso A. grueso (kg/m}^3\text{)} = (\text{Vol. A. grueso})(\text{Peso específico del A. grueso})$$

### 9) Ajustes por humedad y absorción

El contenido de agua añadida para formar la pasta será afectada por el contenido de humedad de los agregados. Si ellos están secos al aire absorberán agua y disminuirán la relación a/c y la trabajabilidad. Por otro lado si ellos tienen humedad libre en su superficie (agregados mojados) aportarán algo de esta agua a la pasta aumentando la relación a/c, la trabajabilidad y disminuyendo la resistencia a compresión. Por lo tanto estos efectos deben ser tomados estimados y la mezcla debe ser ajustada tomándolos en cuenta.

Por lo tanto:

Si:

$$\text{Agregado Grueso} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_g \\ \% \text{ absorción} = \%a_g \end{cases}$$

$$\text{Agregado Fino} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_f \\ \% \text{ absorción} = \%a_f \end{cases}$$

#### Pesos de agregados húmedos:

$$\text{Peso A. grueso húmedo (kg)} = (\text{Peso A. grueso seco}) \left( 1 + \frac{\%W_g}{100} \right)$$

$$\text{Peso A. fino húmedo (kg)} = (\text{Peso A. fino seco}) \left( 1 + \frac{\%W_f}{100} \right)$$

#### Agua efectiva:

$$\text{Agua en agregado grueso} = (\text{Peso A. grueso seco}) \left( \frac{\%W_g - \%a_g}{100} \right) = X$$

$$\text{Agua en agregado fino} = (\text{Peso A. fino seco}) \left( \frac{\%W_f - \%a_f}{100} \right) = Y$$



$$\text{Agua efectiva (Lts)} = \text{Aguade diseño} - (X + Y)$$

### 10) Cálculo de las proporciones en peso:

*Cemento* : *Agregado fino* : *Agregado Grueso* / *Agua*

$$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. fino húmedo}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. grueso húmedo}}{\text{Peso cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Peso cemento}}$$

### 11) Cálculo de las proporciones en volumen:

#### 11.1. Datos Necesarios:

- Peso unitario suelto del cemento (1500 Kg/m<sup>3</sup>).
- Pesos unitarios sueltos de los agregados fino y grueso (en condición de humedad a la que se ha determinado la dosificación en peso).

#### 11.2. Volúmenes en estado suelto:

❖ *Cemento* :

$$\text{Vol. cemento}(m^3) = \frac{\text{Peso cemento (kg)}}{P. U. cemento (1500 kg/m^3)}$$

❖ *Agregado Fino* :

$$\text{Vol. A. fino}(m^3) = \frac{\text{Peso A. fino húmedo (kg)}}{P. U. A. fino húmedo (kg/m^3)}$$

❖ *Agregado Grueso* :

$$\text{Vol. A. grueso}(m^3) = \frac{\text{Peso A. grueso húmedo (kg)}}{P. U. A. grueso húmedo (kg/m^3)}$$

En el caso del agua, éste se calculará en litros por bolsa de cemento (Lts/Bls), de la siguiente manera:

$$\text{Agua (Lts/Bls)} = \frac{\text{Cantidad de agua por m}^3 \text{ de C}^\circ}{\left( \frac{\text{Peso cemento por m}^3 \text{ de C}^\circ}{\text{Pesp cemento por bolsa (42.5)}} \right)}$$

### 11.3. Proporciones en volumen:

*Cemento : Agregado fino : Agregado Grueso / Agua (Lts/Bls)*

$$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. fino húmedo}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. grueso húmedo}}{\text{Peso cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Peso cemento}}$$

$$C : F : G / A$$

## 12) Cálculo de cantidades por tanda:

### 12.1 Datos necesarios:

- Capacidad de la mezcladora.
- Proporciones en volumen.

### 12.2 Cantidad de bolsas de cemento requerido:

$$\text{Cant. de bls requerida} = \frac{(\text{Cap. mezcladora (pie}^3)) (0.0283 \text{ m}^3) (\text{P. cemento (kg)})}{\text{Peso cemento por bolsa (42.5 kg)}}$$

### 12.3 Eficiencia de la mezcladora:

Debido a que la mezcladora debe ser abastecida por un número entero de bolsas de cemento, la cantidad de bolsas de cemento por tanda será igual a un número entero menor a la cantidad de bolsas requerida por la mezcladora.

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Cantidad de bolsas de emento por tanda}}{\text{cantidad de bolsas requerido}} \times 100$$

#### 12.4 Volumen de concreto por tanda:

$$\text{Vol. de } C^\circ \text{ por tanda} = (\text{Cap. mezcladora}(\text{pie}^3)) (0.0283 \text{ m}^3) \left( \frac{\text{Eficiencia } (\%)}{100} \right)$$

#### 12.5 Cantidades de materiales por tanda:

Teniendo las proporciones en volumen (C:F:G/A), calculamos las cantidades de materiales por tanda:

- ❖ Cemento :  $1 \times 2 = 2$  bolsas.
- ❖ Agregado Fino :  $F \times 2 =$  Cantidad de A. Fino en  $\text{m}^3$ .
- ❖ Agregado Grueso:  $G \times 2 =$  Cantidad de A. Grueso en  $\text{m}^3$ .
- ❖ Agua :  $A \times 2 =$  Cantidad de agua en Lts.

# CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. CEMENTO

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

Dosificado y mezclado apropiadamente con agua y áridos debe producir un hormigón o mortero que conserve su trabajabilidad durante un tiempo suficiente, alcanzar unos niveles de resistencias preestablecido y presentar una estabilidad de volumen a largo plazo.

El endurecimiento hidráulico del cemento se debe principalmente a la hidratación de los silicatos de calcio, aunque también pueden participar en el proceso de endurecimiento otros compuestos químicos, como por ejemplo, los aluminatos. La suma de las proporciones de óxido de calcio reactivo (CaO) y de dióxido de silicio reactivo (SiO<sub>2</sub>) será al menos del 50% en masa, cuando las proporciones se determinen conforme con la Norma Europea EN 196-2.

Los cementos están compuestos de diferentes materiales (componentes) que adecuadamente dosificadas mediante un proceso de producción controlado, le

dan al cemento las cualidades físicas, químicas y resistencias adecuadas al uso deseado.

Existen, desde el punto de vista de composición normalizada, dos tipos de componentes:

- Componente principal: Material inorgánico, especialmente seleccionado, usado en proporción superior al 5% en masa respecto de la suma de todos los componentes principales y minoritarios.
- Componente minoritario: Cualquier componente principal, usado en proporción inferior al 5% en masa respecto de la suma de todos los componentes principales y minoritarios.

### **3.1.1. DESCRIPCIÓN DE SUS COMPONENTES:**

#### **A. Caliza (L)**

Especificaciones:

- $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$  en masa.
- Contenido de arcilla  $< 1,20$  g/100 g.
- Contenido de carbono orgánico total (TOC)  $\leq 0,50\%$  en masa.

#### **B. Caliza (LL)**

Especificaciones:

- $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$  en masa.
- Contenido de arcilla  $< 1,20$  g/100 g.
- Contenido de carbono orgánico total (TOC)  $\leq 0,20\%$  en masa.

### C. Cenizas volantes calcáreas (W)

Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado. La ceniza volante calcárea es un polvo fino que tiene propiedades hidráulicas y/o puzolánicas.

Composición:  $\text{SiO}_2$  reactivo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y otros compuestos.

Especificaciones:

- CaO reactivo > 10,0% en masa si el contenido está entre el 10,0% y el 15,0% las cenizas volantes calcáreas con más del 15,0% tendrán una resistencia a compresión de al menos 10,0 Mpa a 28 días
- $\text{SiO}_2$  reactivo  $\geq 25\%$
- Expansión estabilidad)  $\leq 10$  mm
- Pérdida por calcinación  $\leq 5,0\%$  en masa si está entre el 5,0% y 7,0% en masa (pueden también aceptarse, con la condición de que las exigencias particulares de durabilidad, y principalmente en lo que concierne a la resistencia al hielo, y la ompatibilidad con los aditivos, sean cumplidas conforme a las normas o reglamentos en vigor para hormigones o morteros en los lugares de utilización)

### D. Cenizas volantes silíceas (V)

Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado. La ceniza

volante silíceo es un polvo fino de partículas esféricas que tiene propiedades puzolánicas.

Composición química:  $\text{SiO}_2$  reactivo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y otros compuestos.

Especificaciones:

- $(\text{SiO}_2)$  reactivo  $\geq 25\%$
- CaO reactivo  $< 10,0\%$  en masa
- CaO libre  $< 1,0\%$  en masa si el contenido es superior al  $1,0\%$  pero inferior al  $2,5\%$  es también aceptable con la condición de que el requisito de la expansión (estabilidad) no sobrepase los 10 mm
- Pérdida por calcinación  $< 5,0\%$  en masa si el contenido está entre el  $5,0\%$  y  $7,0\%$  en masa pueden también aceptarse, con la condición de que las exigencias particulares de durabilidad, y principalmente en lo que concierne a la resistencia al al hielo, y la compatibilidad con los aditivos, sean cumplidas conforme a las normas o reglamentos en vigor para hormigones o morteros en los lugares de utilización.

#### E. Clínker (K)

El clínker de cemento portland es un material hidráulico que se obtiene por sintetización de una mezcla especificada con precisión de materias primas (crudo, pasta o harina).

Composición química: CaO,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y otros compuestos.

Especificaciones:

- $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2) \geq 2,0$



- $MgO \leq 5,0\%$
- $3CaO.SiO_2 + 2CaO.SiO_2 \geq 2/3$

#### **F. Clínker Aluminato de Calcio**

El clínker de cemento de aluminato de calcio es un material hidráulico que se obtiene por fusión o sinterización de una mezcla homogénea de materiales aluminosos y calcáreos conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, siendo los principales los óxidos de aluminio, calcio y hierro ( $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ), y pequeñas cantidades de óxidos de otros elementos ( $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $S=$ ,  $SO_3$ ,  $Cl-$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , etc.). El componente mineralógico fundamental es el aluminato monocálcico ( $CaO Al_2O_3$ ).

#### **G. Escoria granulada de horno alto (S)**

La escoria granulada de horno alto se obtiene por enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición adecuada, obtenida por la fusión del mineral de hierro en un horno alto.

Composición química:  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $MgO$ ,  $Al_2O_3$  y otros compuestos.

Especificaciones:

- Fase vítrea  $\geq 2/3$
- $CaO + MgO + SiO_2 \geq 2/3$
- $(CaO + MgO)/SiO_2 > 1,0$

#### **H. Esquistos calcinados (T)**

El esquisto calcinado, particularmente el bituminoso, se produce en un horno especial a temperaturas de aproximadamente  $800^{\circ}C$  y

finamente molido presenta propiedades hidráulicas pronunciadas, como las del cemento Portland, así como propiedades puzolánicas.

Composición:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y otros compuestos.

Especificaciones:

- Resistencia a compresión a 28 días  $\geq 25,0$  MPa
- La expansión estabilidad)  $\leq 10$  mm

**NOTA:** Si el contenido en sulfato  $\text{SO}_3$  del esquistos calcinados excede el límite superior permitido para el contenido de sulfato en el cemento, esto debe tenerse en cuenta por el fabricante del cemento reduciendo convenientemente los constituyentes que contienen sulfato de calcio.

#### I. Humo de Sílice (D)

El humo de Sílice se origina por la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos de arco eléctrico, para la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio, y consiste en partículas esféricas muy finas. Especificaciones:

- $\text{SiO}_2$ ) amorfo  $\geq 85\%$
- Pérdida por calcinación  $\leq 4,0\%$  en masa
- Superficie específica BET)  $\geq 15,0$  m<sup>2</sup>/g

#### J. Puzolana natural (P)

Las puzolanas naturales son normalmente materiales de origen volcánico o rocas sedimentarias de composición silíceas o silico-aluminosas o combinación de ambas, que finamente molidos y en

presencia de agua reaccionan para formar compuestos de silicato de calcio y aluminato de calcio capaces de desarrollar resistencia.

Composición química:  $SiO_2$  reactivo,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$  y otros compuestos. Especificaciones:  $SiO_2$  reactiva > 25%

#### **K. Puzolana natural calcinada (Q)**

Las puzolanas naturales calcinadas son materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por tratamiento térmico. Composición química:  $SiO_2$  reactivo,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$  y otros compuestos.

Especificaciones:  $SiO_2$  reactiva > 25%

### **3.2. AGUA PARA EL CONCRETO**

#### **3.2.1. GENERALIDADES**

El agua es un elemento fundamental para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, por lo tanto este componente debe cumplir ciertos requisitos para llevar a cabo su función en la combinación química, sin ocasionar problemas colaterales si tiene ciertas sustancias que pueden dañar al concreto.

El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

1. Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
2. Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
3. Procurar la estructura de vacíos necesarias en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacios para desarrollarse.

### 3.2.2. VALORES LÍMITES DEL AGUA PARA EL CONCRETO

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma específica y ser de preferencia potable u otra procedencia pero exigiendo los límites que se dan a continuación:

**TABLA Nº 2.2.2**

#### **REQUISITOS PARA AGUA DE MEZCLA – NTP 339.088**

DESCRIPCION	LIMITE PERMISIBLE
Cloruros	300 ppm.
Sulfatos	300 ppm.
Sales de magnesio	150 ppm.
Sales solubles totales	1500 ppm.
Ph.	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm.
Materia orgánica	10 ppm.

**Fuente: Normas Técnicas Peruanas**

### 3.2.3. AGUAS NO RECOMENDABLES PARA EL CONCRETO

No existe un patrón definitivo en cuanto a las limitaciones en composición química que debe tener el agua de mezcla, ya que incluso aguas no aptas para el consumo humano sirven para preparar concreto y por otro lado depende mucho del tipo de cemento y las impurezas de los demás ingredientes.

Como dato interesante, es una evidencia que en el Perú muy pocas "aguas potables" cumplen con las limitaciones nominales indicadas, sobre todo en

lo que se refiere a los contenidos de sulfatos y carbonatos, sin embargo sirven para el consumo humano y consecuentemente para el concreto.

Los efectos más perniciosos que pueden esperarse de aguas de mezcla con impurezas son: retardo en el endurecimiento, reducción de la resistencia, manchas en el concreto endurecido, eflorescencia, contribución a la corrosión del acero y cambios volumétricos.

### **3.3. AGREGADOS PARA EL CONCRETO**

Se define como agregados al conjunto de partículas inorgánicas obtenidos o producidos a partir de rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011.

#### **3.3.1. FUNCIONES DEL AGREGADO EN EL CONCRETO**

Las tres principales funciones del agregado en el concreto son:

- Proporcionar una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento; de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.
- Proporcionar un relleno natural de bajo costo adecuado a la pasta, reduciendo el contenido de ésta por unidad de volumen y por lo tanto, tener un costo por unidad de volumen de concreto no elevado.

### **3.3.2. IMPORTANCIA DE LA GRADACIÓN DE LOS AGREGADOS.**

Además de la consideración de la composición mineral y las características superficiales de las partículas de agregado, la buena gradación granulométrica de éstos es de vital importancia en el diseño e interacción de la mezcla ya que esta propiedad así como la superficie específica, módulo de fineza y tamaño máximo influyen fundamentalmente sobre las propiedades de concreto en su estado no endurecido y maximiza la densidad logrando una reducción de vacíos con la que se estaría optimizando el concreto.

Por otro lado una granulometría continua de la combinación de los agregados, permite la máxima compacidad del concreto fresco, por tanto la máxima densidad del concreto endurecido y su máxima resistencia.

### **3.3.3. MATERIALES PERJUDICIALES AL CONCRETO CONTENIDOS EN LOS AGREGADOS.**

Se dan aquí los límites permisibles, Arcilla 0.25%, Partículas blandas 5%, Material más fino que la malla N° 200 1%, carbón y lignito 1%.

### **3.3.4. AGREGADOS PARA CONCRETO DE DIVERSOS PESOS UNITARIOS.**

Una característica importante del concreto es su peso unitario, porque es el indicador de las propiedades que a su vez influyen decisivamente en el empleo que se le da. Como es evidente, dicha característica del concreto

depende principalmente del peso específico de los agregados que lo integran.

Las clases de concreto según su peso unitario son:

- **Baja Densidad:** Son concretos de baja densidad cuyo peso varía entre 300 – 800 Kg/m<sup>3</sup>, dicho concreto es usado para aislamiento térmico y acústico de muy baja resistencia (menos de 70 Kg/cm<sup>2</sup>).
- **Ligero Intermedio:** Son concretos de peso ligero intermedio que varía entre 800 – 1400 Kg/m<sup>3</sup>, dicho concreto no es de uso estructural, de baja resistencia (de 70 a 175 Kg/cm<sup>2</sup>).
- **Ligero Estructural:** Son concretos ligeros cuyo peso varía entre 1400 – 1900 Kg/cm<sup>2</sup>, dicho concreto es de uso estructural de mediana y alta resistencia (de 175 – 500 Kg/cm<sup>2</sup>).
- **Peso Normal:** Son concretos normales, cuyo peso varía desde 2200 – 2500 Kg/m<sup>3</sup>, el cual puede ser de uso no estructural y estructural, desde muy baja hasta alta resistencia (desde menos de 70 hasta 1200 Kg/cm<sup>2</sup> e inclusive más).
- **Pesado:** Son concretos cuyo peso varía entre 2600 – 5500 Kg/m<sup>3</sup> y es usado frecuentemente para blindaje contra radiaciones, contrapesos de puentes

Levadizos y otras aplicaciones especiales, con diversos requisitos de resistencia.

### 3.3.5. AGREGADO FINO:

El agregado fino es un material que se obtiene de la desintegración natural o artificial de otros agregados de mayor tamaño. Está comprendido por todos los tamaños que pasan por la malla 3/8" y quedan retenidas en la malla N° 200. Para ser utilizado en la proporción de concreto deberá cumplir con ciertas propiedades físicas controladas por normas de calidad.

#### A. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO:

El agregado fino a utilizarse en el concreto debe cumplir ciertos requisitos mínimos de calidad según las especificaciones Normas Técnicas Peruanas NTP. La determinación de estos requisitos denominadas propiedades físicas nos permitirá obtener valores que serán utilizados para los diseños de mezclas de concreto a estudiar. Las propiedades físicas a determinar son: peso específico, peso unitario, granulometría, módulo de finura, porcentaje de finos que pasa la malla N° 200, contenido de humedad y absorción. A continuación presentamos las propiedades físicas estudiadas:

#### ✓ **PESO ESPECÍFICO (N.T.P. 400.022 / A.S.T.M. C-128)**

Peso específico de masa; es la relación del peso al aire de un volumen unitario de un agregado incluyendo los vacíos al peso en aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada, se puede emplear agua potable libre de gas a la temperatura establecida. Se usa en los diseños de mezclas y en la determinación del peso sólido y volumen absoluto. La norma ASTM C – 128 indica el procedimiento para determinar el peso



específico del agregado fino.

Teniendo comúnmente el siguiente rango para concretos normales: peso unitario de 2200 kg/m<sup>3</sup> a 2550 kg/m<sup>3</sup> y un peso específico de los agregados de 2.4 gr/cm<sup>3</sup> a 2.8 gr/cm<sup>3</sup>.

Peso específico aparente; es la relación del peso en aire de un volumen unitario de un agregado al peso en aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada o agua potable libre de gas a la temperatura establecida. Es necesario para la dosificación de la mezcla, para el cálculo de los volúmenes absolutos del material.

✓ **PESO UNITARIO (N.T.P. 400.017 / A.S.T.M. C-29)**

El peso unitario de un agregado es el peso que alcanza un determinado volumen unitario, considerando los vacíos que se encuentran en su interior; se expresa en Kilos por metro cúbico.

El peso unitario se expresa en dos formas: el suelto y el compactado.

▪ **PESO UNITARIO SUELTO**

El agregado se llena continuamente hasta completar un volumen establecido sin ningún tipo de compactación.

▪ **PESO UNITARIO COMPACTADO**

El agregado se llena en tres partes iguales, aplicando compactación por varillado a cada capa de acuerdo a la especificación de la norma.

El peso unitario está influenciado por su:

- Gravedad específica

- Granulometría
- Perfil y textura superficial
- Condición de humedad
- Grado de compactación de masa

✓ **GRANULOMETRIA (N.T.P. 400.012 / A.S.T.M. C-33)**

Esta propiedad caracteriza al agregado en base a la densidad de tamaños de sus partículas que lo conforman. Para esta caracterización de tamaños debe analizar mediante su separación en 7 fracciones, cribándola a través de las mallas normalizadas como "serie estándar" cuyas aberturas se duplican sucesivamente a partir de la más reducida que es igual a 0.150 mm (ASTM N° 100) y cuyo procedimiento de ensayo está dado por la norma indicada. La importancia de esta propiedad es que de acuerdo a la forma como están distribuidos sus tamaños tienen influencia directa sobre el comportamiento del cemento fresco y endurecido.

MALLA	% QUE PASA
3/8"	100
N°4	95 – 100
N°8	80 – 100
N°16	50 – 100
N°30	25 – 60
N°50	10 – 30
N°100	0

Fuente: Normas A.S.T.M C-33

✓ **SUPERFICIE ESPECÍFICA**

Se define como la suma total de las áreas superficiales por unidad de peso del agregado fino.

Se asume generalmente para fines de cálculo y simplificación que todas las partículas son de forma esférica, y además que el diámetro es el promedio entre los 2 tamices: el inferior y el superior inmediato, lo cual ya introduce error, además que no tiene el sustento experimental del módulo de fineza, por lo que no se usa mucho salvo a nivel e investigación.

✓ **MÓDULO DE FINURA (N.T.P. 400.011 / A.S.T.M. C-125)**

Siendo igual a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las mallas de la serie estándar, el valor del módulo de fineza para la fabricación del concreto debe estar comprendido entre  $2.30 \leq m.f. \leq 3.10$ .

Las arenas que presentan un m.f. inferior a 2.30 se consideran demasiadas finas e inconvenientes para el concreto porque suelen requerir mayor consumo de cemento, lo cual repercute en el aspecto económico y en los cambios volumétricos. Si son mayores a 3.10 resultan demasiados gruesas y también se les juzga inadecuadas ya que producen mezclas ásperas y segregable.

El módulo de finura del agregado fino se calcula mediante la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados de los tamices: N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100, dividiendo entre 100; del ensayo granulométrico.

De la forma siguiente:

$$M.F = \frac{N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + +N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100}{100}$$

✓ **MATERIAL FINO QUE PASA LA MALLA N° 200**

Este ensayo nos permite determinar en porcentaje la cantidad de material de tamaño menor que la Malla N° 200, que se encuentra adherido a las paredes del agregado o que se encuentra como material suelto mezclado con el agregado fino.

✓ **CONTENIDO DE HUMEDAD (N.T.P. 400.011 / A.S.T.M. C-125)**

Este valor indica el porcentaje de agua que posee el agregado y se obtiene al determinar el contenido de agua de una muestra húmeda secada al horno en 110 °C, entre el peso de la materia; y a este cociente se multiplica por 100. Los agregados usualmente son considerados en un estado saturado y superficialmente seco, es decir con todos sus poros abiertos y llenos de agua y libre de humedad superficial, siendo una condición ideal para fines prácticos y de diseño de dosificación ya que se supone que los agregados no añaden ni quitan agua a la mezcla.

✓ **PORCENTAJE DE ABSORCION (N.T.P. 400.011 / A.S.T.M. C-125)**

La absorción de un agregado se indica por el porcentaje total de agua interna que le es necesario tomar a un agregado para llegar a la condición de saturado con superficie seca; condición de equilibrio. Es una medida de

la porosidad del agregado y su valor máximo permite saber cuanto de agua tomará el agregado en la mezcla del concreto.

La absorción en el agregado fino no suele exceder del 5%.

### **3.3.6. AGREGADO GRUESO**

Son materiales obtenidos por la desintegración natural o mecánicas de rocas de mayor tamaño. Se trata del material que es retenido en la malla Nº 4, y que para que pueda ser utilizado en la proporción de concreto, sus propiedades deben cumplir los controles de calidad que especifica la norma.

#### **A. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO:**

Los agregados gruesos para que puedan ser utilizados en la preparación de concreto, deben cumplir con los requerimientos mínimos que especifican las normas de control, siendo de vital importancia que sus propiedades físicas mantengan el margen de los límites pre establecidos en dichas normas de calidad. Las propiedades físicas a estudiar: peso específico, peso unitario, granulometría, módulo de finura, contenido de humedad y porcentaje de absorción.

#### **✓ PESO ESPECÍFICO (N.T.P. 400.021 / A.S.T.M. C-127)**

Esta propiedad es un indicador de la calidad del agregado; el peso específico no será menor de 2.6, correspondientes a agregados de buena calidad, mientras que valores que el menor indicado son de mala calidad (porosos,

débiles y absolutamente con mayor cantidad de agua, etc.). La norma ASTM C-127 indica el procedimiento para determinar el peso específico del agregado grueso.

✓ **PESO UNITARIO (N.T.P. 400.017 / A.S.T.M. C-29)**

El peso unitario de un agregado es el peso de un volumen establecido, considerando los vacíos que se encuentran en su interior; se expresa como el peso de material por cubo.

El peso unitario se expresa en dos formas: el suelto y el compactado, generalmente se expresa kilos por metro cúbico.

Su cálculo tanto para suelto como para compactado lo determina la norma en mención.

▪ **PESO UNITARIO SUELTO**

El agregado se llena continuamente hasta completar un volumen establecido sin ningún tipo de compactación.

El peso unitario varía con el contenido de humedad. Este incrementa en el agregado grueso cuando incrementa su contenido de humedad.

▪ **PESO UNITARIO COMPACTADO**

El agregado se llena en tres partes iguales, aplicando compactación por varillado a cada capa de acuerdo a la especificación de la norma.

✓ **GRANULOMETRIA (N.T.P. 400.012 / A.S.T.M. C-33)**

El agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites establecidos en la Norma, los cuales están indicados en la siguiente tabla:

**REQUISITOS GRANULOMETRICOS ASTM C – 33**

ASTM N°	TAMAÑO NOMINAL	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
		4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16
1	3 1/2" a 1 1/2"	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
2	2 1/2" a 1 1/2"			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
3	2" a 1"				100	95 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
357	2" a Malla Nº4				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
4	1 1/2" a 3/4"					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			
467	1 1/2" a Malla Nº4					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
5	1" a 1/2"						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	1" a 3/8"						100	90 a 100		10 a 40	0 a 15	0 a 5		
57	1" a Malla Nº 4						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
6	3/4" a 3/8"							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	3/4" a Malla Nº4							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	1/2" a Malla Nº4								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	3/8" a Malla Nº4									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: Normas A.S.T.M. C-33

La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua y deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla. La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla 1 ½" y no más del 6% del agregado que pasa la malla ¼".

✓ **SUPERFICIE ESPECÍFICA**

Se define como la suma total de las áreas superficiales por unidad de peso del agregado grueso.

Se asume generalmente para fines de cálculo y simplificación que todas las partículas son de forma esférica, y además que el diámetro es el promedio entre los 2 tamices: el inferior y el superior inmediato, lo cual ya introduce error, además que no tiene el sustento experimental del módulo de fineza, por lo que no se usa mucho salvo a nivel e investigación.

✓ **MODULO DE FINURA (N.T.P. 400.012 / A.S.T.M. C-136)**

Es un Índice Aproximado del tamaño medio de los agregados. Cuando este índice es bajo quiere decir que el agregado es fino, cuando es alto es señal de lo contrario. El módulo de fineza, no distingue las granulometrías, pero en caso de agregados que estén dentro de los porcentajes especificados en las normas granulométricas, sirve para controlar la uniformidad de los mismos.

El Módulo de Fineza de un agregado se calcula sumando los porcentajes



acumulativos retenidos en la serie de mallas Standard: 3", 1" ½", ¾", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100 y dividiendo entre 100, de la siguiente manera:

$$M.F. = \frac{3'' + 1\ 1/2'' + 3/4'' + 3/8'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100}{100}$$

✓ **CONTENIDO DE HUMEDAD (N.T.P. 400.021 / A.S.T.M. C-566)**

Este valor indica el porcentaje de agua que posee el agregado y se obtiene al determinar el contenido de agua de una muestra húmeda secada al horno en 110° C, entre el peso de la materia; y a este cociente se multiplica por 100.

✓ **PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (N.T.P. 400.021 / A.S.T.M. C-127)**

Es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser secado a peso constante y luego sumergido 24 horas en agua. La absorción de un agregado se indica por el porcentaje total de agua interna que le es necesario tomar a un agregado para llegar a la condición de saturado con superficie seca; condición de equilibrio.

Es una medida de la porosidad del agregado y su valor máximo permite saber cuánto de agua tomara el agregado en la mezcla del concreto.

La absorción no suele exceder de 3% para el agregado grueso.

**B. PROPIEDADES TERMICAS DEL AGREGADO GRUESO:**

Condicionan el comportamiento de los agregados ante el efecto de los cambios de temperatura. Estas propiedades tienen importancia básica en el

concreto pues el calor de hidratación generado por el cemento, además de los cambios térmicos ambientales actúan sobre los agregados provocando dilataciones, expansiones, retenciones o disipación de calor según sea el caso. Las propiedades térmicas están afectadas por la condición de humedad de los agregados, así como la porosidad, por lo que sus valores son bastante variables.

### ✓ COEFICIENTE DE EXPANSIÓN

Cuantifica la capacidad de aumento de dimensiones de los agregados por cada grado de variación de la temperatura. Depende mucho de la composición y estructura interna de las rocas y varía significativamente entre los diversos tipos de rocas. El coeficiente de expansión térmica del concreto, es influido por las características de los agregados y de la pasta del cemento en forma proporcional aproximadamente.

En los agregados secos es alrededor de un 10 % mayor que en estado parcialmente saturado. Para las rocas que normalmente constituyen los agregados, el intervalo de variación del coeficiente de expansión térmica se puede situar entre 1 y 16 millonésimas/ $^{\circ}$ C, de acuerdo con su composición mineralógica y estructura principalmente. En cuanto a la pasta de cemento endurecida, este coeficiente depende de su composición, edad, grado de hidratación y condición de humedad, y se estima que sus valores oscilan entre 10 y 21 millonésimas/ $^{\circ}$ C.

Se desprende la posibilidad que en un determinado caso puede existir una diferencia importante entre el coeficiente de expansión térmica de los

agregados y el de la pasta del cemento y que esto conduzca a cambios volumétricos diferenciales y microfisuramientos en el interior del concreto por efectos de su variación de temperatura.

### ✓ CALOR ESPECÍFICO

Es la cantidad de calor requerida para incrementar en 1 °C la temperatura.

Se le expresa con frecuencia en Kilojoules dividida ente Kilogramo x °C.

**El calor especifico en función de la temperatura presenta una elevación gradual debido a la absorción del calor al evaporarse el agua, desafortunadamente este aspecto positivo va acompañado de una dilatación y evaporación del agua de los poros aislados, lo que produce un desprendimiento explosivo del recubrimiento.**

La resistencia y el módulo de elasticidad disminuyen al aumentarse la temperatura, pero van acompañados de importantes aumentos de deformación de rotura. Esto permite al concreto absorber los esfuerzos de compresión derivados de las dilataciones restringidas sin gran daño en muchos casos.

El fuego afecta al comportamiento de las armaduras de refuerzo aunque de forma diferente al caso del concreto.

No varía mucho en los diferentes tipos de rocas salvo en el caso de agregados muy ligeros y porosos.

### **ACCIÓN DEL FUEGO.**

El tipo de agregado tiene influencia sobre la resistencia del fuego de las estructuras de concreto, siendo los más recomendables aquellos que han

sido sometidos a la acción del calor durante su formación.

La falla del concreto debida a la acción del fuego es debida, entre otras razones, a la acción opuesta entre la pasta, la cual tiende a contraerse debido a la pérdida de humedad, y el agregado el cual, de acuerdo a su composición mineralógica, se expande con el incremento de la temperatura. Esta doble acción origina agrietamiento y descascaramiento, con la subsecuente exposición del acero a la acción del fuego.

Los concretos comprendidos dentro de los preparados con agregados normalmente empleados en obra, muestran pequeñas diferencias en su resistencia al fuego cuando ellos están secos. **Los estudios de laboratorio y obra han demostrado que aquellos concretos preparados utilizando agregados livianos tienen una mejor resistencia al fuego que los preparados con agregados de peso normal** (Fuente: Naturaleza y Materiales del Concreto – Enrique Rivva López, Capítulo 5 pag 221).

También hay una mayor resistencia al fuego, cuando se utiliza como agregado grueso escorias de alto horno, agregados calcáreos, o agregados de origen ígneo, los cuales se comportan mejor que los agregados silicosos de origen sedimentario o metamórfico. Ello se debe a que los materiales más livianos reducen la conductividad térmica del concreto aislándolo mejor de la fuente de calor. Igualmente las escorias de alto horno son más resistentes al fuego debido a que son livianas y tienen estabilidad mineral en altas temperaturas.

Los agregados carbonatados son generalmente más resistentes que

determinados agregados silíceos. La dolomita calcina entre 600 y 700 °C y la calcita presente en las calizas a 900 °C en una atmósfera al 100% de bióxido de carbono. Los agregados que contienen cuarzo, tales como el granito, las gravas silíceas, la arenisca y la cuarzita, son más susceptibles a los daños del fuego. A aproximadamente 570 °C el cuarzo expresa una subida expansión de 0.85% debida a la transformación del cuarzo alfa en cuarzo beta. Esta expansión da lugar a que el concreto se astille y pierda resistencia.

Es importante indicar que conforme se forma la capa calcinada, ella aísla al concreto de la fuente de calor y reduce la velocidad con la cual el interior del concreto podría calentarse.

#### ✓ CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Es la mayor o menor facilidad para conducir el calor a través de un cuerpo, Está influenciado básicamente por la porosidad siendo su rango de variación relativamente estrecho. Puede expresarse en diversas unidades, pero es frecuente emplear Kilojoules divididos entre metros hora x °C.

Durante mucho tiempo los investigadores han sostenido que las propiedades térmicas del concreto y sus ingredientes parecen tener alguna relación no bien definida sobre la durabilidad del concreto, dado que podrían desarrollarse esfuerzos internos peligrosos cuando el cambio de volumen de los agregados, debido a variaciones de temperatura, es sustancialmente diferente del de la pasta, o cuando existen grandes diferencias en el coeficiente de expansión entre las partículas del agregado.

Se han efectuado estudios de concretos y morteros sujetos a cambios

lentos y rápidos de temperatura en agua y aire, empleando diferentes tipos de agregados y proporciones de mezcla. Los agregados se seleccionaron de manera de proporcionar un amplio margen en los coeficientes térmicos, y preparando mezclas para concretos con o sin aire incorporado. Se ha podido establecer lo siguiente:

- a. Los cambios rápidos de temperatura no son mucho mas destructivos que los cambios lentos. La diferencia de cambios de volumen entre los ingredientes debido a la acción térmica no es la causa principal de desintegración.
- b. La resistencia del concreto a los cambios de temperatura parece estar mas directamente relacionada con el coeficiente térmico del concreto en si mismo que a las diferencias entre los coeficientes térmicos de los ingredientes, fallando con mayor rapidez los concretos con mayor coeficiente térmico.
- c. El deterioro del concreto durante los cambios de temperatura parece deberse a deformaciones resultantes de diferencia de temperatura dentro de la masa, más que a diferencias en el coeficiente térmico.
- d. Los agregados gruesos que tienen coeficientes térmicos diferentes del mortero en el cual están embebidos causan cambios en el coeficiente térmico de este aproximadamente en proporción al volumen de agregado grueso empleado. Igualmente, el agregado fino afecta el coeficiente térmico del mortero en proporción a su volumen en la mezcla.

## ✓ DIFUSIVIDAD

Representa la velocidad con que se pueden producir cambios térmicos dentro de una masa. Se expresa como el cociente de dividir la conductividad térmica entre el producto del calor específico por la densidad del material.

### 3.3.7. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Este parámetro es obtenido a través del ensayo de un cilindro estándar de 6" (15 cm) de diámetro y 12" (30 cm) de altura. El espécimen debe permanecer en el molde 24 horas después del vaciado y posteriormente debe ser curado bajo agua hasta el momento del ensayo. El procedimiento estándar requiere que la probeta tenga 28 días de vida para ser ensayada, sin embargo este periodo puede alterarse si se especifica. Durante la prueba, el cilindro es cargado a un ritmo uniforme de 2.45 kg/cm<sup>2</sup>/s. La resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) se define como el promedio de la resistencia de, como mínimo dos probetas tomadas de la misma muestra probadas a los 28 días. El procedimiento se describe en detalle en las normas ASTM C-192-90a y C-39-93a.

En ocasiones, un periodo de 28 días para determinar la resistencia del concreto puede resultar muy largo por lo que se suele efectuar ensayos a los siete días. La relación entre la resistencia obtenida a los siete días y la resistencia a los 28 días es aproximadamente:

$$f'_{c7} = 0.67 f'_{c28}$$

Empíricamente se puede tomar:

$$f'_{c28} = f'_{c7} + 8\sqrt{f'_{c7}}$$

En la siguiente tabla se muestra la relación entre la resistencia del concreto a una determinada edad y su resistencia a los 28 días.

**Relación entre la resistencia a la compresión del concreto en diferentes etapas y la resistencia a los 28 días**

Tiempo	7 días	14 días	28 días	90 días	6 meses	1 año	2 años	5 años
$f'_{c(t)} / f'_{c28}$	0.67	0.86	1	1.17	1.23	1.27	1.31	1.35

Fuente: Diseño de Estructuras de Concreto Armado (Teodoro E. Harmsen y J. Paola Mayorca)

Actualmente la norma ASTM C-39-93a permite utilizar los resultados de ensayos a compresión de probetas no estándar siempre que se les apliquen factores de corrección. La resistencia obtenida constituye una fracción de la resistencia de un cilindro estándar. Los factores de corrección se muestran en la siguiente tabla tomada de la norma ASTM C-39-93a.

**FACTORES DE CORRECCIÓN DE RESISTENCIA PARA DIFERENTES RELACIONES h/d**

Relación h/d	2	1.75	1.5	1.25	1.1	1	0.75	0.5
<b>A</b>	1	0.98	0.96	0.93	0.9	0.87	0.7	0.5
<b>B</b>	1	1.02	1.04	1.06	1.11	1.18	1.43	2

Fuente: Norma A.S.T.M. C-39-93a



Donde:

h : Altura de la Probeta Ensayada.

d : Diámetro de la Probeta Ensayada.

a : Factor de Corrección de Resistencia de la Probeta Ensayada.

b : Razón entre las resistencias de la probeta ensayada y del cilindro estándar.

Los factores de corrección antes mencionados se aplican a concretos ligeros de 1600 a 1920 kg/m<sup>3</sup> y a concretos normales con resistencia a la compresión entre 140 kg/cm<sup>2</sup> y 420 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.3.8. FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.

- a. **Relación a/c:** Es el factor que más influye en la resistencia del concreto y constituye la razón entre el peso del agua y el peso del cemento utilizados en la mezcla. Si a/c disminuye, la porosidad decrece consiguiéndose un concreto denso, de buena calidad y alta resistencia. Esta relación no debe ser menor que 0.25 pues esta es la cantidad mínima de agua necesaria para la completa hidratación del cemento. Mientras mayor es la relación a/c, menor es la resistencia del concreto.
- b. **Tipo de Cemento:** De acuerdo al tipo de cemento, el desarrollo a la resistencia a la compresión varía con el tiempo, sin embargo, puede observarse que después de cierto tiempo, los concretos elaborados

con concretos diferentes alcanzan aproximadamente las mismas características.

- c. Tipo de Agregado:** La probeta ensayada puede romperse a través de la piedra o en la interfase agregado-pasta. Si el agregado es resistente, el primer caso no se presenta. En cambio, la falla en la interfase piedra-mortero depende del grado de unión de ambos elementos. Este es función de la textura de su superficie, gradación, tamaño máximo, etc. En concretos de alta resistencia, la resistencia del agregado juega un papel muy importante en la resistencia del concreto.
- d. Duración del Curado:** Es difícil determinar el tiempo de curado necesario, pero el ACI especifica un mínimo de siete días para cemento Portland normal (ACI-5.11.1). Si se usa cementos de fraguado lento, este periodo debe incrementarse, mientras que si se usa cementos de fragua rápida, puede disminuirse pero nunca a menos de tres días (ACI-5.11.2). En caso de concretos de alta resistencia, el curado debe iniciarse a temprana edad para obtener resultados satisfactorios. Los concretos curados a vapor pueden reducir el periodo de curado a la décima parte. En general el proceso no se suspenderá hasta que se haya alcanzado el 70% de la resistencia a la compresión en las probetas curadas bajo las mismas condiciones que el concreto vaciado en obra.

### 3.3.9. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO

La resistencia del concreto a la tracción es mucho menor que su resistencia a la compresión constituyendo aproximadamente entre un 8% a 15% de esta. Para la determinación de este parámetro no se suele usar ensayos directos debido a las dificultades que se presentan sobre todo por los efectos secundarios que generan los dispositivos de carga. Para estimarlo se ha diseñado dos métodos indirectos.

El primero llamado prueba brasilera o split-test consiste en cargar lateralmente el cilindro estándar, a lo largo de uno de sus diámetros hasta que se rompa. El procedimiento está especificado en la norma ASTM C-496-90.

El esfuerzo de ruptura de tensión a través del diámetro se encuentra de la relación:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi hd}$$

En que :

P: es la carga aplicada durante la ruptura.

h: la longitud del cilindro

d: el diámetro

El valor de  $f_{ct}$  oscila entre  $1.59\sqrt{f'_c}$  y  $2.2\sqrt{f'_c}$  para concretos normales generalmente se toma  $f_{ct} = 1.6\sqrt{f'_c}$ .

El segundo método consiste en evaluar la resistencia a la tracción a través de pruebas de flexión. Para este ensayo se usa una viga con

sección transversal cuadrada de 6" (15 cm) de lado y una longitud igual a 70 cm, con apoyos en los 60 cm. centrales, la cual se carga en los tercios de la luz entre los apoyos. La falla se produce entre los puntos de aplicación de las cargas. El parámetro obtenido recibe el nombre de módulo de ruptura y es igual a:

$$f_r = \frac{M}{S} = \frac{Mc}{I}$$

$$f_r = \frac{6M}{bh^2}$$

Donde:

$f_r$  : Módulo de ruptura.

$M$  : Momento flector en la sección de falla.

$c$  : Distancia del eje neutro al extremo de la sección.

$S$  : Módulo de la sección de la viga.

$b$  : Ancho de la sección rectangular.

$h$  : Peralte de la sección rectangular.

El código del ACI sugiere para este parámetro los siguientes valores:

$$f_r = 2\sqrt{f'_c}$$

Los resultados de ambas pruebas se han relacionado y se ha determinado que el módulo de ruptura,  $f_r$ , es igual a 1.25 a 1.50 veces la resistencia a la tracción del concreto,  $f_{ct}$ .

En general para el diseño la resistencia al atracción del concreto es despreciada, excepto en el diseño de algunas estructuras de concreto simple, como cimientos o zapatas sin armar.

### 3.4. MATERIALES EMPLEADOS

#### 3.4.1. CEMENTO:

##### 3.4.1.1. CEMENTO PORTLAND TIPO I – PACASMAYO

Para la elaboración de nuestro proyecto de investigación optamos por emplear el cemento Peruano Pacasmayo Pórtland tipo I.

**TABLA N° 3.1.1**

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	CEMENTO PORTLAND TIPO I - PACASMAYO
Peso específico	3.11
Contenido de aire	10.50%
<b>Fraguado Vicat:</b>	
Inicial	2h29m
Final	5h10m
Superficie específica	3.400cm <sup>2</sup> /gr
Expansión auto clave	0.22%
<b>Resistencia a la Compresión:</b>	
03 días	168 Kg/cm <sup>2</sup>
07 días	210 Kg/cm <sup>2</sup>
28 días	273 Kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente: Cementos Pacasmayo**

#### USOS DEL CEMENTO:

El cemento Portlad Tipo I – Pacasmayo, es usualmente utilizado en nuestra localidad para construcciones en general, en las que se requiere condiciones típicas del concreto que se fabrica, tales como: edificaciones, obras hidráulicas, veredas, pavimentos, alcantarillado, tanques elevados etc, (ASTM–C 150), siendo el más usado en obras por los constructores e ingenieros de la localidad.

### 3.4.2. AGREGADOS

#### 3.4.2.1. AGREGADO FINO

##### A) CANTERAS A USARSE EN LA INVESTIGACIÓN

###### Cantera "LA CUMBRE" (Besique)

La cantera La Cumbre o Lorena Paola es una cantera no metálica dedicada exclusivamente a la explotación de arena gruesa para la construcción, es explotada por el propietario a solicitud de terceros clientes, por lo que no cuenta con un personal permanente en la zona.

a. **Proprietario:** Sr. Isidoro Chero Gálvez.

b. **Ubicación:** La cantera se encuentra ubicado en:

LOCALIDAD	:	Pampa Carbonera
DISTRITO	:	Nepeña
PROVINCIA	:	Del Santa
DEPARTAMENTO	:	Ancash

Se encuentra ubicado a la derecha de la Carretera Panamericana Norte a la altura del Kilómetro 415 y a 2.77 Km al Este de la Panamericana.

c. **Accesibilidad:** La vía principal de acceso a esta cantera es la Carretera Panamericana Norte, complementándose con el camino de acceso a la margen derecha de la Panamericana y a una distancia aproximada de 2.77 Kilómetros.

- d. **Métodos de Explotación:** La explotación se realiza a cielo abierto con Maquinaria pesada (cargador frontal) y una zaranda estática de diámetro de  $\frac{1}{4}$ ".
- e. **Tipos de Agregados:** El material que comercializa esta cantera es arena gruesa.

### 3.4.2.2. AGREGADO GRUESO

#### A) CANTERAS A USARSE EN LA INVESTIGACIÓN

##### Cantera "LA SORPRESA" (Agregco)

La cantera La Sorpresa o Agregco es una cantera no metálica dedicada exclusivamente a la explotación de materiales para la construcción, obteniéndose materiales chancados, los cuales son explotados por la empresa AGRECO mediante la extracción de roca fresca de los cerros ubicados dentro del área de la cantera

- a. **Propietario:** Sr. Manuel Alva Portilla Sucesores.
- b. **Ubicación :** La cantera se encuentra ubicado en:

DISTRITO	:	Chimbote
PROVINCIA	:	Del Santa
DEPARTAMENTO	:	Ancash
REGIÓN	:	Ancash

Se encuentra ubicado a la izquierda de la Carretera Panamericana Norte a la altura del Kilómetro 437 antes de la entrada del túnel que separa las ciudades de Chimbote y Coishco.

- c. **Accesibilidad:** El acceso a esta cantera es por la Panamericana Norte a la altura del Km 437 con un desvío a la margen izquierda, la distancia a la cantera es de unos 200 m, la cual se observa desde la Panamericana Norte.
- d. **Métodos de Explotación:** La explotación se realiza a cielo abierto mediante el uso de explosivos para obtener una roca mediana, la cual es trasladada hacia la chancadora, y obtener así el producto final.
- e. **Calculo de Reserva:** Esta cantera tiene una potencia promedio de 5.00 m, aproximadamente tienen un 80% de reserva por lo que el volumen de reserva de explotación es de 3'240,000 m<sup>3</sup>.
- f. **Tipos de Agregados:** El material que comercializa esta cantera es piedra chancada de ½" a ¾" y de 1", confitillo, y agregado integral (material para afirmado).

### 3.4.3. HORNO PARA LA QUEMA DE PROBETAS.

Dispositivo cuyo objetivo es el de principalmente almacenar la energía calorífica para la quema de probetas cilíndricas.



## **A) CONSTRUCCIÓN:**

La construcción del horno fue manual del tipo sistema directo se hizo con unidades de ladrillo refractario sílico aluminoso de medidas 9" x 4 1/2" x 2 1/2" (son materiales de arcillas silico-aluminosas de alta refractariedad para ser utilizados en altas temperaturas con altas resistencias mecánicas, su baja porosidad es producto de una alta densidad y son utilizados en aplicaciones hasta 1400 °C) y para la unión entre ellos, se usó también mortero refractario ; cuyas dimensiones interiores del horno fueron de 36.5 cm de ancho x 1.00 m de largo x 35 cm de alto; contando con una chimenea para la evacuación de gases, la capacidad del horno es de 6 probetas cilíndricas aproximadamente pudiendo ser más o menos según la necesidad de una buena quema. Los materiales empleados como ladrillo y mortero refractario, para la construcción del mismo fueron proporcionados por FABRICANTES DE ELECTROCERAMICA S.A.C FECSAC.

## **B) MATERIAL COMBUSTIBLE**

Para alimentar de energía calorífica al horno se usó gas propano conectado mediante mangueras a un quemador.

## **C) MEDIDOR DE TEMPERATURA**

Para el control de temperatura se usó un medidor, el cual es conectado con el horno mediante un TERMOCUPLA de Níquel y cromo tipo k .Cuya

---

capacidad de medición es hasta 1200 °C.

#### **D) UBICACIÓN DEL FABRICANTE DEL HORNO**

La ubicación de la construcción del horno fue en la planta industrial de, la misma empresa FECSAC, ubicado en jirón 28 de julio Mz: P'3 - Villa María – Nuevo Chimbote, cuyo propietario: Ing. Máximo Espinoza Jiménez.

#### **E) UBICACIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL:**

DISTRITO : SANTA  
PROVINCIA : Del Santa  
DEPARTAMENTO : Ancash

# CAPÍTULO IV: ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO

## CAPITULO IV

### TRABAJOS DE GABINETE Y ENSAYOS EN LABORATORIO

#### 4.1. ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO

##### 4.1.1. ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM C - 136

##### 4.1.1.1. Análisis Granulométrico Mecánico

Con este análisis se logra una clasificación de los distintos tamaños de áridos que conforman el suelo. Para tener una idea de los tamaños a base de los cuales se realiza éste análisis; se tomó la clasificación ASTM; cuyos límites son los siguientes:

##### Tamaños de clasificación de las partículas del suelo

LÍMITES DEL TAMAÑO DE LOS COMPONENTES DEL SUELO	
Bloques	Mayor a 300 mm
Bolones	De 80 a 300 mm
Grava	De 5 a 80 mm
Arenas	De 0.08 a 5 mm
Linos	De 0.005 a 0.08 mm
Arcillas	Menores a 0.005 mm

Para separar las fracciones de los diferentes tamaños de granos, se usan tamices; la abertura más fina que se usa mide 0.08 mm (tamiz N° 200), por lo que el análisis granulométrico se restringe para tamaños de partículas de suelos superiores a éste. La muestra tomada se debe homogenizar en

estado húmedo; de esta forma, se asegura de que toda la muestra posea las mismas propiedades, posterior a esto se debe reducir por cuarteo en estado seco.

✓ **Tamices de Malla Cuadrada:**

Los tamices más frecuentes usados en el análisis granulométrico para bases granulares del agregado fino de la cantera "LA CUMBRE" son las siguientes:

**Tabla N° 2.7: Apertura de Tamices**

TAMIZ	FAC MALLA mm
2"	50.800
1"	25.400
3/4"	19.050
1/2	12.700
3/8	9.520
N° 4	4.750
N° 8	2.380
N° 10	2.000
N° 16	1.180
N° 20	0.840
N° 30	0.600
N° 40	0.420
N° 50	0.360
N° 60	0.250
N° 80	0.170
N° 100	0.140
N° 200	0.074
> N° 200	

El suelo puede considerarse como "Un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas". Estas partículas no solo varían en su composición, sino

también en sus tamaños. La determinación de la granulometría supone el conocimiento de la distribución de los tamaños de las partículas que componen el suelo.

Cuando se refiere a la granulometría de un suelo no se habla de un valor, sino de un conjunto de valores. La curva granulométrica, y que solo tienen valor en conjunto con los demás valores. La curva granulométrica se arma con los valores de las proporciones en peso de un suelo que pasan por cada uno de un conjunto de tamices (ver detalle en la descripción del ensayo).

Los suelos con más de 5% de partículas por encima del tamiz 4 (4,8 mm) se denominan Suelos granulares, y aquellos que pasan totalmente por el tamiz 4 Suelos no Granulares.

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASTHO o SUCS.

El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o sub bases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc. depende de este análisis.

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y enumerados, dispuestos en orden decreciente.

Para suelos con tamaños de partículas mayores a 0.074 mm. (74 micrones) se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices

de abertura y numeración indicados anteriormente en la tabla.

✓ **Objetivo**

- Determinar el Tamaño Máximo Nominal y Módulo de Fineza.

✓ **Equipo para Ensayo:**

- 02 Balanzas con una sensibilidad de 0.01g para pesar el material que pase el tamiz N°4 (4.750 mm), otra con sensibilidad de 0.1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz N°4.
- 01 Juego de tamices estándar.
- Horno con gradación de temperatura de hasta 110 °C como mínimo.
- Taras, adecuadas para el manejo y secado de las muestras.
- Cepillo y brocha para limpiar la malla de los tamices.

✓ **Procedimiento**

- Para realizar el análisis granulométrico por tamizado se procedió de la forma por cuarteo, llegándose a determinar la distribución del agregado de acuerdo al tamaño de sus partículas.
- Se repite esta operación hasta tener la cantidad de material necesario para el análisis, más o menos de 3 a 5 kg.
- Se seca en el horno durante 16 horas a una temperatura de 110 °C o a la intemperie si el clima lo permite, hasta que tenga  $W$  constante.
- Se colocan los tamices ordenados en forma descendente en cuanto

a su diámetro para que los diámetros mayores queden arriba, debajo de la cual se coloca una base.

- Se pasa el agregado por los tamices y se agita el tiempo necesario hasta que no pase muestra al siguiente tamiz o base, sin embargo, no deberán forzarse las partículas para que pasen a través de éste.

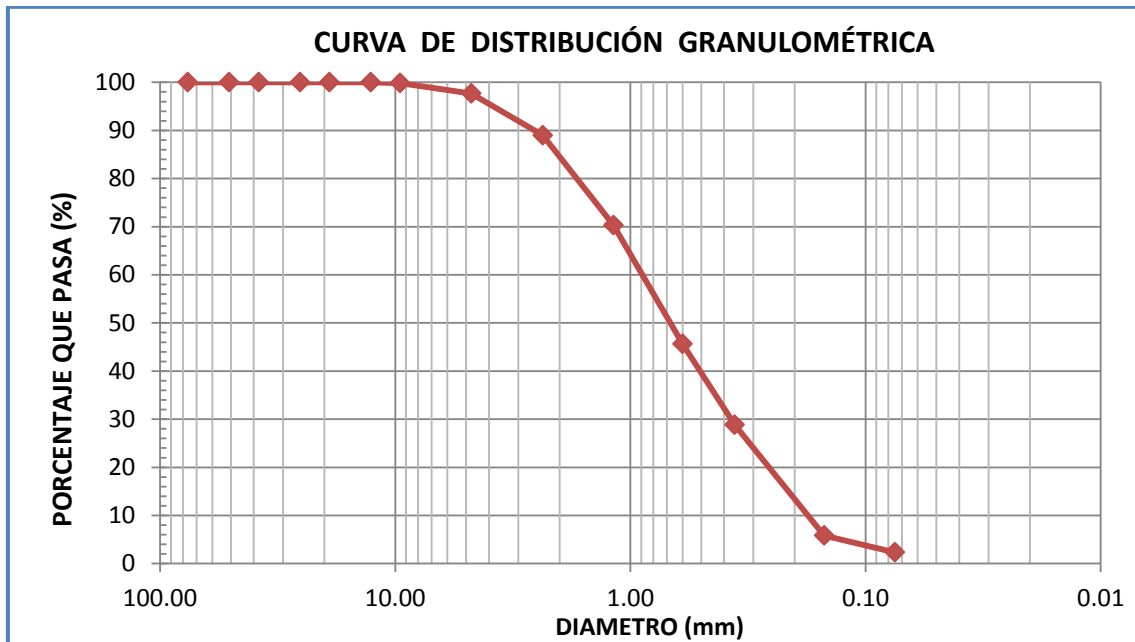
### 1) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA EL AGREGADO FINO

- **LUGAR** : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH
- **CANTERA** : LA CUMBRE – MARGEN IZQUIERDA

<b>Peso Inicial Seco, (gr)</b>	<b>3000.00</b>
<b>Módulo de fineza</b>	<b>2.63</b>

TAMICES	ABERTURA	PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO	%PESO RETENIDO	% PASA
	[mm]	[grs]	Parcial	Acumulado	
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.530	5.000	0.17	0.17	99.83
N° 4	4.750	65.000	2.17	2.33	97.67
N° 8	2.360	260.000	8.67	11.00	89.00
N° 16	1.180	560.000	18.67	29.67	70.33
N° 30	0.600	740.000	24.67	54.33	45.67
N° 50	0.360	505.000	16.83	71.17	28.83
N° 100	0.150	690.000	23.00	94.17	5.83
N° 200	0.075	105.000	3.50	97.67	2.33
< N° 200		70.000	2.33	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>3000.00</b>	<b>100.00</b>		



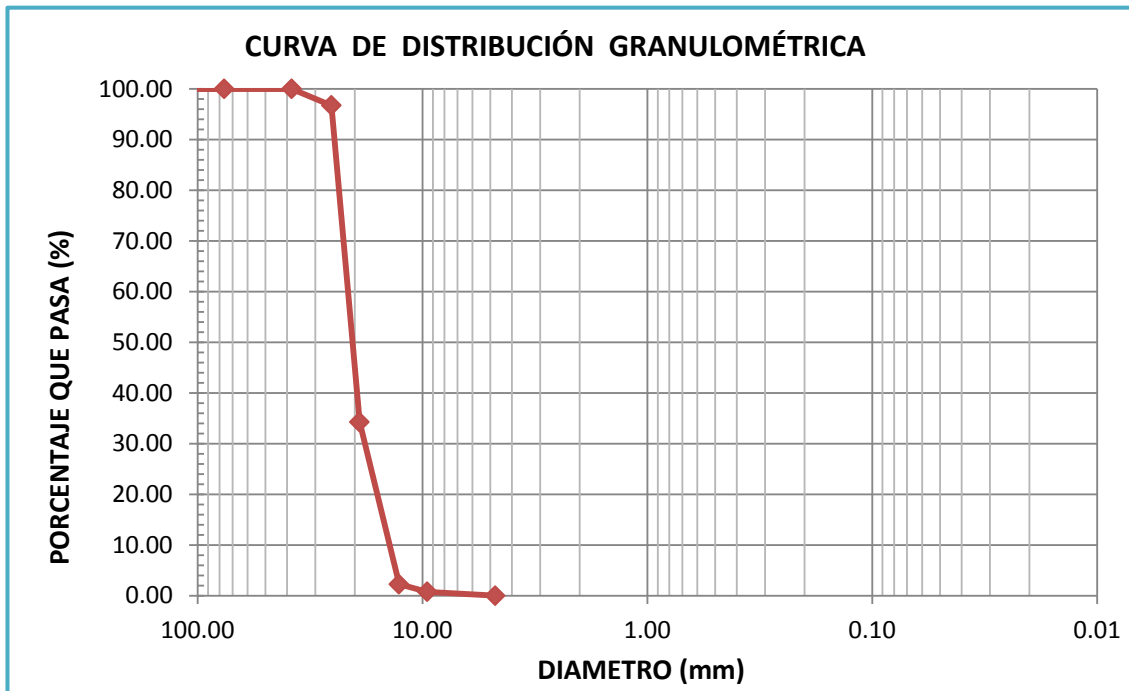


## 2) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA EL AGREGADO GRUESO

- LUGAR : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH
- CANTERA : LA SORPRESA

Peso Inicial Seco, (gr)	2000.00
Tamaño Máximo Nominal	1"

TAMICES	ABERTURA	PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO	% PASA
	[mm]	[grs]	Parcial	Acumulado	
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.000	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	65.000	3.25	3.25	96.75
3/4"	19.050	1,250.000	62.50	65.75	34.25
1/2"	12.700	640.000	32.00	97.75	2.25
3/8"	9.530	30.000	1.50	99.25	0.75
N° 4	4.750	15.000	0.75	100.00	0.00
< N° 200		0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		2000.00	100.00		



#### 4.1.2. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO - Norma ASTM C127 / NTP 400.021 Y ASTM C-128 / NPT 400.022

##### a) Equipo Necesario

- Se emplea el material que pasa el tamiz N° 4, disgregándose los terrones si los tuviera para que pase por el tamiz N° 4, y la muestra sea representativa.
- Balanza, con capacidad de acuerdo al peso de la muestra y sensibilidad a 0.5 gr.
- Picnómetro, denominado también fiola, que es un matraz o frasco volumétrico que tiene una capacidad de 500 ml.
- Molde cónico metálico, con las siguientes dimensiones:  $40 \pm 3$  mm de diámetro superior,  $90 \pm 3$  mm de diámetro en la parte inferior y  $75 \pm 3$  mm de altura, con espesor del metal de 0.8 mm mínimo.

- Apisonador de metal, con un peso de  $340 \pm 3$ gr con un extremo de superficie plana circular de  $25 \pm 3$  mm de diámetro de contacto.
- Horno o Estufa, capaz de mantener una temperatura de  $110 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ .
- La Norma C-128 del ASTM, indica entre otras cosas que la muestra de aproximadamente 1kg. Debe ser colocado durante 24 h. en un recipiente lleno de agua para saturarlo, luego secar la muestra en forma uniforme hasta su estado natural superficialmente seco; la que se verifica mediante el cono de Abrams cuando al quitar el cono la muestra rueda libremente hasta adoptar la forma de cono o algo parecido.

**b) Procedimiento:**

- Se anota el peso del picnómetro con agua hasta el nivel de 500 ml.
- Se coloca aproximadamente 1000gr del agregado fino, obtenido del agregado que se desea ensayar, se pone a secar hasta peso constante a una temperatura de  $100 \text{ °C}$  a  $110 \text{ °C}$ .
- Se enfría la muestra a temperatura ambiente por unas 3 horas, se cubre la muestra con agua y se deja en reposo durante 24 horas.
- Transcurrido el tiempo se vierte el agua, con mucho cuidado para no perderse el material arcilloso.
- Se extiende sobre una superficie plana expuesta a una corriente suave de aire tibio y se remueve con frecuencia para garantizar un secado uniforme. Se continúa esta operación hasta que los granos del

agregado fino no se adhieran marcadamente entre sí. Luego se coloca el agregado fino en forma suelta en el molde cónico se golpea la superficie suavemente 25 veces con la barra de metal y se levanta el molde verticalmente. Si existe humedad libre, el cono de agregado fino mantendrá su forma. Se sigue secando revolviendo constantemente y se prueba a intervalos frecuentes hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde. Esto indica que el agregado fino ha alcanzado una condición de superficie seca.

**Nota:** El procedimiento descrito en el párrafo anterior, se hace con la intención de asegurar que la determinación del primer ensayo se realiza con algo de agua libre en la muestra. Si el cono de agregado fino se desmorona al primer intento, el agregado fino ha sido secado más allá de la condición de saturación con superficie seca. En este, se agregarán unos centímetros cúbicos de agua al agregado fino y después de mezclarlo completamente, se dejará reposar la muestra durante 30 minutos en un Se introduce de inmediato en el picnómetro una muestra de 500 gr del material preparado y los otros 500 gr se pone a secar, se llena de agua hasta alcanzar casi la marca de 500 ml y, se le quita los vacíos haciendo rodar el picnómetro y colocándolo luego en un baño a  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por una hora, volviéndose agitar para eliminar todos los vacíos.

- Se añade agua hasta los 500 ml, anotándose su peso.

- Se anota el peso de la muestra secada al horno hasta peso constante. Si se desea se puede usar el mismo material del picnómetro, una vez que se ha pesado con el agua el nivel de 500 ml, para ponerlo a secar en horno hasta peso constante. En este caso se debe tener cuidado para no perder absolutamente nada de muestra, porque esto originaría una distorsión en los resultados.

❖ **ENSAYO EN LABORATORIO:**

<i>W matraz</i>	148.50
<i>W recip</i>	131.00
<i>W recip. + muestr.</i>	631.00
<i>W muestr.</i>	500.00
<i>W matraz + agua</i>	663.00
<i>W matraz + agua + muestr</i>	940.00
<i>W matraz + agua + muestr. Calient.</i>	935.00

**Muestra secada al horno**

<i>W recip.</i>	242.00
<i>W recip. + muestr. Hum.</i>	805.00
<i>W recip. + muestr. Seca</i>	714.00
<i>W agua</i>	91.00
<i>W muestr. Seca</i>	472.00
<i>Contenido de Humedad%</i>	19.28

**Prueba del cono (Contenido de Humedad)**

<i>W tara</i>	20.44
<i>W tara + muestr hum</i>	133.564
<i>W tara + muestr. Seca</i>	132.234
<i>W agua</i>	1.33
<i>W muestr. Seca</i>	111.794
<i>Contenido de humedad %</i>	1.190

<b><i>Wmuestr. Superf. Seca</i></b>	<b>500.00</b>
-------------------------------------	---------------

❖ **FORMULAS APLICATIVAS Y RESULTADOS:**

<i>A= Peso al aire de la muestra desecada, (gr)</i>	<b>137.01</b>
<i>B= Peso del picnómetro aforado lleno de agua, (gr)</i>	<b>677.00</b>
<i>C= Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua, (gr)</i>	<b>765.00</b>
<i>D= Peso de la muestra saturada con superficie seca, (gr)</i>	<b>137.60</b>

*Peso específico aparente*

$$\begin{aligned} &= \frac{A}{B + S - C} \\ &= \frac{137.01}{663 + 500 - 940} \\ &= \frac{137.01}{49.60} \\ &= 2.76 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

*Peso específico aparente (S.S.S)*

$$\begin{aligned} &= \frac{A}{B + S - C} \\ &= \frac{137.01}{663 + 500 - 940} \\ &= \frac{137.01}{49.60} \end{aligned}$$

$$\therefore S.S.S = 2.76 \text{ gr/cm}^3$$

*Peso específico nominal*

$$= \frac{A}{B + A - C}$$

$$= \frac{137.01}{663 + 472 - 940}$$

$$= \frac{137.01}{49.01}$$

$$\therefore \text{Peso Específico Nominal} = 2.80 \text{ gr/cm}^3$$

#### **Absorción**

$$= \frac{S - A \times 100}{A}$$

$$= \frac{(135.884 - 134.991) \times 100}{134.991}$$

$$= \frac{89.3}{134.991}$$

$$\therefore \text{Porcentaje de Absorción} = 0.66 \%$$

#### **4.1.3. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO - NORMA ASTM C – 127**

##### **a) Peso Específico.**

Se define como la relación del peso unitario de una sustancia al peso unitario del agua, bajo condiciones Standard puede ser tomada como la unidad por lo que el peso unitario de una sustancia, en gramos por cm<sup>3</sup>, es igual al peso específico de la misma.

Aplicando a agregados el, concepto de peso específico se define fundamentalmente a la densidad de las partículas individuales y no al de la

masa de agregado como un todo.

La norma C127 del ASTM, considera tres pesos específicos para el agregado: Peso específico de masa, peso específico de masa saturada superficialmente seca, y peso específico aparente.

#### **b) Peso Específico de Masa**

Es la relación del peso al aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo tanto los vacíos permeables como los impermeables normales al material) a una temperatura establecida al peso en aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas a la temperatura establecida. Si se considera el material saturado superficialmente seco se tendría el peso específico de masa saturada superficialmente seca.

#### **c) Peso Específico Aparente**

Se define como la relación del peso en aire de un volumen unitario de un material a una temperatura establecida al peso en aire de igual temperatura establecida. Si el material es un sólido, el volumen será el de la porción impermeable.

Dentro de los límites de precisión aceptable en ensayos de los agregados y a falta de agua destilada, se puede emplear agua potable.

#### **d) Absorción**

Se entiende por capacidad de absorción o simplemente por absorción, al



contenido total de humedad interna de un agregado que está en la condición de saturado superficialmente seco.

### e) Absorción Efectiva

Es la humedad necesaria para traer un agregado de la condición de secado al aire, o casi seco, a la condición de saturado superficialmente seco.

El ensayo para la determinación de los pesos específicos se realizó de acuerdo con la norma C127 del ASTM, la que también indica la forma de obtener el porcentaje de absorción.

#### 1) Para el Agregado Grueso :

##### ✓ Equipo Necesario

- Balanza, con una capacidad de 5 kg a más y con sensibilidad de 0.5 gr o menos.
- Cesta de malla de alambre, con abertura correspondiente al tamiz de 3mm (N° 6) o menor o un recipiente de aproximadamente igual ancho y altura con capacidad de 4 000 cm<sup>3</sup> a 7 000 cm<sup>3</sup>. la abertura es para permitir que pase el agua y no el material, ya que estamos empleando muestra mayor que este tamaño.
- Balde o envase adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.
- Horno o Estufa capaz de temperatura de 110 °C ± 5°C.

✓ **Procedimiento**

- Llenar las vasijas con muestra y saturarlo con agua durante 24 h.
- Eliminar el agua y pesarlo.
- Pesar la casta de la balanza sumergida en el agua.
- Pesar la cesta más la muestra sumergida en el agua.
- Retirar la muestra de la cesta y secar con franela cada piedra.
- Colocar nuevamente en la vasija y dejar en el horno por 24 horas.
- Retirar la muestra.

❖ **FORMULAS APLICATIVAS Y RESULTADOS:**

*A* = Peso de la muestra secada al horno (gr) 2.980

*B* = Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr) 2.995

*C* = Peso de la muestra saturada dentro del agua en canastilla (gr) 1.834

*Peso específico de la masa*

$$= \frac{A}{(B - C)}$$

$$= \frac{2.98}{1.161}$$

$$= 2.57$$

*Porcentaje de Absorción*

$$= \frac{(B-A) * 100}{A}$$

$$= \frac{1.5}{2.98}$$

$$\therefore \text{Porcentaje de Absorción} = 0.503 \%$$

#### 4.1.4. CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO Y FINO - NORMA ASTM C-566, NTP / NTP 400.021

Los ensayos se realizaron de acuerdo con la norma C-566 del ASTM, la que recomienda realizar el ensayo con muestra de 0.5kg. y seguir el procedimiento ya indicado. Se muestra en tabla siguiente.

✓ **Equipo Necesario**

- Agregado fino (arena gruesa).
- Agregado grueso (piedra de 1").
- Agua.
- 02 vasijas medianas.
- 04 taras.
- 01 picnómetro.
- 01 balanza electrónica.
- 01 horno.

✓ **Procedimiento**

- Pesar la tara vacía.
- Pesar la tara incluyendo la muestra.
- Colocar en el horno durante 24 horas.
- Pesar las muestra secas y seleccionar solo 2 de éstas; 1 de piedra de  $\frac{3}{4}$ " y 1 de arena gruesa.
- Efectuar los cálculos correspondientes.

✓ **Cálculos**

❖ **CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DEL AGREGADO FINO**

CANTERA : La Cumbre

MATERIAL : arena gruesa

- Peso de la tara (gr)	27.386
- Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	196.265
- Peso de la tara + muestra seca (gr)	195.505
- Contenido de agua	0.760
- Peso de la muestra seca (gr)	168.119

$$\% = \frac{\text{Contenido de agua}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

$$\therefore \text{Contenido de Húmedad} = 0.452 \%$$

❖ **CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DEL AGREGADO GRUESO**

CANTERA : La Sorpresa

MATERIAL : Piedra chancada - zarandeada

- Peso de la tara (gr)	26.624
- Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	179.012
- Peso de la tara + muestra seca (gr)	178.234
- Contenido de agua	0.778
- Peso de la muestra seca (gr)	151.610

$$\% = \frac{\text{Contenido de agua}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

$$\therefore \text{Contenido de Húmedad} = 0.513 \%$$

#### 4.1.5. PESO UNITARIO O VOLUMÉTRICO PARA AGREGADO FINO Y GRUESO- NORMA ASTM C-29, NTP / NTP 400.017

El peso unitario de un agregado es el peso de un volumen establecido.

Normalmente el peso unitario se expresa como el peso de un metro cúbico de material.

La determinación se hace de acuerdo a la norma C29 del ASTM, la que incluye la determinación del peso unitario seco compactado y la del peso unitario suelto del material; para la determinación de los pesos unitarios se usan recipientes cuyos volúmenes dependen del tamaño de las partículas más grande del agregado.

Este método se utiliza siempre para determinar el valor del peso unitario utilizado por algunos métodos de diseño de mezclas de concreto.

##### ✓ **Equipo Necesario**

- Una balanza con aproximación a 0.05 kg y que permita leer con exactitud de 0.1% del peso de la muestra.
- Barra compactadora, recta, de acero liso de 16 mm (5/8") de diámetro y aproximadamente 60 cm de longitud y terminada en punta semiesférica.
- Recipientes de medida, pueden ser cilindros metálicos preferiblemente con asas. Estancos con tapa y fondo firme y parejos, con precisión en sus dimensiones interiores y suficientemente rígidos para mantener su forma en condiciones

severas de uso. Los recipientes tendrán una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso la altura será menor del 80% ni mayor del 150% del diámetro. La capacidad dependerá del tamaño del agregado. La pared interior deberá ser pulida y continua.

- Pala de Mano, pala o cucharón de suficiente capacidad para llenar el recipiente con el agregado.

✓ **Procedimiento**

- El ensayo de peso unitario se realiza de dos formas; peso unitario suelto que se usará sólo cuando sea indicado específicamente. De otro modo, el peso unitario compactado será determinado por el procedimiento de apisonado para agregados que tengan un tamaño máximo nominal de 37.5 mm (1 ½ pulg) o menos; o por el procedimiento de percusión para agregados con tamaño máximo nominal entre 37.5 mm y 150 mm (1 ½ pulg a 6 pulg).

**A. PESO UNITARIO COMPACTADO**

✓ **Procedimiento de Apisonado**

- Se llena la tercera parte del recipiente de medida y se nivela la superficie con la mano. Se apisona la capa de agregado con la barra compactadora, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie. Se llena hasta las dos terceras

- partes de la medida y de nuevo se compacta con 25 golpes como antes. Finalmente, se llena la medida hasta rebosar, golpeándola 25 veces con la barra compactadora; el agregado sobrante se elimina utilizando la barra compactadora como regla.
- Al compactar la primera capa, se procura que la barra no golpee el fondo con la fuerza. Al compactar las últimas dos capas, sólo se emplea la fuerza suficiente para que la barra compactadora penetre la última capa de agregado colocada en el recipiente.
  - Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso del recipiente sólo y se registra los pesos.

## B. PESO UNITARIO SUELTO

### ✓ Procedimiento de Apisonado

- El recipiente de medida se llena con una pala o cuchara hasta rebosar, descargando el agregado desde una altura no mayor de 50mm (2") por encima de la parte superior del recipiente. El agregado se elimina con una regla.
- Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso del recipiente y se registran los pesos.

### Cálculos

- Peso del Molde : Pm
- Volumen del Molde : Vm

- Peso del Molde + Agregado : PT
- Peso de Agregado : PA = PT – Pm

### C. PESO UNITARIO DE AGREGADO: P.U. = PA / Vm

Esta fórmula es válida tanto para Peso Unitario suelto como para Compactado. Para obtener valores confiables, se realizarán de 2 a 3 ensayos de Peso Unitario, y se promedia. Estos valores deben estar muy próximos, sobre todo si se efectúa en material fino, de no ser así se tiene que volver a realizar para descartar el valor equivocado. Los ensayos realizados se muestran a continuación:

#### ❖ PESO UNITARIO PARA EL AGREGADO FINO:

##### ○ **Peso Aparente Suelto:**

- <i>Peso de la muestra + recipiente (kg)</i>	15.253
- <i>Peso del recipiente (kg)</i>	3.626
- <i>Peso de la muestra suelta (kg)</i>	11.627
- <i>Volumen (m<sup>3</sup>)</i>	0.009

$$\text{Peso Aparente Suelto} = \frac{\text{Peso de la Muestra Seca}}{\text{Volumen}}$$

$$\therefore \text{Peso Aparente Suelto} = 1282.190 \text{ kg/cm}^3$$

##### ○ **Peso Aparente Compactado:**

- <i>Peso de la muestra compactada + recipiente (kg)</i>	16.615
- <i>Peso del recipiente (kg)</i>	3.626
- <i>Peso de la muestra compactada (kg)</i>	12.989
- <i>Volumen (m<sup>3</sup>)</i>	0.009



$$\text{Peso Aparente Compactado} = \frac{\text{Peso de la Muestra Seca}}{\text{Volumen}}$$

$$\therefore \text{Peso Aparente SCompactado} = 1432.387 \text{ kg/cm}^3$$

❖ **PESO UNITARIO PARA EL AGREGADO GRUESO:**

○ **Peso Aparente Suelto:**

- Peso de la muestra + recipiente (kg)	16.960
- Peso del recipiente (kg)	3.050
- Peso de la muestra suelta (kg)	13.910
- Volumen (m <sup>3</sup> )	0.009

$$\text{Peso Aparente Suelto} = \frac{\text{Peso de la Muestra Seca}}{\text{Volumen}}$$

$$\therefore \text{Peso Aparente Suelto} = 1533.952 \text{ kg/cm}^3$$

○ **Peso Aparente Compactado:**

- Peso de la muestra compactada + recipiente (kg)	18.380
- Peso del recipiente (kg)	3.050
- Peso de la muestra compactada (kg)	15.330
- Volumen (m <sup>3</sup> )	0.009

$$\text{Peso Aparente Compactado} = \frac{\text{Peso de la Muestra Seca}}{\text{Volumen}}$$

$$\therefore \text{Peso Aparente SCompactado} = 1690.545 \text{ kg/cm}^3$$

#### 4.1.6. DISEÑO DE MEZCLA

##### A. Aspectos A Considerar Para El Diseño De Mezclas

Es importante antes de iniciar el diseño de una mezcla de concreto toma en cuenta ciertas consideraciones técnicas que van orientar a obtener una mezcla de concreto que cumpla las expectativas de obra; se debe tomar en cuenta:

- Las condiciones climatológicas del lugar de trabajo.
- Características de los materiales de la zona.
- Tipos de estructuras a trabajar.
- La trabajabilidad de las mezclas para lograr su colocación.
- Equipos y métodos de colocación del concreto.
- Calidad de los diferentes tipos de concreto a utilizar.
- Control de calidad del concreto.
- Condiciones de trabajo de las estructuras.

##### B. Mezcla De Prueba

La mezcla de prueba se preparará para llenar 3 probetas cilíndricas de 6" de diámetro por 12" de altura. El volumen de esta probeta de estas dimensiones es:

$$V = (1 \text{ pie}) \times (1/2 \text{ pie})^2 \times 1/4 \pi = \pi/16 \text{ pie}^3 \approx 5.56 \text{ lit.}$$

$$1 \text{ pie}^3 = 28.32 \text{ lit.}$$

Las 3 probetas tendrán un volumen de  $3 \times 5.56 = 16.68$  lit. con cada dosificación será necesario preparar como mínimo 20.02lit. de concreto.

La cantidad de cada material para la mezcla se determinara fijándose un peso de cemento a usar (aproximadamente igual al volumen de concreto a usar por el peso de cemento para 1 m<sup>3</sup> de concreto), y multiplicando este valor por cada uno de los términos de la proporción en peso.

### **C. Rendimiento De La Mezcla**

Para calcular el rendimiento de la mezcla se tiene que usar el peso específico de los materiales en el estado en que se encuentran. El peso específico de los agregados en su estado natural se encuentra multiplicando el peso específico de masa por la unidad sumada al contenido de humedad en fracción decimal.

La determinación de la cantidad de material en el estado en que se encuentra, a usar para un metro cúbico de concreto se deduce dividiendo los pesos de los materiales para la mezcla de prueba entre el rendimiento.

Con estas nuevas cantidades de material para formar un metro cúbico de concreto encontramos otro peso para dicha cantidad de concreto la que compararemos con la que se obtuvo después de hacer las correcciones y si la diferencia de estos pesos es menor que 1% indica que los valores ajustados están bien en aproximación al verdadero.

### **D. Mezclado y Curado**

La dosificación de mezcla proporciona en cada caso la cantidad de material de cada especie que intervendrá en el mezclado las cantidades de estos

materiales a usar en la mezcla se determinaron mediante su peso y con las aproximaciones con que se hicieron los cálculos.

El mezclado se realiza con una mezcladora basculante (trompo) y cuya capacidad es de  $1/2\text{pie}^3$  de concreto, hasta conseguir un producto uniforme.

El mezclado se realiza de acuerdo a la norma C-192 del ASTM que recomienda colocar todos los materiales ya medidos en el mezclador por 3 minutos, luego hacer descansar la mezcladora por 3 minutos, y finalmente hacer funcionar el mezclador por un periodo de 2 minutos, es decir que el mezclado demora en total 8 minutos. El concreto fresco así obtenido es depositado en un recipiente humedecido en la que con una pala se evitara la segregación removiéndolo.

El ensayo siguiente a realizar es la medida de la consistencia de acuerdo con la norma C-143 del ASTM, se determina la consistencia del concreto midiendo el asentamiento, la que se hace con el cono de Abrams; llenándolo en tres capas que se compactan con 25 golpes cada una y luego sacando el cono verticalmente para medir dicho asentamiento colocando el cono al costado de la masa de concreto, y la varilla compactadota sobre el cono en forma horizontal para medir el asentamiento con una regla. Los valores obtenidos en cada mezcla se muestran en los respectivos diseños.

Terminando la medición del asentamiento, si se golpea suavemente con la varilla de apisonar un lado del cono truncado de concreto y este sigue asentándose en forma gradual hasta alturas inferiores podemos decir que la mezcla está bien dosificada, es cohesiva y de fácil manejo, y si por el

contrario se desmenuza y cae por separado se está ante una mala mezcla.

Luego se procedió al llenado de las probetas de manera como lo indica la norma C-192 del ASTM, es decir dejando caer verticalmente el concreto y en tres capas que son consolidados a mano ya que las consistencias así lo permiten.

Las probetas se desmoldan a las 24 horas y en seguida se colocaron en un tanque con agua, en la que quedaron completamente sumergidos hasta los 30 días, luego de los cuales se procedió a ensayarlos, de la manera indicada en el capítulo siguiente.

Los diseños, asentamientos y rendimientos de las mezclas se presentan a continuación, en forma resumida y separadamente para cada tipo de mezcla.

## DISEÑO DE MECLA $F'c=210$ kg/cm<sup>2</sup>

### *Método de Diseño del Comité 211 del ACI*

#### **I. ESPECIFICACIONES:**

**1.1.** *La resistencia de Diseño a los 28 días es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, se desconoce el valor de la desviación estándar.*

**1.2.** *Materiales:*

##### **1.2.1 Cemento Pacasmayo Tipo I**

*Peso específico* 3110 Kg/m<sup>3</sup>

##### **1.2.2 Agregado Fino (Arena Gruesa)**

*Peso Específico* 2762.60 Kg/m<sup>3</sup>

*Absorción* 0.66 %

*Contenido de Humedad* 0.45 %

*Módulo de fineza* 2.63

*Peso unitario suelto* 1282.19 Kg/m<sup>3</sup>

##### **1.2.3 Agregado Grueso (Piedra Chancada)**

*Tamaño máximo nominal* 3/4"

*Peso seco varillado* 1690.54 kg/m<sup>3</sup>

*Peso específico de masa* 2566.75 kg/m<sup>3</sup>

*Absorción* 0.5 %

*Contenido de Humedad* 0.51 %

*Peso Unitario Suelto* 1533.95 kg/m<sup>3</sup>

##### **1.2.4 Agua**

*Agua Potable de la zona* 1000.00

## **II. SECUENCIA DE DISEÑO**

### **2.1. Selección de la Resistencia Requerida ( $f'cr$ ):**

Dado que no se conoce el valor de la desviación estándar, se tiene que:

$$f'cr = f'c + 84 \text{ kg/cm}^2$$

Entonces:

$$f'cr = 210 + 84$$

$$f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

### **2.2. Selección del Tamaño Máximo Nominal:**

El tamaño máximo nominal es de 3/4".

### **2.3. Selección del Asentamiento:**

Por las condiciones de colocación se requiere de una mezcla plástica con un asentamiento de 3" a 4". (Tabla 9.2 - "TOPICOS DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO")

### **2.4. Volumen unitario de agua:**

Para una mezcla de concreto de 3" a 4" de asentamiento, sin aire incorporado y cuyo agregado tiene un tamaño máximo nominal de 3/4", el volumen unitario de agua es de:

$$205 \text{ lt/m}^3$$

### **2.5. Contenido de Aire:**

Se considera el 2.0 % de aire atrapado por las características de los componentes de éste concreto.

$$2.00 \%$$

### **2.6. Relación Agua - Cemento:**

Para una resistencia de diseño  $f'cr = 294$  kg/cm<sup>2</sup> sin aire incorporado, la relación agua - cemento es de:

$$0.56 \text{ por Resistencia}$$

### 2.7. Factor Cemento:

$$\frac{205}{0.56} = 366.07 \text{ kg/m}^3 = 8.61 \text{ bls/m}^3$$

### 2.8. Contenido de Agregado Grueso:

Para un módulo de fineza de 2.53 y un tamaño máximo nominal de 3/4" le corresponde un volumen unitario de 0.65 m<sup>3</sup> de agregado grueso varillado por unidad de volumen de concreto. (Tabla 9.4 - "TOPICOS DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO").

$$\begin{aligned} \text{Peso del agregado grueso:} & \quad 0.65 \quad \times \quad 1690.54 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Peso del agregado grueso:} & \quad 1098.85 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

### 2.9. Cálculo de Volúmenes Absolutos:

Cemento	$\frac{366.07}{3110}$	=	0.118 m <sup>3</sup>
Agua	$\frac{205.00}{1000.00}$	=	0.205 m <sup>3</sup>
Aire Atrapado	2.00 %	=	0.020 m <sup>3</sup>
Agregado Grueso	$\frac{1098.85}{2566.75}$	=	0.428 m <sup>3</sup>
<b>TOTAL</b>		<b>=</b>	<b>0.771 m<sup>3</sup></b>

### 2.10. Contenido de Agregado Fino:

Volumen absoluto de agregado fino :	0.229 m <sup>3</sup>
Peso del agregado fino seco :	632.63 kg/m <sup>3</sup>



### 2.11. Valores de Diseño:

Cemento	366.07 kg/m <sup>3</sup>
Agua de Diseño	205 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino Seco	632.63 kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso Seco	1098.85 kg/m <sup>3</sup>

### 2.12. Corrección por Humedad de los Agregados

Agregado Fino :	632.63 kg/m <sup>3</sup> x	1.0045 =	635.48 kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso:	1098.85 kg/m <sup>3</sup> x	1.0051 =	1104.45 kg/m <sup>3</sup>

#### Humedad Superficial de:

Agregado Fino :	0.45 % -	0.66 % =	-0.21 %
Agregado Grueso:	0.51 % -	0.5 % =	0.01 %

#### Aportes de Humedad de los Agregados:

Agregado Fino :	635.48 kg/m <sup>3</sup> x	0.00 =	-1.34 lt/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso:	1104.45 kg/m <sup>3</sup> x	0.0001 =	0.11 lt/m <sup>3</sup>
		TOTAL =	-1.23 lt/m <sup>3</sup>

$$\text{Agua Efectiva} \quad 205 \text{ Lt/m}^3 - ( -1.23 ) \text{ Lt/m}^3 = 206.23 \text{ Lt/m}^3$$

Los peso de los materiales ya corregidos serán:

Cemento	366.07 kg/m <sup>3</sup>
Agua Efectiva	206.23 lt/m <sup>3</sup>
Agregado Fino Húmedo	635.48 kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso Húmedo	1104.45 kg/m <sup>3</sup>

### 2.13. Proporción en Peso Húmedo

Cemento	$\frac{366.07}{366.07} =$	1
Agregado Fino Húmedo	$\frac{635.48}{366.07} =$	1.74

$$\text{Agregado Grueso Húmedo} \quad \frac{1104.5}{366.07} = 3.02$$

$$\text{Agua efectiva} \quad \frac{206.23}{366.07} = 0.56$$

**2.14. Pesos por Tanda de un Saco:**

Cemento	1 x 42.50 =	42.5 kg/saco
Agua Efectiva	0.56 x 42.50 =	23.8 Lt/saco
Agregado Fino Húmedo	1.74 x 42.50 =	73.95 kg/saco
Agregado Grueso Húmedo	3.02 x 42.50 =	128.35 kg/saco

**2.15. Peso por pie cúbico:**

$$\text{Agregado Fino Húmedo} \quad \frac{635.48}{1282.2} \times 35.31 = 17.5 \text{ kg/pie}^3$$

$$\text{Agregado Grueso Húmedo} \quad \frac{1104.5}{1534} \times 35.31 = 25.42 \text{ kg/pie}^3$$

**2.16. Dosificación en Volumen**

Cemento	8.61 / 8.61 =	<b>1 pie<sup>3</sup></b>
Agregado Fino Húmedo	17.5 / 8.61 =	<b>2.03 pie<sup>3</sup></b>
Agregado Grueso Húmedo	25.42 / 8.61 =	<b>2.95 pie<sup>3</sup></b>
Agua de Mezcla	206.23 / 8.61 =	<b>23.95 Lt/bolsa</b>

$$1 \text{ pie}^3 : 2.03 \text{ pie}^3 : 2.95 \text{ pie}^3 : 23.95 \text{ lt/bl}$$

✓ **Representación de la Dosificación a Pies Cúbicos**

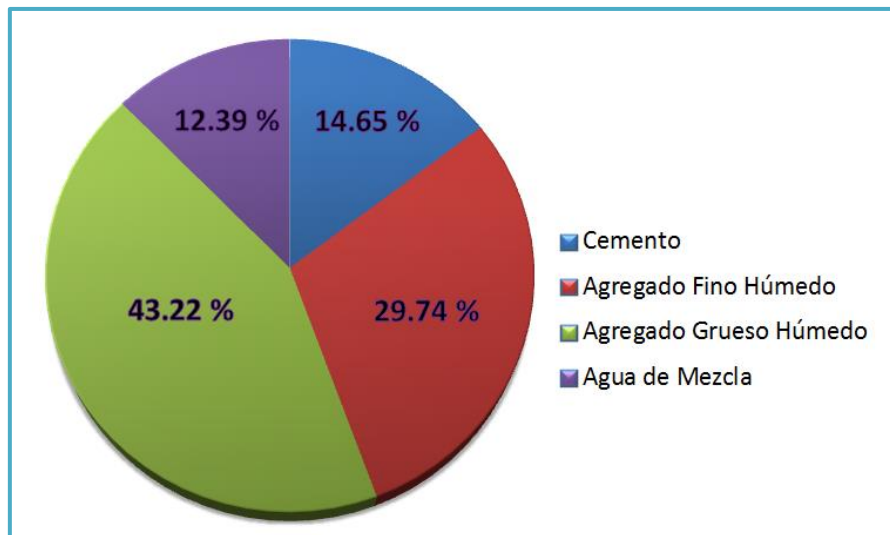
Cemento	<b>1 pie<sup>3</sup></b>	<b>1.00 pie<sup>3</sup></b>
Agregado Fino Húmedo	<b>17.5 pie<sup>3</sup></b>	<b>17.50 pie<sup>3</sup></b>
Agregado Grueso Húmedo	<b>25.42 pie<sup>3</sup></b>	<b>25.42 pie<sup>3</sup></b>

Agua de Mezcla

23.95 Lt/bolsa

6.83 Pie3/bl

✓ **Representación Gráfica Porcentual**



#### 4.1.7. ENSAYOS DE LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

##### 4.1.7.1. Trabajabilidad y Consistencia

Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones. La consistencia está asociada pero no es sinónimo de trabajabilidad. Usualmente la consistencia de una mezcla se mide por el grado de asentamiento de la misma. Corresponden los menores asentamientos a las mezclas más secas y los mayores a las consistencias fluidas. Como no existe prueba alguna hasta el momento que permita cuantificar esta propiedad, generalmente se le aprecia en los ensayos de consistencia, los cuales vemos a continuación resumidos en el siguiente

cuadro:

<b>F'C</b>	<b>Slump</b>	<b>Trabajabilidad</b>
<b>210</b>	4"	Trabajable

#### **4.1.7.2. Peso Unitario del Concreto**

El P.U. del concreto fue medido en estado fresco de cada dosificación, con el mismo diseño de mezcla con los que se realizaron las probetas.

<b>F'C</b>	<b>PESO UNITARIO</b>
<b>210</b>	16.85 KG.

#### **4.1.7.3. Aire Atrapado del Concreto**

En este ensayo se procede a calcular el aire que se encuentra atrapado en la mezcla fresca mediante un Medidor de entrada de aire (tipo manómetro), haciendo ingresar un agua en este esperando a que llene todos los espacios sueltos y así calcular el porcentaje de aire que se encuentra atrapado.

<b>F'C</b>	<b>PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO</b>
<b>210</b>	2.1 %

#### **4.1.7.4. PROCESO DE QUEMADO DE LAS PROBETAS A TEMPERATURAS DE 500°C, 550°C, 600°C, 650°C, 700°C, 750°C Y 800°C.**

Es en este capítulo de estudio en donde se procede a realizar la etapa de quema de probetas o sea el concreto bajo la acción del fuego, para esto se usó un horno de una fundición el cual llega a superar los 1000 °C.

El proceso de trabajo fue el siguiente:

A la edad de 28 días las probetas cilíndricas de 6" de diámetro por 12" de altura, se les lleva al horno para la etapa de quema, se hace la aclaración que antes de quemarlos se les pesó y midió el diámetro a cada uno, esto para luego ver la variación de peso y diámetro que podría presentarse.

La tanda de quemado fue de 04 probetas, dispuestas a diferentes temperaturas dentro del horno. La distribución de las probetas en el horno para el quemado que se hace notar a continuación.

Durante el proceso de quemado se tomarán temperaturas de 500°C, 550°C, 600°C, 650°C, 700°C, 750°C y 800°C en tiempos aproximados como se indican en los siguientes cuadros.

❖ **PROCESO DE EXPOSICIÓN DEL CONCRETO DE  $F'c=210$ KG/CM<sup>2</sup> A:**

**1) SOMETIMIENTO A 500 °C DE TEMPERATURA:**

	PESO(Kg)			TIEMPO	DIAMETRO(Cm)		ALTURA(Cm)	
	Inicial	Final	% perdida		Inicial	Final	Inicial	Final
E	14.280	13.500	5.46%	00:30	15.10	15.15	30.03	30.05
E	14.320	13.000	9.22%	00:30	15.10	15.20	30.03	30.04
E	14.310	13.400	6.36%	00:30	15.05	15.10	30.04	30.04
E	14.320	13.200	7.82%	00:30	15.10	15.15	30.02	30.03

## 2) SOMETIMIENTO A 550 °C DE TEMPERATURA:

	PESO(Kg)			TIEMPO	DIAMETRO(Cm)		ALTURA(Cm)	
	Inicial	Final	% perdida		Inicial	Final	Inicial	Final
<b>F</b>	14.300	13.400	6.29%	<b>01:00</b>	15.15	15.18	30.04	30.06
<b>F</b>	14.290	13.050	8.68%	<b>01:00</b>	15.12	15.15	30.03	30.05
<b>F</b>	14.310	13.200	7.76%	<b>01:00</b>	15.13	15.12	30.03	30.03
<b>F</b>	14.300	13.550	5.24%	<b>01:00</b>	15.11	15.13	31.16	31.12

## 3) SOMETIMIENTO A 600 °C DE TEMPERATURA:

	PESO(Kg)			TIEMPO	DIAMETRO(Cm)		ALTURA(Cm)	
	Inicial	Final	% perdida		Inicial	Final	Inicial	Final
<b>G</b>	13.390	12.400	7.39%	<b>01:30</b>	15.20	15.24	30.10	30.15
<b>G</b>	14.290	13.550	5.18%	<b>01:30</b>	15.20	15.26	30.06	30.06
<b>G</b>	14.280	13.500	5.46%	<b>01:30</b>	15.22	15.25	30.06	30.08
<b>G</b>	13.700	12.700	7.30%	<b>01:30</b>	15.10	15.13	30.10	30.12

## 4) SOMETIMIENTO A 650 °C DE TEMPERATURA:

	PESO(Kg)			TIEMPO	DIAMETRO(Cm)		ALTURA(Cm)	
	Inicial	Final	% perdida		Inicial	Final	Inicial	Final
<b>H</b>	13.890	12.150	9.29%	<b>02:00</b>	15.10	15.14	30.08	30.07
<b>H</b>	13.820	12.950	6.30%	<b>02:00</b>	15.10	15.16	30.03	30.04
<b>H</b>	13.820	12.950	6.30%	<b>02:00</b>	15.10	15.15	30.03	30.05
<b>H</b>	13.205	12.900	2.31%	<b>02:00</b>	15.30	15.34	30.04	30.05

## 5) SOMETIMIENTO A 700 °C DE TEMPERATURA:

	PESO(Kg)			TIEMPO	DIAMETRO(Cm)		ALTURA(Cm)	
	Inicial	Final	% perdida		Inicial	Final	Inicial	Final
<b>I</b>	13.260	12.200	7.99%	<b>02:30</b>	15.10	15.17	30.02	30.03
<b>I</b>	13.780	12.650	8.20%	<b>02:30</b>	15.30	15.36	30.04	30.05
<b>I</b>	13.850	12.900	6.86%	<b>02:30</b>	15.10	15.12	30.03	30.04
<b>I</b>	13.390	12.350	7.77%	<b>02:30</b>	15.20	15.24	30.03	30.04

## 6) SOMETIMIENTO A 750 °C DE TEMPERATURA:

	PESO(Kg)			TIEMPO	DIAMETRO(Cm)		ALTURA(Cm)	
	Inicial	Final	% perdida		Inicial	Final	Inicial	Final
<b>J</b>	13.995	12.200	9.61%	<b>03:00</b>	15.05	15.06	31.02	31.03
<b>J</b>	13.235	12.250	7.44%	<b>03:00</b>	15.20	15.28	30.01	30.03
<b>J</b>	13.880	12.900	7.06%	<b>03:00</b>	15.20	15.24	30.06	30.05
<b>J</b>	14.340	13.250	7.60%	<b>03:00</b>	15.70	15.74	30.06	30.07

## 7) SOMETIMIENTO A 800 °C DE TEMPERATURA:

	PESO(Kg)			TIEMPO	DIAMETRO(Cm)		ALTURA(Cm)	
	Inicial	Final	% perdida		Inicial	Final	Inicial	Final
<b>K</b>	13.345	12.350	7.46%	<b>03:30</b>	15.10	15.15	30.01	30.07
<b>K</b>	13.849	12.800	7.57%	<b>03:30</b>	15.10	15.14	30.08	30.05
<b>K</b>	13.770	12.750	7.41%	<b>03:30</b>	15.10	15.16	30.06	30.05
<b>K</b>	13.805	12.700	8.00%	<b>03:30</b>	15.40	15.44	30.05	30.04

Se quemaron 28 probetas para una dosificación de 210kg/cm<sup>2</sup>, 04 probetas se quemaron a una temperatura de 500 °C, 04 a una temperatura de 550 °C, 04 a una temperatura de 600 °C, 04 a una temperatura de 650 °C, 04 a una temperatura de 700 °C, 04 a una temperatura de 750 °C y 04 a una temperatura de 800 °C.

### 4.1.8. ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO PATRÓN Y CONCRETO QUEMADO.

#### 4.1.8.1. CONCRETO PATRÓN (SIN QUEMAR)

##### 4.1.8.1.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PATRÓN

Los ensayos del concreto en estado endurecido son de gran importancia, ya que reflejan la forma como se comporta éste al soportar las cargas que se le aplican, para calcular su resistencia

alcanzada. Presentamos a continuación los ensayos respectivos de resistencia a la compresión del concreto patrón y del concreto sometido a la acción directa del fuego.

Los ensayos se desarrollan para el concreto patrón, para la dosificación de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Para este ensayo se ha seguido el procedimiento de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto, expuesto por la norma ASTM C-39. Este ensayo se realiza normalmente cuando los cilindros de prueba posean una edad gradual con 07 días de diferencia; es decir: las rupturas se dispondrán a 07 días, 14 días, 21 días y a 28 días después de su elaboración y debidamente curadas. Y para efectos del mismo se emplearán las siguientes características en las probetas elaboradas con el concreto patrón antes de su ruptura:

❖ **CONCRETO  $F'_c=210$  KG/CM<sup>2</sup> (07 DÍAS)**

	PESO(Kg)		DIAMETRO(Cm)		ALTURA(Cm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
<b>A</b>	13.345	13.345	15.10	15.10	30.01	30.01
<b>A</b>	13.849	13.849	15.10	15.10	30.08	30.08

❖ **CONCRETO  $F'_c=210$  KG/CM<sup>2</sup> (14 DÍAS)**

	PESO(Kg)		DIAMETRO(Cm)		ALTURA(Cm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
<b>B</b>	13.770	13.770	15.10	15.10	30.06	30.06
<b>B</b>	13.805	13.805	15.05	15.05	30.05	30.05



❖ CONCRETO  $F'_c=210$  KG/CM<sup>2</sup> (21 DÍAS)

	PESO(Kg)		DIAMETRO(Cm)		ALTURA(Cm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
<b>C</b>	13.260	13.260	15.10	15.10	30.02	30.02
<b>C</b>	13.780	13.780	15.22	15.22	30.04	30.04

❖ CONCRETO  $F'_c=210$  KG/CM<sup>2</sup> (28 DÍAS)

	PESO(Kg)		DIAMETRO(Cm)		ALTURA(Cm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
<b>D</b>	13.850	13.850	15.15	15.15	30.03	30.03
<b>D</b>	13.390	13.390	15.20	15.20	30.03	30.03

✓ RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS ELABORADAS CON  
CONCRETO PATRÓN.

❖ RELACIÓN AGUA CEMENTO  $a/c=0.56$  A LOS 07 DÍAS

Probeta	Peso	Diámetro (cm)	TIEMPO - (horas)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (KN)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>A</b>	13.345	15.10	0.00	178.99	246	25045.87	139.93
<b>A</b>	13.849	15.10	0.00	178.99	234	23861.37	133.31
						<b>Promedio =</b>	<b>136.62</b>

❖ RELACIÓN AGUA CEMENTO  $a/c=0.56$  A LOS 14 DÍAS

Probeta	Peso	Diámetro (cm)	TIEMPO - (horas)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (KN)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>B</b>	13.770	15.10	0.00	178.99	336	34199.80	191.07
<b>B</b>	13.805	15.05	0.00	177.80	320	32629.97	183.52
						<b>Promedio =</b>	<b>187.29</b>

❖ **RELACIÓN AGUA CEMENTO  $a/c=0.56$  A LOS 21 DÍAS**

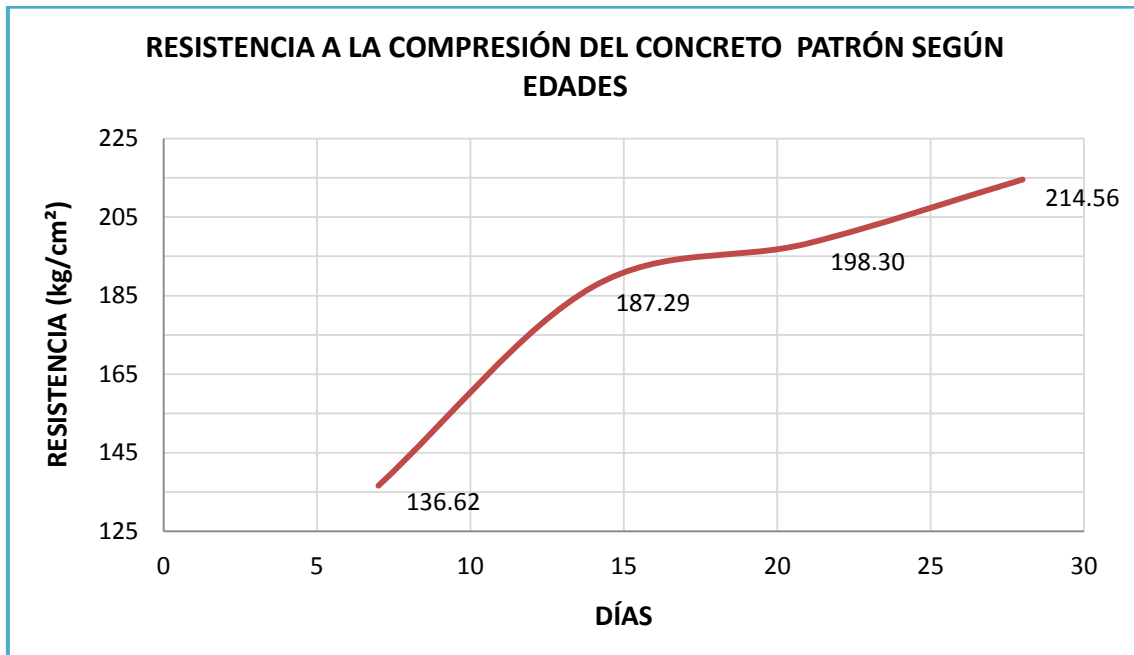
Probeta	Peso	Diámetro (cm)	TIEMPO - (horas)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (KN)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
C	13.260	15.15	0.00	180.18	343	35009.17	194.31
C	13.780	15.22	0.00	181.84	361	36786.95	202.30
						<b>Promedio =</b>	<b>198.30</b>

❖ **RELACIÓN AGUA CEMENTO  $a/c=0.56$  A LOS 28 DÍAS**

Probeta	Peso	Diámetro (cm)	TIEMPO - (horas)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (KN)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
D	13.850	15.15	0.00	180.18	379	38634.05	214.42
D	13.390	15.20	0.00	181.37	382	38939.86	214.70
						<b>Promedio =</b>	<b>214.56</b>

✓ **CUADRO Y GRÁFICA DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO  $F'_c=210$  KG/CM<sup>2</sup> EN DÍAS CON RELACIÓN AGUA CEMENTO  $A/C=0.56$**

DÍAS	RESISTENCIAS OBTENIDAS (kg/cm <sup>2</sup> )
7	136.62
14	187.29
21	198.30
28	214.56



#### 4.1.8.2. CONCRETO QUEMADO

##### 4.1.8.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO SOMETIDO A LA ACCIÓN DIRECTA DEL FUEGO.

Para el ensayo de rotura se ha seguido el procedimiento de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto, expuesto por la norma ASTM C-39.

Para los ensayos respectivos se dejaron enfriar las probetas un tiempo prudencial para luego pesarlas nuevamente y tomarles su diámetro y por último ensayarlas, o sea someterlas a la compresión. Es importante el conocimiento en el caso de cargas extremas ante el debilitamiento del concreto en una estructura por acción del fuego solo se puede si la estructura es capaz de absorber y disipar energía mediante deformaciones inelásticas.

**4.1.8.2.2. VALORES PROMEDIOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL  
CONCRETO SOMETIDO A LA ACCIÓN DIRECTA DEL FUEGO CON 28  
DÍAS DE EDAD:**

**A) RELACIÓN AGUA CEMENTO  $a/c=0.56$  A 500 °C DE TEMPERATURA:**

Probeta	Peso	Diámetro (cm)	TIEMPO - (horas)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (KN)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
E	13.500	15.15	0.30	180.18	212.8	21692.15	120.39
E	13.000	15.20	0.30	181.37	220.3	22456.68	123.82
E	13.400	15.10	0.30	178.99	218.4	22263.00	124.38
E	13.200	15.15	0.30	180.18	216.3	22048.93	122.37
						<b>Promedio =</b>	<b>122.74</b>

**B) RELACIÓN AGUA CEMENTO  $a/c=0.56$  A 550 °C DE TEMPERATURA:**

Probeta	Peso	Diámetro (cm)	TIEMPO - (horas)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (KN)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
F	13.400	15.18	1.00	180.18	197.2	20101.94	111.13
F	13.050	15.15	1.00	180.18	200.1	20397.55	113.21
F	13.200	15.12	1.00	178.99	192.9	19663.61	109.57
F	13.550	15.13	1.00	179.70	196.1	19989.81	111.24
						<b>Promedio =</b>	<b>111.29</b>

**C) RELACIÓN AGUA CEMENTO  $a/c=0.56$  A 600 °C DE TEMPERATURA:**

Probeta	Peso	Diámetro (cm)	TIEMPO - (horas)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (KN)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
G	12.400	15.24	1.30	182.32	172.1	17543.32	96.22
G	13.550	15.26	1.30	182.80	160.0	16309.89	89.22
G	13.500	15.25	1.30	182.56	163.9	16707.44	91.52
G	12.700	15.13	1.30	179.70	176.3	17966.36	99.98
						<b>Promedio =</b>	<b>94.24</b>

**D) RELACIÓN AGUA CEMENTO  $a/c=0.56$  A 650 °C DE TEMPERATURA:**

Probeta	Peso	Diámetro (cm)	TIEMPO - (horas)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (KN)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
H	12.150	15.14	2.00	179.94	159.3	16238.53	90.25
H	12.950	15.16	2.00	180.41	162.2	16534.15	91.65
H	12.950	15.15	2.00	180.18	164.2	16738.02	92.90
H	12.900	15.34	2.00	184.72	161.9	16503.57	89.34
						<b>Promedio =</b>	<b>91.03</b>

**E) RELACIÓN AGUA CEMENTO  $a/c=0.56$  A 700 °C DE TEMPERATURA:**

Probeta	Peso	Diámetro (cm)	TIEMPO - (horas)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (KN)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
I	12.200	15.17	2.30	180.65	153.2	15620.80	86.47
I	12.650	15.36	2.30	185.20	155.1	15810.40	85.37
I	12.900	15.12	2.30	179.46	154.4	15739.04	87.70
I	12.350	15.24	2.30	182.32	151.8	15474.01	84.87
						<b>Promedio =</b>	<b>86.10</b>

**F) RELACIÓN AGUA CEMENTO  $a/c=0.56$  A 750 °C DE TEMPERATURA:**

Probeta	Peso	Diámetro (cm)	TIEMPO - (horas)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (KN)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
J	12.200	15.06	3.00	178.04	149.2	15208.97	85.42
J	12.250	15.28	3.00	183.28	147.1	14994.90	81.81
J	12.900	15.24	3.00	182.32	145.3	14811.42	81.24
J	13.250	15.74	3.00	194.48	148.0	15086.65	77.57
						<b>Promedio =</b>	<b>81.51</b>

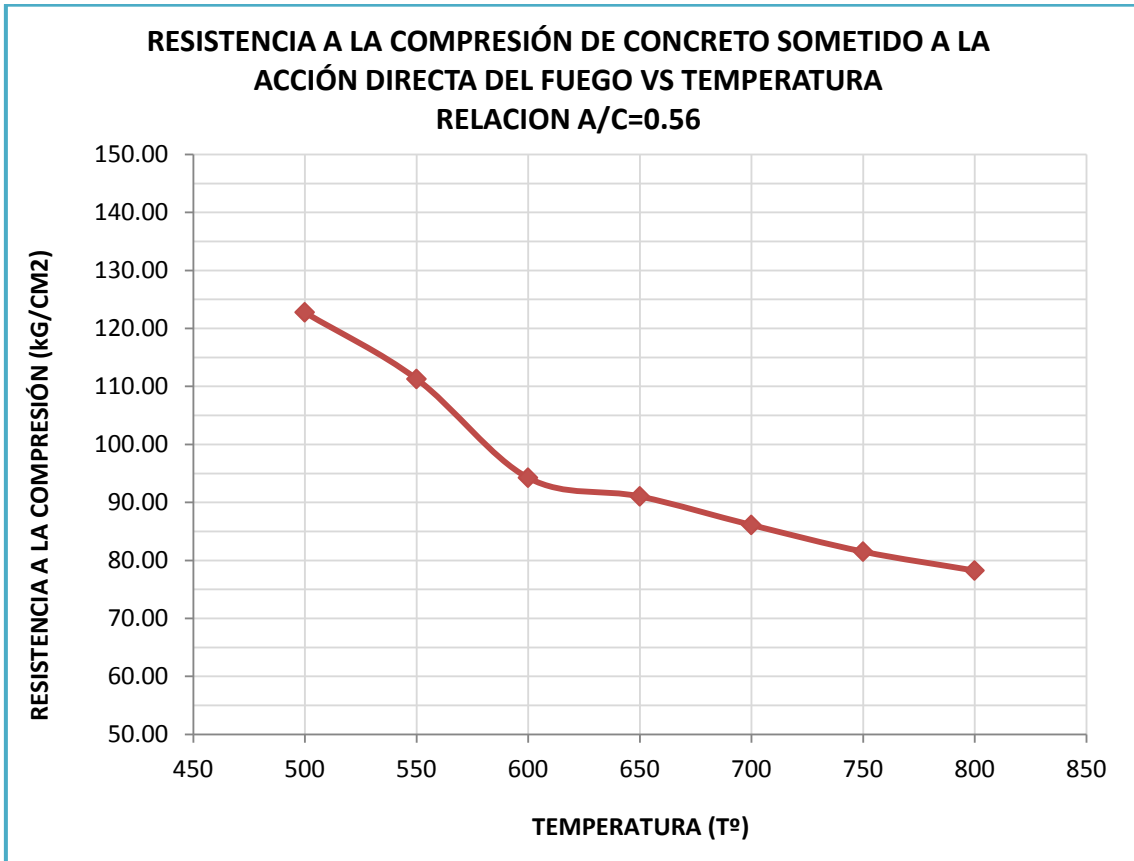
**G) RELACIÓN AGUA CEMENTO  $a/c=0.56$  A  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  DE TEMPERATURA:**

Probeta	Peso	Diámetro (cm)	TIEMPO - (horas)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (KN)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
K	12.350	15.15	3.30	180.18	143.8	14658.51	81.36
K	12.800	15.14	3.30	179.94	135.5	13814.48	76.77
K	12.750	15.16	3.30	180.41	138.1	14077.47	78.03
K	12.700	15.44	3.30	187.14	141.0	14373.09	76.80
						<b>Promedio =</b>	<b>78.24</b>

✓ **CUADRO DE RESUMEN DE LAS RESISTENCIAS PROMEDIO DEL CONCRETO**

**SOMETIDAS A LA ACCIÓN DEL FUEGO**

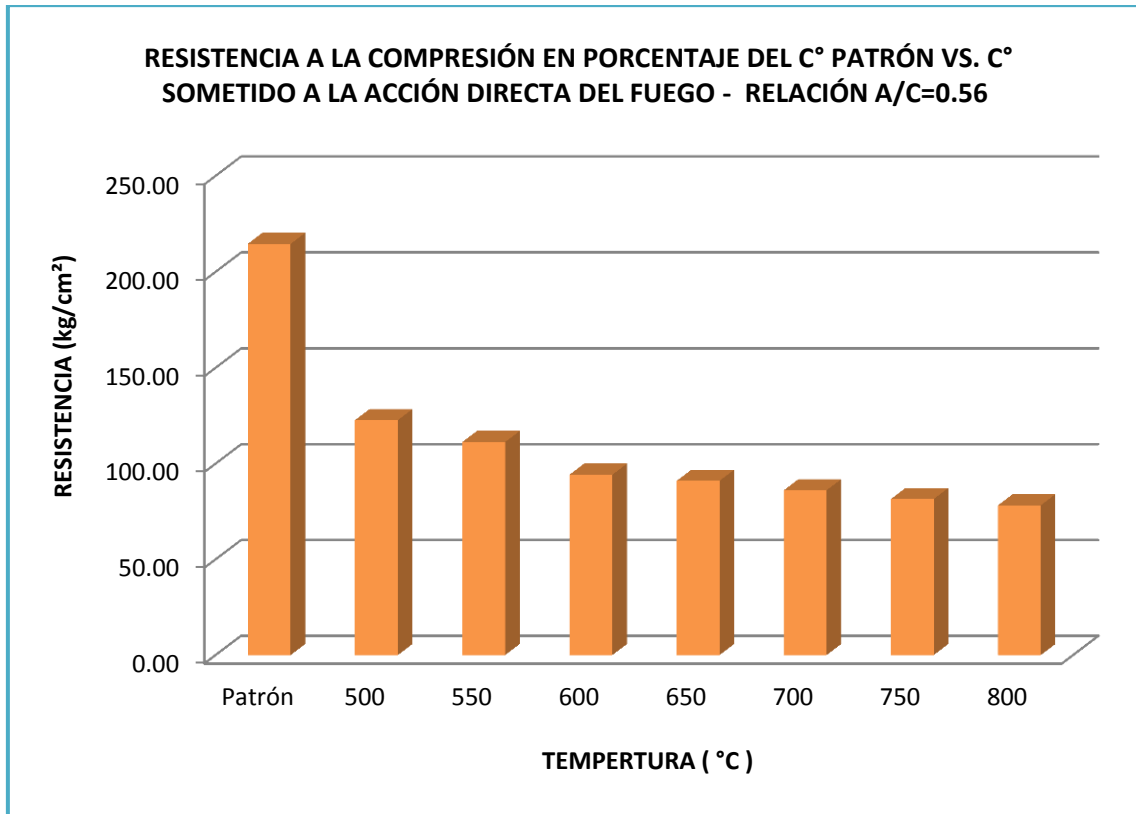
TEMPERATURA ( $^\circ\text{C}$ )	RESISTENCIA PROMEDIO ( $F'c$ ) $R=a/c=0.56$
500	122.74
550	111.29
600	94.24
650	91.03
700	86.10
750	81.51
800	78.24



✓ **CUADRO DE RESUMEN PORCENTUAL A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO  
 PATRÓN VS. CONCRETO SOMETIDO A LA ACIÓN DEL FUEGO**

RELACIÓN A/C (28 DÍAS)	0.56	
Concreto Patrón (kg/cm <sup>2</sup> )	214.56	100.00%
Concreto sometido al fuego 500 °c	122.74	57.21%
Concreto sometido al fuego 550 °c	111.29	51.87%
Concreto sometido al fuego 600 °c	94.24	43.92%
Concreto sometido al fuego 650 °c	91.03	42.43%
Concreto sometido al fuego 700 °c	86.10	40.13%
Concreto sometido al fuego 750 °C	81.51	37.99%
Concreto sometido al fuego 800 °C	78.24	36.47%

- ✓ **GRÁFICA COMPARATIVA DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO PATRÓN EN RELACIÓN AL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS.**





# CAPÍTULO V: CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1.- CONCLUSIONES

- La falla del concreto por acción del fuego se debe principalmente a la acción opuesta entre la pasta, la cual tiende a contraerse debido a la pérdida de humedad lo que puede comprobarse con el aumento de los diámetros en los cilindros de concreto, y del agregado el cual de acuerdo a su composición mineralógica se expande con el incremento de la temperatura, lo que ocasiona agrietamiento y descascaramiento, lo que produce un desprendimiento explosivo del concreto. Aunque en el presente informe no se estudia al acero es lógico que las consecuencias anteriores de agrietamiento y descascaramiento expondrían al acero de refuerzo a la acción del fuego.
- En cuanto a la pasta es imposible detener la pérdida de humedad por la exposición al fuego, pero el tipo de agregado que también tiene influencia importante sobre la resistencia al fuego de las estructuras puede ser controlado o seleccionado.
- Dados los resultados obtenidos en laboratorio podemos concretar de que los concretos de mayor resistencia frente al sometimiento de fuego a elevadas temperaturas, tiene menor resistencia a fuego que oscilan entre temperaturas de 500 °C a 550 °C, esto es debido que a mayor contenido de

cemento en el elemento estructural este basa mayormente su resistencia a la calidad y resistencia que ofrecen los agregados, motivo por el cual los concretos que poseen menor resistencia ofrecen una resistencia mayor frente al fuego.

- Durante la exposición de los elementos de muestras (probetas) frente al fuego ocurren variaciones en sus dimensiones, dado a que se expanden y contraen por la acción misma del fuego.
- Puede apreciarse que el deterioro es acelerado para temperaturas desde los 500 °C y superiores, cabe recalcar que esto se produciría con temperaturas oscilante de 250~350 °C en adelante
- En el proceso de quemado observamos que el agua de hidratación del concreto tiende a perderse debido a la absorción del calor al evaporarse el agua, lo que se comprueba con una pérdida promedio en:
  - Para una dosificación de  $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup> la pérdida promedio es de 4.99% del peso total en una temperatura de 300° C, 5.11% en una temperatura de 600° C y 13.53% en una temperatura de 900° C.
  - La variaciones diámetros que presenta el concreto de 210 son de 1.005% como máximo y de 1.0001% como mínimo al ser sometido a 750 °C. y con una edad de 18 días desde su elaboración.
  - De acuerdo a la gráfica comparativa de la resistencia que ofrece el concreto patrón frente a las del concreto sometido al fuego disminuye conforme se va elevando la temperatura.

- Se puede afirmar de que para un diseño de mezclas de 210kg/cm<sup>2</sup> empleado en el presente informe de tesis posee una resistencia porcentual del 57.21% respecto de su resistencia con el concreto patrón y de que para una temperatura máxima empleada (800 °C) su resistencia decae severamente hasta un 36.47% de lo que ofrecía actualmente.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para la selección del agregado para el concreto deber tenerse mayor cuidado, pues la resistencia que ofrecerá un agregado de buena calidad y que cumpla con los estándares requeridos según el análisis granulométrico, influirá mucho en la resistencia de una estructura frente a un eventual incendio o sometimiento de fuego.
- Se puede afirmar de que los concretos preparados con agregados livianos tienen una mejor resistencia al fuego que los preparados con agregados de peso normal.
- El agrietamiento y descascamiento debido al fuego en el concreto produce un desprendimiento explosivo del concreto lo cual afectaría rápidamente al acero de la estructura y traería consecuencias en su resistencia, aquí es fundamental el espesor del recubrimiento por lo cual se recomienda tener un buen control de este en el vaciado en obra.
- Se deberá de prevenir el almacenar elementos altamente inflamables, procurando proteger debidamente los elementos que principalmente se pueden ver muy vulnerables o afectadas durante un incendio.

- 
- Los requisitos de resistencia al fuego son especificados en algunos códigos de edificación. Estos requerimientos están basados principalmente en valores tradicionales o en duras aproximaciones de severidad (potencial destructivo) esperada del fuego, asumiendo que es proporcional a la cantidad de material presente en el edificio.
  - Se recomienda darle importancia a estos códigos de seguridad al fuego en edificaciones ya que esto podría prevenir pérdidas económicas y principalmente humanas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Abanto Castillo, Flavio. *Tecnología del Concreto*. Editorial San Marcos. Lima – Perú. 2003
- ✓ American Concrete Institute – Capitulo Peruano. *Tecnología del Concreto*. 1998.
- ✓ ASOCEM. *Boletines Técnicos*. Lima – Perú.
- ✓ GAVELÁN LINO Edith patricia. VARGAS GOICOCHEA Sonia, Evaluación de Canteras para obras Civiles en la provincia del santa; Editorial tesis de grado – nuevo Chimbote – Perú, 2003
- ✓ Instituto de Ingeniería de UNAN, Manual de Tecnología del concreto – sección 2- concreto fresco y en curso de endurecimiento; editorial Limusa S.A; Mexico, 2000.
- ✓ MURDOCK L. J., Elaboración del concreto y sus aplicaciones; Editorial continental S. A Mexico, 1998.
- ✓ Neville, A.M. y Brooks, J.J. *Tecnología del Concreto*. Editorial Trillas. México D.F. 1998.
- ✓ Pasquel Carbajal, Enrique. *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. Colegio de Ingenieros del Perú – Consejo Nacional. 1998.
- ✓ Polanco Rodríguez, Abraham. *Manual de Prácticas de Laboratorio de Tecnología del Concreto*. Universidad Autónoma de Chihuahua. México.
- ✓ Reglamento Nacional de Construcciones. *NTE E.060–Concreto Armado*. 2004.
- ✓ RIVA LOPEZ Enrique, Diseño de Mezclas; Editorial Hozlo S.C.R.L, Perú, 1999

- 
- ✓ Sandoval Ocaña, Guillermo. *Apuntes de Clase del Curso de Tecnología del Concreto*. Universidad de Piura. Piura – Perú.
  - ✓ **Tópicos de Tecnología del Concreto**. Juárez Badillo - Rico Rodríguez. Ediciones: Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional, 2da Edición 1998.
  - ✓ Wilson silva, Daniel Torrealva, Luis Zegarra, **Determinación de la Resistencia al Fuego de Estructuras de Concreto Armado**; Departamento de Ingeniería Pontifica Universidad Católica del Perú 2000.

# ANEXOS



# PANEL FOTOGRÁFICO



**FOTO N° 01:** CONFORMACIÓN DE LOS MATERIALES  
DESDE LA CANTERA AL LABORATORIO DE ENSAYO.



**FOTO N° 02:** SE APRECIA EL CUARTEO DEL AGREGADO  
GRUESO.



**FOTO N° 03:** SE OBSERVA EL PROCESO DE TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO CON LAS RESPECTIVAS MALLAS ESTANDARES.



**FOTO N° 04:** PESANDO EL AGREGADO GRUESO.



**FOTO N° 05: PESANDO EL AGREGADO FINO.**



**FOTO N° 06: ECHANDO EL AGREGADO FINO EN LA GAVETA.**



**FOTO N° 07: ENRASANDO EL AGREGADO FINO EN LA GAVETA.**



**FOTO N° 08: PESANDO EL AGREGADO FINO**



**FOTO Nº 09:** PROCESO DE HIDRATACION DE LAS  
PROBETAS DE CONCRETO



**FOTO Nº 10:** RETIRO DE LAS PROBETAS A LA EDAD  
REQUERIDA.



**FOTO N° 11:** SE APRECIA EL ALINEAMIENTO DE LAS PROBETAS, CON SU RESPECTIVA ENUMERACION PARA LA COLOCACION EN EL HORNO.



**FOTO N° 12:** EQUIPO DE CONTROL DE TEMPERATURA DE CALOR.



**FOTO N° 13:** COLOCACION DE LAS PROBETAS EN EL HORNO PARA SU RESPECTIVO PROCESO DE QUEMADO.



**FOTO N° 14:** VISTA EN FRENTE DEL HORNO EMPLEADO PARA EL PROCESO DE QUEMADO DEL LAS PROBETAS.





**FOTO N° 15:** SE OBSERVA SACANDO LAS PROBETAS DE CONCRETO QUEMADAS DEL HORNO.



**FOTO N° 16:** HALLANDO LA VARIACION DEL PESO UNITARIO, DIMENSION Y ALTURA DE LA PROBETA SALIDA DEL HORNO.



**FOTO N° 17:** PROCESO DE ENSAYO A LA COMPRESION DE LAS PROBETAS DEL CONCRETO PATRON



**FOTO N° 18:** ENSAYO A LA COMPRESION DE LAS PROBETAS SALIDAS DEL HORNO.