



Facultad de Ingeniería

Escuela de Construcción

**“Determinación de la Influencia del Módulo de Finura de la Arena sobre la Demanda de Agua, la Absorción de agua y la Resistencia a Compresión del Hormigón”**

Por

Sihomara Guerra San Martin

Tesis para optar al

Grado Licenciado de construcción y al Título

De Ingeniería en Construcción

Prof. Guía: Juan Egaña Ramos

Marzo, 2015

## Dedicatorias

*En primer lugar quisiera dedicar mi memoria a mi familia, que son un pilar fundamental en mi vida. Mi mamá, Nancy, gracias por todo el cariño incondicional, mi hermano, tíos y primos por todo su apoyo a lo largo de mi carrera, los amo.*

*A todas estas lindas personas que han formado parte de mi vida y han hecho que este camino se haga más ameno Luis Figueroa, Valeria Santibáñez, Paulina Pimentel, Denisse Páez, Paulina Cárdenas, Carla Mauffray, Rodrigo Macaya, , gracias por todo su apoyo y buenas energías.*

*Y hacer una mención especial a Carolina Pulgar, Mauricio Delgado y Daniel Salina por toda su ayuda en los laboratorios, sin ustedes esto hubiese sido mucho más complicado, mil gracias.*

## **Agradecimientos**

*Para la realización de este Trabajo de Título agradezco principalmente a mi profesor guía, don Juan Egaña, por toda la buena disposición y consejos académicos para llevar a cabo este tema; ante cualquier duda siempre pude contar con él durante todo el proceso de la elaboración de mi memoria. Muchas gracias profesor, de todo corazón.*

*Agradezco también a todos los docentes de la Universidad de Valparaíso que fueron parte de mi formación académica, gracias por todo el conocimiento entregado.*

## Índice

Lista de Figuras .....	6
Lista de tablas .....	7
<b>CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES</b> .....	<b>8</b>
1.1 Introducción .....	9
1.2 Objetivos de la Investigación .....	10
1.2.1 Objetivo General .....	10
1.2.2 Objetivos Específicos .....	10
1.3 Hipótesis de Trabajo .....	10
1.4 Alcance de la Investigación .....	10
1.5 Metodología de la investigación .....	11
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO</b> .....	<b>12</b>
2.1 El Módulo Granulométrico .....	13
2.2 Granulometría: .....	15
2.3 Tamices: .....	18
2.3.1 Tejidos .....	18
2.4 Densidad aparente .....	19
2.5 Ensayo de granulometría según Nch 165 of 77 .....	20
2.6 Absorción de Agua .....	23
2.7 Ensayo de compresión de probetas cúbicas .....	24
2.8 Hormigón .....	26
2.9 Cemento Portland: .....	27
2.10 Áridos .....	29
2.11 Agua .....	30
2.12 Determinación de docilidad y método de asentamiento del cono Abrams .....	31
2.13 Fraguado y endurecimiento .....	32
2.14 Fabricación .....	33
<b>CAPITULO III: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>34</b>
3.1 Desarrollo de la investigación .....	35
3.2 Dosificación teórica .....	37

3.3 Determinación de densidades .....	49
3.3.1 Determinación de densidad para grava G (40/20) mm .....	49
3.3.1.1 Densidad aparente.....	49
3.3.1.2 Densidad real, neta y absorción .....	50
3.3.2 Determinación de densidad para grava M (20/5) mm .....	51
3.3.2.1 Densidad aparente.....	51
3.3.2.2 Densidad real, neta y absorción .....	51
3.4 Calculo de Granulometría.....	52
3.4.1 Curva granulométrica de la grava G (40/20).....	52
3.4.1.1 Granulometría Grava G (40/20).....	53
3.4.2 Granulometría Grava M (20/5) mm.....	54
3.4.2.1 Granulométrica Grava M (20/5) .....	55
3.5 Cálculo de la mezcla de grava.....	56
<b>CAPITULO IV: REALIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA .....</b>	<b>58</b>
4.1 Preparación de los ensayos.....	59
4.1.1 Determinación del método asentamiento del cono de Abrams.....	59
4.1.2 Generalidades.....	59
4.1.3 Aparatos.....	59
4.1.4 Colocación y compactación de la muestra .....	60
4.1.5 Vibración .....	61
4.2. Agua utilizada .....	62
4.2.1 Cálculos de correlación módulo de finura v/s agua utilizada.....	63
4.3 Ensayo asentamiento.....	64
4.4. Ensayo absorción de agua.....	65
4.4.1 Ensayo realizado 24 horas.....	65
4.4.2 Cálculos de correlación módulo de finura v/s absorción de agua (24 horas) ....	67
4.4.3 Grafico representa el error típico de estimación.....	68
4.5 Absorción de agua a los 28 días .....	69
4.5.1 Cálculos de correlación módulo de finura v/s absorción de agua (28 días) .....	71
4.6 Ensayo de resistencia a la compresión.....	73
4.6.1 Correlación módulo de finura-resistencia a la compresión .....	76
4.7 Cálculos densidad aparente.....	78
<b>CAPITULO V:.....</b>	<b>58</b>

5. Conclusiones.....	80
6. Bibliografía .....	82

**Lista de Figuras**

Figura 1: Separación de la arena a través de los distintos tamices.....	39
Figura 2: Asentamiento cono de Abrams. ....	60
Figura 3: Probetas aceitadas, listas para llenado.....	60
Figura 4: Vibración probeta.....	61

**Lista de tablas**

Tabla 1: Granulometría de la arena, según Nch 163.....	15-39
Tabla 2: Tipos granulométricos de la arena.....	16
Tabla 3: Serie de tamices escogidos.....	18
Tabla 4: Tamaño de la muestra de ensayo de la arena.....	19
Tabla 5: Limite granulométrico grava G (40/20) mm.....	52
Tabla 6: Limite granulométrico grava M (20/5) mm.....	54

**CAPITULO I:**  
**ANTECEDENTES GENERALES**

## 1.1 Introducción

Para la realización de hormigones es posible emplear arenas con distinto módulo de finura cuyas granulometrías se encuentren dentro del requisito establecido por la norma Nch 163.of 79, (áridos para morteros y hormigones). Obviamente las diferencias del grado de finura implican diferentes superficies específicas que pueden determinar variaciones en la demanda de agua para un asentamiento constante, lo que influiría en la absorción capilar y en la resistencia a compresión del hormigón.

El tema que se propone está dirigido, precisamente, a verificar experimentalmente de qué manera se relacionarían diferentes módulos de finura de la arena con las características señaladas del hormigón fresco y endurecido. Para estos efectos, se prepararía una serie de arenas con diferentes módulos de finura, cuyas granulometrías deberán encontrarse dentro del requisito normal; con estas arenas, empleando además, grava de tamaño máximo nominal 40 mm y cemento grado corriente, se fabricarían hormigones de igual asentamiento, determinando las eventuales diferencias en la demanda de agua y se prepararían probetas para determinar su absorción de agua y su resistencia a compresión.

## **1.2 Objetivos de la Investigación**

### 1.2.1 Objetivo General.

Determinar la influencia del módulo de finura de la arena sobre algunas propiedades del hormigón fresco y del hormigón endurecido.

### 1.2.2 Objetivos Específicos.

Determinar la influencia del módulo de finura de la arena sobre la demanda de agua del hormigón, manteniendo un asentamiento constante.

Determinar la influencia del módulo de finura de la arena sobre la absorción agua del hormigón.

Determinar la influencia del módulo de finura de la arena sobre la resistencia a compresión del hormigón.

Determinar el grado de correlación entre módulo de finura de la arena - absorción de agua y módulo de finura de la arena - resistencia a compresión del hormigón.

## **1.3 Hipótesis de Trabajo.**

El módulo de finura de la arena influiría sobre la demanda de agua, sobre la absorción de agua y sobre la resistencia a compresión del hormigón.

## **1.4 Alcance de la Investigación**

Los alcances de esta investigación están relacionada con el área de la construcción de hormigón tradicional.

Para la experiencia se deberán mantener las siguientes condiciones grava tamaño máximo 40 mm, un asentamiento constante y cemento portland puzolamico grado corriente.

## 1.5 Metodología de la investigación

El objetivo principal de esta investigación es poder determinar la influencia del módulo de finura de la arena sobre algunas propiedades del hormigón fresco y del hormigón endurecido.

Para ello se llevaran a cabo una serie de experiencias enfocadas en desarrollar exitosamente este trabajo.

La primera tarea a desarrollar consiste en separar la arena que se empleara en la experiencia, mediante los tamices de la serie normal Nch 165, para tener una fracción por cada tamiz entre 5 mm y 0,160 mm.

Combinando diferentes tamaños de acuerdo a estudios y cálculos previos, se fabricaran 8 arenas, cada una con módulo de finura (MF) diferente comprendido entre 2,15 y 3,39.

Se calcularan dosificaciones básicas que se mantendrán durante toda la experiencia en cuanto dosis de cemento y grava, variando la arena y el agua.

Se fabricaran los hormigones correspondientes, regulando el agua para mantener un asentamiento más o menos similares y verificar las eventuales variaciones en la demanda de agua.

Con cada uno de los hormigones que se fabriquen se prepararan las probetas que serán empleadas para hacer los ensayos programados, absorción de agua y resistencia a la compresión.

Las probetas se ensayaran de acuerdo a lo proyectado, registrando los resultados.

Los resultados obtenidos serán analizados y finalmente se determinaran las conclusiones existentes entre módulo de finura y mencionadas.

**CAPITULO II:**  
**MARCO TEORICO**

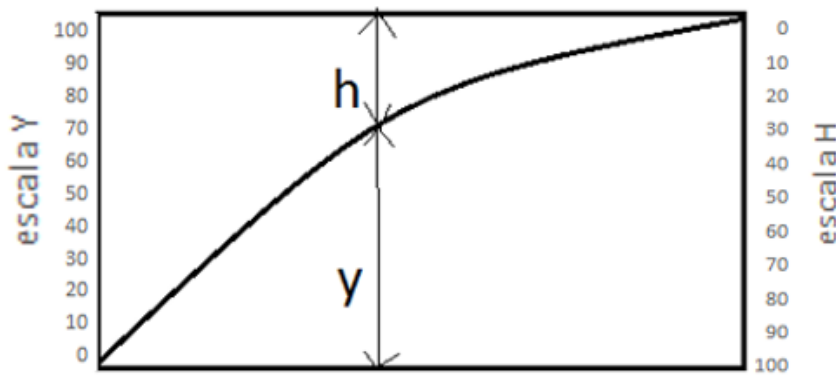
## 2.1 El Módulo Granulométrico:

### Antecedentes

Para representar por un número la composición granulométrica de los áridos, que se consideraba necesario dada la gran diversidad de curvas granulométricas propuestas hasta los índices del siglo (Feret, Fuller, Bolomey, Graf y otros)), el investigador norteamericano Duff A. Abrams estableció el "módulo granulométrico", que corresponde al siguiente criterio, según W. Gehler.

La variación de la proporción de granos gruesos en la arena no tiene una influencia tan grande sobre la resistencia, como la variación de la proporción de granos finos. Por esta razón, las reglamentaciones alemanas solamente consideran admisible como arena para el mortero, al material de tamaño comprendido entre 0 y 7.

Puesto que en las líneas de tamizado las ordenadas "y" representan el porcentaje que pasa por cada tamiz, se recomienda, para la elección de una magnitud como módulo o coeficiente granulométrico, tomar como base el peso total retenido por los tamices porque, en general, cuanto mayor sea este peso tanto menor cantidad de granos finos contendrá la mezcla y más cantidad de granos gruesos, es decir, mayor resistencia del mortero igualdad de las condiciones restantes.



Las ordenadas "h" que representan los porcentajes retenidos por cada tamiz y son evidentemente iguales a "100-y" y "la ordenada correspondiente de la línea de tamizado.

De acuerdo al criterio anterior, Abrams propuso el nombre de “módulo granulométrico” a la relación:

$$MF = \frac{\sum \%retenido\_acumulado(6''+3''+1\frac{1}{2}''+\frac{3}{4}''+\frac{3}{8}''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100)}{100}$$

Posteriormente el módulo granulométrico definido por Abrams, ha dado lugar a la definición de “módulo de finura”

Módulo de finura:

Para obtener el módulo de finura, debe contarse con la granulometría del árido, determinada por los siguientes tamices que están en una progresión de razón 2:

ASTM: N° 100-50-30-16-8-4-3/8"-3/4"-11/2"-3"-6".....

NCH mm:= 0,160-0,315-0,630-1,25-2,5-5-10-20-40-80....

Se suman los porcentajes retenidos acumulados y se divide la suma por 100. El resultado será el módulo de finura.

El porcentaje retenido es el complemento a 100 del porcentaje acumulado o total que pasa por el tamiz. Los tamices por los cuales pasa todo el material no será necesario considerarlos ya que en ellos el porcentaje retenido acumulado será nulo.

Se considera que el módulo de finura de una arena adecuada para producir hormigón debe estar entre 2, 3 y 3,1 donde un valor menor que 2,0 indica una arena fina 2,5 una arena de finura media y más de 3,0 una arena gruesa (T. William Lambe. Robert V. Whitman. Mecánica, 1997.)

## 2.2 Granulometría:

Es la distribución porcentual en masa de las partículas contenidas en una muestra de áridos.

Requisitos granulométricos de la arena

La granulometría de la arena determinada según Nch 165 of 77, debe cumplir con los límites especificados de la tabla 1

Para evaluar el cumplimiento de la granulometría en el caso de arenas cuyo tamaño máximo nominal exceda los 5 mm se debe efectuar una conversión de la granulometría original considerando como 100 % el material que pasa por el tamiz de 5 mm de abertura nominal.

Tabla 1 Granulometría de la arena, según Nch 163 of 79

Tamices mm	% acumulado que pasa
10	100
5	95-100
2,5	80-100
1,25	50-85
0,630	25-60
0,315	10-30
0,16	2-10

Fuente: Nch 163 of 79

La tabla 2: Tipos granulométricos de la arena

Se incluye, además de la granulometría normal otro tipo granulométrico que pueden emplearse en casos especiales.

% acumulado pasa para los siguientes tamaños							
Tamaños	1	2	3	4	5	6	7
tamices mm	muy gruesa	gruesa	media o normal	media gruesa	Fina	muy fina	Discontinua
10	100	100	100	100	100	100	100
5	60-75	75-90	95-100	70-90	90-100	95-100	30-60
2,5	35-55	55-80	80-100	40-80	85-100	90-100	30-40
1,25	27-50	35-60	50-85	40-70	70-90	85-100	30-40
0,630	15-40	22-40	25-60	40-60	60-80	80-100	17-40
0,315	8-25	12-25	10-30	25-37	37-50	50-62	9-25
0,160	3-10	3-10	2-10	6-13	12-20	15-20	4-10
MF Max.	3,34	2,95	2,15	2,50	2,46	1,13	3,85
MF min.	4,52	4,52	3,38	3,79	3,60	1,80	4,80

Fuente: Nch 163 of 79

### Tamaño 1 Muy Grueso

Estos áridos corresponden fundamentalmente con las características alemanas. Este material no se encuentra comúnmente en nuestro país en forma natural y debe ser compuesto artificialmente en un proceso industrial de clasificación.

Estas arenas dan mezclas muy compactas y resistentes. Así se puede alcanzar una resistencia determinada con mayor cantidad de cemento que pueden aceptar. Son especialmente recomendables para prefabricaciones industriales, tienen mayor sensibilidad a segregar con poco cemento. (Nch 163 of 79)

### Tamaño 2 Grueso

Son áridos similares a los anteriores, pero que contienen mayor porcentaje de granos de tamaño medio. Su sensibilidad a la segregación es menor, para las resistencias de sus morteros son inferiores son recomendables para la prefabricación industrial, pero requieren de una mayor dosis de cemento que, generalmente, aceptan sin mayor dificultad. . (Nch 163 of 79)

**Tamaño 3 Medio**

Su granulometría corresponde fundamentalmente con las recomendaciones de la presente norma y con las actuales normas norteamericanas (ASTMC 33)

Se usan en la elaboración de hormigones de características corrientes. La necesidad de cemento, la energía de compactación y la sensibilidad a la segregación están dentro de lo normal. (Nch 163 of 79)

**Tamaño 4 Medio Grueso**

Son áridos cuya granulometría tienen mayor cantidad de granos de tamaños gruesos que el caso anterior. Su compactación y por lo tanto sus resistencias son mayores que las de los áridos medios, pero sus condiciones de docilidad son algo inferiores. (Nch 163 of 79)

**Tamaño 5 Fino**

Necesitan mayor dosis de cemento, por su menor compactación y mayor superficie específica, para alcanzar mayores resistencias. Tienen que ser trabajables con más agua y arenas tienen que ser más controladas. Son recomendables para motores de recubrimiento y pega de albañilería y son tolerados en la elaboración de hormigones de granulometría discontinua. En general, estas pueden ser usadas con el aporte tecnológico adecuado. Riesgo de fisuración. (Nch 163 of 79)

**Tamaño 6 Muy Fino**

Se tolera su uso en condiciones extremas. Deben ser dosificaciones en base a discontinuidades bien estudiadas. Sus características negativas son las indicadas para arenas finas (tamaño 5), pero acentuadas por una menor compactación y mayor superficie específica. Como recomendación general, estas arenas no deben ser usadas para fabricar hormigones. (Nch 163 of 79)

**Tamaños 7 Discontinua**

Para casos de falta de granos intermedios se tolera una distribución cuyos límites se muestran en la tabla 2. En general tienen una alta proporción de gruesos (70%) y faltan los granos intermedios en dos espacios sucesivos en la serie normal de tamices. (Nch 163 of 79)

## 2.3 Tamices:

### 2.3.1 Tejidos

Serán de alambre y abertura cuadrada, de acuerdo con la Nch 1022 of 76 y sus tamaños nominales de abertura pertenecerán a las series que se indican en la tabla 3

**Tabla 3** Serie de tamices escogidos

Tamaño nominal de abertura	
Mm	Pulgadas (")
80	(3")
63	(2 ½")
50	(2")
40	(1½")
25	(1")
20	(¾")
12,5	(½")
10	(⅜")
6,3	(¼")
5	(N°4)
2,5	(N°8)
2	(N°10)
1,25	(N°16)
0,63	(N°30)
0,315	(N°50)
0,16	(N°100)
0,08	(N°200)

Fuente: Nch165 of77

Tamaño de la muestra de ensayo

- a) **Arenas:** cuando se emplean los tamices de 200 mm de diámetro la muestra de ensayo en estado seco tendrá una masa ligeramente superior a los valores que se indican en tabla 4

Tabla 4 tamaño de la muestra de ensayo de la arena

características de la arena		masa mínima de la muestra (g)
Tamiz	% retenido	
5 mm	>15%	ver b)
5 mm	≤ 15 %	500
2,5 mm	≤ 5 %	100

**Fuente: Nch165 of 77**

b) Cuando una muestra de arena contenga una fracción de grava superior al 15%, el material debe separarse por el tamiz de 5 mm determinando y registrando el porcentaje en la masa de ambas fracciones. Las fracciones de arena y grava se tratan de acuerdo con a) y b). Respectivamente.

c) Los tamaños de muestra indicados en la tabla 4 podrán aumentar proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo que se establece en el punto d)

d) La masa máxima de la muestra será tal que la frecuencia retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado sea inferior a 0,6 g por cm<sup>2</sup> de superficie de tamizado. En tamices de 200 mm de diámetro, dicha fracción será inferior a 200 g

## 2.4 Densidad aparente

Basado en la Nch 1116 of 77 “determinación de la densidad aparente” se puede calcular tanto la densidad aparente suelta como la densidad aparente compactada, este ensayo se aplica para áridos de tamaño igual o menor a 50 mm

## 2.5 Ensayo de granulometría según Nch 165 of 77

### Preparación de tamices

Se selecciona un juego de tamices de acuerdo con la especificación correspondiente al material por ensayar. Los tamices están dispuestos según aberturas decrecientes, montados sobre el depósito receptor y provisto de su tapa. Todos estos elementos están limpios y secos. Los tamaños de abertura de las mallas se verificaran a lo menos una vez cada seis meses.

### Tamizado

Se efectuara en dos etapas:

- A) Un tamizado inicial que podrá ser manual o mecánico
- B) Un tamizado final que deberá ser manual.

### Tamizado inicial

Determinar la masa de la muestra de ensayo en estado seco, registrar aproximadamente a 1 g para arenas y a 10 g para gravas, vaciarla sobre el tamiz superior y cubrir con la tapa;

Agitar el conjunto de tamices por un periodo suficiente para aproximarse a la condición que se establece en el siguiente ítem

### Tamizado final

Retirar el primer tamiz, provisto de depósito y tapa

Sostenerlo de un costado con una mano, manteniéndolo ligeramente inclinado

Golpear firmemente el costado libre hacia arriba con la palma de la otra mano a un ritmo de 150 golpes por minuto.

Girar el tamiz cada 25 golpes en 1/6 de vuelta.

Al completar cada ciclo de 150 golpes, pesar separadamente el material retenido sobre el tamiz y el material que pasa, recogido en el depósito.

Trasladar el material que pasa en cada ciclo al tamiz siguiente

Repetir el ciclo en el mismo tamiz con el material retenido hasta que se recoja en el depósito una masa inferior al 1 % de la masa retenida, con lo cual se da por terminado el tamizado de esa fracción.

Retirar el tamiz siguiente provisto de depósito y tapa para efectuar con dicho tamiz los ciclos necesarios y así sucesivamente hasta completar todo los tamices.

## Pesaje

Determinar la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz de menor abertura, recogido en el depósito, registrar con la aproximación que sea mayor entre 1 g. y 0,1 % de la pasada.

## Expresión de resultados

Sumar y registrar la masa total (100%) de las fracciones retenidas en todos los tamices y en el depósito receptor.

Esta suma no debe diferir de la masa inicial registrada en todos los tamices y en el depósito receptor

Esta suma no debe diferir de la masa inicial registrada en el tamiz inicial en más de un 3% para las arenas y en 0,5% para las gravas.

Cuando no se cumpla con lo especializado en el primer punto se rechazara el ensayo y se efectuara otro con una muestra gemela.

Calcular el porcentaje parcial retenido en cada tamiz, referido a la masa total de las fracciones retenidas, aproximadamente al 1 %.

Expresar la granulometría como porcentaje acumulado que pasa indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y como último resultado el del primer tamiz en que el porcentaje acumulado retenido sea 0%.

Adicionalmente la granulometría se podrá expresar de acuerdo con cualquiera de las siguientes formas:

- a) Como porcentaje acumulado retenido, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que queda retenido un porcentaje igual a 0% y como último resultado el del primer tamiz en que el porcentaje acumulado retenido sea 100%
- b) Como porcentaje parcial retenido

Completando la experiencia de la granulometría con el valor del módulo de finura, el tamaño de máximo del árido (Nch 163 of 79)

## Expresión gráfica según Nch 165 of 77

La expresión gráfica de la granulometría de un árido se hará en un sistema de coordenadas ortogonales, cuya abscisa a escala logarítmica indica las aberturas nominales y cuya ordenada a escala lineal indica los valores de granulometría, esta es llamada curva granulométrica esta permite dar una visión objetiva de la distribución de tamaños de los granos del árido. Sirve también para comparar visualmente los diferentes materiales entre si y a su vez compararlos con los límites entregados por la norma nch163 of77 (curvas granulométrica)

La distribución de granos puede representarse en base a los porcentajes acumulados retenidos, los porcentajes acumulados que pasan o los porcentajes directo que retienen cada tamiz.

### Gráfico de coordenadas

Se recomienda a trazar la curva granulométrica en un gráfico de coordenadas rectangulares, formado por dos ejes, uno horizontal o eje de las X (abscisa) y otro vertical o eje de las Y (ordenadas).

Eje de las Y: marca en el eje vertical de la izquierda, graduada a escala lineal, puntos que correspondan a los porcentajes acumulados que pasan, a partir de 0% de abajo hacia arriba.

Eje de las X: marca en el eje horizontal inferior, graduado a escala logarítmica, puntos que correspondan al logaritmo del valor de la abertura nominal de los tamices, de izquierda a derecha a partir del tamiz 0,16 mm (ASTM n° 100).

## **2.6 Absorción de Agua**

La absorción es un proceso físico por el cual el hormigón succiona agua reteniéndola en sus poros y capilares. Se considera que la absorción está relacionada con la resistencia del hormigón a los agentes atmosféricos puesto que si no hay acceso de agua a sus poros, habría pequeña o ninguna desintegración o daño causada por los ciclos de congelación y deshielo, o por aguas y agentes agresivos.

### **Ensayo para determinar la absorción**

Para determinar la absorción que por lo demás es un indicador de la porosidad del hormigón, el método de ensayo consiste en sumergir totalmente una probeta de hormigón cubica de 10 cm de arista en agua durante 24 horas; cumplido este plazo la probeta se retira del agua, se seca superficialmente con un paño e inmediatamente se pesa con aproximación a 1 gramo. Posteriormente la probeta se coloca en un horno a 110 °C para secar a peso constante. Lo que se consigue manteniéndola en un horno durante aproximadamente 24 horas, después de retirarla del horno se determina su nuevo peso aproximado a 1 gramo. La diferencia entre los pesos saturado y seco al horno se expresa como porcentaje referido al peso seco al horno.

Fórmula para la obtención de resultados

$$Absorción = \left( \frac{\text{peso saturado sup. seco} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \right) * 100 (\%)$$

## 2.7 Ensayo de compresión de probetas cúbicas

La norma Nch 1037. Of 77 establece el método para efectuar el ensayo a rotura por compresión de probetas cúbicas y cilíndricas de hormigón, obtenidas según la norma Nch 1017.

Las probetas se retiran del curado inmediatamente antes del ensayo y se protegen con arpilleras mojadas hasta el momento en que se colocan en la máquina de ensayo.

Colocar el cubo con la cara de llenado verticalmente.

Medir los anchos de las cuatro caras laterales del cubo ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  y  $b_2$ ) aproximadamente a media altura y las alturas de las caras laterales ( $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  y  $h_4$ ) aproximando a 0,1 cm (1 mm).

Determinar la masa del cubo (**M**), aproximando a 50 g.

### Preparación del ensayo

- Limpiar las superficies de contacto de las placas de carga y de la probeta y colocar la probeta en la máquina de ensayo alineada y centrada.
- Las probetas cúbicas se colocan con la cara de llenado verticalmente.
- Acercar la placa superior de la máquina de ensayo y asentarla sobre la probeta de modo de obtener un apoyo lo más uniforme posible.
- Aplicar carga en forma continua y sin choques a velocidad uniforme cumpliendo las siguientes condiciones:
  - . Alcanzar la rotura en un tiempo igual o superior a 100 segundos.
  - . Velocidad de aplicación de carga no superior a 3,5 kgf/cm<sup>2</sup>/seg.
- Registrar la carga máxima (**P**) expresada en kg.

### Resultados

Previamente se calculan las dimensiones promedio de las probetas  $a$ ,  $b$ ,  $h$ , y  $d$ .

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad \text{Ancho promedio}$$

$$b = \frac{b_1 + b_2}{2} \quad \text{Fondo promedio}$$

$$h = \frac{h_1 + \dots + h_n}{n} \quad \text{Altura promedio}$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \text{Diámetro promedio}$$

**Cálculo de la resistencia a compresión**

Calcular la resistencia a compresión del hormigón (**Rc**) por la siguiente fórmula:

$$Rc = \left( \frac{P}{S} \right) \text{ kg/cm}^2$$

Siendo:

P = carga de rotura (KG)

S = superficie de carga (cm<sup>2</sup>)

Los resultados de resistencia a compresión se expresan con una aproximación igual o inferior a 0,5(N/mm<sup>2</sup>) (= 5 kgf/cm<sup>2</sup>).según Nch 10 37 of 77.

**Cálculo de la densidad aparente**

Calcular la densidad aparente del hormigón (**Da**) por la siguiente fórmula:

$$Da = \left( \frac{M}{V} \right) \text{ g/cm}^3$$

Siendo:

M = masa de la probeta, g

V = volumen aparente, cm<sup>3</sup>, dm<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>.

Con fines prácticos, la densidad aparente se puede expresar en kg/m<sup>3</sup>, g/cm<sup>3</sup>, kg/dm<sup>3</sup>.

## 2.8 Hormigón:

El hormigón es un material compuesto empleado en construcciones, formado esencialmente por un conglomerante al que se añade partículas o fragmentos de un árido, agua y aditivos específicos.

El conglomerante es en la mayoría de las ocasiones cemento mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de áridos, dependiendo fundamentalmente de su diámetro medio, son los áridos (que se clasifican en grava y arena). La sola mezcla de cemento con arena y agua (sin la participación de grava) se denomina mortero. Existen hormigones que se producen con otros conglomerantes que no son cemento, como el hormigón asfáltico que utiliza betún para realizar la mezcla.

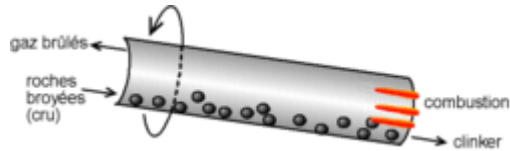
El cemento es un material pulverulento que por sí mismo no es conglomerante, y que mezclado con agua, al hidratarse se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo. El cemento consiste esencialmente en silicato calcio hidratado (S-C-H), este compuesto es el principal responsable de sus características adhesivas. Se denomina cemento hidráulico cuando el cemento, resultante de su hidratación, es estable en condiciones de entorno acuosas. Además, para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones (en cantidades inferiores al 1% de la masa total del hormigón), existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, etc.

Dependiendo de las proporciones de cada uno de sus constituyentes existe una tipología de hormigones. Se considera *hormigón pesado* aquel que posee una densidad de más de 3200 kg/m<sup>3</sup> debido al empleo de agregados densos (empleado protección contra las radiaciones), el *hormigón normal* empleado en estructuras que posee una densidad de 2400 kg/m<sup>3</sup> y el *hormigón ligero* con densidades menores que 1800 kg/m<sup>3</sup>. (P. Kumar Mehta & Paulo J.M. Montero (1986)).

## 2.9 Cemento Portland:

El cemento está compuesto principalmente por materiales calcáreos, tales como caliza, aluminio, sílice y oxido de fierro.

El cemento portland se obtiene al calcinar a unos 1500 °C mezclas preparadas artificialmente de calizas y arcillas. El producto resultante, llamado Clinker, se muele añadiendo una cantidad adecuada de regulador de fraguado, que suele ser piedra de yeso natural. (Jiménez Montoya,2000)



Esquema de un horno rotativo donde se mezcla y calcina la caliza y la arcilla para formar el Clinker de cemento.



Clinker de cemento antes de su molienda.

La composición química media de un portland, según Calleja, está formada por un 62,5% de CaO (cal combinada), un 21% de SiO<sub>2</sub> (sílice), un 6,5% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (alúmina), un 2,5% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hierro) y otros minoritarios. Estos cuatro componentes son los principales del cemento, de carácter básico la cal y de carácter ácido los otros tres. Estos componentes no se encuentran libres en el cemento, sino combinados formando silicatos, aluminatos y ferritos cálcicos, que son los componentes hidráulicos del mismo o componentes potenciales. Un Clinker de cemento portland de tipo medio contiene:

<u>Silicato tricálcico</u> ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ).....	40% a 50%
<u>Silicato bicálcico</u> ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ).....	20% a 30%
<u>Aluminato tricálcico</u> ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ).....	10% a 15%
<u>Aluminatoferrito tetracálcico</u> ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).....	5% a 10%

Dato obtenido Jiménez Montoya, 2000

Todos los tipos de cemento son conglomerantes hidráulicos esto quiere decir, que amasados con agua endurecen tanto al aire como bajo agua. La pasta de cemento endurecida que se forma en el proceso de endurecimiento es un material pétreo resistente al agua (kohlhaas, labahn, 1985).

## 2.10 Áridos:

### *Grava y arena*



Según Nch 163 of 79 los áridos deben estar constituidos por partículas duras, de forma y tamaño estables y deben estar limpios y libres de terrones, partículas blandas o laminadas, arcillas, impurezas orgánicas, sales y otras sustancias que por su naturaleza o cantidad afecten la resistencia o la durabilidad de morteros y hormigones.

Los áridos deben poseer por lo menos la misma resistencia y durabilidad que se exija al hormigón. No se deben emplear calizas blandas, feldespatos, yesos, piritas o rocas friables o porosas. Para la durabilidad en medios agresivos serán mejores los áridos silíceos, los procedentes de la trituración de rocas volcánicas o los de calizas sanas y densas (Jiménez Montoya, 2000).

El árido que tiene mayor responsabilidad en el conjunto es la arena según P. Jiménez Montoya no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena. Las mejores arenas son las de río, que normalmente son cuarzo puro, por lo que aseguran su resistencia y durabilidad. (Jiménez Montoya, 2000)

Con áridos naturales rodados, los hormigones son más trabajables y requieren menos agua de amasado que los áridos de machaqueo, teniéndose además la garantía de que son piedras duras y limpias. Los áridos machacados procedentes de trituración, al tener más caras de fractura cuesta más ponerlos en obra, pero se traban mejor y se refleja en una mayor resistencia.

Si los áridos rodados están contaminados o mezclados con arcilla, es imprescindible lavarlos para eliminar la camisa que envuelve los granos y que disminuiría su adherencia a la pasta de hormigón. De igual manera los áridos de machaqueo suelen estar rodeados de polvo de machaqueo que supone un incremento de finos al hormigón, precisa más agua de amasado y darán menores resistencias por lo que suelen lavarse. (Jiménez Montoya, 2000)

Los áridos que se emplean en hormigones se obtienen mezclando tres o cuatro grupos de distintos tamaños para alcanzar una granulometría óptima. Tres factores intervienen en una granulometría adecuada: el tamaño máximo del árido, la compactidad y el contenido de granos finos. Cuanto mayor sea el tamaño máximo del árido, menores serán las necesidades de cemento y de agua, pero el tamaño máximo viene limitado por las dimensiones mínimas del elemento a construir o por la separación entre armaduras, ya que esos huecos deben quedar rellenos por el hormigón y, por tanto, por los áridos de mayor tamaño. En una mezcla de áridos una compactidad elevada es aquella que deja pocos huecos; se consigue con mezclas pobres en arenas y gran proporción de áridos gruesos, precisando poca agua de amasado; su gran dificultad es conseguir compactar el hormigón, pero si

se dispone de medios suficientes para ello el resultado son hormigones muy resistentes. En cuanto al contenido de granos finos, estos hacen la mezcla más trabajable pero precisan más agua de amasado y de cemento. En cada caso hay que encontrar una fórmula de compromiso teniendo en cuenta los distintos factores. Las parábolas de Fuller y de Bolomey dan dos familias de curvas granulométricas muy utilizadas para obtener adecuadas dosificaciones de áridos. (Jiménez Montoya, 2000)

### **2.11 Agua:**

El agua de amasado interviene en las reacciones de hidratación del cemento. La cantidad de la misma debe ser la estricta necesaria, pues la sobrante que no interviene en la hidratación del cemento se evaporará y creará huecos en el hormigón disminuyendo la resistencia del mismo. Puede estimarse que cada litro de agua de amasado de exceso supone anular dos kilos de cemento en la mezcla. Sin embargo una reducción excesiva de agua originaría una mezcla seca, poco manejable y muy difícil de colocar en obra. Por ello es un dato muy importante fijar adecuadamente la cantidad de agua. (Jiménez Montoya, 2000)

Durante el fraguado y primer endurecimiento del hormigón se añade el agua de curado para evitar la desecación y mejorar la hidratación del cemento. (Jiménez Montoya, 2000)

Ambas, el agua destinada al amasado, como la destinada al curado deben ser aptas para cumplir su función. El agua de curado es muy importante que sea apta pues puede afectar más negativamente a las reacciones químicas cuando se está endureciendo el hormigón. Normalmente el agua apta suele coincidir con la potable y están normalizados una serie de parámetros que debe cumplir. Así en la normativa está limitado el pH, el contenido en sulfatos, en ion cloro y los hidratos de carbono. (Jiménez Montoya, 2000)

Cuando una masa es excesivamente fluida o muy seca hay peligro de que se produzca el fenómeno de la segregación (separación del hormigón en sus componentes: áridos, cemento y agua). Suele presentarse cuando se hormigona con caídas de material superiores a los 2 metros. (Tejero Juez, (1987)).

Según Nch 1498 of 82 el agua debe cumplir con los siguientes requisitos para ser utilizada en el hormigón.

1. El agua potable de la red puede utilizarse como agua de amasado que no se contamine antes de su uso
2. Se permite el empleo de agua de mar en hormigones simples de resistencias característica a la compresión inferior a 15 Mpa (150 Kg/cm<sup>2</sup>) siempre que no exista otra fuente de agua disponible en la zona.
3. No se permite el empleo de agua que contenga azúcares como sacarosa, glucosa o similares.
4. Puede emplearse agua de otro origen o procedencia o cuya calidad se desconozca, siempre que cumpla con los requisitos químicos básicos.

Requisitos químicos básicos

Valor de PH	: 6 <sup>a</sup> 9,2
Sólidos en suspensión, mg/l	: ≤ 2000
Sólidos disueltos, mg/l	: ≤15000 (*)
Materia orgánica (como oxígeno Consumido), mg/l	: ≤5

(\*) Si el contenido de sólidos disueltos es mayor que 5000 mg/l, las aguas deben cumplir, además con los requisitos químicos complementarios.

Requisitos químicos complementarios

Cloruros:

- En hormigón armado, kg cl<sup>-</sup>/m<sup>3</sup> hormigón, Max 1,200.
- En hormigón tensado, kg cl<sup>-</sup>/m<sup>3</sup> hormigón, Max 0,250.

Sulfato soluble:

- En todo hormigón, kg cl<sup>-</sup>/m<sup>3</sup> hormigón, Max 0,600.

**2.12 Determinación de docilidad y método de asentamiento del cono Abrams**

Según Nch 1019 of77 esta norma se aplica para hormigones cuyo árido sea de tamaño inferior o igual al tamiz de abertura 50 mm.

La docilidad es la facilidad del hormigón fresco para ser transportado, colocado y compactado sin que se produzca segregación.

El asentamiento es el descenso que experimenta el hormigón fresco, determinado de acuerdo a esta norma y que sirve como medida práctica de la docilidad.

A través del asentamiento de cono de Abrams se permite medir la docilidad del hormigón fresco por la disminución de altura que experimenta en este ensayo.

### 2.13 Fraguado y endurecimiento:

La pasta del hormigón se forma mezclando cemento y agua debiendo embeber totalmente a los áridos. La principal cualidad de esta pasta es que fragüe y endurece progresivamente, tanto al aire como bajo el agua. El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el paso de la pasta del estado fluido al estado sólido. Esto se observa de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie del hormigón. Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provoquen el endurecimiento de la masa y que se caracterice por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.

El fraguado y endurecimiento no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad solo hay un único proceso de hidratación continuo

En el cemento portland, el más frecuente empleado en los hormigones, el primer componente en reaccionar es el aluminato tricálcico con una duración rápida y corta (hasta 7-28 días).

El fenómeno físico de endurecimiento no tiene fases definidas. El cemento está en polvo y sus partículas o granos se hidratan progresivamente, inicialmente por contacto del agua con la superficie de los granos, formándose algunos compuestos cristalinos y una gran parte de compuestos microcristalino asimilable a coloides que forman una película en la superficie del grano. A partir de entonces el endurecimiento continúa dominado por estas estructuras coloidales que envuelven los granos del cemento y a través de las cuales progresa la hidratación hasta el núcleo del grano.

En condiciones normales un hormigón portland normal comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado trascurridos sobre 10 ó 12 horas. Después comienza el endurecimiento que lleva un ritmo rápido en los primeros días hasta llegar al primer mes, para después aumentar más lentamente hasta llegar al año donde prácticamente se estabiliza.

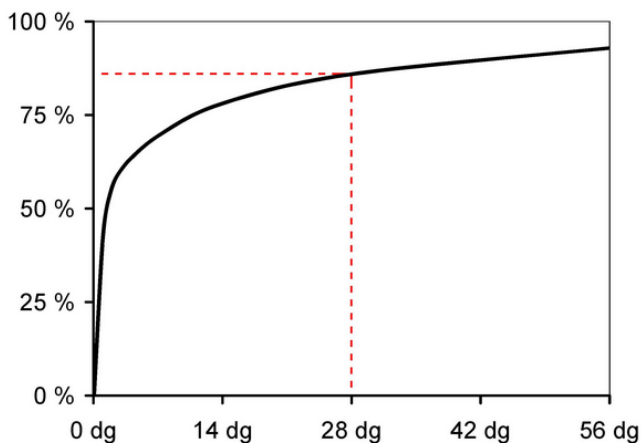


Diagrama indicativo de la resistencia (%) que adquiere el hormigón a los 14, 28,42 y 56 días.

Donde Eje x= días (dg)

Eje y= resistencia (%)

## 2.14 Fabricación:

Es muy importante conseguir la mezcla óptima en las proporciones precisas de áridos de distintos tamaños, cemento y agua. No hay una mezcla óptima que sirva para todos los casos.

Para establecer la dosificación adecuada en cada caso se debe tener en cuenta la resistencia mecánica, factores asociados a la fabricación y puesta en obra, así como el tipo de ambiente a que estará sometido

Hay muchos métodos para dosificar previamente el hormigón, pero son solo orientativos. Las proporciones definitivas de cada uno de los componentes se suelen establecer mediante ensayos de laboratorio, realizando correcciones a lo obtenido en los métodos teóricos.

Se señalan brevemente los aspectos básicos que hay que determinar:

La selección del tipo de cemento se establece en función de las aplicaciones del hormigonado (en masa, armado, pretensado, prefabricado, de alta resistencia, desencofrado rápido, hormigonados en tiempo frío o caluroso, etc.) y del tipo de ambiente a que estará expuesto.

El tamaño máximo del árido interesa que sea el mayor posible, pues a mayor tamaño menos agua necesitará ya que la superficie total de los granos de áridos a rodear será más pequeña. Pero el tamaño máximo estará limitado por los espacios que tiene que ocupar el hormigón fresco entre dos armaduras cercanas o entre una armadura y el encofrado.

La consistencia del hormigón se establece en función del tamaño de los huecos que hay que rellenar en el encofrado y de los medios de compactación previstos.

La cantidad de agua por metro cúbico de hormigón. Conocida la consistencia, el tamaño máximo del árido y si la piedra es canto rodado o de machaqueo es inmediato establecer la cantidad de agua que se necesita.

La relación agua/cemento depende fundamentalmente de la resistencia del hormigón, influyendo también el tipo de cemento y los áridos empleados.

Conocida la cantidad de agua y la relación agua /cemento, determinamos la cantidad de cemento.

Conocida la cantidad de agua y de cemento, el resto serán áridos.

Determinar la composición granulométrica del árido, que consiste en determinar los porcentajes óptimos de los diferentes tamaños de áridos disponibles. Hay varios métodos, unos son de granulometría continua, lo que significa que interviene todos los tamaños de áridos, otros son de granulometría discontinua donde falta algún tamaño intermedio de árido.

Determinada la dosificación más adecuada, en la planta de hormigón hay que medir los componentes, el agua en volumen, mientras que el cemento y áridos se miden en peso

Los materiales se amasan en hormigonera o amasadora para conseguir una mezcla homogénea de todos los componentes. El árido debe quedar bien envuelto por la pasta de cemento. Para conseguir esta homogeneidad, primero se vierte la mitad de agua, después el cemento y la arena simultáneamente, luego el árido grueso y por último el resto de agua.

Para el transporte al lugar de empleo se deben emplear procedimientos que no varíen la calidad del material, normalmente camiones hormigonera. El tiempo transcurrido no debe ser superior a hora y media desde su amasado. Si al llegar donde se debe colocar el hormigón, este ha empezado a fraguar debe desecharse.

**CAPITULO III:**  
**DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### 3.1 Desarrollo de la investigación

Para la determinación de la granulometría, se utilizara la Nch 165 of 76, la cual establece el procedimiento para realizar el tamizado y determinar la granulometría de los áridos.

Para determinar la granulometría se toma una muestra de arena la cual se hace pasar por los distintos tamices con el fin de obtener el porcentaje retenido en cada uno de ellos. Se calcula el porcentaje total retenido y se expresa gráficamente.

Estimación de la cantidad de material para la experiencia

La granulometría permite obtener los módulos de finura deseados para realizar la investigación, para esto se diseñara una dosificación teórica para estimar las distintas cantidades de material necesarios para llevar a cabo esta experiencia, por lo cual se considerara un peso del hormigón de 2440 kg/m<sup>3</sup>. En la cual se distribuirá de la siguiente manera:

Peso m <sup>3</sup> del hormigón	2440 Kg
Cemento	-340 Kg
Agua	- 175 Kg
-----	
Árido total	1925 Kg

Se estimara      **Grava 60%    1155 kg**

                    Arena 40%    770kg

N° coladas= 8

Volumen de colada

Asentamiento =                    5,3 l

Absorción agua =    1,0 X 3 = 3 l    (n° probeta 3)

Rest. Compresión = 3,4 X 3 = 10,2 l

    18,5 l

Exceso                                    11 l

    29,5 l

Nota: - Los porcentajes 60% de grava y 40% de arena, y la cantidad de cemento son valores arbitrarios tomados para la realización de estos ensayos los cuales se mantendrán constante en toda la experiencia.

- Se realizarán coladas de 35 l cada una con un exceso mayor para evitar cualquier inconveniente por falta de material.

Total de hormigón

$$35 \text{ l} \times 8 = \mathbf{280 \text{ l}} \quad (\text{n}^\circ \text{ de muestras} = 8)$$

Cantidad de material necesario para toda la experiencia:

$$\text{Cemento } 340 \text{ kg} \times 0,280 = 95,2 \text{ kg}$$

$$\text{Grava } 1155 \times 0,280 = 323,4 \text{ kg}$$

$$\text{Arena } 770 \times 0,280 = 215,6 \text{ kg}$$

Nota: arena y grava se pide en l

$$\text{Grava} = 323,4 / 1,52 = \mathbf{212,8 \text{ l}}$$

$$\text{Arena} = 215,6 / 1,65 = \mathbf{130,7 \text{ l}}$$

#### **Resumen total de material para la experiencia**

$$\text{Cemento} = \mathbf{3 \text{ sacos}}$$

$$\text{Grava (40/5) mm} = \mathbf{212,8 \text{ l}}$$

$$\text{Arena} = \mathbf{130,7 \text{ l}}$$

### 3.2 Dosificación teórica

Para el cálculo de la dosificación se utilizaron las siguientes condiciones para los áridos:  
Arena el 40% y Grava 60%

Dosificación

para 1m <sup>3</sup> de hormigón		2440 Kg	
Cemento		340 Kg	
Agua		175 Kg	
	total	1925 kg	peso del árido total

Por lo tanto

60%Grava	1156kg	
40%Arena	770kg	
Cemento	340kg	
Agua	175kg	
total	2441kg	cumple

Dosificación por colada

1 colada 35 l = (0,0035 m<sup>3</sup>) de volumen

	1m <sup>3</sup>	0,0035 m <sup>3</sup>
Cemento	340	11,9 kg
Agua	175	6,125 kg
Grava	1156	40,46 kg
Arena	771	27 kg

### Tabla de tamizados

Para la obtención de los distintos módulos de finura, se utilizara la siguiente tabla, la cual considera la cantidad de árido necesario para la obtención de cada módulo de finura deseado.

tamices (mm)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
5	100	100	100	100	100	100	100	100
2,5	100	95	95	90	90	85	85	80
1,25	85	80	80	75	68	60	55	50
0,63	60	60	50	40	42	35	25	25
0,315	30	25	25	25	20	20	15	10
0,16	10	8	5	10	6	6	4	2
MF	2,15	2,32	2,45	2,6	2,74	2,94	3,16	3,39

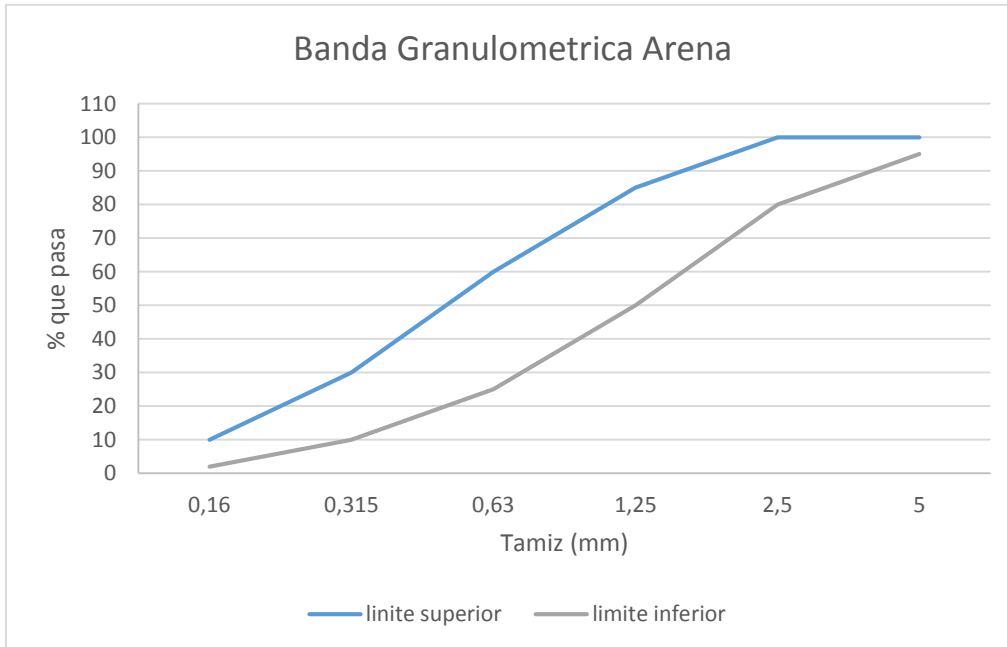
Donde: A =indica la muestras de arena a ensayar, con su respectivo módulo de finura y el porcentaje acumulado requerido en cada malla.



Figura 1: Separación de la arena a través de los distintos tamices

Tabla 1: Granulometría de la arena Nch 163 of 79

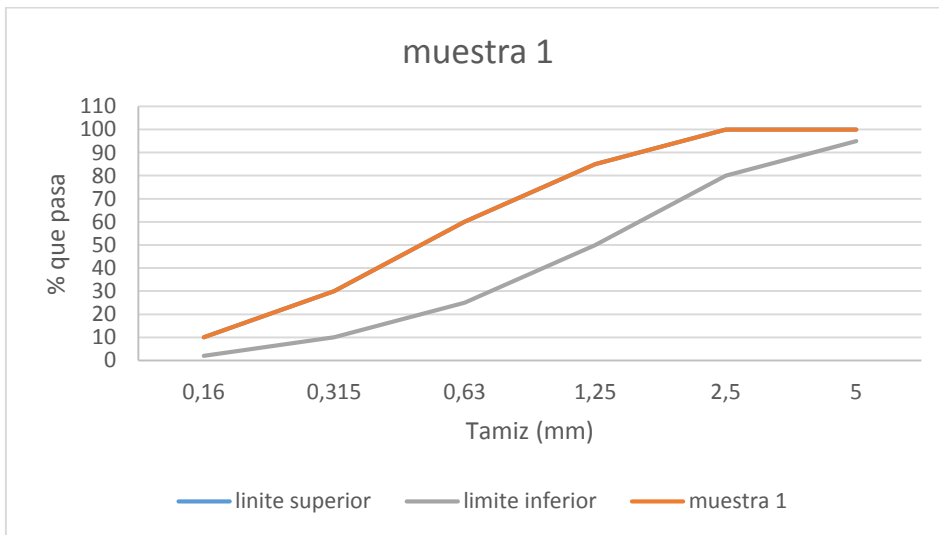
Tamiz	requisito Nch163 of79 (%acumulado que pasa)
10	100
5	95-100
2,5	80-100
1,25	50-85
0,63	25-60
0,315	10-.30
0,16	2-.10



Detalle de cada una de las muestras de arenas con las cuales se construyeron cada una de las muestras de arena, estas constaran con un peso de 27,00 kg obtenido por dosificación antes mencionada y el grafico de cada una de ellas para ver el cumplimiento con la curva granulométrica Nch 163 of 79.

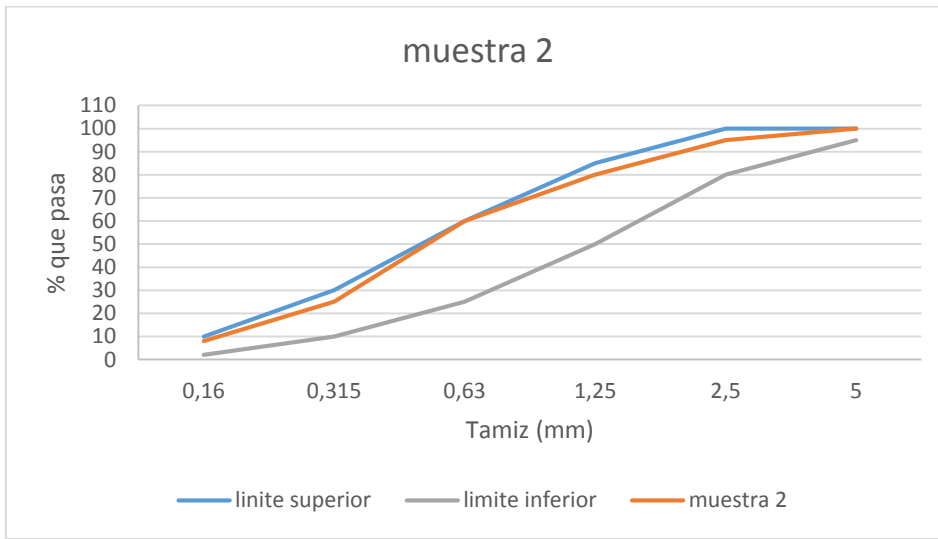
muestra 1

tamices (mm)	A1	% parcial (Kg/m3)	peso requerido
5			
2,5	100	35	9,45
1,25	85	30	8,10
0,63	60	21	5,67
0,315	30	11	2,97
0,16	10	3	0,81
Suma	285	100	27,00



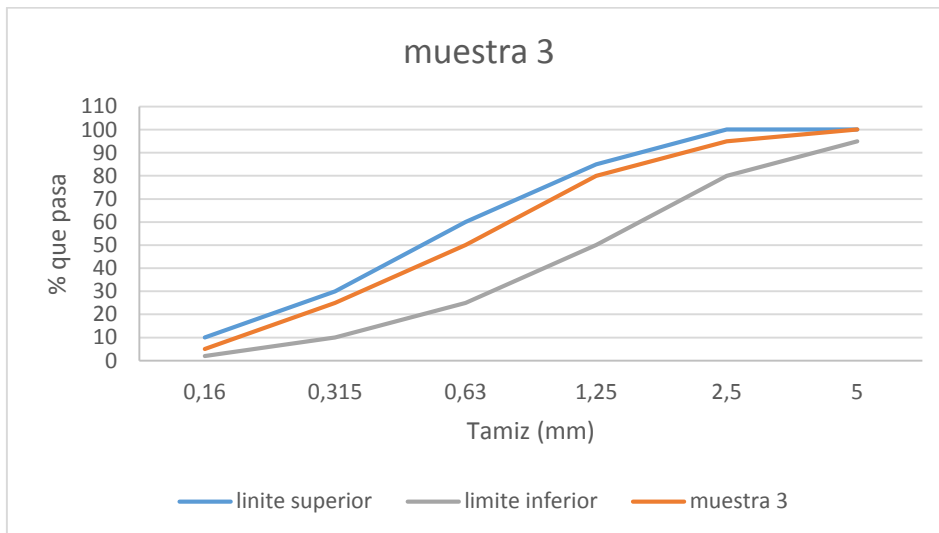
muestra 2

tamices (mm)	A2	%parcial (Kg/m3)	peso requerido
5	100	27	7,29
2,5	95	26	7,02
1,25	80	22	5,94
0,63	60	16	4,32
0,315	25	7	1,89
0,16	8	2	0,54
suma	368	100	27,00



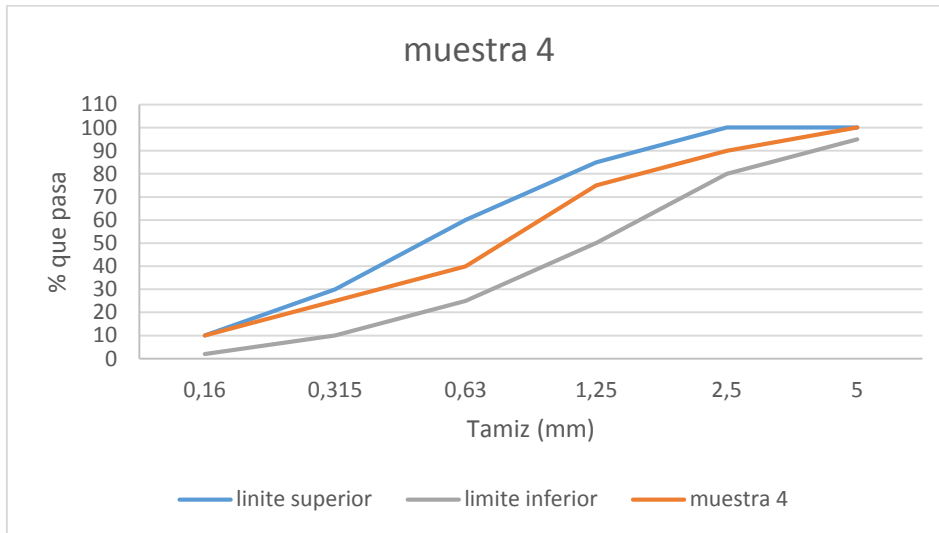
muestra 3

tamices (mm)	A3	% parcial (Kg/m3)	peso requerido
5	100	28	7,56
2,5	95	27	7,29
1,25	80	23	6,21
0,63	50	14	3,78
0,315	25	7	1,89
0,16	5	1	0,27
suma	355	100	27,00



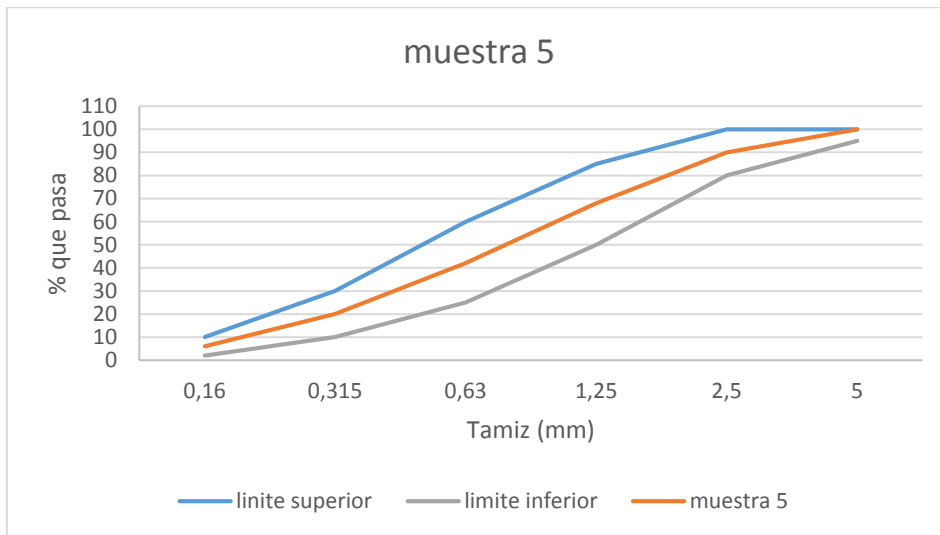
muestra 4

tamices (mm)	A4	% parcial (Kg/m3)	peso requerido
5	100	29	7,83
2,5	90	27	7,29
1,25	75	22	5,94
0,63	40	12	3,24
0,315	25	7	1,89
0,16	10	3	0,81
suma	240	100	27,00



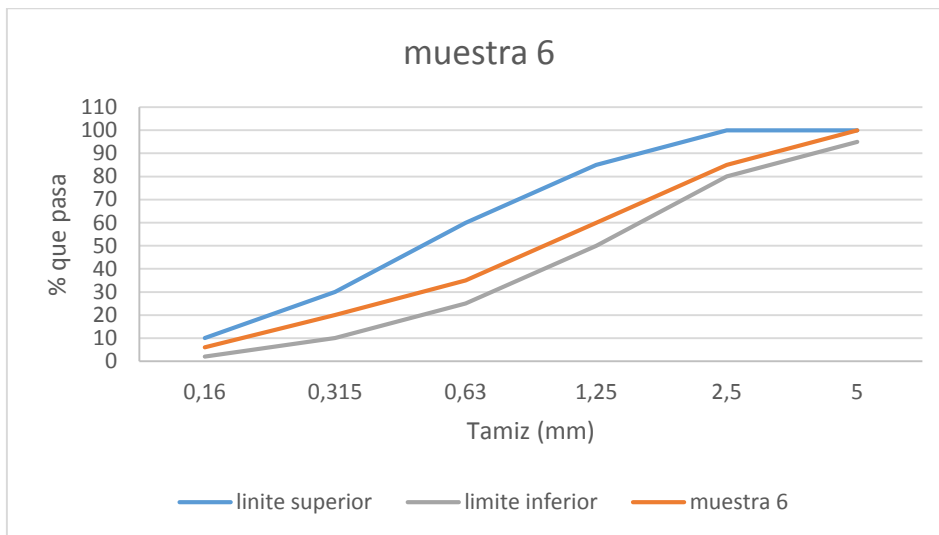
muestra 5

tamices (mm)	A5	% parcial (Kg/m3)	peso requerido
5	100	30	8,10
2,5	90	28	7,56
1,25	68	21	5,67
0,63	42	13	3,51
0,315	20	6	1,62
0,16	6	2	0,54
suma	326	100	27,00



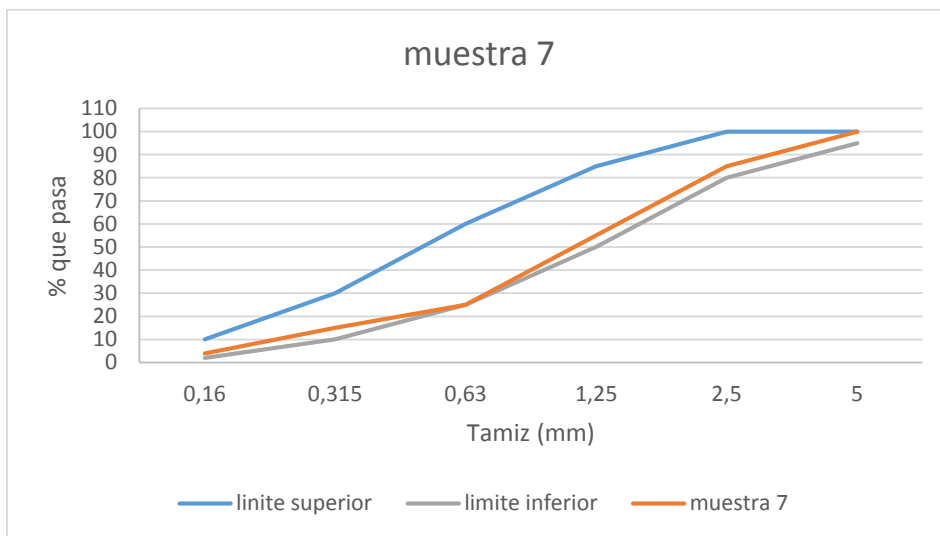
muestra 6

tamices (mm)	A6	% parcial (Kg/m3)	peso requerido
5	100	32	8,64
2,5	85	28	7,56
1,25	60	20	5,40
0,63	35	11	2,97
0,315	20	7	1,89
0,16	6	2	0,54
Suma	306	100	27,00



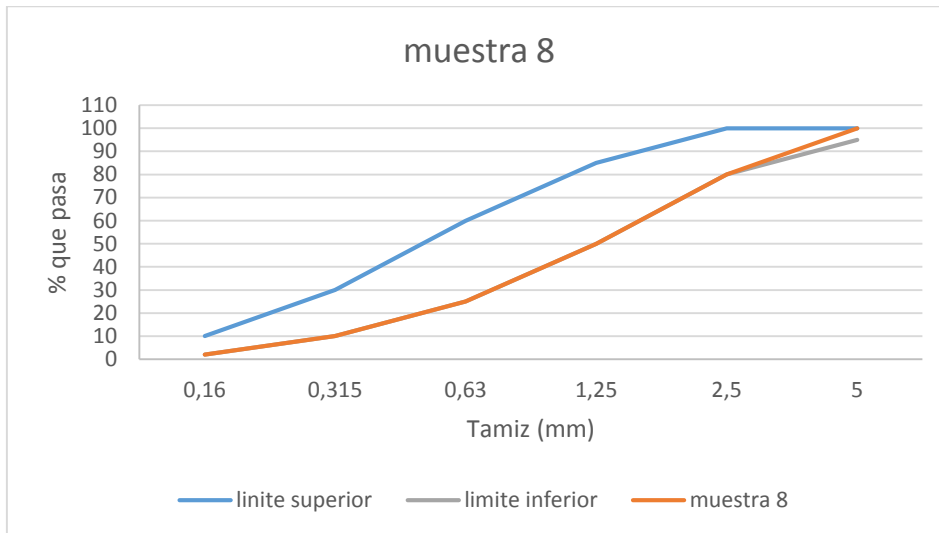
muestra 7

tamices (mm)	A7	% parcial (Kg/m3)	peso requerido
5	100	35	9,45
2,5	85	30	8,10
1,25	55	19	5,13
0,63	25	9	2,43
0,315	15	5	1,35
0,16	4	2	0,54
suma	184	100	27,00



muestra 8

tamices (mm)	A8	% parcial (Kg/m3)	peso requerido
5	100	37	9,99
2,5	80	30	8,10
1,25	50	19	5,13
0,63	25	9	2,43
0,315	10	4	1,08
0,16	2	1	0,27
Suma	267	100	27,00





## Características de los áridos gruesos

### 3.3 Determinación de densidades

#### 3.3.1 Determinación de densidad para grava G (40/20) mm

##### 3.3.1.1 Densidad aparente

Nch 1116 of1977 áridos para mortero y hormigón “determinación de la densidad aparente”

#### Formulas

Densidad aparente suelta (pas)

$$pas = \frac{ms}{v} \left( \frac{kg}{m^3} \right) \text{ Dónde: } ms = \text{masa de árido suelto que llena la medida (kg)}$$

V= capacidad volumétrica (m3)

Densidad aparente compactada (pac)

$$pac = \frac{ms}{v} \left( \frac{kg}{m^3} \right) \text{ Dónde: } ms = \text{masa de árido compactado que llena la medida}$$

V= capacidad volumétrica (m3)

Densidad Aparente	grava (40/20)			
Determinación	muestra 1	muestra 2	muestra 3	promedio
masa suelta (kg)	14,96	14,25	15,08	14,76
masa compactada(kg)	15,61	14,34	15,87	15,27
volumen(m3)	0,010116	0,010116	0,010116	0,010116
densidad aparente suelta(kg/m3)	1478,85	1408,66	1490,71	1459,40
densidad aparente compactada(kg/m3)	1543,10	1417,56	1568,80	1509,82

### 3.3.1.2 Densidad real, neta y absorción

Nch 1117 of 1977 arido para morteros y hormigones “determinación de la densidad real y neta de la absorción de agua de las gravas”

#### Formulas

$$pRT = \frac{B}{B-A} * 1000 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$pRS = \frac{C}{B-A} * 1000 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$pN = \frac{C}{C-A} * 1000 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$\alpha = \frac{B-C}{C} * 100 \%$$

Donde:

A= masa de árido saturado superficialmente seco menos la masa del agua desplazada (kg)

B=masa árido saturado superficialmente seco (kg)

C=masa árido seco (kg)

$\alpha$ =absorción del agua (%)

Densidad neta ,real y absorción

Determinación	muestra 1	muestra 2	muestra 3	promedio
masa sumergida(kg)	0,957	1,0051	0,976	0,97936667
masa s.s.s.(kg)	1,528	1,598	1,563	1,563
masa seca(kg)	1,51	1,578	1,544	1,544
densidad real seca(kg/m3)	2644,44	2695,23	2662,69	2667,45
densidad real s.s.s.(kg/m3)	2676,00	2661,49	2630,32	2655,94
densidad neta (kg/m3)	2730,56	2754,41	2718,31	2734,43
absorción %	1,19	1,27	1,23	1,23

### 3.3.2 Determinación de densidad para grava M (20/5) mm

#### 3.3.2.1 Densidad aparente

Nch 1116 of 1977 áridos para mortero y hormigón “determinación de la densidad aparente”

Densidad Aparente

Determinación	muestra 1	muestra 2	muestra 3	promedio
masa suelta (kg)	7,44	7,591	7,492	7,51
masa compactada(kg)	8,101	8,064	8,094	8,09
volumen(m3)	0,005033	0,005033	0,005033	0,005033
densidad aparente suelta(kg/m3)	1478,24	1508,25	1488,58	1491,69
densidad aparente compactada(kg/m3)	1609,58	1602,23	1608,19	1606,66

#### 3.3.2.2 Densidad real, neta y absorción

Nch 1117 of 1977 arido para morteros y hormigones “determinación de la densidad real y neta de la absorción de agua de las gravas”

Densidad neta ,real y absorción

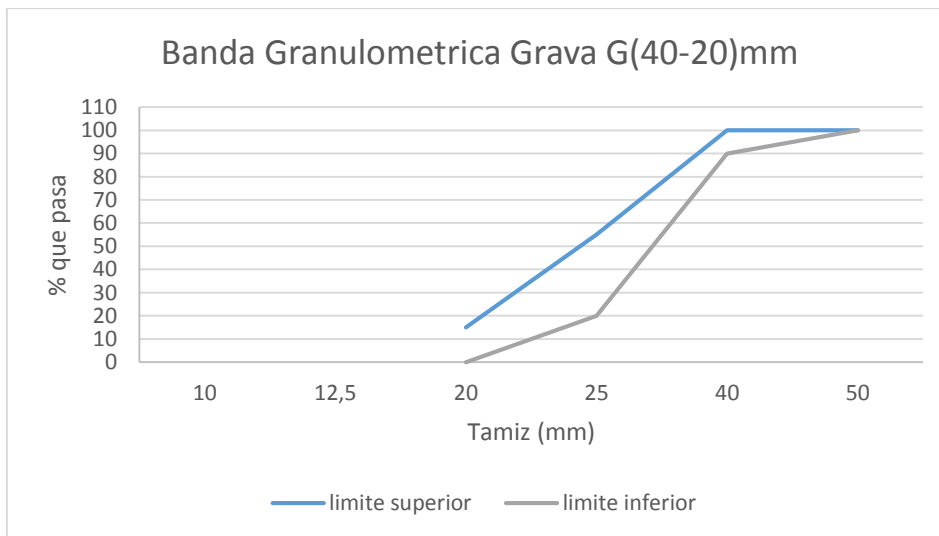
Determinación	muestra 1	muestra 2	muestra 3	promedio
masa sumergida(kg)	0,794	0,8009	0,738	0,77763333
masa s.s.s.(kg)	1,275	1,28	1,18	1,245
masa seca(kg)	1,258	1,2643	1,166	1,22943333
densidad real seca(kg/m3)	2650,73	2671,68	2669,68	2664,03
densidad real s.s.s.(kg/m3)	2615,38	2638,91	2638,01	2630,77
densidad neta (kg/m3)	2711,21	2728,31	2724,30	2721,27
Absorción (%)	1,35	1,24	1,20	1,26

### 3.4 Calculo de Granulometría

3.4.1 Curva granulométrica de la grava G (40/20) Nch 163 of 79 "tamizado y determinación de Granulometría"

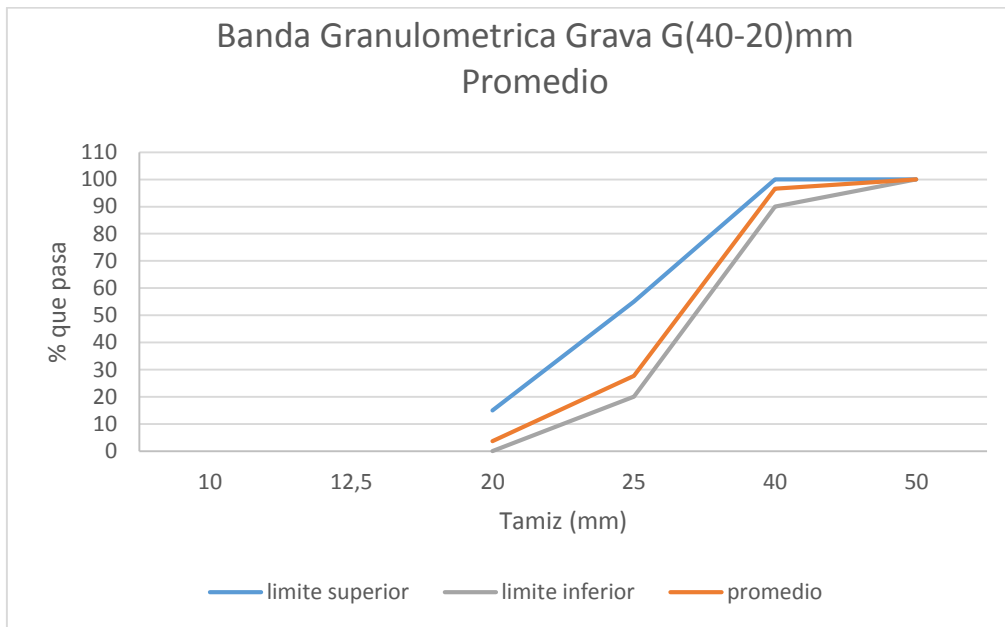
Tabla 5: Limite granulométrico G (40/20) mm

tamiz (Pg.)	Tamiz	Requisito Nch163 of79 (% acumulado que pasa)
(2")	50	100
(1½")	40	90-100
(1")	25	20-55
(¾")	20	0-15
(½")	12,5	-
(⅜")	10	0-5



### 3.4.1.1 Granulometría Grava (40/20)

tamiz (Pg.)	tamiz(mm)	muestra 1	muestra 2	muestra 3	Promedio	requisito Nch163 of79 (% acumulado que pasa)
(2")	50	100	100	100	100	100
(1½")	40	97	97	97	97	90-100
(1")	25	31	26	26	28	20-55
(¾")	20	3	4	4	4	0-15
(½")	12,5	0	0	0	0	
(⅜")	10	0	0	0	0	0-5

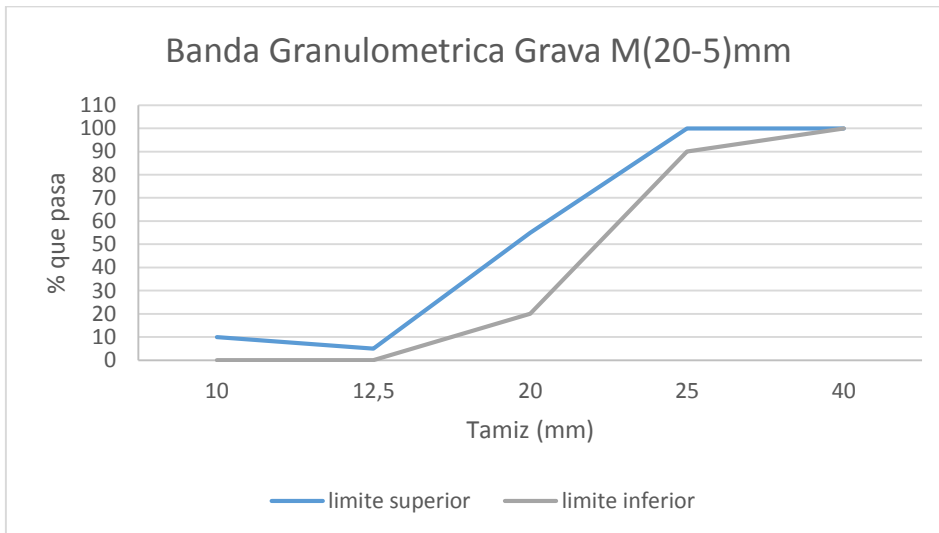


### 3.4.2 Granulometría Grava M (20/5) mm

Curva granulométrica de la grava M (20/5) mm Nch 163 of 79 “tamizado y determinación de granulometría”

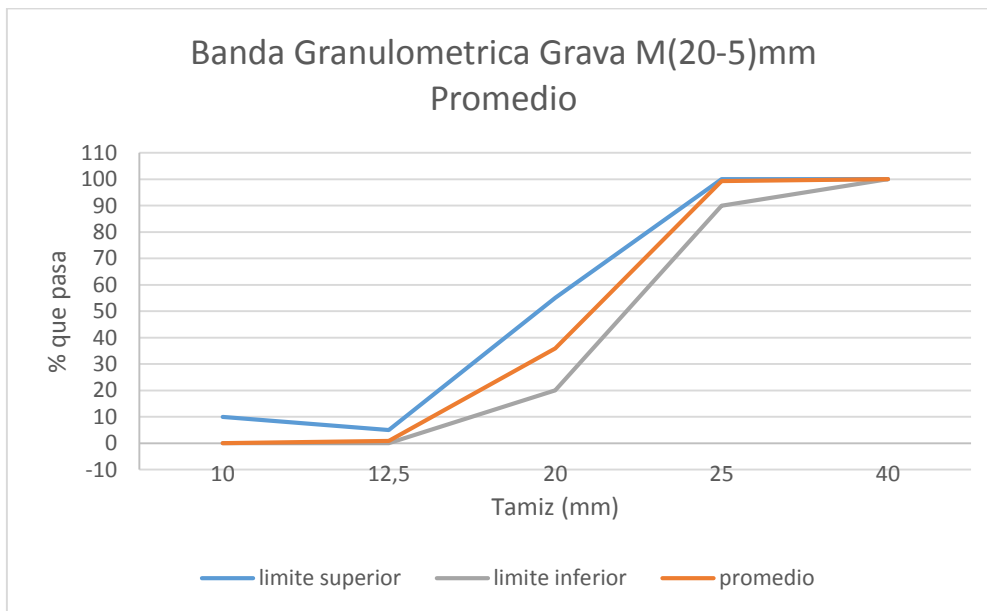
Tabla 6: Limite granulométrico G (20/5) mm

tamiz (mm)	requisito Nch163 of79 (% acumulado que pasa)
25	100
19	90-100
9,5	20-55
4,75	0-10
2,36	0-5



### 3.4.2.1 Granulométrica Grava M (20/5)

tamiz (Pg.)	tamiz(mm)	muestra 1	muestra 2	muestra 3	Promedio	requisito Nch163 of79 (% acumulado que pasa)
(1")	25	100	100	100	100	100
(3/4")	19	99	99	100	99	90-100
(1/2")	12,5	64	67	64	65	20-55
(3/8")	9,5	35	36	37	36	0-15
N°4	4,75	1	1	1	1	
N°8	2,36	0	0	0	0	0-5



### 3.5 Cálculo de la mezcla de grava

Se calculara la mezcla en que han de combinar la grava (40/20) y (20/5) para obtener la grava (40/5), que cumpla con lo requerido en Nch 163 of 79.

Para ello se considera un tamiz central de la granulometría: 3/4 (20 mm)

Con los aportes de ambas gravas, se plantea:

Tamiz (mm)	G(40/20)	M(20/5)	Banda granulométrica
50	100		100
40	97		90-100
25	28	100	
20	4	99	35-70
12,5		65	
10		36	10-.30
5		1	0-5

$$4G+99M=52(G+M)$$

52% es el promedio del requisito normal (35-70)

Resolviendo se tiene:

$$48G- 47M=0$$

$$G=47/(48+47)=0,5; M=0,5$$

La mezcla es la siguiente

Curva granulométrica de (40- 5) mm

GG (40/5)mm

Tamiz (mm)	G(40/20)	M(20/5)	banda combinada 0,5G+0,5M	GG(40/5)mm	Banda granulométrica
50	100		50+50	100	100
40	97		49+50	99	90-100
25	28	100	14+50	64	
20	4	99	2+50	52	35-70
12,5		65	33	33	
10		36	18	18	10-.30
5		1	1	1	0-5

## Dosificación del hormigón

Para el cálculo de la dosificación de utilizaron las siguientes condiciones para los áridos:  
Arena el 40% y Grava 60%

Nota: la grava a utilizar será 50 % G (40/20) y 50%M (20/5) del 60% definido anteriormente.

G(40/20)	30%
M(20/5)	30%
A	40%
Total	100%

Por lo tanto

30% G(40/20)	578 kg	
30%M(20/5)	578kg	
40%Arena	770kg	
Cemento	340kg	
Agua	175kg	
total	2441kg	cumple

Dosificación por colada

1 colada 35 l =(0,0035 m3)

	1m3	0,0035 m3
Cemento	340	11,9 kg
Agua	175	6,125 kg
G(40/20)	578	20,23 kg
M(20/5)	578	20,23 kg
Arena	771	27 kg

**CAPITULO IV:**  
**REALIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA**

## **4.1 Preparación de los ensayos**

### **4.1.1 Procedimiento**

El tamaño de la muestra de hormigón fresco necesaria para realizar el ensayo, debe ser totalmente representativa de la colada que se confecciono y su extracción se llevara acabo de acuerdo a lo indicado en la Nch 171 of 75.

### **4.1.2 Determinación del método asentamiento del cono de Abrams**

#### **4.1.2.1 Generalidades**

Este método permite determinar la docilidad del hormigón fresco a través de la disminución de altura que experimenta en este ensayo, aplicado tanto en laboratorio como en terreno (Nch 1019 of 74).

#### **4.1.2.2 Aparatos**

El molde metálico que se utiliza para este ensayo tiene forma de cono tronco recto abierto por ambos extremos, cuyo espesor es igual o inferior a 1.6 mm con una superficie lisa, libre de reborde y abolladuras.

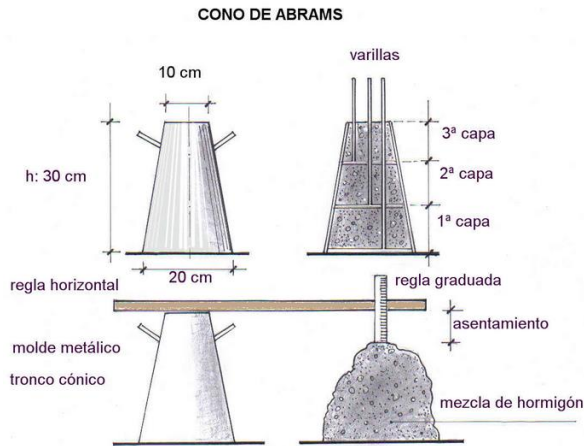
La base superior tendrá un diámetro de 10 mm y la base inferior será de 200mm de diámetro y una altura de 300 mm. El molde estará provisto de dos pisaderas en su parte inferior para que el operador pueda afirmar el cono durante el llenado, además tendrá dos asas en su parte superior, para levantar el molde después del llenado.

Otra parte necesaria para la ejecución de este ensayo es la varilla pisón en forma cilíndrica de acero lisa, de 16mm y 600mm de longitud, con sus extremos esféricos de 16mm de diámetro.

Se cuenta con una plancha de apoyo no absorbente, rígida y por lo menos de 400mm se utiliza una poruña metálica de sección y dimensiones tales que permitan el vaciado del material al molde

El llenado se lleva a cabo llenando el molde en tres etapas de 1/3 cada una de ellas, posteriormente al llenado se realizan 25 golpes por cada capa.

Posteriormente de la realización de lo antes mencionado se retira suavemente el molde y se registra los mm que baja la muestra y de esta forma se determina el asentamiento de la muestra.



Dimensiones: Molde de metal con forma de cono truncado, con un diámetro en la base de 20 cm (8 pulgadas) y un diámetro en la parte superior de 10 cm (4 pulgadas), con una altura de 30 cm (12 pulgadas).

Figura 2: Asentamiento cono de Abrams.

#### 4.1.3 Colocación en los moldes y compactación de la muestra

Luego de ser realizada la colada en la betonera se vierte sobre la carretilla con el fin de recuperar todo el material fino que quede en ella y se vuelve a revolver para que quede totalmente homogénea .posteriormente se vierte en los moldes para la realización del ensayo de compresión se utilizaron moldes de 15x15 cm, y en el caso de los ensayo de absorción de agua la dimensión de las probeta es de 10x10 cm.



Figura 3: Probetas aceitadas, listas para llenado

#### 4.1.4 Vibración

Llenar la probeta y vibrar sin tocar con el vibrador las paredes ni el fondo del recipiente.

La vibración se aplica hasta que aparezca la lechada, al obtener esta apariencia suave y brillos, se retira el vibrador con suavidad para evitar la sobrevibración. El fin principal del vibrado es expulsar el aire atrapado en la mezcla y que esta quede de una forma más uniforme dentro de la probeta.

Una vez compactada la muestra, se enrasa y alisa la superficie ajustadamente al nivel del borde del recipiente.



Figura 4: vibración probeta

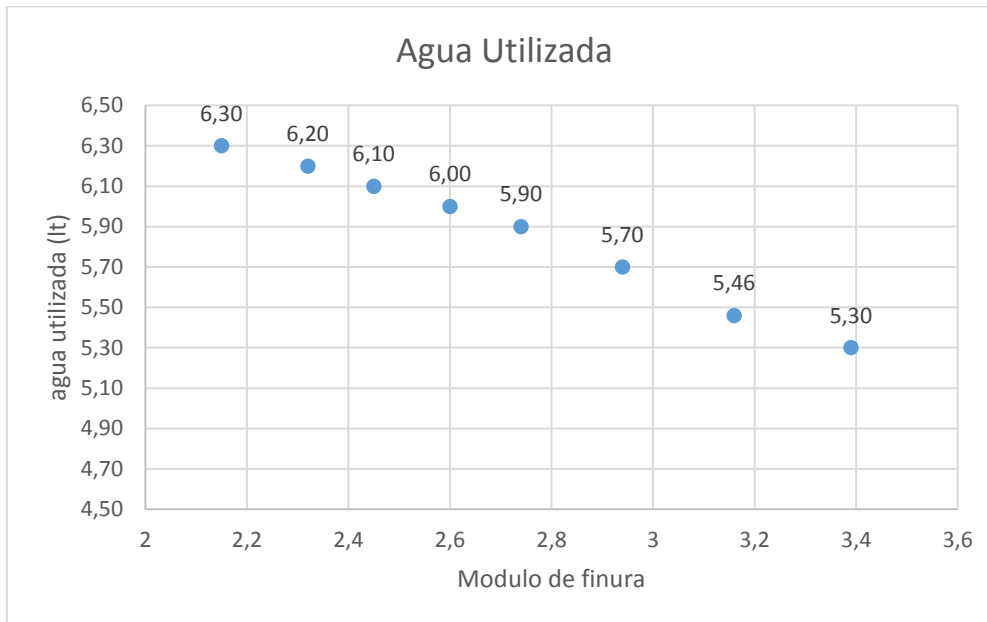
Una vez realizado este procedimiento se dejan las probetas a lo menos 24 horas para posteriormente ser desmoldadas y poder llevar a cabo los distintos ensayos.

## 4.2. Agua utilizada

### Agua utilizada (l) para la realización de cada ensayo

Al ser uno de los objetivos del ensayo mantener un asentamiento constante variando la cantidad de agua en las distintas muestras, se fueron obteniendo los siguientes resultados.

M. Finura	2,15	2,32	2,45	2,6	2,74	2,94	3,16	3,39
agua utilizada	6,30	6,20	6,10	6,00	5,90	5,70	5,46	5,30
A. Relativa (%)	100	98	97	95	94	90	87	84



Se puede observar claramente que a menor módulo de finura será mayor la cantidad de agua utilizada, teniendo en cuenta que se mantienen constante el resto de los parámetros (cemento grava y la cantidad de arena)

#### 4.2.1 Cálculos de correlación módulo de finura v/s agua utilizada

Coeficiente de correlación de Pearson

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$b = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - b \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

### **Y=bX+a Ecuación de la recta**

Donde r=coeficiente de correlación

b=pendiente

a=intercepto

x=módulo de finura

y=agua utilizada(l)

x	Y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	Xy	
2,15	6,30	4,62	39,69	13,55	
2,32	6,20	5,38	38,44	14,38	
2,45	6,10	6,00	37,21	14,95	
2,60	6,00	6,76	36,00	15,60	
2,74	5,90	7,51	34,81	16,17	
2,94	5,70	8,64	32,49	16,76	
3,16	5,46	9,99	29,81	17,25	
3,39	5,30	11,49	28,09	17,97	
Sumatoria	21,75	46,96	60,40	276,54	126,62

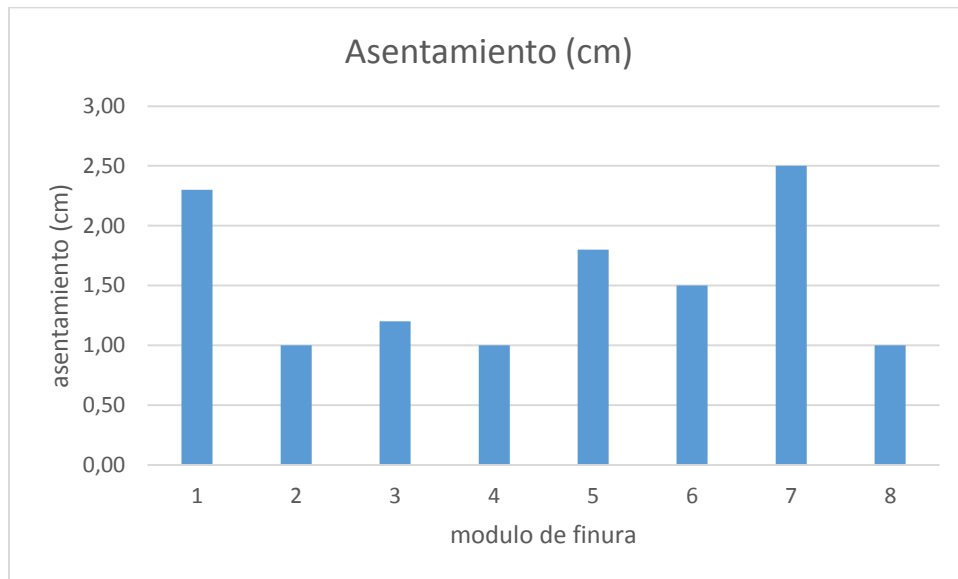
r = - 0,99      b = - 0,8305      a = 8,127

**Ecuación de la recta**

<b>Y = -0,8305X + 8,127</b>
-----------------------------

### 4.3 Ensayo asentamiento

Muestra	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
M. Finura	2,15	2,32	2,45	2,6	2,74	2,94	3,16	3,39
Asentamiento (cm)	2,3	1,00	1,20	1,00	1,80	1,50	2,50	1,00



Se puede verificar que al variar la cantidad de agua se cumple con lo señalado en el objetivo y se obtuvo un asentamiento constante entre 1-3 cm

#### 4.4. Ensayo absorción de agua

Para la realización de este ensayo una vez desmoldada la probeta se lleva al agua por 24 horas y se toma el peso, posteriormente se lleva al horno por 24 horas y se registra el peso seco con estos datos y las formula antes mencionada se calcula el porcentaje de absorción

Datos obtenidos a través del ensayo

##### 4.4.1 Ensayo realizado 24 horas

Tamices (mm)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
MF	2,15	2,32	2,45	2,6	2,74	2,94	3,16	3,39

Muestra	peso saturado	peso seco	diferencia	Absorción de agua (%)
A1-1	2,487	2,336	0,151	6,46
A1-2	2,504	2,356	0,148	6,28
A1-3	2,490	2,34	0,150	6,41
Promedio				6,38

A2-1	2,475	2,356	0,124	5,26
A2-2	2,459	2,333	0,126	5,40
A2-3	2,482	2,343	0,139	5,93
Promedio				5,53

A3-1	2,49	2,365	0,125	5,29
A3-2	2,55	2,26	0,123	5,44
A3-3	2,51	2,374	0,136	5,73
Promedio				5,49

A4-1	2,484	2,354	0,126	5,35
A4-2	2,459	2,333	0,127	5,44
A4-3	2,526	2,393	0,133	5,56
Promedio				5,45

A5-1	2,445	2,327	0,123	5,29
A5-2	2,456	2,332	0,123	5,27
A5-3	2,486	2,347	0,139	5,92
Promedio				5,49

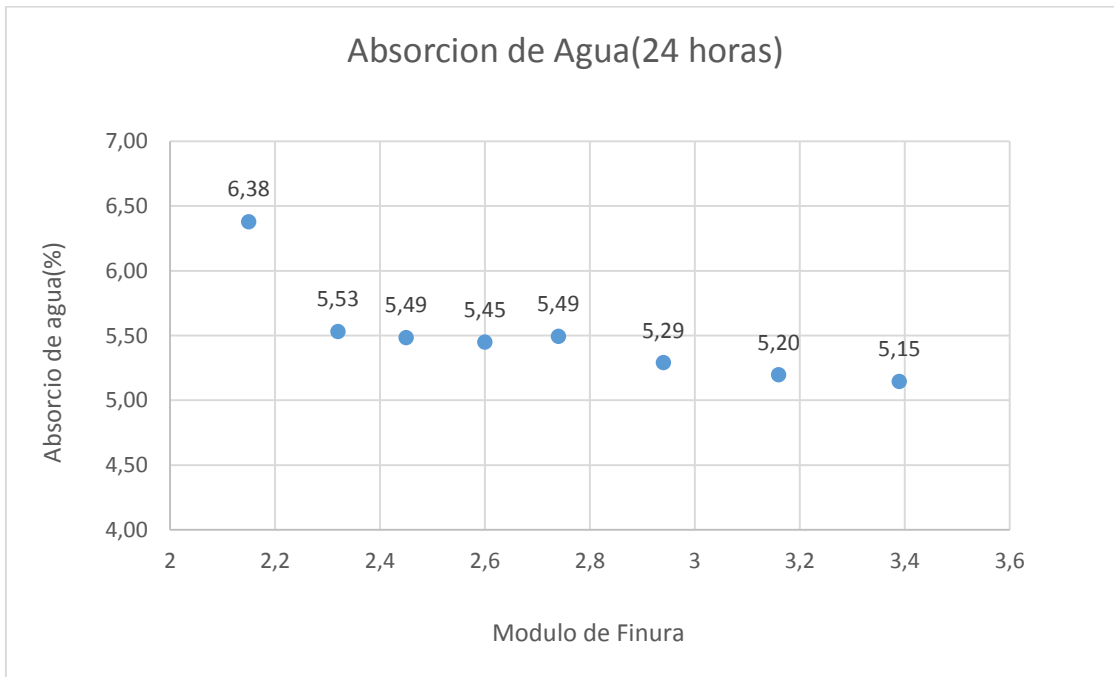
A6-1	2,471	2,337	0,133	5,69
A6-2	2,486	2,369	0,117	4,94
A6-3	2,468	2,345	0,123	5,25
Promedio				5,29

A7-1	2,500	2,382	0,118	4,95
A7-2	2,473	2,346	0,127	5,41
A7-3	2,495	2,371	0,124	5,23
Promedio				5,20

A8-1	2,450	2,334	0,116	4,97
A8-2	2,473	2,348	0,125	5,32
A8-3	2,493	2,371	0,122	5,15
Promedio				5,15

Cuadro resumen: absorción a las 24 horas

M. Finura	2,15	2,32	2,45	2,6	2,74	2,94	3,16	3,39
Absorción de agua (%)	6,38	5,53	5,49	5,45	5,49	5,29	5,20	5,15
A. Relativa (%)	124	107	107	106	107	103	101	100



Comentario: se puede observar con los datos obtenidos una clara tendencia que a menor módulo de finura es mayor la absorción de agua (estos datos obtenidos a las 24 horas del ensayo)

#### 4.4.2 Cálculos de correlación módulo de finura v/s absorción de agua (24 horas)

Donde: x=módulo de finura

y=Absorción capilar (%)

r=coeficiente de correlación

b=pendiente

a=intercepto

Syx=error típico de estimación

absorción de agua (1dia)

X	y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	Xy	
2,15	6,39	4,6225	40,77304	13,729	
2,32	5,53	5,3824	30,6048478	12,835	
2,45	5,49	6,0025	30,0911419	13,440	
2,60	5,45	6,76	29,7174105	14,174	
2,74	5,49	7,5076	30,1864989	15,054	
2,94	5,29	8,6436	28,0019203	15,558	
3,16	5,20	9,9856	27,0301239	16,429	
3,39	5,15	11,4921	26,485421	17,446	
Sumatoria	21,75	43,99	60,3963	242,890404	118,663

Se obtuvieron los siguientes resultados:

r=-0,828

b=-0,739

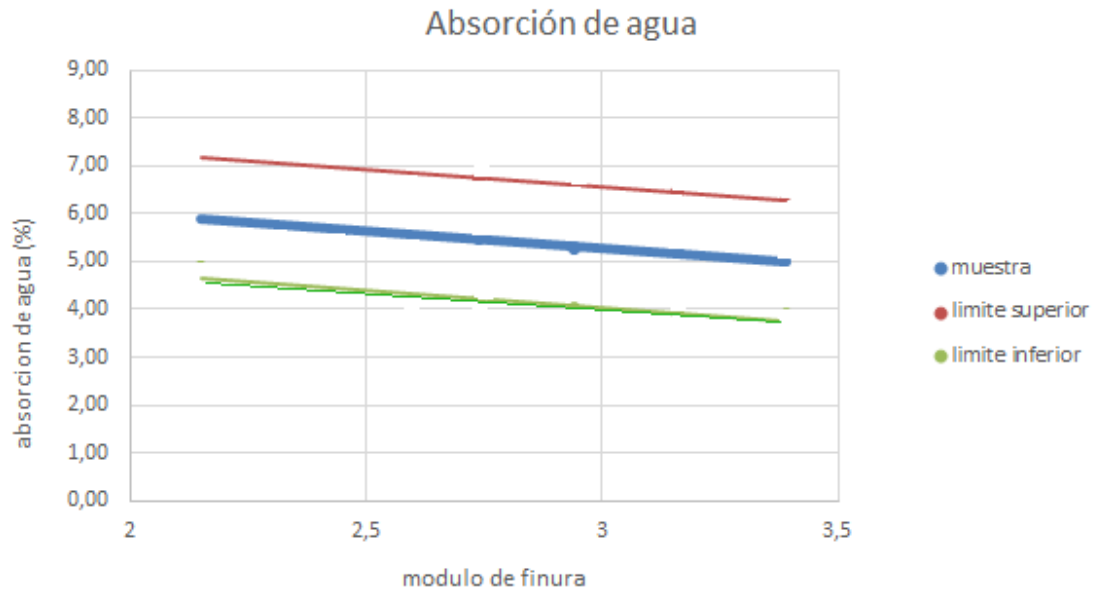
a=7,5079

Syx=1,27

Ecuación de la recta.

$Y = 7,51 - 0,74 X$
---------------------

4.4.3 Grafico representa el error típico de estimación



#### 4.5 Absorción de agua a los 28 días

Muestra	peso saturado	peso seco	Diferencia	Absorción de agua (%)
A1-1	2494,900	2396,5	98,400	4,11
A1-2	2511,700	2408,8	102,900	4,27
A1-3	2500,800	2392,1	108,700	4,54
Promedio				4,31

A2-1	2482,100	2381,1	101,000	4,24
A2-2	2462,800	2364,6	98,200	4,15
A2-3	2472,000	2373,3	98,700	4,16
Promedio				4,18

A3-1	2494,40	2399,3	95,100	3,96
A3-2	2551,00	2458,8	92,200	3,75
A3-3	2513,80	2416	97,800	4,05
Promedio				3,92

A4-1	2487,200	2398,7	88,500	3,69
A4-2	2462,600	2375,4	87,200	3,67
A4-3	2529,900	2439,8	90,100	3,69
Promedio			0,000	3,68

A5-1	2450,800	2371,1	79,700	3,36
A5-2	2460,400	2377,7	82,700	3,48
A5-3	2490,800	2412,8	78,000	3,23
Promedio				3,36

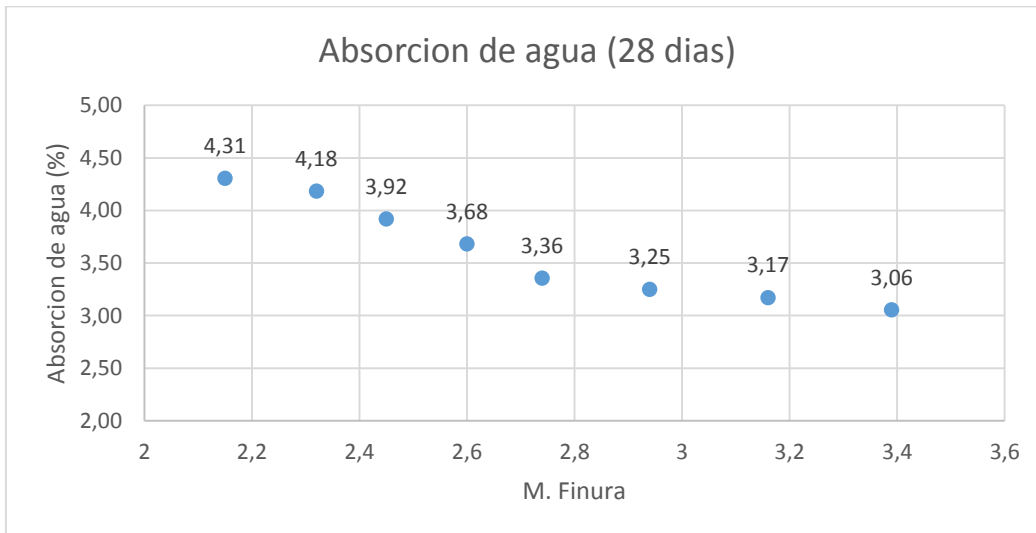
A6-1	2481,400	2406,4	75,000	3,12
A6-2	2493,900	2416,6	77,300	3,20
A6-3	2477,000	2394,7	82,300	3,44
Promedio			0,000	3,25
			0,000	

A7-1	2509,100	2440,3	68,800	2,82
A7-2	2481,300	2396	85,300	3,56
A7-3	2504,100	2427,9	76,200	3,14
Promedio				3,17

A8-1	2464,400	2390,6	73,800	3,09
A8-2	2481,400	2405	76,400	3,18
A8-3	2506,200	2435,5	70,700	2,90
Promedio				3,06

## Cuadro resumen del ensayo

M. Finura	2,15	2,32	2,45	2,6	2,74	2,94	3,16	3,39
Absorción de agua (%)	4,31	4,18	3,92	3,68	3,36	3,25	3,17	3,06
A. Relativo	141	137	128	121	110	106	104	100



Análisis: se puede apreciar de manera clara la tendencia de que a menor módulo de finura mayor es la absorción de agua y además se puede apreciar la disminución en los porcentajes de absorción entre el primer ensayo a las 24 horas y este a los 28 días, esto se debe al paso de tiempo en el cual se van juntando las partículas y así cerrando los espacios de aire.

#### 4.5.1 Cálculos de correlación módulo de finura v/s absorción de agua (28 días)

Donde: x=módulo de finura

y=Absorción capilar (%)

r=coeficiente de correlación

b=pendiente

a=intercepto

Syx=error típico de estimación

absorción de agua (28 día)

X	y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	Xy	
2,15	4,31	4,6225	18,5529737	9,261	
2,32	4,18	5,3824	17,5098326	9,708	
2,45	3,92	6,0025	15,3702313	9,605	
2,60	3,68	6,76	13,5752573	9,580	
2,74	3,36	7,5076	11,272177	9,199	
2,94	3,25	8,6436	10,5671674	9,557	
3,16	3,17	9,9856	10,0656878	10,026	
3,39	3,06	11,4921	9,33648962	10,358	
sumatoria	21,75	28,93	60,3963	106,249817	77,294

#### Se obtuvieron los siguientes resultados:

R=-0,95

b=-1,079

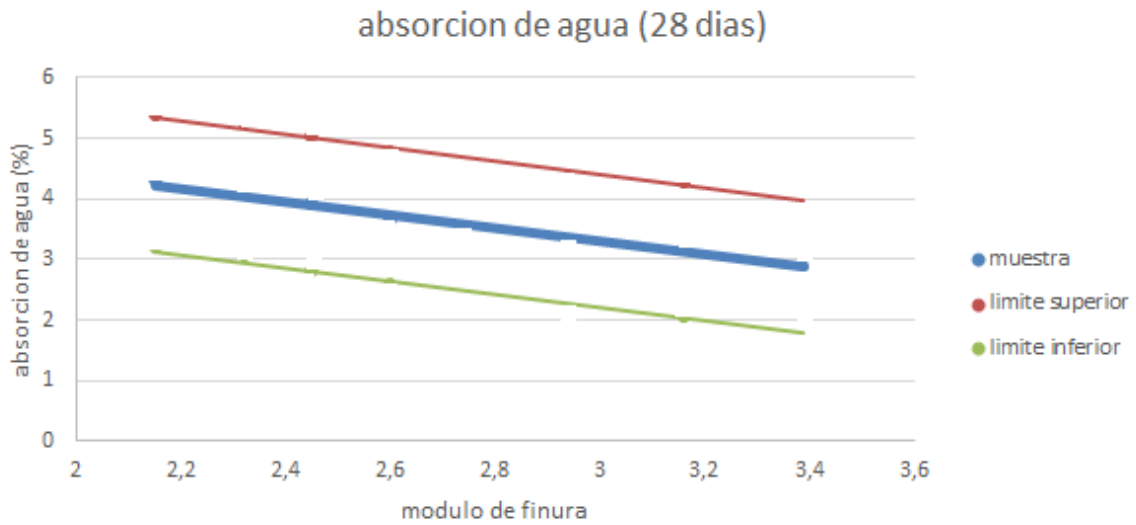
a=6,54

Syx=1,1

Ecuación de la recta

<b>Y= 6,54 - 1,079 X</b>
--------------------------

**4.5.2** Grafico representa el error típico de estimación



#### 4.6 Ensayo de resistencia a la compresión

El ensayo de compresión es un procedimiento que se lleva a cabo a los 28 días el cual indica la resistencia máxima que puede llegar el hormigón.

Muestra	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
M. Finura	2,15	2,32	2,45	2,6	2,74	2,94	3,16	3,39

Muestra	Carga de rotura(kN)	sección transversal (mm <sup>2</sup> )	Resistencia a compresión(Kgf/cm <sup>2</sup> )
A1-1	401244	22500	178,3
A1-2	435111	22801	190,8
A1-3	408850	22500	181,7
Promedio			183,6

A2-1	413657	22500	183,8
A2-2	427721	22801	187,6
A2-3	416599	22801	182,7
Promedio			184,7

A3-1	541593	22500	240,7
A3-2	487922	22650	215,4
A3-3	478283	22500	212,6
Promedio			222,9

A4-1	520132	22650	229,6
A4-2	481540	22650	212,6
A4-3	523350	22801	229,5
Promedio			223,9

A5-1	554600	22500	246,5
A5-2	567900	22801	249,1
A5-3	569004	22500	252,9
Promedio			249,5

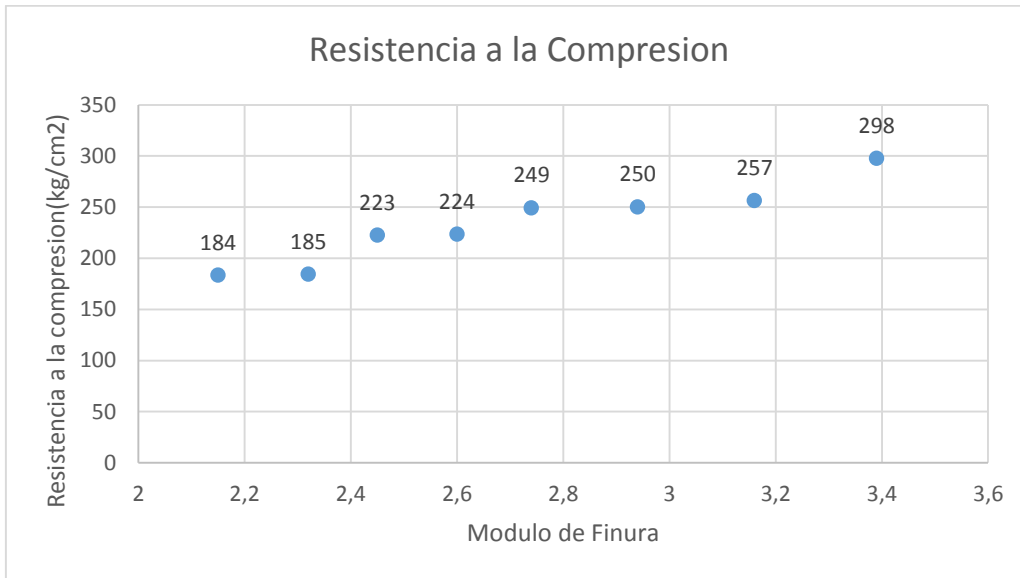
A6-1	564457	22500	250,9
A6-2	556089	22500	247,2
A6-3	573824	22650	253,3
Promedio			250,5

A7-1	575818	22801	252,5
A7-2	595049	22801	261,0
A7-3	581559	22650	256,8
Promedio			256,8

A8-1	674677	22500	299,9
A8-2	685026	22801	300,4
A8-3	664974	22650	293,6
Promedio			298,0

**Cuadro resumen resistencia a la compresión v/s módulo de finura**

M.Finura	2,15	2,32	2,45	2,6	2,74	2,94	3,16	3,39
resistencia a la compresión(kg/cm <sup>2</sup> )	184	185	223	224	249	250	257	298
R. Relativa (%)	100	101	121	122	136	136	140	162



Comentario: se aprecia de manera clara la tendencia que a mayor módulo de finura, mayor será la resistencia a la compresión del hormigo, esto se debe al aumento en el tamaño de partícula en la arena

#### 4.6.1 Correlación módulo de finura-resistencia a la compresión

Donde: x=módulo de finura

y=Absorción capilar (kg/cm<sup>2</sup>)

r=coeficiente de correlación

b=pendiente

a=intercepto

S<sub>yx</sub>=error típico de estimación

#### Resistencia a la compresión

X	y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	Xy	
2,15	183,62	4,6225	33717,7202	394,791	
2,32	184,72	5,3824	34119,8903	428,540	
2,45	222,90	6,0025	49683,8637	546,102	
2,60	223,92	6,76	50141,4652	582,200	
2,74	249,48	7,5076	62241,5309	683,582	
2,94	250,45	8,6436	62727,6025	736,337	
3,16	256,76	9,9856	65924,7691	811,356	
3,39	297,96	11,4921	88780,166	1010,084	
Sumatoria	21,75	1869,82	60,3963	447337,008	5192,993

Donde:

R=0,96

b=86,608

a=- 1,739

Ecuación de la recta

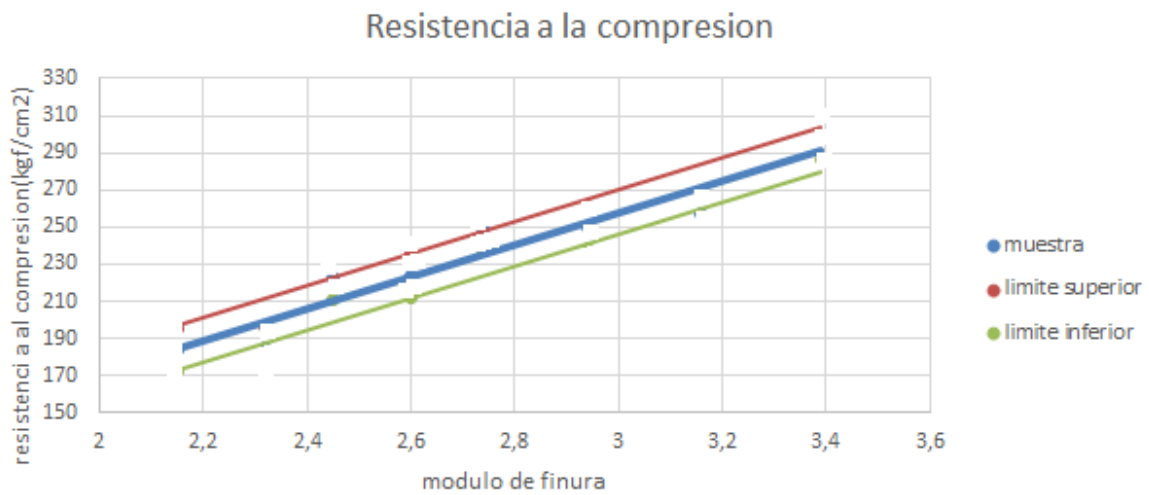
$$Y=86,608 \cdot X - 1,739$$

Error típico de estimación

$$S_{yx} = \sqrt{(\sum y^2 - \frac{\sum xy}{\sum x}) / (n - 2)}$$

$$S_{yx} = 11,78$$

Grafico representa el erro típico de estimación, módulo de finura v/s resistencia a la compresión



#### 4.7 Cálculos densidad aparente

muestra	masa(gr)	volumen (cm3)	densidad aparente(gr/cm3)
A1-1	8178,4	3375	2,423
A1-2	8164,6	3420,15	2,387
A1-3	8198,3	3375	2,429
Promedio			2,413

A2-1	8282,8	3375	2,454
A2-2	8265,9	3420,15	2,417
A2-3	8309,4	3420,15	2,430
Promedio			2,434

A3-1	8362,5	3375	2,478
A3-2	8358,3	3397,5	2,460
A3-3	8116,4	3375	2,405
Promedio			2,448

A4-1	8230,3	3397,5	2,422
A4-2	8213,3	3397,5	2,417
A4-3	8324,1	3420,15	2,434
Promedio			2,425

A5-1	8230,3	3375	2,439
A5-2	8230,5	3420,15	2,406
A5-3	8310,2	3375	2,462
Promedio			2,436

A6-1	8504,7	3375	2,520
A6-2	8355,9	3375	2,476
A6-3	8339,1	3397,5	2,454
Promedio			2,483

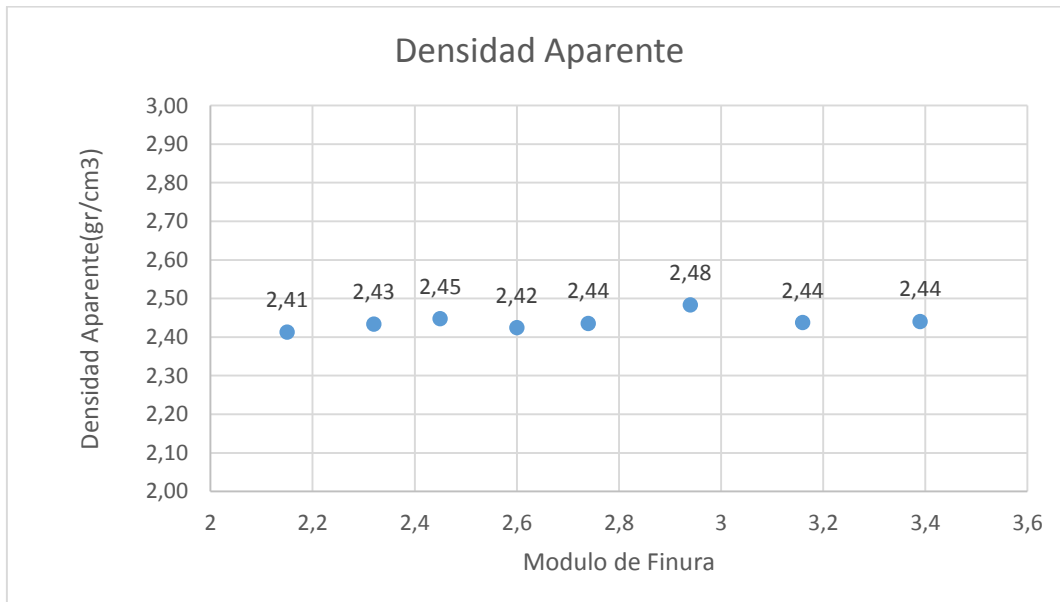
A7-1	8262	3420,15	2,416
A7-2	8327,4	3420,15	2,435
A7-3	8366	3397,5	2,462
Promedio			2,438

A8-1	8291	3375	2,457
A8-2	8347,1	3420,15	2,441
A8-3	8236,4	3397,5	2,424
Promedio			2,440

### Cuadro resumen densidad aparente

M.Finura	2,15	2,32	2,45	2,6	2,74	2,94	3,16	3,39
densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2,41	2,43	2,45	2,42	2,44	2,48	2,44	2,44
D. Relativa (%)	99	100	100	99	100	102	100	100

### Grafico



Con los datos obtenidos se puede corroborar que cumple con lo recomendado en norma que deben ir entre 2000 -3000 (kg/m<sup>3</sup>) o 2 -3 (gr/cm<sup>3</sup>). (Nch 1116 of 77)

## **Capitulo v: Conclusiones**

Los resultados obtenidos en la experiencia realizada permite inferir las siguientes conclusiones.

1. Para mantener un asentamiento constante aproximadamente constante, a medida que aumenta el módulo de finura se verifica una disminución de la demanda de agua, que es inversamente proporcional al módulo de finura, llegando a una disminución de 16% para el mayor módulo de finura empleado; 3,39.
2. El módulo de finura influye en la absorción de agua, que es un índice de la porosidad del hormigón .A medida que disminuye el módulo de finura, la absorción de agua aumenta proporcionalmente variando desde 3,1% para módulo de finura 3,39, hasta 4,3% para módulo de finura 2,15.
3. La resistencia a la compresión aumenta proporcionalmente a medida que aumenta el módulo de finura, llegándose a un 62% para el módulo de finura 3,39 respecto al módulo de finura 2,15.
4. Se observa una influencia significativa del módulo de finura sobre la densidad aparente del hormigón.
5. Se determinaron correlaciones entre módulo de finura y variables en estudio, obteniéndose los siguientes resultados:
  - 5.1 Entre módulos de finura y absorción de agua a los 28 días se obtuvo un coeficiente de correlación igual a -0,95, que puede considerarse "muy fuerte". A los menores resultados se ajusta una recta cuya expresión es  $Y=6,54-1,079X$ , con un error típico de estimación  $S=1,1$
  - 5.2 Entre módulo de finura y resistencia a la compresión del hormigón, es obtuvo un coeficiente de correlación igual a 0,96, que se considera como "muy fuerte". A los valores resultantes ajusto una recta cuya expresión es  $Y=86,608X-1,739$  con un error típico de estimación  $S=11,78$ .
6. Es estas expresiones ha quedado demostrado que arenas que cumplan con el requisito granulométrico normal, tienen influencia significativa sobre la demanda de agua, la absorción de agua- porosidad y la resistencia a compresión del hormigón, cuando poseen diferentes módulos de finura.

## 7. Bibliografía

A.Duff. Abrams-investigador estadounidense en el campo de la composición y características de concreto.

Biblioteca universidad de Valparaíso, Facultad de Arquitectura.

Jorge Álvarez Romero Tesis “estudio de la influencia del módulo de finura de la arena sobre la permeabilidad y la absorción capilar de los morteros” ,año 1997.

Kohlhaas, labahn libro portuario del cemento, 1985

Nch 163 of 79 Árido para mortero y hormigones

Nch 165 of 77 Tamizado y determinación de la granulometría

Nch 1019 of 74 Construcción – hormigón - determinación de la docilidad-método asentamiento del cono Abrams

Nch 1116 of 1977 Áridos para mortero y hormigón “determinación de la densidad aparente”

Nch 1117 of 1977 Árido para morteros y hormigones “determinación de la densidad real y neta de la absorción de agua de las gravas”

Nch 1498 of 85 Hormigo- Agua para amasado

Pedro Jiménez Montoya escritor libro hormigón armado, 2001

P. Kumar Mehta & Paulo J.M. Montero (1986). Pretince-Hall International, ed. Concrete Structure, Properties, and Materials,(Segunda edición)

Tejero Juez, Enrique (1987). *Hormigón Armado*. Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón

T. William Lambe. Robert V. Whitman. Mecánica de suelos. Editora Limusa. Mexico. 1997