



Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

Influencia del Tamaño Máximo Nominal del Árido sobre la Resistencia al Hendimiento del Hormigón

por

Alberto Antonio Lizana Cirano

Tesis para optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Construcción
Y al Título de Ingeniero Constructor

Profesor Guía: Juan Egaña Ramos

Mayo, 2015

DEDICATORIA

*Dedicado con todo cariño a
mi familia
y a todos los que me
acompañaron en este camino.*

INDICE GENERAL

CAPITULO	
DEDICATORIA.....	ii
INDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE TABLAS.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	vi
INDICE DE GRÁFICOS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
CAPITULO I	
Introducción.....	1
Objetivos (principal y secundario).....	1
Hipótesis.....	1
Alcances de la Experiencia.....	2
CAPITULO II	
Marco Teórico.....	3
Propiedades del hormigón (resistencia a tracción).....	7
Ensayo a tracción indirecta.....	8
CAPITULO III	
Metodología de trabajo.....	9
Diseño de la experiencia.....	10
Etapa 1: Tipo de probeta a utilizar.....	11
Etapa 2: Granulometrías.....	11
Etapa 3: Dosificaciones y Razón (a/c).....	20
Etapa 4: Toma de datos.....	28
CAPITULO IV	
Desarrollo de la experiencia.....	29
Verificación de la dosificación.....	29
Medición de los materiales componentes.....	29
Amasado del Hormigón.....	29
Hormigón nado (colocación y compactación).....	30
Terminación superficial de las probetas.....	30
Curado del Hormigón.....	30
Ensayo de tracción por compresión.....	31
Ensayo de compresión.....	33

CAPITULO V

Generalidades.....	34
Análisis de resultados del ensayo al hendimiento.....	34
Análisis de resultados del ensayo a compresión.....	41
Resistencias promedio a compresión.....	46
Relación resistencia al hendimiento v/s compresión.....	47

CAPITULO VI

Conclusiones.....	53
-------------------	----

CAPITULO VII

Bibliografía.....	54
-------------------	----

ANEXO

Anexo 1 Comparación líneas de tendencia y correlaciones para diferentes D_n	1
Anexo 2 BOLETIN RILEM N° 13 - Resistencia a la tracción del hormigón.....	5
Anexo 3 Tabla de conos de las 20 mezclas confeccionadas.....	11

INDICE DE TABLAS

CAPITULO III

Tabla 3.1: Granulometría grava 40mm.....	12
Tabla 3.2: Granulometría grava 20mm.....	13
Tabla 3.3: Granulometría grava 12mm.....	14
Tabla 3.4: Granulometría arena 5mm.....	15
Tabla 3.5: Granulometría árido combinado 40 mm.....	16
Tabla 3.6: Granulometría árido combinado 20 mm.....	17
Tabla 3.7: Granulometría árido combinado 12 mm.....	18
Tabla 3.8 Granulometría árido 5 mm.....	19
Tabla 3.9: Nivel de confianza.....	20
Tabla 3.10: Dispersión estimada de resistencia.....	21
Tabla 3.11: Dosis de cemento estimada en función de la resistencia media requerida fr. 22	22
Tabla 3.12: Determinación cantidad de árido.....	24
Tabla 3.13: Determinación de la proporción entre áridos.....	25
Tabla 3.14: Dosificaciones por grado de resistencia	27

CAPITULO V

Tabla 5.1: Rotura, tracción por compresión (kg) para HF 3,0 MP.....	34
Tabla 5.2: Rotura, tracción por compresión (kg) para HF 3,5 MPa.....	36
Tabla 5.3: Rotura, tracción por compresión (kg) para HF 4.0 MPa.....	37
Tabla 5.4: Rotura, tracción por compresión (kg) para HF 4,5 MPa.....	38
Tabla 5.5: Rotura, tracción por compresión (kg) para HF 5,0 MPa.....	39
Tabla 5.6: Resumen Rotura, tracción por compresión (kg)	40
Tabla 5.7: Rotura, ensayo a compresión (kg) para HF 3,0 MPa.....	41
Tabla 5.8: Rotura, ensayo a compresión (kg) para HF 3,5 MPa.....	42
Tabla 5.9: Rotura, ensayo a compresión (kg) para HF 4,0 MPa.....	43
Tabla 5.10: Rotura, ensayo a compresión (kg) para HF 4,5 MPa.....	44
Tabla 5.11: Rotura, ensayo a compresión (kg) para HF 5,0 MPa.....	45
Tabla 5.12: Resistencia promedio de compresión.....	46
Tabla 5.13: Resist. a hendimiento v/s Resist. a compresión para Dn 40mm.....	47
Tabla 5.14: Resist. a hendimiento v/s Resist. a compresión para Dn 20mm.....	48
Tabla 5.15: Resist. a hendimiento v/s Resist. a compresión para Dn 12mm.....	49
Tabla 5.16: Resist. a hendimiento v/s Resist. a compresión para Dn 5mm.....	50
Tabla 5.17: Grado de resistencia v/s relación entre compresión y hendimiento en %.....	51

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

Figura 2.1 Influencia del tamaño máximo del agregado en la resistencia a la compresión a los 28 días de concretos con diferentes riquezas.....	6
--	---

CAPITULO IV

Figura 4.1: Terminación superficial.....	30
Figura 4.2: Acopio probetas posterior al llenado	31
Figura 4.3: Descimbre de probetas.....	31
Figura 4.4: Descimbre e identificación de probetas.....	31
Figura 4.5: Curado bajo agua.....	31
Figura 4.6: Capping	33
Figura 4.7: Ensayo compresión probeta refrentada.....	33
Figura 4.8: Falla probeta sometida a compresión.....	33

CAPITULO V

Figura 5.1: Demarcación generatrices.....	35
Figura 5.2: Colocación probeta previo ensayo.....	35
Figura 5.3: Muestra probeta ensayada.....	35
Figura 5.4: Detalle desprendimiento de árido.....	35

INDICE DE GRÁFICO

CAPITULO III

Gráfico 3.1: Granulometría grava 40mm	12
Gráfico 3.2: Granulometría grava 20mm	13
Gráfico 3.3: Granulometría grava 12mm.....	14
Gráfico 3.4: Granulometría arena 5mm.....	15
Gráfico 3.5: Granulometría árido combinado 40 mm.....	16
Gráfico 3.6: Granulometría árido combinado 20 mm.....	17
Gráfico 3.7: Granulometría árido combinado 12 mm.....	18
Gráfico 3.8: Granulometría árido combinado 5 mm.....	19

CAPITULO V

Gráfico 5.1: Dn (mm) v/s Resist. a Hendimiento (kg/cm ²) para HF 3,0 MPa.....	34
Gráfico 5.2: Dn (mm) v/s Resist. a Hendimiento (kg/cm ²) para HF 3,5 MPa.....	36
Gráfico 5.3: Dn (mm) v/s Resist. a Hendimiento (kg/cm ²) para HF 4,0 MPa.....	37
Grafico 5.4: Dn (mm) v/s Resist. a Hendimiento (kg/cm ²) para HF 4,5 MPa.....	38
Grafico 5.5: Dn (mm) v/s Resist. a Hendimiento (kg/cm ²) para HF 5,0 MPa.....	39
Grafico 5.6: Resumen Dn (mm) v/s Resist. a Hendimiento (kg/cm ²).....	40
Grafico 5.6: Dn (mm) v/s Resist. a Compresión (kg/cm ²) para HF 3,0 MPa.....	40
Gráfico 5.7: Dn (mm) v/s Resist. a Compresión (kg/cm ²) para HF 3,5 MPa.....	41
Grafico 5.8: Dn (mm) v/s Resist. a Compresión (kg/cm ²) para HF 4,0 MPa.....	42
Grafico 5.9: Dn (mm) v/s Resist. a Compresión (kg/cm ²) para HF 4,5 MPa.....	43
Grafico 5.10: Dn (mm) v/s Resist. a Compresión (kg/cm ²) para HF 5,0 MPa.....	44
Gráfico 5.11: Resumen Dn (mm) v/s Resist. a Compresión (kg/cm ²).....	45
Grafico 5.12: Resist. a Hendimiento v/s Resist. a Compresión (kg/cm ²) para Dn40mm... 46	46
Grafico 5.13: Resist. a Hendimiento v/s Resist. a Compresión (kg/cm ²) para Dn20mm... 47	47
Grafico 5.14: Resist. a Hendimiento v/s Resist. a Compresión (kg/cm ²) para Dn12mm... 48	48
Grafico 5.15: Resist. a Hendimiento v/s Resist. a Compresión (kg/cm ²) para Dn5mm..... 49	49
Grafico 5.16: Grado de resistencia v/s relación entre compresión y hendimiento en %....50	50

RESUMEN

El hormigón es un material que se emplea para resistir solicitaciones de compresión, debido a la capacidad que presenta para dichos efectos. Aún cuando puede alcanzar elevadas resistencias a compresión, su resistencia a la tracción es muy inferior, por lo que en estructuras que serán solicitadas a tracción tales como vigas y losas, obliga a recurrir a barras o mallas de refuerzo que toman la responsabilidad de absorber dichas solicitaciones. Pero no sólo en estructuras el hormigón está sometido a esfuerzos de tracción, en efecto, debido principalmente a variaciones de humedad que contiene, el hormigón debe soportar los fenómenos de retracción, que determinan elevados esfuerzos de tracción que, si no son, o no pueden ser controlados, derivan en agrietamientos. De ahí que siempre resultará conveniente tratar de aumentar el conocimiento sobre lo que se refiere a la tracción del hormigón.

El tema que se presenta consiste en determinar experimentalmente de qué manera influye el tamaño máximo nominal de árido sobre la resistencia a la tracción del hormigón y cómo se manifiesta para diferentes niveles de resistencia. Para ello, se prepararon hormigones de diferentes niveles de resistencia, a saber: HF3,0 – 3,5 – 4,0 – 4,5 y 5,0 MPa. Dentro de cada nivel de resistencia, se confeccionaron hormigones empleando diferentes tamaños máximos nominales de árido, en mm: 5 – 12 – 20 y 40. Con cada hormigón se prepararon 6 probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura para determinar su resistencia a tracción indirecta por compresión, o hendimiento, método normalizado en nuestro país según NCh 1170.

La razón agua/cemento se mantuvo constante para los distintos hormigones preparados dentro de cada nivel de resistencia ya que cada nivel de resistencia tiene asociada una razón *a/c*.

Con la experiencia en laboratorio y el análisis de resultados de esta investigación se determinó que el efecto del tamaño máximo nominal del árido sobre la resistencia al hendimiento del hormigón varía según sea el nivel de resistencia considerado:

- Para los niveles menores que HF3,5 MPa, se verifica un incremento de resistencia a medida que aumenta el tamaño máximo nominal del árido, por lo que, para los niveles de resistencia HF3,0 y HF3,5 se verifica un incremento de un 34% y un 8% respectivamente en la resistencia al hendimiento del hormigón.
- Para los niveles mayores que HF4,0 MPa, se verifica una disminución de resistencia a medida que aumenta el tamaño máximo nominal del árido, por lo que, para los niveles de resistencia HF4,0 - HF4,5 y HF5,0 se verifica una disminución de un 8%, 15% y un 22% respectivamente en la resistencia al hendimiento del hormigón. Este punto refuta la hipótesis planteada en este trabajo.

En cuanto a la relación entre la resistencia al hendimiento y la resistencia a la compresión del hormigón para cada tamaño máximo nominal de árido, se logra correlacionar linealmente la resistencia al hendimiento y la resistencia a la compresión del hormigón correspondiente a cada tamaño máximo nominal de árido resultando no satisfactorio esta relación para los tamaño máximo nominal del árido 12 y 5 cm.

De acuerdo a este estudio se determina que a partir de los resultados obtenidos no es posible establecer con claridad el efecto del tamaño máximo nominal del árido sobre la resistencia a la compresión del hormigón como se puede ver en la figura 5.12 del capítulo anterior.

ABSTRACT

Concrete is employed to resist compressive requirements due to its ability to fully satisfy them. Even though it can reach high compressive tolerances, its tensile load is very low. Therefore, structures that will be under these conditions such as concrete beams and slabs require steel bars or meshes to reinforce them. Furthermore, due to the humidity variations that concrete presents, it has to face other strengths such as shrinkage effects which cause high tensile loads that if not controlled properly, can produce cracks on the structure. Due to these effects, it is always convenient to increase the knowledge in the concrete tensile area.

This investigation aims to experimentally determine in which way the maximum aggregate size affects the concrete tensile stresses and how it works for different stress levels. In order to accomplish that, different samples were analysed HF3,0 – 3,5 – 4,0 – 4,5 y 5,0 MPa in which for each level different concrete samples of 15 cm diameter and 30 cm height were made by using different maximum aggregate sizes: 5 – 12 – 20 and 40 mm. This action was done in order to assess their indirect tensile compressive strength. This work was carried out by using the method according to NCh 1170.

The water/cement (W/C) ratio was kept constant for the different concrete samples in each stress level used because they have associated a W/C ratio.

The result analysis determined that the maximum aggregate size effect on the splitting resistance varies according to the associated level as follows:

- In the levels inferior to HF3,5 MPa a resistance increase is observed while the maximum aggregate size also increases. Therefore, the HF3,0 y HF3,5 resistance levels presented a 34% and 8% rise in the splitting concrete resistance.
- In the levels higher to HF4,0 MPa resistance decrease is observed while the maximum aggregate size increases. Therefore, the HF4,0 HF4,5 y HF5,0 resistance levels presented a reduction of 8%, 15% and 22% in the splitting concrete resistance. These findings refute this work's hypothesis.

In terms of the concrete splitting and compressive resistance for each maximum aggregate size, it was possible to find a linear correlation between the concrete splitting And compressive resistance for each maximum aggregate size. On the other hand, this situation did not occur to the maximum aggregate size 12 and 5 cm

Finally, according to the findings obtained in this study, it is not possible to clearly establish the effect of the maximum aggregate size on the concrete compressive resistance, as shown on chapter 5 figure 5.12.

CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Introducción

El hormigón es un material que se emplea para resistir solicitaciones de compresión, debido a la capacidad que presenta para dichos efectos. Aún cuando puede alcanzar elevadas resistencias a compresión, su resistencia a la tracción es muy inferior, por lo que en estructuras que serán solicitadas a tracción tales como vigas y losas, obliga a recurrir a barras o mallas de refuerzo que toman la responsabilidad de absorber dichas solicitaciones. Dado el reciente proceso de la técnica en el hormigón armado, el esfuerzo de tracción sobre el hormigón ha recuperado su importancia, ya que el hormigón al estar unido con los refuerzos, es requerido por la tracción (en especial las uniones), y es por esto que el hormigón tiene que resistir tracciones, de forma particular este fenómeno sucede cuando las barras se deforman. Pero no sólo en estructuras el hormigón está sometido a esfuerzos de tracción, en efecto, debido principalmente a variaciones de la humedad que contiene, el hormigón debe soportar los fenómenos de retracción, que determinan elevados esfuerzos de tracción que, si no son, o no pueden ser controlados, derivan en agrietamientos.

Es sabido que la materialización de la medida directa de la resistencia a la tracción no esta normalizada en nuestro país. Por ello es frecuente que la resistencia a la tracción se evalúe a través de métodos indirectos como son el ensayo de tracción por flexión o flexotracción y el ensayo de tracción por compresión o hendimiento el cual es el más solicitado en obras viales.

De ahí que siempre resultará conveniente tratar de aumentar el conocimiento sobre lo que se refiere a la tracción del hormigón, por ende, de este último ensayo se desprende la presente tesis, ya que este trabajo nace de la inquietud de determinar experimentalmente de qué manera influye el tamaño máximo nominal del árido sobre la resistencia a la tracción del hormigón y cómo se manifiesta para diferentes niveles de resistencia.

1.2 Objetivo General

- Determinar la influencia del tamaño máximo nominal del árido sobre la resistencia al hendimiento del hormigón.

1.3 Objetivo Particular

- Determinar las resistencias al hendimiento obtenibles con los diferentes tamaños máximos nominales de árido, en hormigones de diversos niveles de resistencia.
- Establecer la relación entre la resistencia al hendimiento y la resistencia a la compresión del hormigón para cada tamaño máximo nominal de árido.
- Determinar la influencia del tamaño máximo nominal del árido sobre la resistencia a compresión del hormigón.

1.4 Hipótesis

- Dentro de cada nivel de resistencia considerado, a medida que aumenta el tamaño máximo nominal del árido, se verificaría una disminución de resistencia al hendimiento del hormigón.

1.5 Alcances de la experiencia.

Materiales:

- Cemento: Para la fabricación del hormigón se usará un cemento Portland Puzolánico grado corriente (según norma NCh 148 of 68) marca polpaico.
- Áridos: Se empleará árido (chancado-rodado) de tamaño máximo nominal de 5 – 12 – 20 – 40 mm. provenientes del rio Aconcagua.
- Aditivo: Se empleará aditivo hiperplastificante llamado “cave hiperplast pf” para hacer trabajable los hormigones de alta resistencia.
- Moldes y Probetas: En la normativa nacional vigente, se establece un método de ensaye de hormigones endurecido, para lo cual es necesario implementar una probeta que posea una forma geométrica y un tamaño normalizado, que refleje el comportamiento resistente del hormigón.

La diferencia fundamental entre los métodos de ensayos de hormigones convencionales y hormigones de alta resistencia, está dada en principio por la necesidad de utilizar la probeta cilíndrica de diámetro 15 cm y 30 cm de altura, en vez de cúbicas. En la NCh 1017, se plantean las características que debe poseer el molde de la probeta antes mencionada, las características deben ser:

- o Estancos a la lechada.
 - o Superficies interiores lisas libres de hendiduras, saltaduras o resaltes.
 - o Superficies interiores perpendiculares entre si y las opuestas paralelas.
 - o Forma cilíndrica.
- Agua: Para la fabricación del hormigón se utilizará agua potable.
 - Hormigones: Se diseñarán 5 hormigones con distintos niveles de resistencia; para cada nivel de resistencia se fabricará, cuatro hormigones con diferente tamaño máximo nominal, en total serán 20 mezclas.
 - El asentamiento de los hormigones se mantendrá entre 8 y 12 cm.
 - La razón a/c se mantendrá contante para cana nivel de resistencia.
 - Todos los hormigones se ensayaran a 28 días.

Maquinaria:

Para la elaboración del hormigón se usará una betonera de eje horizontal, con una capacidad de 90 lts., la cual es proporcionada por el laboratorio de hormigones de nuestra universidad

Las generalidades de los resultados y conclusiones de este trabajo, solo serán validas para los hormigones estipulados en la NCh 170 of 85.

CAPITULO II: PROPIEDADES DEL HORMIGÓN (RESISTENCIA A TRACCIÓN)

2.1 Marco Teórico.

Los componentes del hormigón usado serán acorde a la normativa vigente, por lo que primeramente se deberá tener en claro qué es lo que ésta solicita para tener un hormigón de acuerdo a la norma.

Como referencia teórica se usarán extractos de estudios y publicaciones de los siguientes autores:

- El primero es un estudio presentado por Fernando Luis Lobo Carneiro llamado "Tensile Strength Of Concrete, paper presented by F. L. L. Carneiro and A. Barcillos, asst. Engineers at the National Institute of Technology, RIO DE JAEIRO, Brazil".
- El Segundo es una publicación de Adam Neville llamado "Tecnología del Concreto", (1999) 1ª. Edición, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- Arenacreto, presente y futuro, Revista Construcción y Tecnología, Enero 1999, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C

En referencia al estudio presentado por Fernando Luis Lobo Carneiro se desprende lo siguiente:

En la investigación de las propiedades mecánicas del cemento, existía un método para encontrar la tensión de tracción, para esto se usaba el aparato de Michaelis, en el cual los espécimen (o probetas) a testear eran quebrados por simple tracción. Sin embargo un riguroso estudio del método, demostró que la falla no era causada por la tensión simple, ya que sus resultados variaban mucho dependiendo de la probeta.

Con el transcurso del tiempo se generalizó el uso del hormigón armado y junto con ello al hormigón se le asumió solamente una resistencia a compresión o casi en su totalidad. Junto con esto se asumió que las tracciones serian completamente absorbidas por el refuerzo de acero. Como resultado de esto, fue que la tracción que puede soportar el hormigón perdió mucha de su importancia.

Desde esos tiempos la tendencia adoptó solo las pruebas que concernían a la compresión del hormigón. Dado el reciente proceso de la técnica en el hormigón armado, el esfuerzo de tracción sobre el hormigón ha recuperado su importancia, ya que el hormigón al estar unido con los refuerzos, es requerido por la tracción (en especial las uniones), y es por esto que el hormigón tiene que resistir tracciones, de forma particular este fenómeno sucede cuando las barras se deforman. Esta tensión de unión transmite la tracción al hormigón, y puede ser relativamente alta, si el hormigón no es capaz de resistir esta tracción, fallará en forma de grieta, las que posteriormente están expuestas al ataque de corrosión.

Por otra parte aparece el uso del hormigón en pavimentos de camino y pistas de aterrizaje, este hormigón debe ser capaz de resistir los esfuerzos de tracción, y es por estas razones que se determinó que era necesario determinar el esfuerzo de tracción que puede soportar un hormigón sin armar.

Los métodos directos usados para los ensayos del hormigón como el de Michaelis ya están obsoletos, y en su lugar se usa como método indirecto la flexotracción, en el cual se usa una barra prismática de sección cuadrada, la cual es fracturada en el centro y apoyada sobre 2 puntos. Este ensayo hace referencia que a partir de una carga de ruptura, teóricamente se puede obtener el esfuerzo de tracción que soporta el material. Desafortunadamente este ensayo de flexotracción no es perfecto por los siguientes motivos:

- 1.- Los resultados difieren dependiendo de la manera en que las cargas actúen.
- 2.- Se ha probado que los valores obtenidos teóricamente, difieren de los valores actuales de tracción, por lo que la relación obtenida no es muy confiable, ya que estadísticamente la dispersión de los valores es grande, lo que impide establecer una correlación para la tracción y compresión de un mismo hormigón.
- 3.- Otro ensayo usado es el de Gonnerman, el cual también es desechado, ya que las tracciones solo son de efecto local.

Posteriormente a estos resultados poco satisfactorios, la investigación teórica muestra que a lo largo del plano diametral se concentran las tensiones, las cuales se distribuyen unifórmemente con un valor de rotura de:

$$T = \frac{2 \times P.}{\pi \times D \times L} \left(\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right)$$

Naturalmente esta metodología denominada como ensayo brasileño fue tomada como un método ideal para la investigación de la tracción, y es ahí donde Fernando Luis Lobo Carneiro comenzó una modesta serie de pruebas de rompimiento de cilindros de 15cm de diámetro y 30cm de largo. Los resultados de esta experiencia fueron sorprendentes, ya que la ruptura era casi perfecta a través del plano diametral, y la correlación entre la tracción y la compresión fue excelente, con una dispersión mínima.

Sin embargo, se hizo necesario un experimento más sólido, con mayores fundamentos, y de ahí donde Aguinaldo Barcellos comienza una prueba con diferentes tipos de hormigón, ensayándolos a distintas edades. Esta vez el test obtuvo resultados que superaron las expectativas con una dispersión mínima. La correlación entre la compresión y la tracción alcanza un valor excepcional de +0.995. Es sabido que el valor +1 significa la absoluta dependencia entre 2 variables, y que incluso para la mayoría de los experimentos físicos es raro encontrar índices mayores a +0.95, ya que es imposible evitar todas las causales de errores que llevan a esta dispersión. De este modo se logra una extraordinaria verificación del método de Fernando Luis Lobo Carneiro. Además de esto, sorprende la facilidad del ensayo frente al de Michaelis y los ensayos de flexotracción, es por esto que se justifica la utilización de este método en los distintos laboratorios del mundo.

El informe técnico presentado por Fernando Luis Lobo Carneiro y su asistente presenta todo lo anteriormente dicho como introducción al tema. En las próximas líneas se presenta un extracto de la traducción de las partes componentes del informe técnico, las cuales se enfocan a los puntos más relevantes para este estudio.

Todos los métodos previamente conocidos para determinar directamente la tensión presentaban ciertos defectos, los cuales aportaban resultados no muy confiables, ni tampoco muy optimistas.

En 1943, Fernando Luis Carneiro presentó en la 5ª Conferencia de la Asociación para la Estandarización Brasileña un informe técnico titulado "Un nuevo método para determinar el esfuerzo de tracción en los hormigones", en el cual proponía la adopción del ensayo sobre probetas cilíndricas y someterlas a una compresión diametral. La justificación de este método fue avalada por experimentos desarrollados por el Instituto Nacional de Tecnología y por el autor del informe técnico.

CILINDROS DE HORMIGON SUJETOS A COMPRESION DIAMETRAL:

La teoría que mejor explica este fenómeno de ruptura es que existe una combinación de las principales tensiones, refiriéndose a la fricción interna. Las tensiones de compresión en este ensayo pueden alcanzar un valor igual a 5 veces la tensión de tracción, sin que esto influya en la falla del cilindro.

En los cilindros de materiales dúctiles como el acero se tiene que la tracción y compresión son casi iguales al someterse a compresión diametral, y rompen en la cercanía de las zonas de contacto.

Opuesto a lo que sucede con los cilindros de acero, los cilindros de material frágil como el hormigón soporta mucho menos carga y se fracturan a través del plano diametral, donde los generadores de contacto alcanzan la tensión límite del material. Todo esto se resume en un estado triaxial de cargas, donde los 3 principales esfuerzos están comprimiendo.

Las siguientes consideraciones constituyen la base teórica del nuevo método propuesto:

- El esfuerzo de tracción se incrementa con la edad del hormigón.
- El esfuerzo de tracción se incrementa al tener una menor razón agua-cemento.
- El esfuerzo de tracción es independiente del tamaño del agregado (las variaciones son del orden del 6% en los hormigones de prueba que se fabricaron con áridos de 19mm y 38mm).

Por lo escrito previamente podemos concluir que el propósito de este método es de un gran valor, ya que puede ser realizado con mucha simpleza en los laboratorios e interpreta muy bien los valores de los 2 esfuerzos en cuestión, por lo que finalmente se deduce que ésta correlación es una propiedad de los hormigones.

En referencia a la publicación de Adam Neville en las próximas líneas se presenta un extracto del capítulo de las propiedades de los agregados dando hincapié al tamaño máximo del árido.

Ya se ha mencionado antes que mientras más grande sea la partícula del agregado, menor será el área superficial que se debe humedecer por peso unitario. De tal suerte que, si se aumenta la granulometría del agregado a un tamaño mayor, se disminuirán los requisitos de agua de mezclado; o sea que, para obtener la trabajabilidad y riqueza que se indican en las especificaciones, se puede disminuir la relación agua/cemento, con el consecuente aumento de resistencia.

Este comportamiento se ha comprobado con pruebas realizadas en agregados cuyos tamaños máximos son del orden de 38,1 mm (1½ pulgada), y se supone que se extiende a tamaños aún mayores. Sin embargo, los resultados experimentales muestran que en tamaños mayores de 38,1 mm (1½ pulgada) el aumento de resistencia debida a la reducción del agua se compensa con los efectos nocivos de una menor área de adherencia (porque los cambios en el volumen de la pasta causan esfuerzos mayores en la superficie de contacto) y la discontinuidad ocasionada por partículas muy grandes, especialmente cuando se trata de mezclas muy ricas. El concreto se vuelve un material sumamente heterogéneo y puede ser que la reducción de la resistencia sea muy similar a la que cause el aumento en los tamaños de los cristales y la aspereza de la textura de las rocas.

Este efecto adverso de aumento del tamaño de los agregados gruesos en la mezcla existe en todas la gama de tamaños, pero cuando el tamaño es menor de 38,1mm (1½ pulgada) domina el efecto del tamaño en la disminución de los requisitos de agua. Cuando los tamaños son grandes, el equilibrio de ambos efectos dependerá de la riqueza de la mezcla, como se muestra en la figura 2.1. Por lo tanto, desde el punto de vista de la resistencia, el mejor tamaño máximo de los agregados está en función de la riqueza de la mezcla. Especialmente en el concreto pobre (165 kg de cemento por

metro cúbico) se recomienda usar un agregado de 150mm (6 pulgadas). Ahora bien, en el concreto estructural de proporciones comunes, desde el punto de vista de la resistencia, no hay ninguna ventaja en usar agregados con tamaño máximo mayor de 25 a 40 mm aproximadamente (1 a 1½ pulgada). Además, el uso de agregados más grandes requeriría de dos pilas de almacenamiento de materiales, lo que aumentaría el riesgo de segregación. Sin embargo, la toma de decisiones prácticas también estaría influida por la disponibilidad y el costo de las fracciones de diferentes tamaños. Por supuesto, también hay limitaciones estructurales: el tamaño máximo de los agregados no deberá ser mayor de $\frac{1}{5}$ a $\frac{1}{4}$ del espesor de la sección del concreto, y también guarda una relación con el espaciamiento de refuerzo.

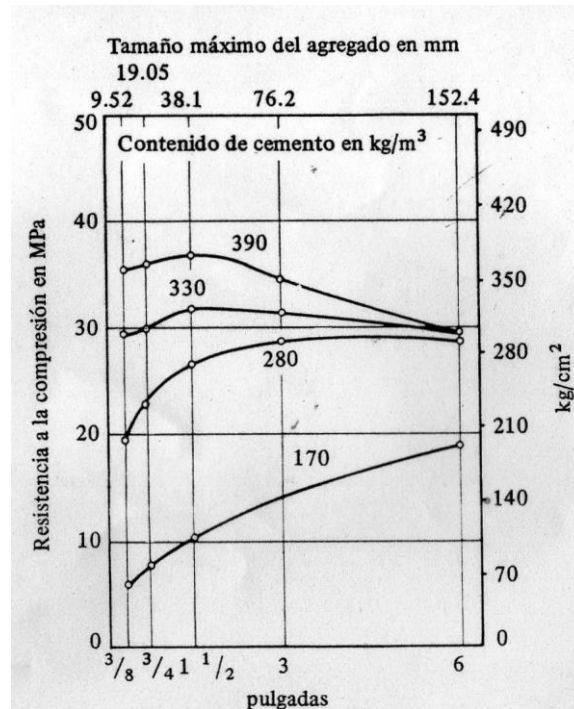


Figura 2.1 Influencia del tamaño máximo del agregado en la resistencia a la compresión a los 28 días de concretos con diferentes riquezas.

Luego de que Fernando Luis Lobo Carneiro propusiera un nuevo método de ensayo para determinar el esfuerzo de tracción de los hormigones, Barcellos inicia una serie de pruebas mucho más amplias con diferentes tipos de hormigones, ensayándolos a distintas edades, obteniendo así resultados que superaron las expectativas con una dispersión mínima, no estableciendo la real influencia del tamaño máximo nominal de árido sobre los resultados. Mientras que Adam Neville, analizando la influencia del tamaño máximo del árido en la resistencia a la compresión del hormigón determinó que, “desde el punto de vista de la resistencia a compresión, el mejor tamaño máximo de los agregados está en función de la riqueza de la mezcla”, es decir, que para cada cantidad de cemento contenida en la mezcla existe un tamaño máximo de árido óptimo con el cual se alcanza su máxima resistencia.

En referencia a la publicación del Arenacreto, presente y futuro de la Revista Construcción y Tecnología en las próximas líneas se presenta un extracto.

El primer ingeniero que utilizó concreto sin agregado grueso para estructuras altas fue probablemente François Coignet: en su torre del faro de Puerto Said, de 52 m de alto, construido en

1869, utilizó arena de playa, y la estructura aún está en servicio (Poitevin, P., "Sand concrete, yesterday and today", *FIP notes*, 1986-1982). Después de la segunda guerra mundial, en la antigua URSS, en las vastas áreas donde sólo podía encontrarse arena, los pavimentos de carreteras y aeropuertos, y toda clase de construcciones, fueron reconstruidos con Arenacreto (Chauvin, J.J., "Le béton de sable en Union Soviétique", *Bulletin de liaison des labos P. et Ch.* 174, julio-agosto de 1991, ref. 3589.). En Francia, donde la extracción intensiva de arena y grava de los valles de los ríos es cada vez más limitada, se está desarrollando el empleo de la piedra triturada, pero en algunas regiones, existen sin utilizarse grandes depósitos de arena, particularmente en el sur de Burdeos. En 1968 se echó a andar un proyecto nacional de investigación bajo el nombre de MATERLOC, con el objetivo de "usar de manera óptima los materiales locales". Una sección de este proyecto, bajo el nombre de SABLOCRETE, probó las arenas y las mezclas de cemento/relleno/arena de varios orígenes (arena de naturaleza y granulometría variadas; rellenos de piedra caliza triturada, cuarzo triturado, ceniza volante, escoria triturada) con y sin aditivos químicos, y, al final del programa de seis años, presentó sus conclusiones y recomendaciones en un libro de 237 páginas publicado en noviembre de 1994 (Billhouet, H. P. Delude y otros: *Bétons de sable, caractéristiques et pratiques d'utilisation*, Presses de l' ENPC, París, 1994.).

Por lo tanto, sabiendo que existe una correlación entre los dos esfuerzos en cuestión queda la gran interrogante, que es la que sostiene esta tesis, y es que, de qué manera influye el tamaño máximo nominal del árido sobre la resistencia a la tracción del hormigón y cómo se manifiesta para diferentes niveles de resistencia utilizando áridos de tamaño máximo nominal de 5 – 12 – 20 – 40 mm.

2.2 Resistencia a la tracción del hormigón

La resistencia a tracción ha sido considerablemente menos estudiada que la resistencia a la compresión, ya que el diseño estructural del hormigón no considera su resistencia a tracción por ser baja ($R_{\text{Tracción}} \approx \frac{1}{8} R_{\text{Compresión}}$), con excepción del diseño de pavimentos. Es por esto que este estudio se basará en este vacío y buscará determinar la influencia del tamaño máximo nominal del árido sobre la resistencia al hendimiento del hormigón.

Es necesario señalar que las tensiones de tracción no pueden evitarse (pueden controlarse o disminuirse), ya que son generadas por movimientos volumétricos restringidos o por movimientos diferenciales (ej. Retracción hidráulica o térmica), estas tensiones de tracción producen fisuramiento y disminución de la durabilidad.

TIPOS DE ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A TRACCIÓN DEL HORMIGÓN.

2.2.1 Ensayo de tracción directa: Consiste en la aplicación de dos cargas opuestas colineadas con el eje de la probeta que se ensaya. Este ensayo no está normalizado, siendo de difícil ejecución. Se ejecuta con una probeta adherida a las placas de la prensa.

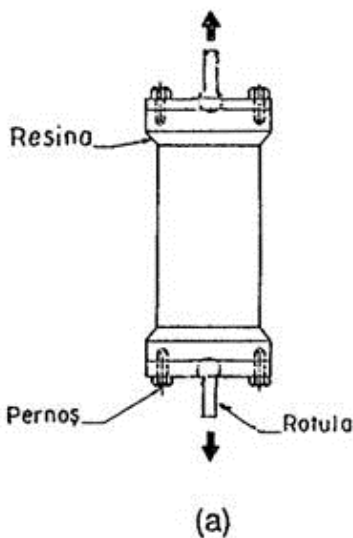


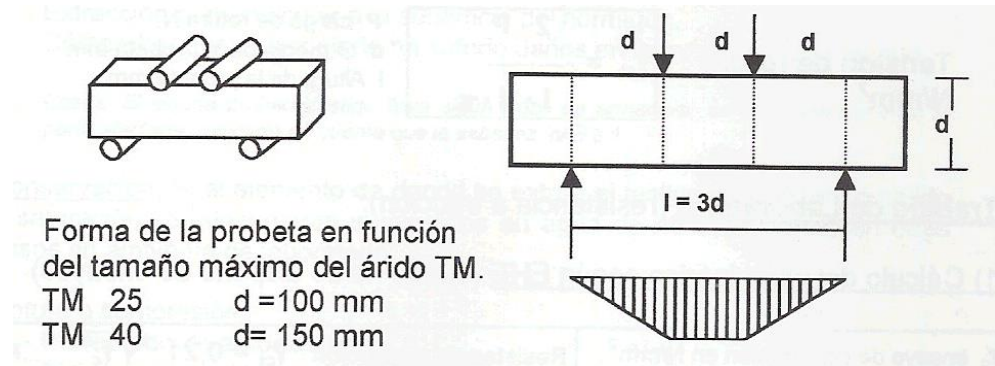
IMAGEN 2-1

2.2.2 Ensayos de tracción indirecta

- **Tracción por flexión:** Consiste en someter una vigueta de hormigón a un ensayo de flexión mediante dos cargas concentradas (Modulo de ruptura), según NCh1038 of 77. La Resistencia a la flexión se calcula con la expresión de Navier, usando el momento de flexión máximo, ecepto si la fractura es fuera del tercio central, en cuyo caso se considera como brazo a la distancia desde la fractura hasta el apoyo mas cercano. En los cálculos se considera la tensión máxima en la sección de rotura y no la tensión máxima sobre la vigueta.

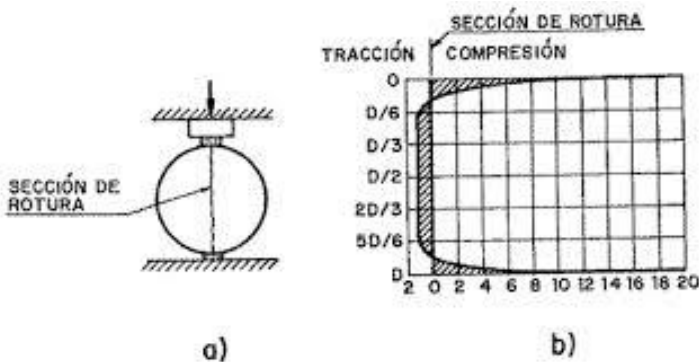
Carga en los tercios centrales

IMAGEN 2-2



- **Tracción por compresión, o hendimiento:** Consiste en someter un probeta cilíndrica o cúbica a una carga lineal concentrada según dos generatrices (ejes longitudinales) opuestas. Al aumentar estas cargas la rotura se produce por tracción según el plano formado por las generatrices. Todo está normalizado en la NCh1170 of 77. Método de ensayo: La probeta (d=15 cm y h=30 cm) se coloca con su eje en posición horizontal entre las placas de la máquina de ensayo. Se aumenta la carga hasta observar una falla de separación a lo largo del diámetro vertical.

IMAGEN 2-3



Propiedades del ensayo de hendimiento:

- Produce resultados más uniformes.
- Fácil de ejecutar.
- Resistencia más cercana a la de tracción
- Usa iguales probetas que el ensayo a compresión

CAPITULO III: METODOLOGIA DE TRABAJO DISEÑO DE LA EXPERIENCIA

3.1 Metodología de trabajo.

Se prepararán hormigones de diferentes niveles de resistencia, a flexotracción: 3,0 - 3,5 - 4,0 - 4,5 y 5,0 MPa. Dentro de cada nivel de resistencia, se harán hormigones empleando diferentes tamaños máximos nominales de árido, en mm.: 5 - 12 - 20 y 40. Con cada hormigón se prepararán probetas cilíndricas de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura, las que se ensayarán para determinar su resistencia a tracción indirecta por compresión o hendimiento, método normalizado en nuestro país según NCh 1170.

Programa experimental

Materiales:

Se empleará cemento marca polpaico grado corriente.
Áridos con tamaño máximo nominal, en mm: 5, 12, 20 y 40 mm.

Hormigones:

Se diseñarán 5 hormigones con distintos niveles de resistencia; para cada nivel de resistencia se fabricará, cuatro hormigones con diferente tamaño máximo nominal, en total serán 20 mezclas.

El asentamiento de los hormigones se mantendrá entre 8 y 12 cm.

La razón a/c será constante.

Ensayos:

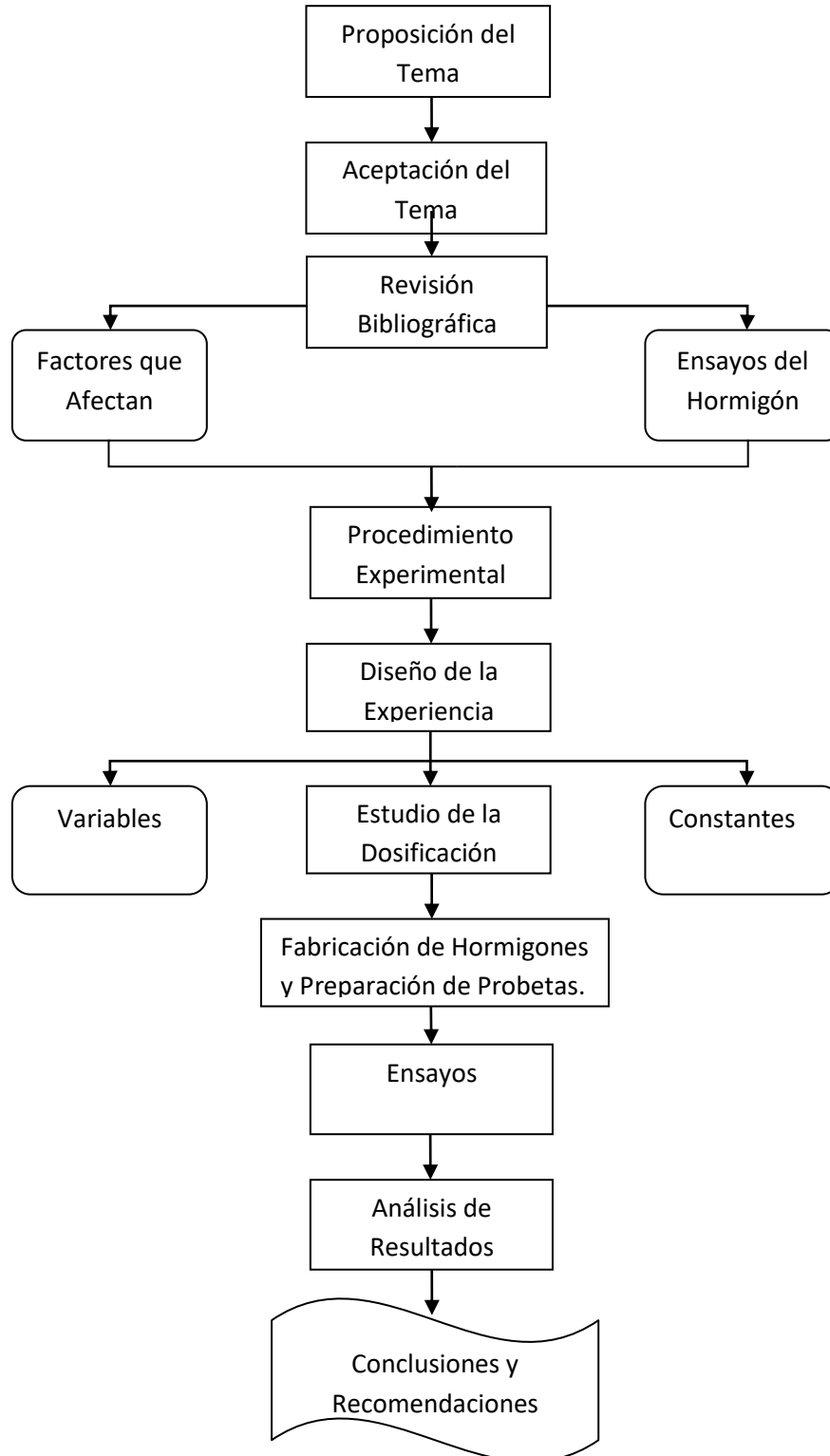
Con cada hormigón se prepararán 6 probetas cilíndricas de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura, las que se curarán durante 7 días bajo agua y el resto, hasta 28 días, al aire, bajo techo.

Todas las probetas se ensayarán al hendimiento y a compresión a los 28 días de edad.

- Los tamaños máximos nominales a considerar para este estudio son los siguientes: 5 - 12 - 20 - 40 mm
- Los niveles de resistencia a considerar para este estudio son los siguientes: HF 3,0 – 3,5 – 4,0 – 4,5 – 5,0 Mpa.
- Se trabajará con un nivel de confianza de 90%

3.2 Diseño de la experiencia.


Para llevar a cabo esta investigación, y determinar si existe alguna influencia del tamaño máximo nominal del árido sobre la resistencia al hendimiento del hormigón, se lleva a cabo de la manera que muestra el siguiente diagrama de flujo.



Para este diseño experimental, se debe tener en claro que ya fueron definidas las variables a estudiar y las constantes a considerar, es por esto que solo se define la metodología a usar e ir en búsqueda de la influencia del tamaño máximo del árido sobre la resistencia al hendimiento. A continuación se presenta en etapas las razones agua/cemento usadas en este estudio, la cantidad y tipo de probetas a utilizar, la dosificación de los hormigones a usar y los ensayos realizados antes de esta dosificación (entiéndase: granulometría, absorción). Posteriormente se hace referencia a que se medirá y bajo qué condiciones.

3.2.1 Etapa uno: Tipo de probeta a utilizar

El método de ensayo define el tipo de probeta por lo que nos permitirá tener claridad de la cantidad de hormigón a fabricar.

Elemento	Dimensiones (cm)	Volumen (dm ³)
Cilindro	 <p>The diagram shows a 3D perspective of a cylinder. A vertical dimension line on the left indicates a height of 30 CM. A horizontal dimension line across the circular base indicates a diameter of 15 CM.</p>	5,30

Considerando que se prepararán 20 mezclas y por cada mezcla harán 6 probetas cilíndricas, correspondiente a 31,81 lt. por colada, se tendrá que fabricar 636,2 lts de hormigón.

3.2.2 Etapa dos: Granulometría

Se realizarán las granulometrías al árido grueso correspondiente al tamaño máximo de 12, 20 y 40 mm,

Se realizaran las granulometrías a las muestras de grava (40 mm), gravilla (20 y 12 mm) y a la de arena (5mm), para posteriormente ajustar las granulometrías del árido grueso con el árido fino a una banda de árido combinado.

Se tomaran tres muestras de cada árido para luego promediar y corregir dicha granulometría como se muestra a continuación:

Granulometría Grava 40mm

Tabla 3.1: Granulometría grava 40mm

Tamices		% que pasa				Banda (40-20)mm	
ASTM	INN	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio	Inf.	Sup.
3"	80	100	100	100	100		
2"	50	100	100	100	100	100	100
1 1/2"	40	99	98	99	99	90	100
1"	25	43	39	40	41	20	55
3/4"	20	11	8	9	9	0	15
1/2"	12,5	1	1	2	1		
3/8"	10	0	1	0	0	0	5
4	5	0	0	0	0		

Fuente: Elaboración Propia

Densidad real del árido saturado superficie seca: 2640 kg/m³Densidad real del árido seco: 2610 kg/m³Densidad neta: 2700 kg/m³

Absorción: 1,32%

Proporción: 52% rodado + 48% chancado

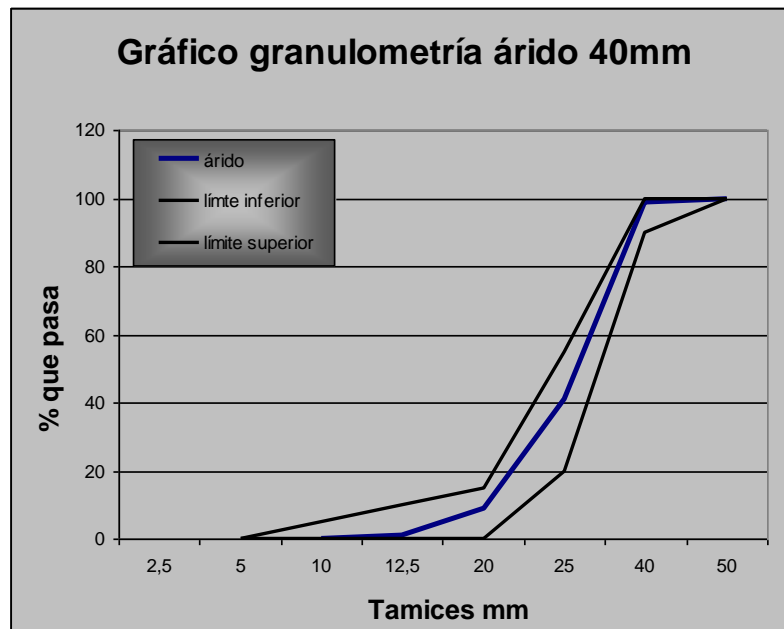


Gráfico 3.1: Granulometría grava 40mm

Fuente: Elaboración Propia

Granulometría Grava 20mm

Tabla 3.2: Granulometría grava 20mm

Tamices		% que pasa				Banda (20 – 5) mm	
ASTM	INN	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio	Inf.	Sup.
1"	25	100	100	100	100	100	100
3/4"	20	98	99	98	98	90	100
1/2"	12,5	45	43	42	43		
3/8"	10	10	14	12	12	20	55
4	5	1	0	0	0	0	10
8	2,5	0	0	0	0	0	5

Fuente: Elaboración Propia

Densidad real del árido saturado superficie seca: 2530 kg/m³Densidad real del árido seco: 2470 kg/m³Densidad neta: 2640 kg/m³

Absorción: 2,56%

Proporción: 42% rodado + 58%

Granulometría Grava 12mm

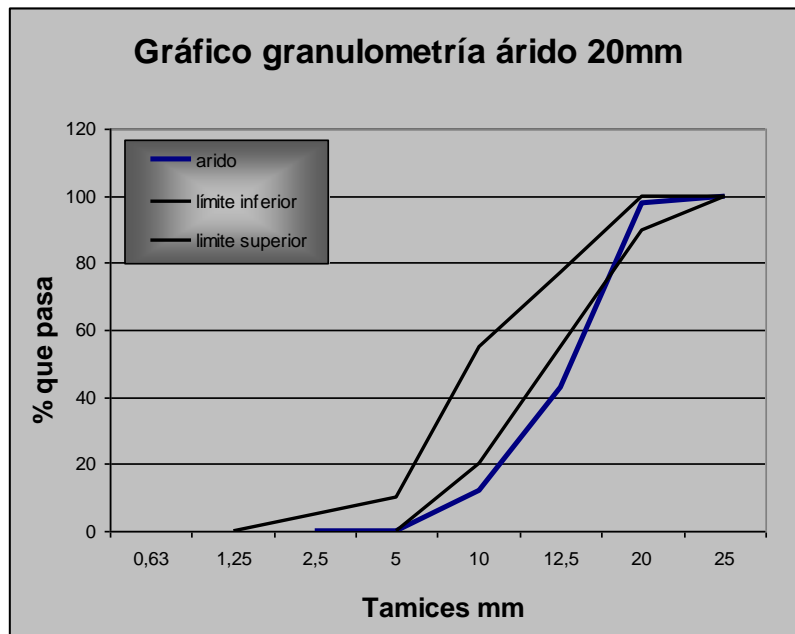


Gráfico 3.2: Granulometría grava 20mm

Fuente: Elaboración Propia

Granulometría Grava 12mm

Tabla 3.3: Granulometría grava 12mm

Tamices		% que pasa				Banda (12,5 – 5) mm	
ASTM	INN	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio	Inf.	Sup.
3/4"	20	100	100	100	100	100	100
1/2"	12,5	98	99	99	99	90	100
3/8"	10	41	40	40	40	40	70
4	5	1	1	0	1	0	15
8	2,5	0	0	0	0	0	5

Fuente: Elaboración Propia

Densidad real del árido saturado superficie seca: 2560 kg/m³Densidad real del árido seco: 2520 kg/m³Densidad neta: 2640 kg/m³

Absorción: 1,73%

Proporción: 35% rodado + 65% chancado

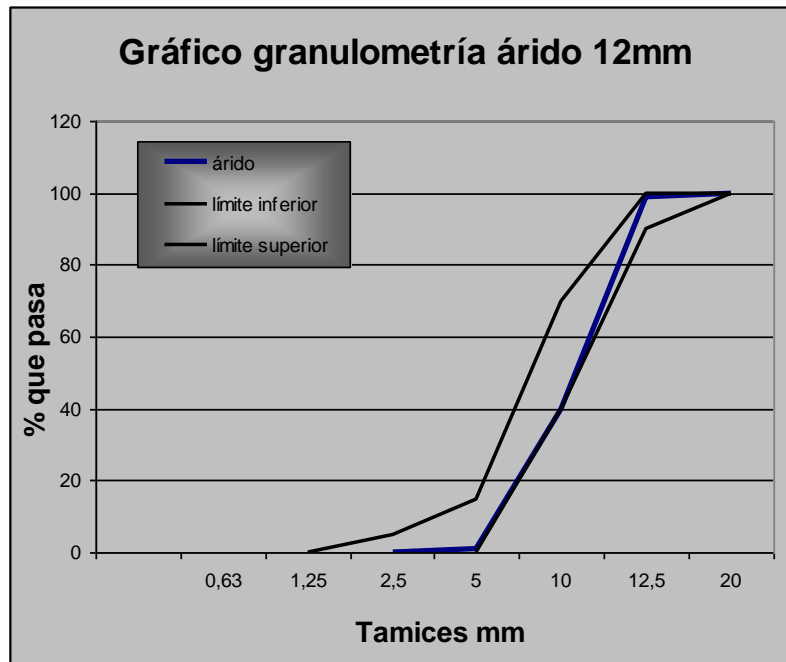


Gráfico 3.3: Granulometría grava 12mm

Fuente: Elaboración Propia

Granulometría arena 5mm.

Tabla 3.4: Granulometría arena 5mm

Tamices		% que pasa					Banda 5 mm	
ASTM	INN	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Prom.	Corr.	Inf.	Sup.
3/8"	10	100	100	99	100	100	100	100
4	5	96	96	95	96	100	95	100
8	2,5	83	81	84	83	86	80	100
16	1,125	71	68	73	71	74	50	85
30	0,63	62	45	60	56	58	25	60
50	0,315	19	15	18	17	18	10	30
100	0,16	6	4	5	5	5	2	10

Fuente: Elaboración Propia

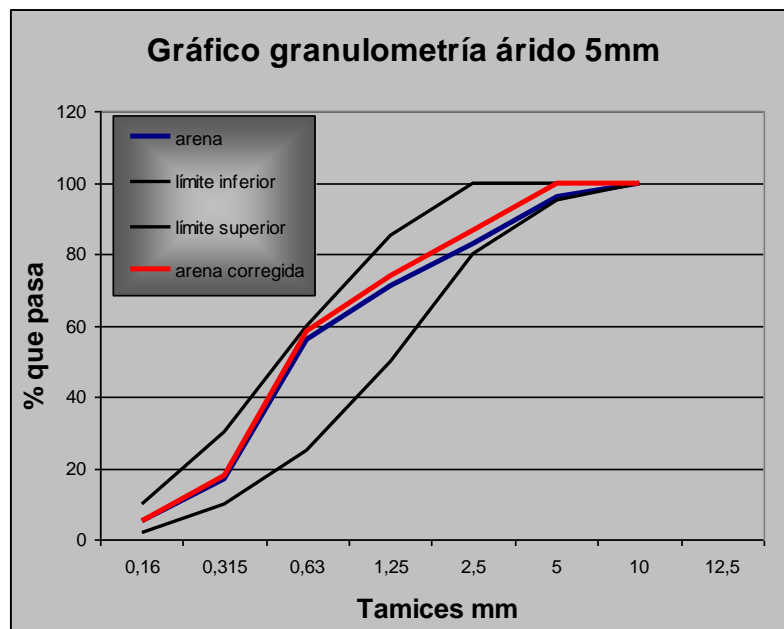


Gráfico 3.4: Granulometría arena 5mm

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2.1 Árido combinado

Para la combinación de los áridos, las proporciones utilizadas se determinaron en el paso 6 del punto 3.2.3 según el método IDIEM de dosificación.

Teniendo los valores, se procederá a combinar el árido en las proporciones recomendadas, lo cual se expresará en las siguientes tablas según tamaño máximo nominal de árido.

Tabla 3.5: Granulometría árido combinado 40 mm.

Tamices		(1)	(2)	(3)	(4)	(3) + (4)	Banda 40 mm	
ASTM	INN	Grava 40mm	Grava 20mm	(1) + (2) 60% + 40%	Arena 5 mm	(3) + (4) 67% + 33%	Inferior	Superior
2"	50	100	100	100	100	100		
1 1/2"	40	99	100	99	100	100		100
1"	25	41	100	65	100	76		
3/4"	20	9	98	45	100	63	60	80
1/2"	12,5	1	43	18	100	45		
3/8"	10	0	12	5	100	36	40	61
4	5		0	0	96	32	24	48
8	2,5				83	27	15	37
16	1,125				71	23	10	28
30	0,630				56	18	6	19
50	0,315				17	6	3	11
100	0,160				5	2	2	5

Fuente: Elaboración Propia

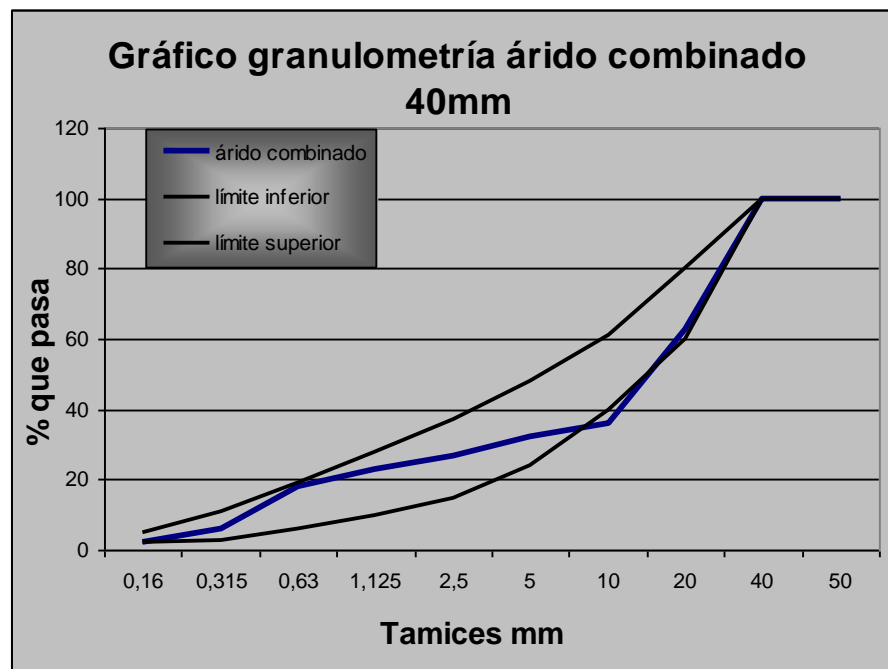


Gráfico 3.5: Granulometría árido combinado 40 mm

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que en la malla 3/8" la curva granulométrica del árido combinado se escapa levemente del interior de las bandas recomendadas por la norma NCh163, por lo que no se realizan modificaciones al árido combinado.

Tabla 3.6: Granulometría árido combinado 20 mm.

Tamices		(1)	(2)	(1) + (2)	Árido	Banda 20 mm	
ASTM	INN	Grava 20mm	Arena 5 mm	58% + 42%	Combinado	Inferior	Superior
1"	25	100	100	100	100		
3/4"	20	98	100	99	100	100	100
1/2"	12,5	43	100	67	67		
3/8"	10	12	100	49	49	62	77
4	5	0	96	40	40	37	58
8	2,5		83	35	35	22	43
16	1,125		71	30	30	13	33
30	0,630		56	24	24	8	23
50	0,315		17	7	7	4	12
100	0,160		5	2	2	3	6

Fuente: Elaboración Propia

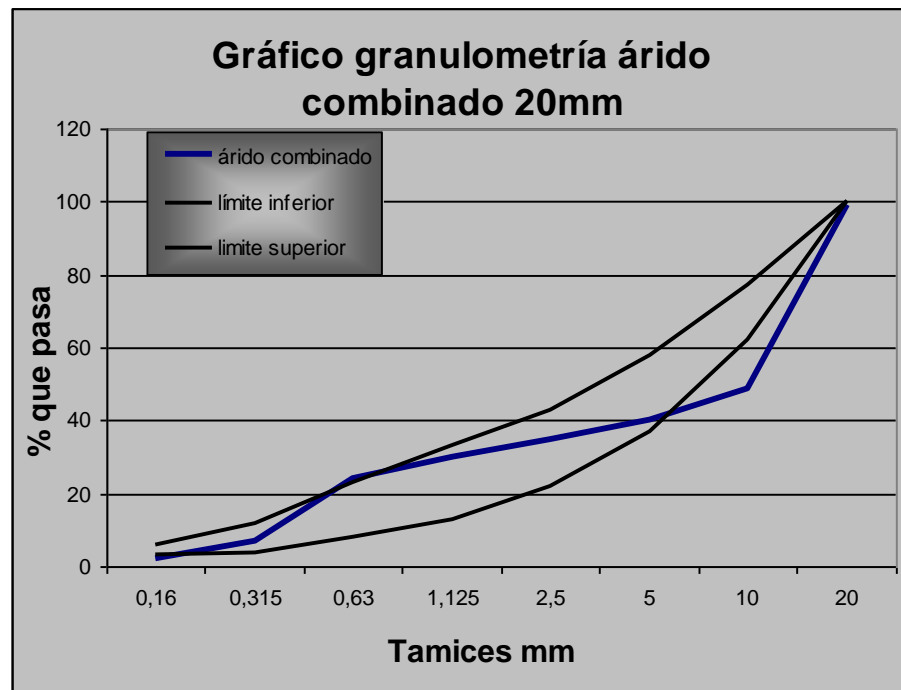


Gráfico 3.6: Granulometría árido combinado 20 mm

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que en la malla 3/8" la curva granulométrica del árido combinado se escapa del interior de las bandas recomendadas por la norma NCh163, por lo que no se considera realizar modificaciones al árido combinado.

Tabla 3.7: Granulometría árido combinado 12 mm.

Tamices		(1)	(2)	(1) + (2)
ASTM	INN	Grava 12mm	Arena 5 mm	59% + 41%
3/4"	20	100	100	100
1/2"	12,5	99	100	99
3/8"	10	40	100	65
4	5	1	96	40
8	2,5	0	83	34
16	1,125		71	29
30	0,63		56	23
50	0,315		17	7
100	0,16		5	2

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 3.7: Granulometría árido combinado 12 mm

Fuente: Elaboración Propia

No se grafican las bandas granulométricas para el árido combinado de 12 mm, ya que no existen en la norma chilena NCh 163.

Tabla 3.8 Granulometría árido 5 mm.

Tamices		(1)	(1)	Banda Arido 5 mm	
ASTM	ASTM	Arena 5 mm	Corrección	Inferior	Superior
3/8"	10	100	100	100	
4	5	96	100	95	100
8	2,5	83	86	80	100
16	1,125	71	74	50	85
30	0,63	56	58	25	60
50	0,315	17	18	10	30
100	0,16	5	5	2	10

Fuente: Elaboración Propia

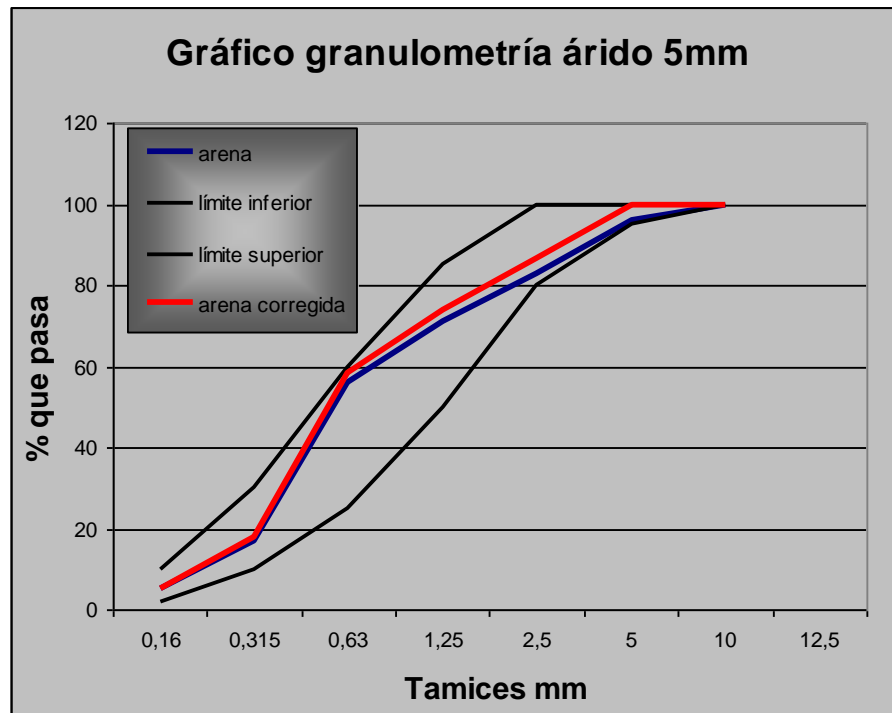


Gráfico 3.8: Granulometría árido combinado 5 mm

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo el análisis de los áridos en condiciones aceptables, es posible utilizarlo para nuestra experiencia en laboratorio.

3.2.3 Etapa tres: Dosificación y R(a/c)

En esta etapa se usara el método IDIEM el cual se describe a continuación con los siguientes pasos:

Paso 1:

Convertir los hormigones que están definidos con niveles de resistencia a flexotracción a compresión.

La resistencia especificada: f_c a compresión, o f_t a flexotracción, es de responsabilidad del proyectista estructural de la obra; por lo tanto viene incorporada en los planos estructurales o, eventualmente, en las especificaciones técnicas de la obra. Puesto que las dosificaciones se diseñan para resistencias a compresión, cuando se especifican resistencias a flexotracción éstas deben referirse a la resistencia a compresión correspondiente, debiendo emplearse algún factor de conversión. Si bien en textos especializados es posible encontrar factores de conversión entre resistencias a flexotracción y a compresión, no existe unanimidad entre ellos, por lo cual se ha estimado preferible emplear la siguiente relación, encontrada por el autor para obras chilenas:

$$f_c = f_t / 0,124 \quad \text{donde;}$$

f_c = Resistencia a compresión

f_t = Resistencia a flexotracción

Entonces:

$$f_t \text{ 3,0 MPa} = 30 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f_c = 30/0,124 = 242 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_t \text{ 3,5 MPa} = 35 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f_c = 35/0,124 = 282 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_t \text{ 4,0 MPa} = 40 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f_c = 40/0,124 = 322 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_t \text{ 4,5 MPa} = 45 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f_c = 45/0,124 = 363 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_t \text{ 5,0 MPa} = 50 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f_c = 50/0,124 = 403 \text{ Kg/cm}^2$$

Paso 2:

Teniendo la resistencia especificada, se procede a obtener la resistencia media requerida:

$$f_r = f_c + t \times s \quad \text{donde:}$$

f_r = Resistencia media requerida

f_c = Resistencia especificada o compresión

t = Valor estadístico, depende del nivel de confianza

s = Valor estadístico, depende de las condiciones de obra

El nivel de confianza indica la probabilidad, en porcentaje, de obtener valores de resistencia iguales o mayores que la resistencia especificada. También es de responsabilidad del proyectista estructural y va a depender de la norma de cálculo empleada, de manera que a cada nivel de confianza corresponde un determinado factor estadístico, que llamaremos t . Dichas correspondencias son las siguientes:

Tabla 3.9: Nivel de confianza.

Nivel de confianza	t
80 %	0,842
85 %	1,036
90 %	1,282
95 %	1,645

Fuente: Elaboración Propia

$t = 1,282$, ya que trabajaremos con un 90% de confianza.(según tabla 24 NCh170 of 85)

La dispersión estimada de resistencias, expresada como desviación normal S va a depender de las condiciones previstas para la ejecución de los hormigones de la obra. Esta estimación es de responsabilidad de quien diseñe la dosificación, en base a su experiencia. Para estos efectos, en base a la experiencia recogida en el control de obras chilenas, la norma Nch 170 Of 85, anexo C recomienda en Tabla 25 las siguientes estimaciones, que corresponden a las condiciones que se indican.

Tabla 3.10: Dispersión estimada de resistencia.

Condiciones previstas para ejecución en obra	S estimada, MPa $f_c \leq H15$	S estimada, MPa $f_c > H15$
Regulares	8,0	----
Medias	6,0	7,0
Buenas	4,0	5,0
Muy buenas	3,0	4,0

Fuente: Elaboración Propia

$s = 4$ MPa, ya que trabajaremos en laboratorio (según tabla 25 NCh170 of 85)

Muy buenas: medida de los materiales en peso, laboratorio en obra con personal especializado. Controles permanentes.

Buenas: medidas de los materiales en peso o en volumen controlado, controles en forma periódica y sistemática.

Medias: medidas de materiales en volumen controlado, controles esporádicos.

Regulares: controles inferiores a los mencionados, sólo en caso de hormigones de grado < H15.

Con los antecedentes antes señalados se calcula la resistencia media requerida f_r , para cuyo valor se diseñará la dosificación:

Entonces:

$$f_r = 242 + 1.282 \times 40 = 293 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_r = 282 + 1.282 \times 40 = 333 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_r = 322 + 1.282 \times 40 = 373 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_r = 363 + 1.282 \times 40 = 414 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_r = 403 + 1.282 \times 40 = 454 \text{ Kg/cm}^2$$

Paso 3:

Luego, teniendo la resistencia media requerida se interpola en la siguiente tabla para obtener la dosis de cemento estimada de la mezcla.

Tabla 3.11: Dosis de cemento estimada, en función de la resistencia media requerida f_r .

fr kgf/cm ²	Dosis de cemento estimada, kgf/cm ²	
	Corriente	Alta Resistencia
80	170	140
100	200	165
120	225	185
140	250	205
160	270	220
180	290	235
200	310	255
220	325	265
240	345	280
260	355	290
280	370	305
300	385	315
320	395	325
340	405	330
360	415	340
380	425	350
400	430	355
420	440	360
440	450	370
460	460	375
480	470	385
500	480	390
520	490	400

Fuente: Elaboración Propia

40 mm – 20 mm – 12 mm – 5 mm

$f_r = 293 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow 380 \text{ kg} - 380 \text{ kg} - 400 \text{ kg} - 460 \text{ kg}$

$f_r = 333 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow 400 \text{ kg} - 400 \text{ kg} - 420 \text{ kg} - 480 \text{ kg}$

$f_r = 373 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow 420 \text{ kg} - 420 \text{ kg} - 440 \text{ kg} - 500 \text{ kg}$

$f_r = 414 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow 435 \text{ kg} - 435 \text{ kg} - 460 \text{ kg} - 530 \text{ kg}$

$f_r = 454 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow 455 \text{ kg} - 455 \text{ kg} - 480 \text{ kg} - 550 \text{ kg}$

Paso 4:

Considerando la expresión empírica siguiente que relaciona razón agua/cemento y resistencia a compresión, para cementos corrientes: $R_{cc} = 210(C/W - 0,72)$, para las resistencias medias requeridas se debería emplear las razones agua/cemento que se indican:

fr, kgf/cm ²	W/C
293	0,473
333	0,434
373	0,401
414	0,372
454	0,347

Por lo que se determinará la dosis de agua para cada tamaño máximo nominal de árido en función de la dosis de cemento ya determinada y se estimará una dosis de aditivo superplastificante o fluidificante para cada tipo de hormigón a fabricar.

Para Dn 40 mm.

Cemento kg/m ³	Agua seg.W/C kg/m ³	Aditivo (*) %
380	180	-----
400	174	0,4
420	168	0.6
435	162	0.8
455	158	1.0

Para Dn 20 mm.

Cemento kg/m ³	Agua seg.W/C kg/m ³	Aditivo %
380	180	0,4
400	174	0.6
420	168	0.8
435	162	1.0
455	158	1.2

Para Dn 12 mm.

Cemento kg/m ³	Agua seg.W/C kg/m ³	Aditivo %
400	189	0.4
420	182	0.6
440	176	0.8
460	171	1.0
480	167	1.2

Para Dn 5 mm.

Cemento kg/m ³	Agua seg.W/C kg/m ³	Aditivo %
460	218	0.4
480	208	0.6
500	201	0.8
530	197	1.0
550	191	1.2

Notas.

1. Los valores que se proporcionan corresponden al agua total, deben considerarse solamente para dosificar.
2. Las cantidades reales a emplear, en particular cuando se emplee aditivos, van a depender de diversos factores, por lo cual deben determinarse experimentalmente en obra, en función del asentamiento que se desee obtener.

Paso 5:

Determinación de la cantidad de árido.

Por lo tanto estimando del peso de un metro cúbico de hormigón fresco compactado en función del tamaño máximo del árido, podemos obtener el volumen de árido que contiene la mezcla.

Tabla 3.12: Determinación cantidad de árido

Tipo de hormigón	Tamaño máximo del árido,mm	Peso estimado del hormigón, kg/m ³
Simple, cemento ≤ 200 kg/m ³	40 - 50	2.300
Simple, cemento > 200 kg/m ³	40 - 50	2.400
Aceras	20	2.420
Armado en general	40 - 50	2.450
Armado en general	10 - 20	2.430
Calzadas	40	2.450

Fuente: Elaboración Propia

Por consiguiente, para hormigones con tamaño máximo del árido sea 40 mm., el peso estimado del hormigón a utilizar para la dosificación es de 2.450 kg/m³, mientras que para hormigones con tamaño máximo del árido sea de 20 y 12 mm., el peso estimado del hormigón a utilizar para la dosificación es de 2.420 kg/m³.

Para hormigones con tamaño máximo de 40 mm.

	Cemento	Agua	Peso Hormigón	Cantidad de árido
$f_r = 293 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	380 kg/m ³	180 lt/m ³	2.450 kg/m ³	1890 kg/m ³
$f_r = 333 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	400 kg/m ³	174 lt/m ³	2.450 kg/m ³	1876 kg/m ³
$f_r = 373 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	420 kg/m ³	168 lt/m ³	2.450 kg/m ³	1862 kg/m ³
$f_r = 414 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	435 kg/m ³	162 lt/m ³	2.450 kg/m ³	1853 kg/m ³
$f_r = 454 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	455 kg/m ³	158 lt/m ³	2.450 kg/m ³	1837 kg/m ³

Para hormigones con tamaño máximo de 20 mm.

	Cemento	Agua	Peso Hormigón	Cantidad de arido
$f_r = 293 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	380 kg/m ³	180 lt/m ³	2.420 kg/m ³	1860 kg/m ³
$f_r = 333 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	400 kg/m ³	174 lt/m ³	2.420 kg/m ³	1846 kg/m ³
$f_r = 373 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	420 kg/m ³	168 lt/m ³	2.420 kg/m ³	1832 kg/m ³
$f_r = 414 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	435 kg/m ³	162 lt/m ³	2.420 kg/m ³	1823 kg/m ³
$f_r = 454 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	455 kg/m ³	158 lt/m ³	2.420 kg/m ³	1807 kg/m ³

Para hormigones con tamaño máximo de 12 mm.

	Cemento	Agua	Peso Hormigón	Cantidad de arido
$f_r = 293 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	400 kg/m ³	189 lt/m ³	2.420 kg/m ³	1831 kg/m ³
$f_r = 333 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	420 kg/m ³	182 lt/m ³	2.420 kg/m ³	1818 kg/m ³
$f_r = 373 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	440 kg/m ³	176 lt/m ³	2.420 kg/m ³	1804 kg/m ³
$f_r = 414 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	460 kg/m ³	171 lt/m ³	2.420 kg/m ³	1789 kg/m ³
$f_r = 454 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	480 kg/m ³	167 lt/m ³	2.420 kg/m ³	1773 kg/m ³

Para hormigones con tamaño máximo de 5 mm.

	Cemento	Agua	Peso Hormigón	Cantidad de arido
$f_r = 293 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	460 kg/m ³	218 lt/m ³	2.200 kg/m ³	1522 kg/m ³
$f_r = 333 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	480 kg/m ³	208 lt/m ³	2.200 kg/m ³	1512 kg/m ³
$f_r = 373 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	500 kg/m ³	201 lt/m ³	2.200 kg/m ³	1499 kg/m ³
$f_r = 414 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	530 kg/m ³	197 lt/m ³	2.200 kg/m ³	1473 kg/m ³
$f_r = 454 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$	550 kg/m ³	191 lt/m ³	2.200 kg/m ³	1459 kg/m ³

Paso 6: Determinación de la proporción entre áridos.

Para conseguir un hormigón de docilidad adecuada debe emplearse una proporción equilibrada de arena: si ésta es escasa, resultarán mezclas de aspecto pedregoso y faltas de cohesión; con exceso de arena podrá aumentar la docilidad pero la demanda de agua será mayor. Como una primera aproximación, se pueden emplear las proporciones de arena que se presentan en las Tablas 1 y 2 siguientes.

Tabla 1. Porcentaje en peso de arena para hormigones confeccionados con grava de tamaño máximo nominal entre 40 mm y 50 mm.

Tabla 3.13: Determinación de la proporción entre áridos

Tipo de hormigón	Arena bajo 5 mm, %	
	Grava rodada	Grava chancada
Calzadas	28	30
Hormigón simple	30	32
Fundaciones armadas	32	34
Horm. Armado en general	34	36
Aceras	36	38
Horm.armado estrecho	38	40
Hormigón bombeado	40	42

Fuente: Elaboración Propia

Por tanto para hormigones con tamaño máximo nominal de 40mm se trabajará con un porcentaje de árido fino de 32% correspondiente a Hormigón simple y a la grava chancada. Según recomendación se reducirá el porcentaje de arena en función de la cantidad de cemento que contenga cada mezcla.

	Cant. Cemento.	Árido fino	Árido grueso	Total árido
$f_r = 293 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 380 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 605 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1285 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1890 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 333 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 402 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 600 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1276 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1876 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 373 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 422 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 596 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1266 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1862 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 414 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 437 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 593 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1260 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1853 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 454 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 457 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 587 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1250 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1837 \text{ kg/m}^3$

Tabla 2. Porcentaje en peso de arena para hormigones confeccionados con grava de tamaño máximo nominal entre 10 mm y 20 mm.

Tipo de hormigón	Arena bajo 5 mm, %	
	Grava rodada	Grava chancada
Hormigón armado	40	42
Aceras	42	44
Hormigón bombeado	44	46

Por tanto para hormigones con tamaño máximo nominal de 20mm se trabajará con un porcentaje de árido fino de 44% correspondiente a aceras y a la grava chancada. Según recomendación se reducirá el porcentaje de arena en función de la cantidad de cemento que contenga cada mezcla.

	Cant. Cemento.	Árido fino	Árido grueso	Total árido
$f_r = 293 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 380 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 781 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1079 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1860 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 333 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 400 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 775 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1071 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1846 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 373 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 420 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 769 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1063 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1832 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 414 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 435 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 766 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1057 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1823 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 454 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 455 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 758 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1049 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1807 \text{ kg/m}^3$

Por tanto para hormigones con tamaño máximo nominal de 12mm se trabajará con un porcentaje de árido fino de 44% correspondiente a aceras y a la grava chancada. Según recomendación se reducirá el porcentaje de arena en función de la cantidad de cemento que contenga cada mezcla.

	Cant. Cemento.	Árido fino	Árido grueso	Total árido
$f_r = 293 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 400 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 781 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1079 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1860 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 333 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 420 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 775 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1071 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1846 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 373 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 440 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 769 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1063 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1832 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 414 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 460 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 766 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1057 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1823 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 454 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 480 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 758 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1049 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1807 \text{ kg/m}^3$

Nota. Las proporciones de arena que se recomiendan en Tablas 1 y 2 pueden ser modificadas, reduciéndolas, según sea la dosis de cemento empleada, como se indica a continuación:

- ❖ Para dosis de cemento entre 300 y 400 kg/m³, disminuir arena en 2 %.
- ❖ Para dosis de cemento entre 400 y 500 kg/m³, disminuir arena en 4 %.
- ❖ Para dosis de cemento mayores que 500 kg/m³, disminuir arena en 6 %.

	Cant. Cemento.	Árido fino	Total árido
$f_r = 293 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 460 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1522 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1522 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 333 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 480 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1512 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1512 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 373 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 500 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1499 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1499 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 414 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 530 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1473 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1473 \text{ kg/m}^3$
$f_r = 454 \text{ Kg/cm}^2$	$\rightarrow 550 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1459 \text{ kg/m}^3$	$\rightarrow 1459 \text{ kg/m}^3$

Por lo tanto las dosificaciones para cada grado de resistencia se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.14: Dosificaciones por grado de resistencia

HF3,0 Mpa			Agua							Peso hormigón con red. de agua	Razón a/c
Dn	fr	Cemento		Aditivo	Grava 40mm	Grava 20mm	Grava 12mm	Arena	Total árido		
mm	kg/cm ²	kg/m ³	kg/m ³	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	
40	293	380	180	0	756	510		624	1890	2450	0,473
20	293	380	180	0,4		1079		781	1860	2420	0,473
12	293	400	189	0,4			1080	751	1831	2420	0,473
5	293	460	218	0,4				1522	1522	2200	0,473

HF3,5 Mpa			Agua							Peso hormigón con red. de agua	Razón a/c
Dn	fr	Cemento		Aditivo	Grava 40mm	Grava 20mm	Grava 12mm	Arena	Total árido		
mm	kg/cm ²	kg/m ³	kg/m ³	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	
40	333	400	174	0,4	750	507		619	1876	2450	0,434
20	333	400	174	0,6		1071		775	1846	2420	0,434
12	333	420	182	0,6			1073	745	1818	2420	0,434
5	333	480	208	0,6				1512	1512	2200	0,434

HF4,0 Mpa			Agua							Peso hormigón con red. de agua	Razón a/c
Dn	fr	Cemento		Aditivo	Grava 40mm	Grava 20mm	Grava 12mm	Arena	Total árido		
mm	kg/cm ²	kg/m ³	kg/m ³	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	
40	373	420	168	0,6	745	503	662	614	1862	2450	0,401
20	373	420	168	0,8		1063		769	1832	2420	0,401
12	373	440	176	0,8			1064	740	1804	2420	0,401
5	373	500	201	0,8				1499	1499	2200	0,401

HF4,5 Mpa			Agua							Peso hormigón con red. de agua	Razón a/c
Dn	fr	Cemento		Aditivo	Grava 40mm	Grava 20mm	Grava 12mm	Arena	Total árido		
mm	kg/cm ²	kg/m ³	kg/m ³	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	
40	414	435	162	0,8	741	500		611	1853	2450	0,372
20	414	435	162	1,0		1057		766	1823	2420	0,372
12	414	460	171	1,0			1056	733	1789	2420	0,372
5	414	530	197	1,0				1473	1473	2200	0,372

HF5,0 Mpa			Agua							Peso hormigón con red. de agua	Razón a/c
Dn	fr	Cemento		Aditivo	Grava 40mm	Grava 20mm	Grava 12mm	Arena	Total árido		
mm	kg/cm ²	kg/m ³	kg/m ³	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	
40	454	455	158	1,0	735	496		606	1837	2450	0,347
20	454	455	158	1,2		1048		759	1807	2420	0,347
12	454	480	167	1,2			1046	727	1773	2420	0,347
5	454	550	191	1,2				1459	1459	2200	0,347

3.2.4 Etapa cuatro: Toma de datos.

Luego de la confección y vaciado del hormigón anteriormente dosificado, se dejará 1 día en el molde para su posterior descimbre y luego las probetas serán sumergidas en agua por 7 días y posteriormente acopiadas en un lugar seco bajo techo hasta completar los 28 días, según metodología ya establecida.

Pasado los 28 días desde la elaboración del hormigón, se realizaran los ensayos mencionados, tomando las precauciones antes señaladas.

Con esta toma de datos se procederá a un análisis, que buscará relaciones entre ellos y ver si se ajustan a alguna ecuación matemática que nos provea de estas.

CAPITULO IV: DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

4.1 Desarrollo de la experiencia.

Este capítulo guiará al lector en el proceso que se llevará a cabo durante la experiencia en laboratorio.

Las siguientes líneas describen el método que se utilizará (según la NCh 1017 of. 75) para la confección de los distintos hormigones y el proceso paso a paso desde la verificación de la dosificación con mezcla de prueba, pasando por la medición de los materiales componentes, el amasado del hormigón, el hormigonado (colocación y compactación), terminación superficial de las probetas, curado del hormigón, hasta llegar a la determinación de la resistencia del hormigón correspondiente al ensayo de tracción por compresión o hendimiento.

4.2 Verificación de la dosificación con mezclas de prueba.

Para esta verificación se prepararán las mezclas de prueba con los mismos materiales y en condiciones similares a las que se tendrán en la ejecución definitiva, lo que permitirá determinar el rendimiento del hormigón, observar su aspecto, y ajustar el agua de amasado necesaria para lograr la trabajabilidad requerida o necesaria.

Si el rendimiento difiere en cantidades superiores al 3% de lo calculado, deberán corregirse los áridos proporcionalmente.

Si se emplean aditivos, las mezclas de prueba permiten ajustar la dosis óptima para obtener los beneficios que se persiguen, en nuestro caso, hacer trabajable una mezcla con una baja razón agua-cemento.

4.3 Medición de los materiales componentes.

Esta es la operación inicial en la etapa de fabricación del hormigón, por lo que hay que prestar atención en las dosificaciones calculadas, para así reproducir los resultados exigidos.

Para la medición de los materiales componentes se tomaron las providencias de que los equipos a usar estuvieran calibrados y limpios. Las balanzas a utilizar contaban con una precisión de hasta la diezmilésima de kilo. Para la medición del aditivo se usó una probeta plástica graduada con capacidad máxima de 500cc.

Se debe tener especial cuidado al pesar o medir el agua de amasado, ya que su variación provoca alteraciones en la docilidad y la razón agua-cemento.

Esta razón agua-cemento fue definida aproximadamente en la dosificación de materiales, pero su valor real se obtiene al momento de la fabricación del hormigón, ya que según la humedad del árido se deberá agregar o quitar agua de amasado de la dosificación.

4.4 Amasado del hormigón.

Teniendo ya los materiales necesarios según nuestra dosificación, se procede a la mezcla de estos. En este caso se usó un amasado mecánico, ya que es más eficiente, tanto en rendimiento como en la homogeneidad de la mezcla.

El carguío de los materiales al equipo mezclador debe iniciarse con un 80% del agua de amasado, continuando con la grava, el cemento y la arena, el resto del agua se agrega al final del proceso.

Posterior al carguío se revuelven los materiales hasta obtener una mezcla homogénea (mínimo 1,5 min.), luego se le agrega el aditivo revolviendo por 5 minutos como lo indica el fabricante.

4.5 Hormigonado (Colocación y compactación)

Este proceso es importante dentro de la secuencia del hormigonado, ya que un buen proceso de colocación evitará que el hormigón se segregue, es por esto que para lograr un acomodo uniforme del hormigón dentro de los moldes se debe realizar una buena compactación, la cual se realizo con un pisón.

El hormigón fue colocado en 3 capas horizontales tratando de que estas fuesen de espesor uniforme como lo indica la norma NCh 1017 en el punto 6.3.3, dependiendo del asentamiento de cono.

También se debe tener en cuenta que el hormigón no debe ser vaciado al molde en caída libre, por lo que este fue depositado desde una pequeña altura, evitando así la segregación del material.

Para el proceso de compactación se apisonó a razón de 8 apisonadas por cada 100 cm² como lo indica la norma. Según la norma NCh 1017 se optó por tener un mayor tiempo de vibrado (en este caso mayor cantidad de apisonadas por cada 100 cm²) para los hormigones de menor razón agua-cemento.

4.6 Terminación superficial de las probetas



Figura 4.1: Terminación superficial

El hormigón se enrasa superficialmente con un movimiento de aserrado, evitando separar los áridos. No se debe golpear la superficie del hormigón ya compactado, ya que se corre el riesgo de expulsar mortero, donde sería reemplazado por árido grueso. Finalmente la superficie se alisa.

Las probetas ya alisadas se deben marcar con algún grabado superficial que no altere el tamaño, forma o características de las probetas, de modo que puedan ser perfectamente identificadas.

4.7 Curado del hormigón

Posterior a la fabricación y hormigonado comienza el proceso de curado, el cual en su etapa inicial pretende evitar la evaporación.

Como la cantidad de moldes con que se cuenta para la experiencia es limitado (3 juegos = 18 cilindros) se tendrá que desmoldar para ejecutar la otra dosificación, esta limitación coincide con los tiempos mínimos para desmoldar y los plazos para ensayar.

Para este proceso se respetan los tiempos mínimos según la NCh 1017, los cuales aseguran que el endurecimiento sea tal, que no cause daño a la probeta, por lo que para cilindros se puede descimbrar después de 20 horas.

Los elementos que se descimbran se sumergirán durante 7 días, para luego ser retirados y dejar a la sombra bajo techo hasta los 28 días, donde serán ensayados.



Figura 4.2: Acopio probetas posterior al llenado



Figura 4.3: Descimbre de probetas



Figura 4.4: Descimbre e identificación de probetas



Figura 4.5: Curado bajo agua

4.8 Ensayo de tracción por compresión.

En esta etapa del capítulo 4, se procede a ensayar los elementos fabricados según la norma NCh 1170 of 77, la cual detalla el método de ensayo que medirá indirectamente su resistencia a la tracción.

Posterior al ensayo viene la toma de datos, los cuales son analizados en el capítulo 5 de esta tesis.

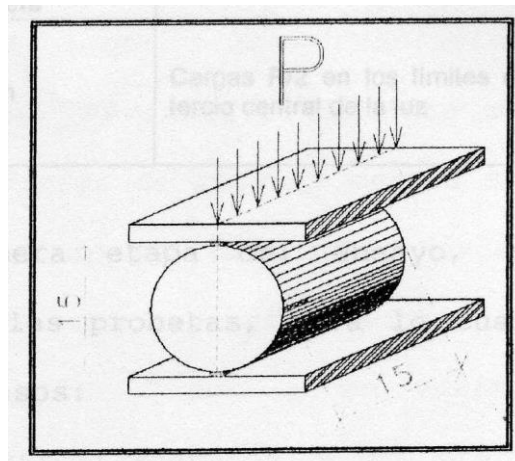
A continuación se redacta la metodología usada para los ensayos realizados.

La primera etapa, consta del marcado y medición de las probetas, para lo cual se deben seguir los siguientes pasos:

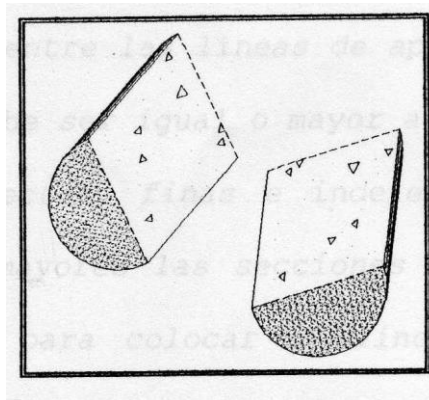
- 1.- Se trazan con línea fina 2 diámetros paralelos en cada una de las bases del cilindro.
- 2.- Se unen ambos diámetros mediante un trazado de 2 generatrices, las cuales definirán las líneas de contacto con las tablillas de apoyo.
- 3.- Registrar el diámetro (d) de la probeta como el promedio de 3 diámetros medidos sobre el trazado de las generatrices en el centro y en los extremos del cilindro, aproximando a 0,1 cm (1mm).
- 4.- Registrar la longitud (l) del cilindro como el promedio de las longitudes de las 2 generatrices trazadas, aproximando a 0,1 cm (1mm).
- 4.- Registrar la masa del cilindro (M), aproximando a 20g.

La segunda etapa es el ensayo en si, el cual consta de los siguientes pasos:

- 1.- Limpiar las superficies de contacto de las placas de carga y la probeta.
- 2.- Colocar una tablilla de apoyo centrada sobre el eje de la placa inferior de la maquina de ensayo. Las tablillas deben ser de madera contrachapada de 4 ± 1 mm de espesor, de 15 ± 5 mm de ancho y longitud igual o superior a la de la probeta.
- 3.- Colocar la probeta sobre la tablilla de apoyo y alinear de modo que las líneas del trazado diametral queden verticalmente y centrada sobre la tablilla.
- 4.- Colocar una segunda tablilla de apoyo centrada sobre la línea de contacto superior de la probeta.
- 5.- Aplicar aproximadamente un 5% de la carga de rotura prevista, verificando que la probeta se mantiene centrada y alineada.



- 6.- Seguir aplicando carga en forma continua y sin choques, a una velocidad uniforme entre 0,3 y 0,7 (Kgf /cm²) /seg hasta la rotura.



7.- Registrar la carga máxima (P) expresada en Kgf.

8.- Calcular la resistencia a tracción por compresión (Rb) del hormigón por la formula siguiente:

$$Rb = \frac{2 \times P}{\pi \times l \times d} \quad [kgf/cm^2]$$

Donde:

P = Carga máxima aplicada al cilindro, en Kg.

l = Longitud promedio del cilindro, en cm.

d = Diámetro promedio del cilindro, en cm.

4.9 Ensayo de compresión.

Se realiza el ensayo a compresión de acuerdo a la norma NCh1037.Of1977 Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas.

Debido a que el ensayo a compresión de las probetas cilíndricas se realiza en el mismo eje de llenado del molde, es necesario preparar sus caras, para asegurar la planitud, perpendicularidad y paralelismo de las mismas.

Por una parte, el refrentado (capping) de los 3 cilindros de cada tipo de hormigón se realiza de acuerdo a la norma NCh1172.Of1978 Hormigón – Refrentado de probetas y se utiliza una mezcla de 30% de pomacita y 70% de azufre.

La procedencia de los materiales utilizados es desconocido, ya que el azufre utilizado fue reciclado y reutilizado en esta experiencia por cuarta vez, ya que la norma indica que se puede reutilizar hasta cinco veces, por lo que no se validó la resistencia de la mezcla.



Figura 4.6: Capping



Figura 4.7: Ensayo compresión probeta refrentada



Figura 4.8: Falla probeta sometida a compresión.

CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Generalidades

Este capítulo entregará los resultados de los ensayos realizados a las probetas fabricadas con los hormigones antes mencionados. Estos resultados serán resumidos en tablas y gráficos para mayor comprensión del lector.

5.2 Análisis de resultados del ensayo al hendimiento.

Los resultados obtenidos se encuentran en las siguientes tablas

Tabla 5.1: Rotura, tracción por compresión (kg) para HF 3,0 MPa

HF3,0 Mpa			Carga P			Resistencia al hendimiento kg/cm ²			Promedio Resistencia al Hendimiento	%	desviación estándar
Dn	fr	Cemento	kg			kg/cm ²					
mm	kg/cm ²	kg/m ³	1	2	3	1	2	3			
5	293	460	19.000	20.000	20.000	21,2	19,8	21,2	20,7	100%	0,81
12	293	400	17.000	16.000	17.000	18,2	24,0	22,6	23,3	112%	0,99
20	293	380	13.000	17.000	16.000	23,6	22,5	24,1	23,4	113%	0,82
40	293	380	15.000	14.000	15.000	26,7	28,3	28,3	27,8	134%	0,92

Fuente: Elaboración propia

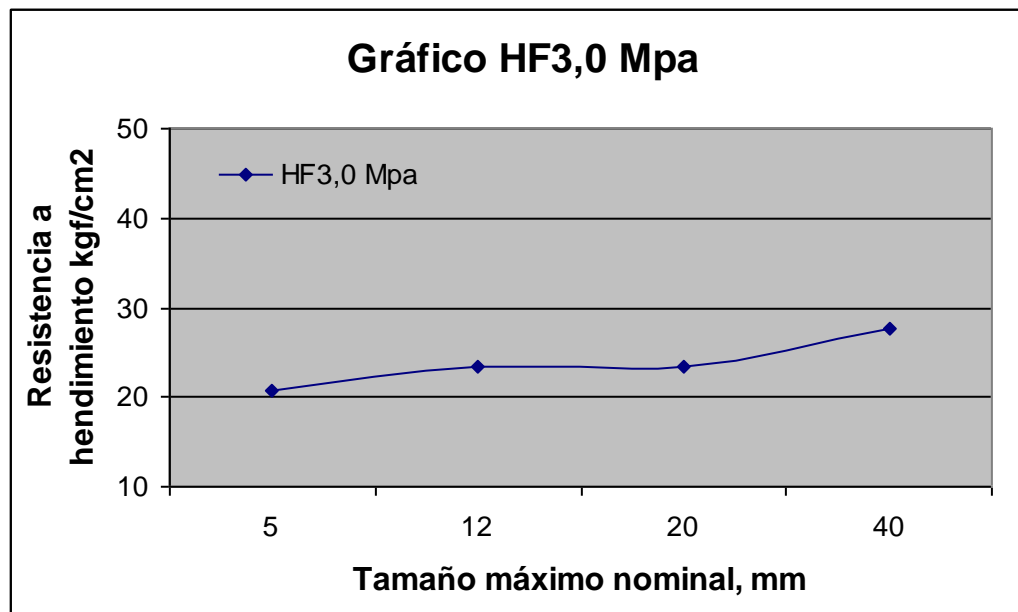


Gráfico 5.1: Gráfico Dn (mm) v/s Resist. a Hendimiento (kg/cm²) para HF 3,0 MPa

Fuente: Elaboración Propia

En este gráfico se muestran los promedios de cada serie de probetas.

Se elimina probeta nº 1 correspondiente al tamaño máximo nominal 12 mm, ya que presenta una resistencia anómala en su medición

La tendencia nos muestra que para este nivel de resistencia donde se mantuvo la razón a/c 0,473 constantes para todos los tamaños máximos nominales no se cumple la hipótesis, ya que a medida que aumenta el tamaño del agregado se observa un aumento en la resistencia al hendimiento.

Una de las razones que explica este comportamiento, es que la adherencia de la pasta con los agregados no fue suficiente, ya que el examen visual de las probetas ensayadas muestra que la mayor parte de los agregados se desprendieron y no se quebraron como debiese haber pasado, como se muestra en la siguiente imagen



Figura 5.1: Demarcación generatrices



Figura 5.2: Colocación probeta previo ensayo



Figura 5.3: Muestra probeta ensayada

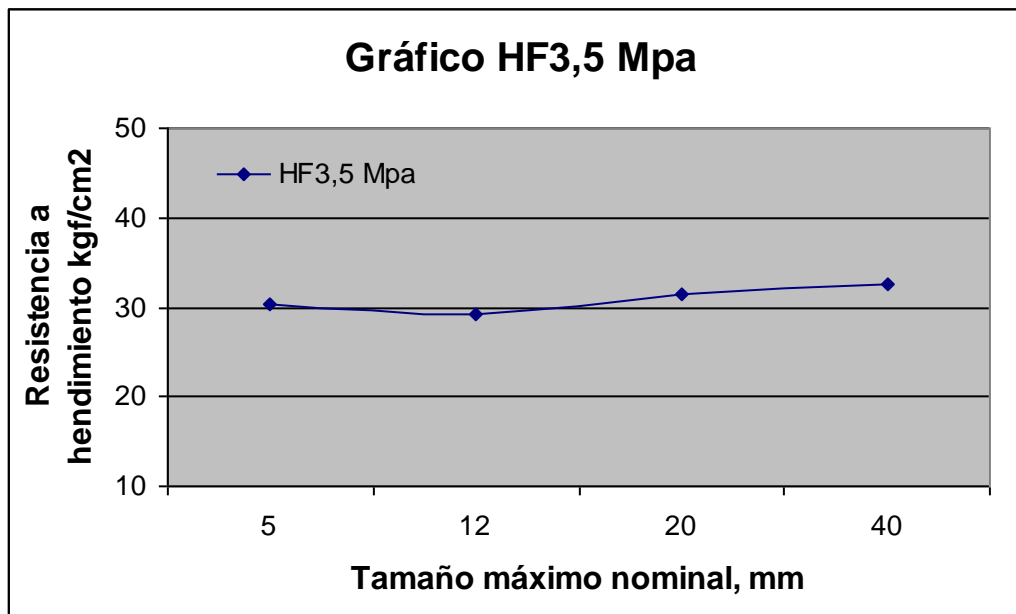


Figura 5.4: Detalle desprendimiento de árido

Tabla 5.2: Rotura, tracción por compresión (kg) para HF 3,5 MPa

HF3,5 Mpa			Carga P			Resistencia al hendimiento kg/cm ²			Promedio Resistencia al Hendimiento	%	desviación estándar
Dn	fr	Cemento	kg			kg/cm ²					
mm	kg/cm ²	kg/m ³	1	2	3	1	2	3			
5	333	480	22.000	20.000	22.000	31,4	28,3	31,1	30,3	100%	1,71
12	333	420	21.000	21.000	20.000	29,7	29,6	28,3	29,2	96%	0,78
20	333	400	22.000	22.000	23.000	30,9	31,1	32,5	31,5	104%	0,87
40	333	400	23.000	22.000	24.000	32,7	31,0	34,0	32,6	108%	1,50

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5.2: Gráfico Dn (mm) v/s Resist. a Hendimiento (kg/cm²) para HF 3,5 MPa

Fuente: Elaboración Propia

En este gráfico se muestran los promedios de cada serie de cilindros.

Al igual que el nivel de resistencia anterior, este sigue la misma tendencia por lo que la hipótesis no se cumple ya que a medida que disminuye el Dn, se observa una disminución en la resistencia al hendimiento del hormigón.

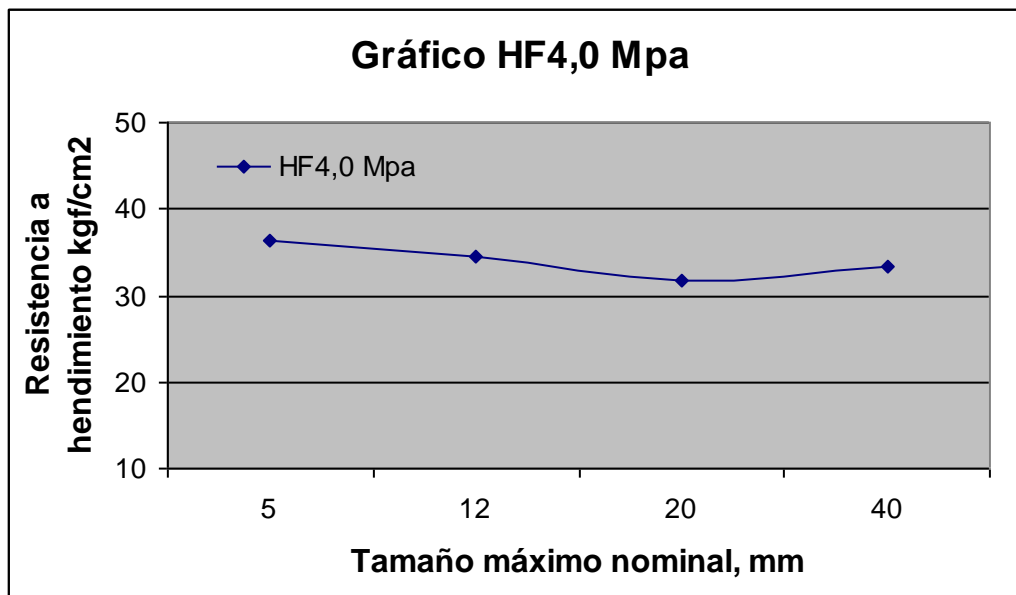


Al hacer un examen visual de las probetas ensayadas se observa un porcentaje importante de huecos debido a la falta de adherencia entre los agregados y la pasta de cemento. Esto se refleja en el gráfico desde el Dn 12mm hasta el Dn 40mm, ya que en el Dn 5 mm se vuelve a elevar la resistencia.

Tabla 5.3: Rotura, tracción por compresión (kg) para HF 4.0 MPa

HF4,0 Mpa			Carga P			Resistencia al hendimiento kg/cm ²			Promedio Resistencia al Hendimiento	%	desviación estándar
Dn	fr	Cemento	kg								
mm	kg/cm ²	kg/m ³	1	2	3	1	2	3			
5	373	500	26.000	25.000	26.000	36,9	35,4	36,8	36,3	100%	0,84
12	373	440	24.000	26.000	24.500	32,3	36,6	34,7	34,5	95%	2,15
20	373	420	23.000	22.000	22.500	32,5	30,6	31,8	31,7	87%	0,96
40	373	420	23000	24000	24000	32,5	33,8	34,0	33,4	92%	0,81

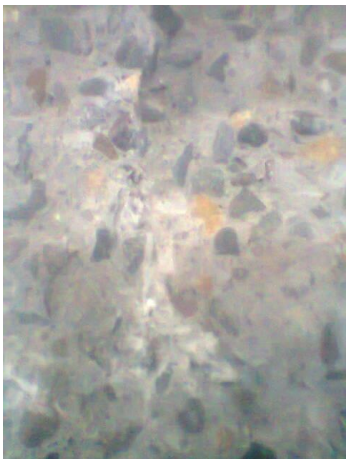
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5.3: Gráfico Dn (mm) v/s Resist. a Hendimiento (kg/cm²) para HF 4,0 MPa

Fuente: Elaboración Propia

En este gráfico se muestran los promedios de cada serie de cilindros.

La tendencia de este nivel de resistencia concuerda con la hipótesis señalada en capítulo 1, ya que a medida que aumenta el tamaño máximo nominal del árido se observa una disminución en la resistencia al hendimiento del hormigón considerando una relación a/c constante de 0,401.



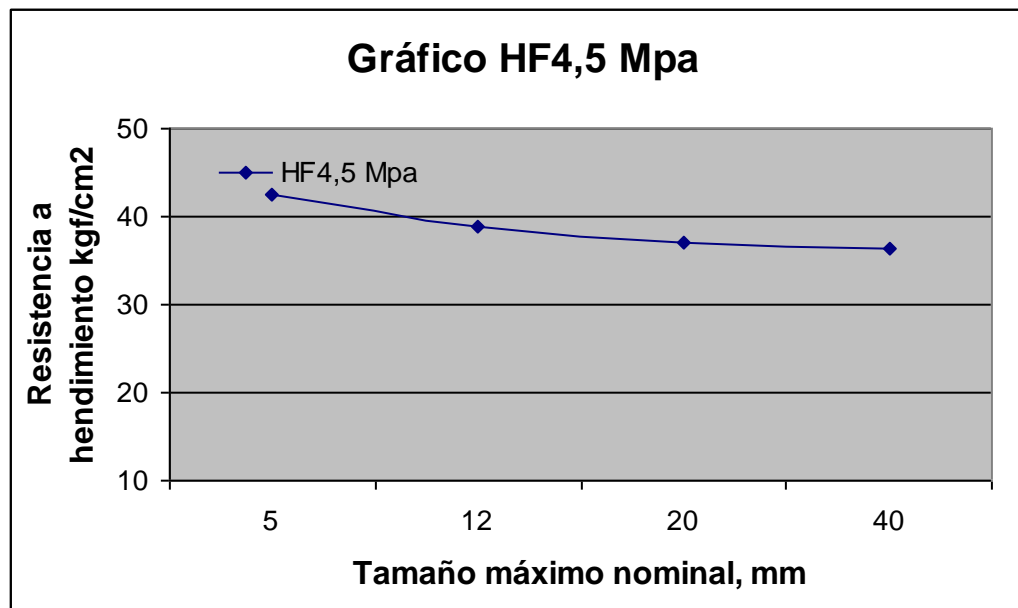
Este cambio se puede apreciar en las probetas ensayadas, ya que como se puede apreciar en la imagen, existe un mayor porcentaje de agregado quebrado por lo que se puede afirmar que existe una mayor adherencia entre la pasta y los agregados.

En la gráfica se puede apreciar que existe una dispersión mayor en las probetas con Dn 12mm en relación a las demás, pero se puede observar que los valores de las resistencias están acorde al resto.

Tabla 5.4: Rotura, tracción por compresión (kg) para HF 4,5 MPa

HF4,5 Mpa			Carga P			Resistencia al hendimiento kg/cm ²			Promedio Resistencia al Hendimiento	%	desviación estándar
Dn	fr	Cemento	kg								
mm	kg/cm ²	kg/m ³	1	2	3	1	2	3			
5	414	530	30.000	31.000	30.000	41,2	43,9	42,4	42,5	100%	1,35
12	414	460	28.000	26.500	28.000	39,5	37,4	39,6	38,8	91%	1,24
20	414	435	27.000	25.000	27.000	37,9	35,1	38,2	37,1	87%	1,71
40	414	435	26.000	25.000	26.000	36,5	35,5	36,9	36,3	85%	0,72

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5.4: Gráfico Dn (mm) v/s Resist. a Hendimiento (kg/cm²) para HF 4,5 MPa

Fuente: Elaboración Propia

La tendencia muestra que al aumentar el Dn de este nivel de resistencia se reduce la resistencia al hendimiento del hormigón coincidiendo con la hipótesis propuesta en este trabajo.

Haciendo una inspección visual a las probetas ensayadas, se puede apreciar un gran porcentaje de partículas partidas y menor porcentaje de huecos debido a que los agregados no se desprendieron por lo que se deduce que la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado tuvo una mayor influencia que en el nivel de resistencia anterior.

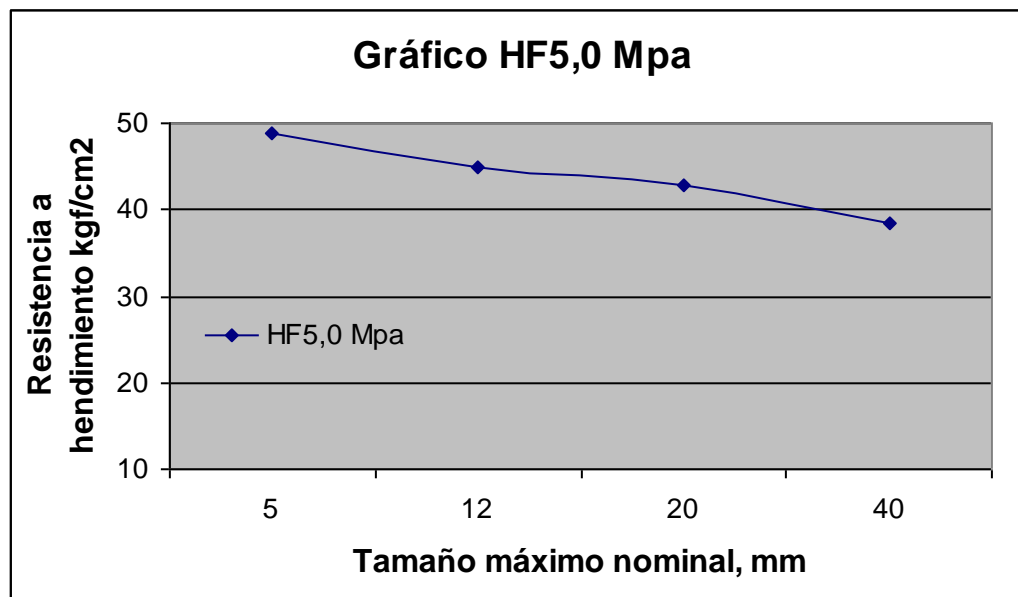


Los resultados graficados muestran una tendencia a una curva exponencial más que a una recta.

Tabla 5.5: Rotura, tracción por compresión (kg) para HF 5,0 MPa

HF5,0 Mpa			Carga P			Resistencia al hendimiento kg/cm ²			Promedio Resistencia al Hendimiento	%	desviación estándar
Dn	fr	Cemento	kg								
mm	kg/cm ²	kg/m ³	1	2	3	1	2	3			
5	454	550	35.000	33.000	35.000	48,4	45,1	49,5	47,7	100%	2,29
12	454	480	32.000	30.000	32.000	44,5	40,9	45,3	43,7	92%	2,46
20	454	455	30.000	30.000	31.000	42,0	42,4	43,9	42,7	87%	1,00
40	454	455	27000	27000	28000	38,2	37,4	39,6	38,4	78%	1,11

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5.5: Grafico Dn (mm) v/s Resist. a Hendimiento (kg/cm²) para HF 5,0 MPa

Fuente: Elaboración Propia

Gráficamente se puede apreciar una reducción de la resistencia a medida que aumenta el tamaño máximo de árido, conservando la razón a/c constante correspondiente a 0,347, por lo que este nivel de resistencia concuerda con la hipótesis señalada en el capítulo 1.



Haciendo una inspección visual de las probetas, se pudo observar que casi la totalidad de los agregados están partidos por lo que se deduce que la adherencia de la pasta con los áridos fue total.

5.3 Resistencias promedio a hendimiento.

Tabla 5.6: Resumen Rotura, tracción por compresión (kg)

Dn mm	Resistencia a hendimiento según grado HF, kgf/cm ² - %				
	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
5	20,7 - 100	30,3 - 100	36,3 - 100	42,5 - 100	48,9 - 100
12	23,3 - 112	29,2 - 96	34,5 - 95	38,8 - 91	44,9 - 92
20	23,4 - 113	31,5 - 104	31,7 - 87	37,1 - 87	42,7 - 87
40	27,8 - 134	32,6 - 108	33,4 - 92	36,3 - 85	38,4 - 78

Fuente: Elaboración Propia

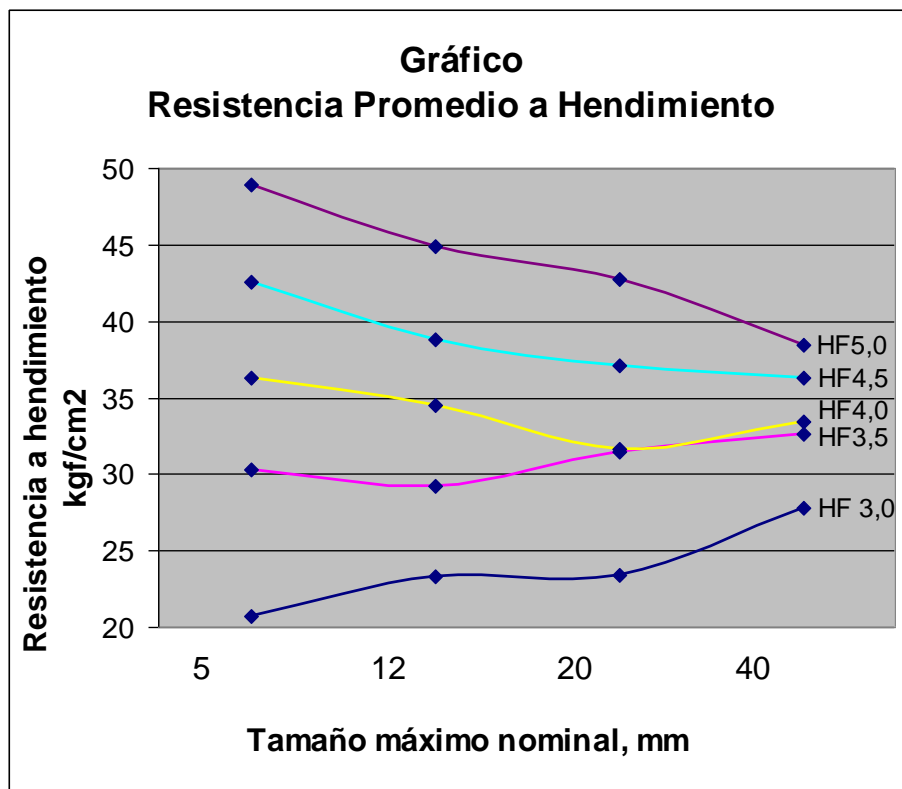


Gráfico 5.6: Gráfico Resumen Dn (mm) v/s Resistencia a Hendimiento (kg/cm²)

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los resultados obtenidos es posible establecer que el tamaño máximo nominal del árido influye sobre del nivel de resistencia al hendimiento de hormigón como se indica a continuación.

Para niveles de resistencias iguales o menores que HF 3,5 MPa: a medida que aumenta el tamaño máximo nominal del árido, se verifica un aumento de la resistencia al hendimiento del hormigón.

Para niveles de resistencias mayores o iguales que HF 4,0 MPa: a medida que aumenta el tamaño máximo nominal del árido, se verifica una disminución de la resistencia al hendimiento del hormigón.

5.4 Análisis de resultados del ensayo a compresión.

Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas y gráficos:

Tabla 5.7: Rotura, ensayo a compresión (kg) para HF 3,0 MPa

HF3,0 Mpa			Carga P			Resistencia a compresión				Resistencia Compresión cubo 20x20cm	%	desviación estándar
Dn	fr	Cemento	kg			cilindro kg/cm ²			Promedio			
mm	kg/cm ²	kg/m ³	1	2	3	1	2	3	Promedio			
5	293	460	40.000	35.000	40.000	226	198	226	217	267	100%	16,2
12	293	400	40.000	35.000	42.000	223	198	238	220	270	101%	20,2
20	293	380	48.000	45.000	40.000	272	255	226	251	301	113%	23,3
40	293	380	41.000	42.000	45.000	229	238	255	240	290	109%	13,2

Fuente: Elaboración Propia

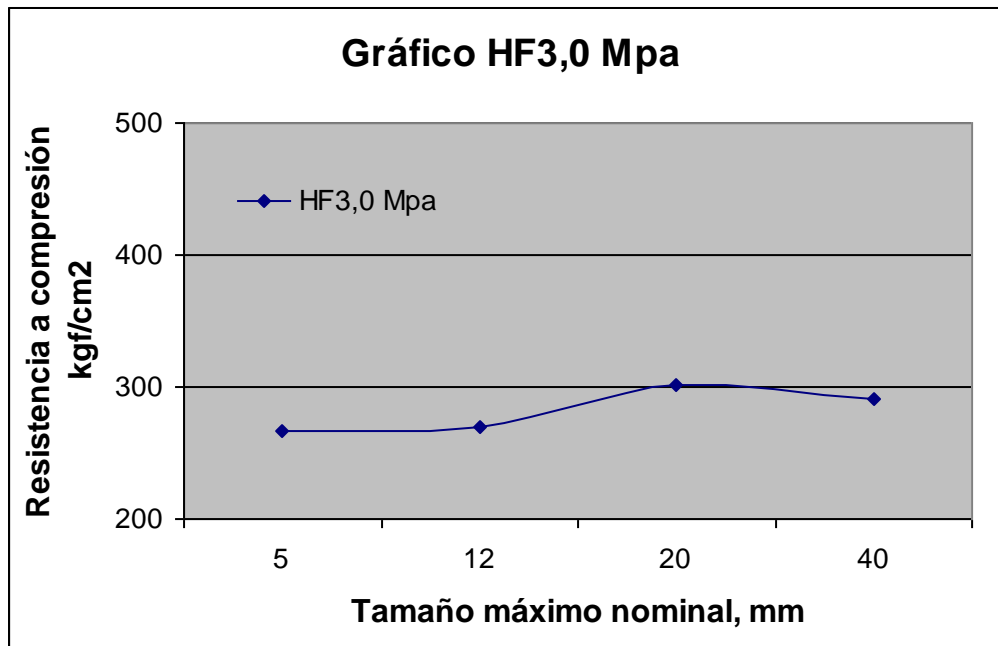


Gráfico 5.7: Grafico Dn (mm) v/s Resist. a Compresión (kg/cm²) para HF 3,0 MPa

Fuente: Elaboración Propia

En este gráfico se muestran los promedios de cada serie de cilindros convertido a cubo de 20x20cm como lo indica la norma NCh 170 of 85.

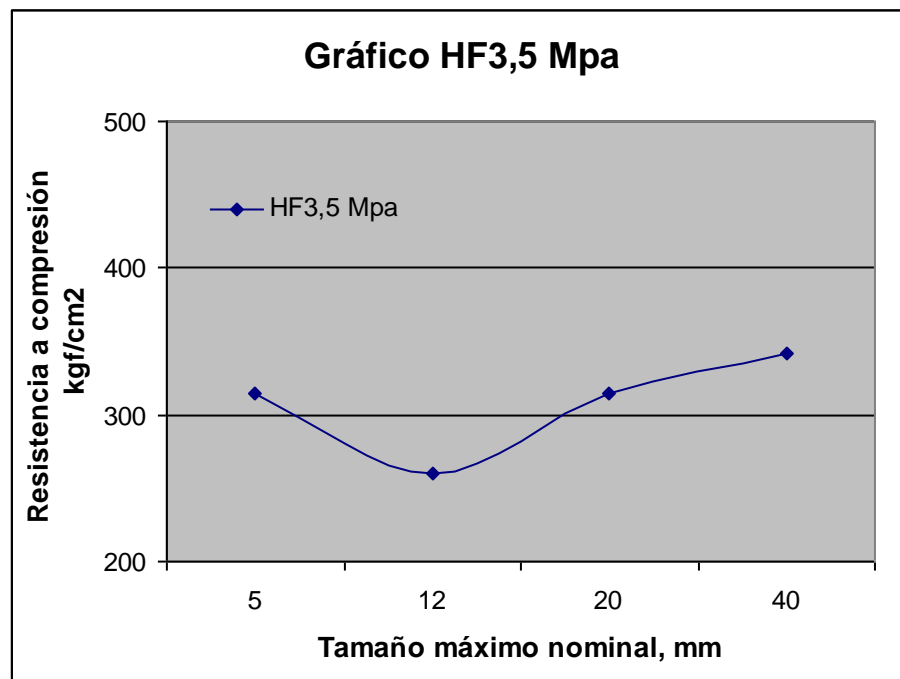
Aunque la dispersión es variable, no se elimina ninguna probeta del análisis.

La tendencia nos muestra que para este nivel de resistencia donde se mantuvo la razón a/c 0,473 constantes para todos los tamaños máximos nominales, a medida que aumenta el tamaño del agregado se observa un leve aumento en la resistencia a la compresión, mostrando comportamiento similar que en el hendimiento.

Tabla 5.8: Rotura, ensayo a compresión (kg) para HF 3,5 MPa

HF3,5 Mpa			Carga P			Resistencia a compresión				Resistencia Compresión cubo 20x20cm	%	desviación estándar
Dn	fr	Cemento	kg			cilindro kg/cm ²						
mm	kg/cm ²	kg/m ³	1	2	3	1	2	3	Promedio			
5	333	480	44000	50000	46000	252	283	260	265	315	100%	15,9
12	333	420	40000	34500	37000	226	195	209	210	260	83%	15,6
20	333	400	46000	46000	48000	260	260	272	264	314	100%	6,5
40	333	400	53000	50000	51000	304	283	289	292	342	108%	10,9

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5.8: Grafico Dn (mm) v/s Resist. a Compresión (kg/cm²) para HF 3,5 MPa

Fuente: Elaboración Propia

En este gráfico se muestran los promedios de cada serie de cilindros convertido a cubo de 20x20cm como lo indica la norma NCh 170 of 85.

Aunque la dispersión es variable, no se elimina ninguna probeta del análisis.

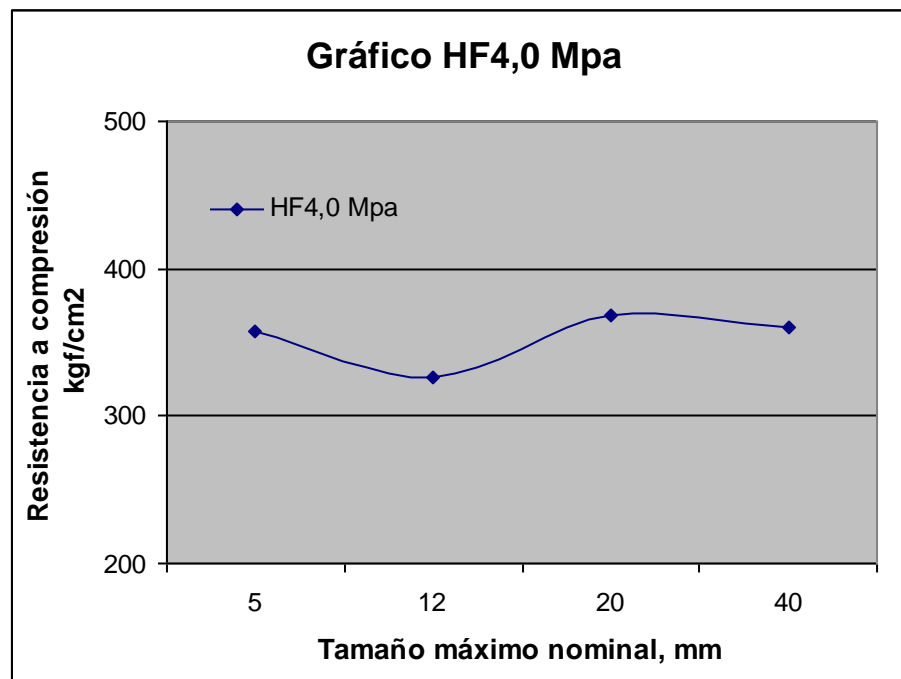
La tendencia no es clara para este nivel de resistencia donde se mantuvo la razón a/c 0,434 constantes para todos los tamaños máximos nominales, ya que en la serie del Dn 12mm se tienen resistencias anómalas, las cuales no se relacionan con el resto por lo que no se puede hacer un análisis claro del comportamiento real de la resistencia a compresión.

En general las resistencias obtenidas cumplen con lo requerido a excepción de la serie del Dn 12mm.

Tabla 5.9: Rotura, ensayo a compresión (kg) para HF 4,0 MPa

HF4,0 Mpa			Carga P			Resistencia a compresión				Resistencia Compresión cubo 20x20cm	%	desviación estándar
Dn	fr	Cemento	kg			cilindro kg/cm ²						
mm	kg/cm ²	kg/m ³	1	2	3	1	2	3	Promedio			
5	373	500	57000	51000	55000	323	289	311	307	357	100%	17,3
12	373	440	53000	47000	50000	281	264	283	276	326	91%	10,3
20	373	420	56000	54000	60000	317	298	340	318	368	103%	21,0
40	373	420	56500	55000	53000	318	311	300	310	360	101%	8,96

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5.9: Grafico Dn (mm) v/s Resist. a Compresión (kg/cm²) para HF 4,0 MPa

Fuente: Elaboración Propia

En este gráfico se muestran los promedios de cada serie de cilindros convertido a cubo de 20x20cm como lo indica la norma NCh 170 of 85.

Aunque la dispersión es variable, no se elimina ninguna probeta del análisis.

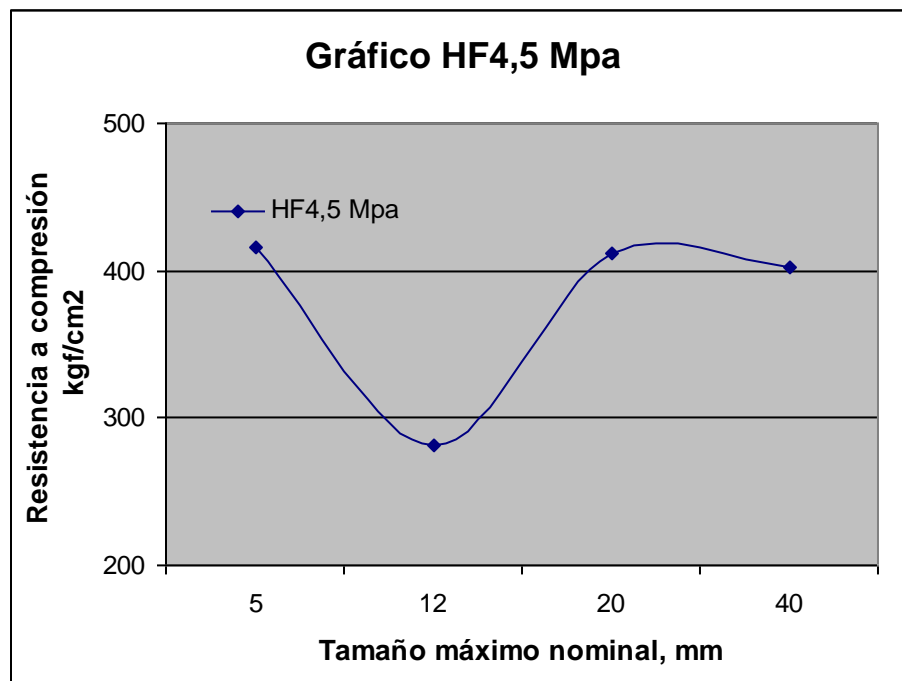
La tendencia no es clara para este nivel de resistencia donde se mantuvo la razón a/c 0,401 constantes para todos los tamaños máximos nominales, ya que en la serie del Dn 12mm se tienen resistencias anómalas, las cuales no se relacionan con el resto por lo que no se puede hacer un análisis claro del comportamiento real de la resistencia a compresión.

En general las resistencias obtenidas cumplen con lo requerido a excepción de la serie del Dn 12mm.

Tabla 5.10: Rotura, ensayo a compresión (kg) para HF 4,5 MPa

HF4,5 Mpa			Carga P			Resistencia a compresión				Resistencia Compresión cubo 20x20cm	%	desviación estándar
Dn	fr	Cemento	kg			cilindro kg/cm ²						
mm	kg/cm ²	kg/m ³	1	2	3	1	2	3	Promedio			
5	414	530	45000	67000	62000	240	382	351	366	416	100%	21,8
12	414	460	42000	34000	40000	238	192	226	232	282	68%	8,00
20	414	435	65000	63000	65000	365	352	368	362	412	99%	8,63
40	414	435	58000	63000	66000	328	357	373	353	403	97%	22,9

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5.10: Grafico Dn (mm) v/s Resist. a Compresión (kg/cm²) para HF 4,5 MPa

Fuente: Elaboración Propia

En este gráfico se muestran los promedios de cada serie de cilindros convertido a cubo de 20x20cm como lo indica la norma NCh 170 of 85.

Se elimina la probeta numero 1 de la serie Dn 5mm y la probeta numero 2 de la serie Dn 12mm, ya que presenta una resistencia anómala en su medición con respecto a sus pares.

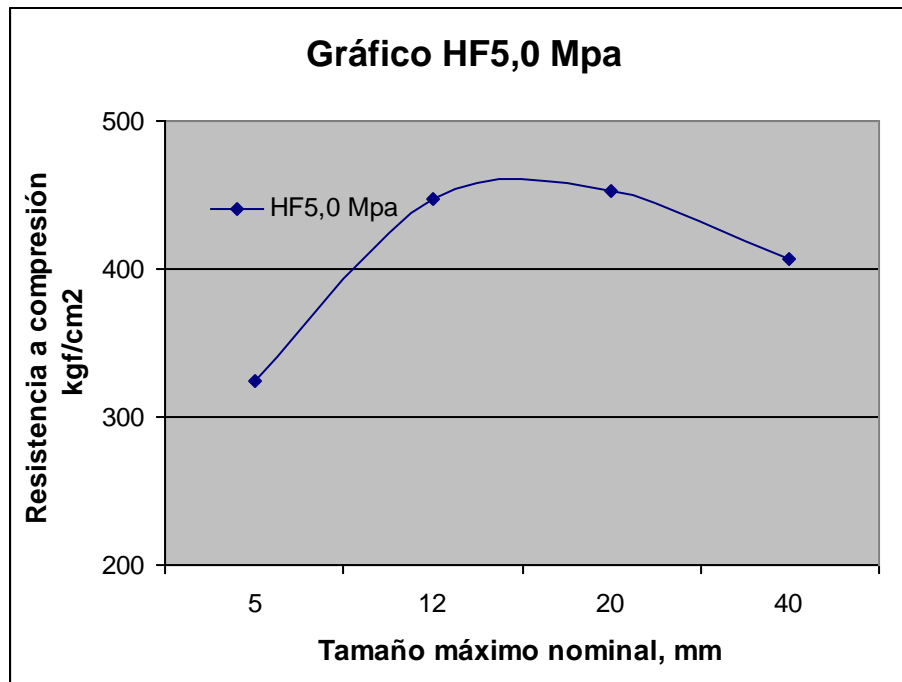
La tendencia no es clara para este nivel de resistencia donde se mantuvo la razón a/c 0,372 constantes para todos los tamaños máximos nominales, ya que en la serie del Dn 12mm se tienen resistencias anómalas, las cuales no se relacionan con el resto por lo que no se puede hacer un análisis claro del comportamiento real de la resistencia a compresión.

En general las resistencias obtenidas cumplen con lo requerido a excepción de la serie del Dn 12mm.

Tabla 5.11: Rotura, ensayo a compresión (kg) para HF 5,0 MPa

HF5,0 Mpa			Carga P			Resistencia a compresión				Resistencia Compresión cubo 20x20cm	%	desviación estándar
Dn	fr	Cemento	kg			cilindro kg/cm ²						
mm	kg/cm ²	kg/m ³	1	2	3	1	2	3	Promedio			
5	454	550	47000	52000	50000	262	277	283	274	324	100%	10,6
12	454	480	64000	75000	70000	353	397	396	397	447	138%	1,00
20	454	455	75000	72000	68000	416	407	385	403	453	140%	16,1
40	454	455	60000	68000	64000	340	370	362	357	407	126%	15,8

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5.11: Grafico Dn (mm) v/s Resist. a Compresión (kg/cm²) para HF 5,0 MPa

Fuente: Elaboración Propia

En este gráfico se muestran los promedios de cada serie de cilindros convertido a cubo de 20x20cm como lo indica la norma NCh 170 of 85.

Se elimina la probeta numero 1 de la serie Dn 12mm., ya que presenta una resistencia anómala en su medición con respecto a sus pares.

La tendencia no es clara para este nivel de resistencia donde se mantuvo la razón a/c 0,347 constantes para todos los tamaños máximos nominales, ya que en la serie del Dn 5mm se tienen resistencias anómalas, las cuales no se relacionan con el resto por lo que no se puede hacer un análisis claro del comportamiento real de la resistencia a compresión.

En general las resistencias obtenidas cumplen con lo requerido a excepción de la serie del Dn 5mm.

5.5 Resistencias promedio a compresión.

Tabla 5.12: Resistencia promedio de compresión.

Dn mm	Resistencia a compresión según grado HF, kgf/cm ² - %									
	3,0		3,5		4,0		4,5		5,0	
5	267	- 100	315	- 100	357	- 100	416	- 100	324	- 100
12	270	- 101	260	- 83	326	- 91	282	- 68	447	- 138
20	301	- 113	314	- 100	368	- 103	412	- 99	453	- 140
40	290	- 109	342	- 108	360	- 101	403	- 97	407	- 126

Fuente: Elaboración Propia

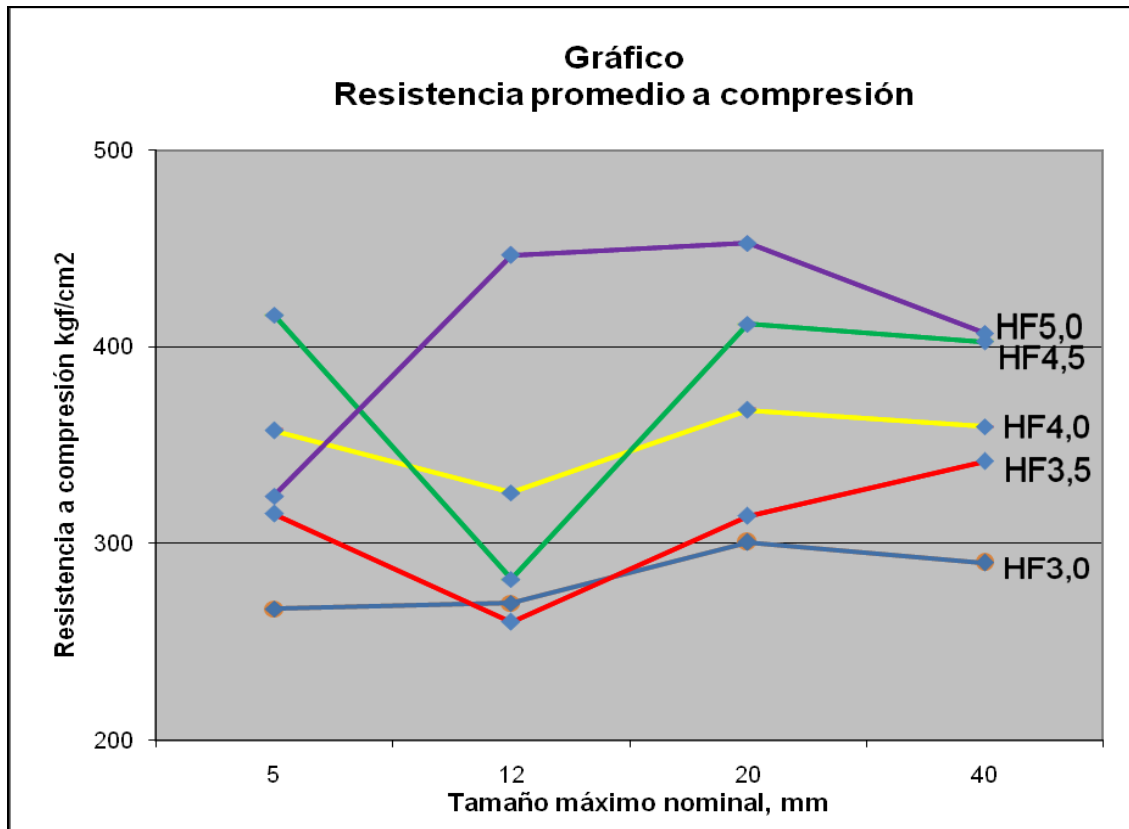


Gráfico 5.12: Grafico Resumen Dn (mm) v/s Resist. a Compresión (kg/cm²)

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los resultados obtenidos no es posible establecer con claridad el efecto del tamaño máximo nominal del árido sobre la resistencia a la compresión del hormigón.

5.6 Análisis de resultados relación hendimiento vs compresión.

Para los siguientes análisis se toma en consideración la regresión lineal o línea de tendencia lineal, ya que por aplicabilidad en campo es más factible el uso de esta. Por otro lado, las correlaciones arrojadas con las otras líneas de tendencia con las que se compara (exponencial, logarítmica, potencial y polinómica), son en algunos casos similares y en otros casos levemente mejores (ver Anexo 1)

Luego de procesar los datos obtenidos del ensayo a compresión y convertir los valores del cilindro al cubo de 20x20cm y los resultados del ensayo al hendimiento se procede a establecer la siguiente relación:

5.6.1 Relación entre resistencia a compresión y resistencia al hendimiento para Dn 40mm.

Tabla 5.13: Resist. a compresión v/s Resist. a hendimiento para Dn 40mm

Resistencia a Hendimiento kgf/cm ²	Resistencia a Compresión kgf/cm ²
27,8	290
32,6	342
33,4	360
36,3	403
38,4	407

Fuente: Elaboración Propia

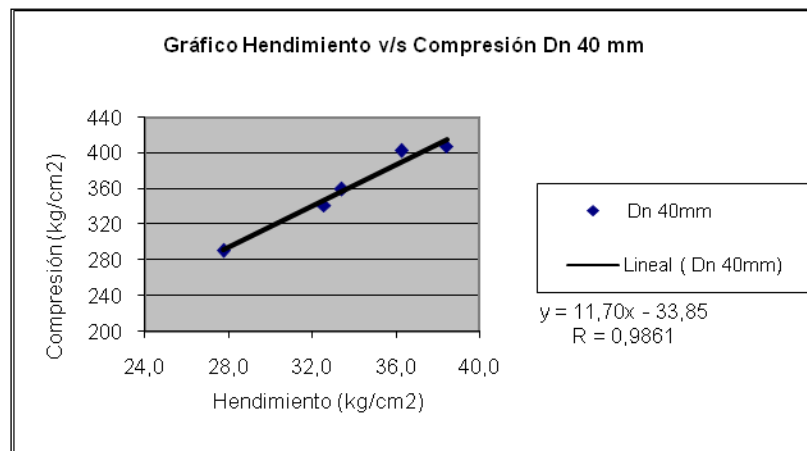


Gráfico 5.13: Grafico Resist. a Hendimiento v/s Resist. a Compresión (kg/cm²) para Dn40mm

Fuente: Elaboración Propia

Analizando el gráfico obtenido se logra establecer una relación lineal con un coeficiente de correlación muy fuerte de 0,9861 entre la resistencia al hendimiento y la resistencia a la compresión del hormigón para los tamaños máximos nominales de árido de 40mm.

También se determina el error típico de estimación de 10,3 kgf/cm² que representa la variabilidad alrededor de la recta de regresión, por lo que es bastante confiable.

5.6.2 Relación entre resistencia a compresión y resistencia al hendimiento para Dn 20mm.

Tabla 5.14: Resist. a compresión v/s Resist. a hendimiento para Dn 20mm

Resistencia a Hendimiento kgf/cm ²	Resistencia a Compresión kgf/cm ²
23,4	301
31,5	314
31,7	368
37,1	412
42,7	453

Fuente: Elaboración Propia

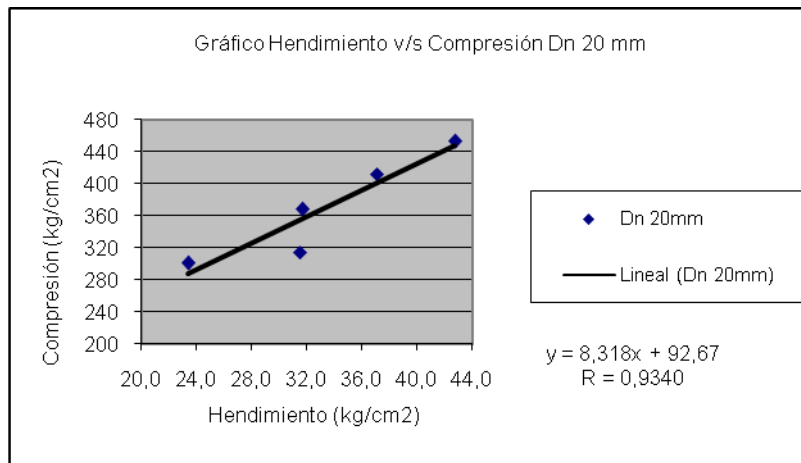


Gráfico 5.14: Gráfico Resist. a Hendimiento v/s Resist. a Compresión (kg/cm²) para Dn20mm
Fuente: Elaboración Propia

Analizando el gráfico obtenido se logra establecer una relación lineal con un coeficiente de correlación muy fuerte de 0,9340 entre la resistencia al hendimiento y la resistencia a la compresión del hormigón para los tamaños máximos nominales de arido de 20mm.

También se determina el error típico de estimación de 34.9 kgf/cm² que representa la variabilidad alrededor de la recta de regresión, por lo que sigue siendo confiable la relación.

5.6.3 Relación entre resistencia a compresión y resistencia al hendimiento para Dn 12mm.

Tabla 5.15: Resist. a compresión v/s Resist. a hendimiento para Dn 12mm

Resistencia a Hendimiento kgf/cm ²	Resistencia a Compresión kgf/cm ²
23,3	270
29,2	260
34,5	326
38,8	282
43,6	447

Fuente: Elaboración Propia

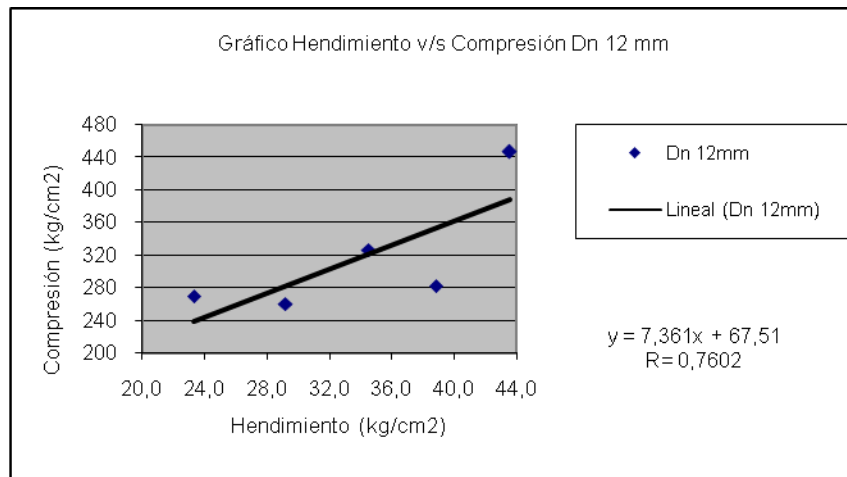


Gráfico 5.15: Gráfico Resist. a Hendimiento v/s Resist. a Compresión (kg/cm²) para Dn12mm
Fuente: Elaboración Propia

Cabe señalar que para este análisis se descartaron las mismas probetas que el el Item 5.2 de este capítulo.

2° probeta del Dn 12mm correspondiente al nivel de resistencia HF4,5 MPa.

1° probeta del Dn 12mm Correspondiente al nivel de resistencia HF5,0 MPa.

Analizando el gráfico obtenido no se logra establecer una relación lineal ya que el coeficiente de correlación se encuentra en el rango de $0,7 < R > 0,8$ por lo que se clasifica de media lo cual no hace confiable esta relación entre la resistencia al hendimiento y la resistencia a la compresión del hormigón para los tamaños máximos nominales de arido 12mm.

También se determina el error típico de estimación de 60,3 kgf/cm² que representa la variabilidad alrededor de la recta de regresión, por lo que definitivamente no hace confiable la relación.

5.6.4 Relación entre resistencia a compresión y resistencia al hendimiento para Dn 5mm.

Tabla 5.16: Resist. a compresión v/s Resist. a hendimiento para Dn 5mm

Resistencia a Hendimiento kgf/cm ²	Resistencia a Compresión kgf/cm ²
20,7	267
30,3	315
36,3	357
42,5	416
47,7	324

Fuente: Elaboración Propia

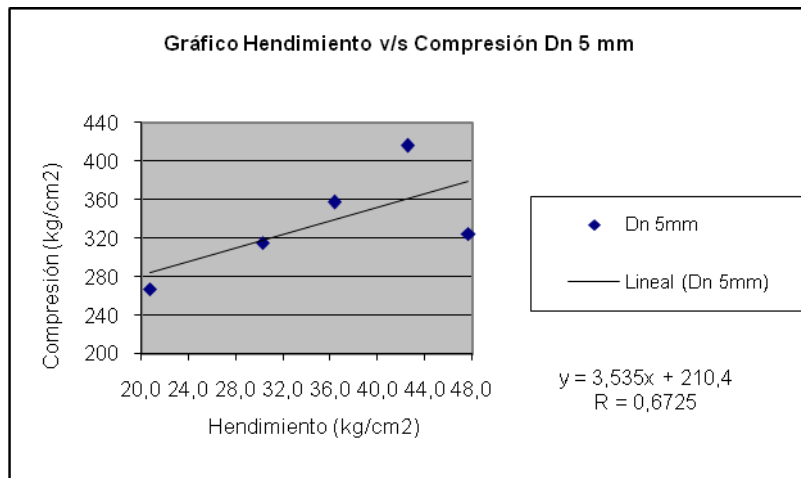


Grafico 5.16: Grafico Resist. a Hendimiento v/s Resist. a Compresión (kg/cm²) para Dn5mm
Fuente: Elaboración Propia

Cave señalar que para este analisis se descartaron las mismas probetas que el el Item 5.2 de este capitulo.

1° probeta del Dn 5mm correspondiente al nivel de resistencia HF4,5 MPa.

Analizando el grafico obtenido no se logra establecer una relacion lineal ya que el coeficiente de correlación se encuentra en el rango de $0,5 < R > 0,8$ por lo que se clasifica de mediocre, lo cual no hace confiable esta relacion entre la resistencia al hendimiento y la resistencia a la compresion del hormigon para el tamaños maximos nominales de arido 5mm.

Tambien se determina el error típico de estimación de 127,2 kgf/cm² que representa la variabilidad alrededor de la recta de regresión, por lo que definitivamente no hace confiable la relación.

5.6.5 Resumen relación entre resistencia a compresión y resistencia al hendimiento.

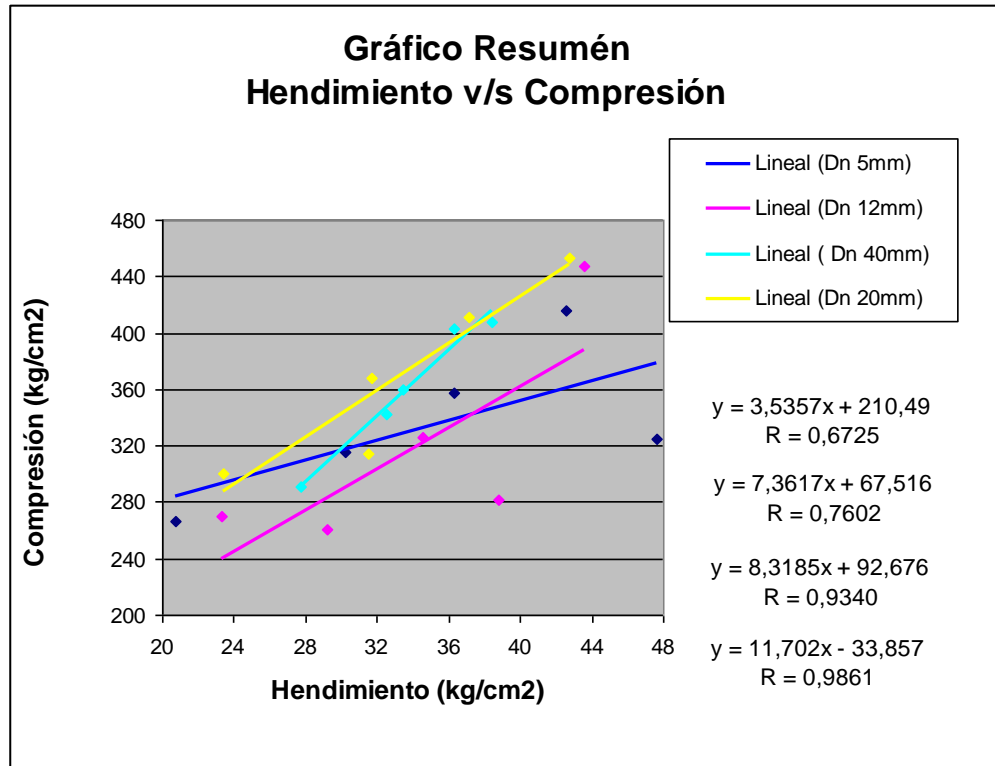


Grafico 5.17: Resumen Resist. a Hendimiento v/s Resist. a Compresión (kg/cm²)
Fuente: Elaboración Propia

Considerando que no hay similitud entre las correlaciones y como se muestra en el Gráfico 5.17, no es posible establecer una correlación única.

5.6.6 Relación entre resistencia a compresión y resistencia al hendimiento.

Ya que no se logra establecer una relación clara entre las resistencias se propone una nueva relación.

Tabla 5.17: Grado de resistencia v/s relación entre compresión y hendimiento en %
Fuente: Elaboración Propia

Relación entre Resistencia a Compresión y Resistencia a Hendimiento según grado HF, kgf/cm ² - %															
Dn	3,0		3,5		4,0		4,5		5,0						
mm	Rc	R _H	% Rc	Rc	R _H	% Rc	Rc	R _H	% Rc	Rc	R _H	% Rc			
5	267	20,7	7,8%	315	30,3	9,6%	357	36,3	10,2%	416	42,5	10,2%	324	48,9	15,1%
12	270	23,3	8,6%	260	29,2	11,2%	326	34,5	10,6%	282	38,8	13,8%	447	44,9	10,0%
20	301	23,4	7,8%	314	31,5	10,0%	368	31,7	8,6%	412	37,1	9,0%	453	42,7	9,4%
40	290	27,8	9,6%	342	32,6	9,5%	360	33,4	9,3%	403	36,3	9,0%	407	38,4	9,4%
Promedio %Rc	8,4%		10,1%		9,7%		10,5%		11,0%						

Donde

Rc. Promedio de resistencia a compresión de las probetas cilindricas convertidas a cubo, en kgf/cm²

R_H: Promedio de resistencia a hendimiento, en kgf/cm²

%Rc: Relacion porcentual entre Rc y R_H, es decir: $(R_H / Rc) \times 100$.

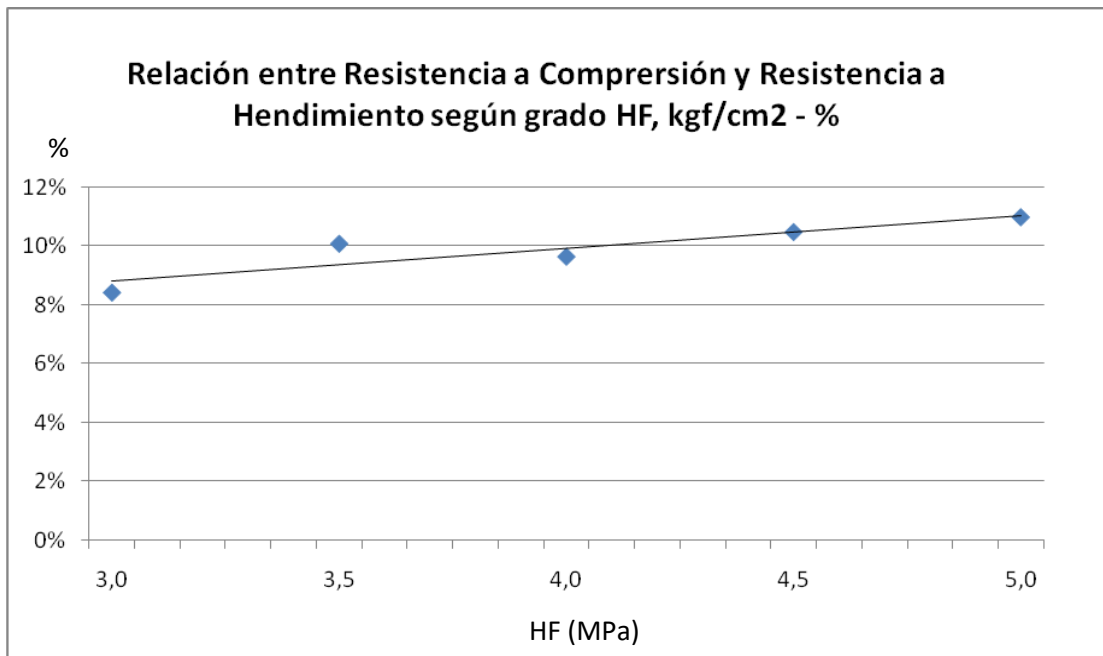


Gráfico 5.18: Grafico Grado de resistencia v/s relación entre compresión y hendimiento en %
Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto analizando el gráfico se observa que a medida que aumenta el grado del hormigón la relación entre compresión y hendimiento se hace más fuerte.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Basándose en los resultados obtenidos en esta investigación y en las experiencias realizadas en laboratorio se ha llegado a las siguientes conclusiones, las cuales vienen a constituir tendencias, que conclusiones mas definitivas solo podrían obtenerse con un volumen de ensayos mucho mayor, que valide estadísticamente el análisis presentado.

El efecto del tamaño máximo nominal del árido sobre la resistencia al hendimiento del hormigón varía según sea el nivel de resistencia considerado:

- Para los niveles menores que HF3,5 MPa, se verifica un incremento de resistencia a medida que aumenta el tamaño máximo nominal del árido, por lo que, para los niveles de resistencia HF3,0 y HF3,5 se verifica un incremento de un 34% y un 8% respectivamente en la resistencia al hendimiento del hormigón.
- Para los niveles mayores que HF4,0 MPa, se verifica una disminución de resistencia a medida que aumenta el tamaño máximo nominal del árido, por lo que, para los niveles de resistencia HF4,0 - HF4,5 y HF5,0 se verifica una disminución de un 8%, 15% y un 22% respectivamente en la resistencia al hendimiento del hormigón. Este punto refuta la hipótesis planteada en este trabajo.

La razón agua/cemento se mantuvo constante para los distintos hormigones preparados dentro de cada nivel de resistencia ya que cada nivel de resistencia tiene asociada una razón a/c.

Los hormigones confeccionados con tamaño máximo nominal de árido 5mm en los grados HF3,0 y HF5,0 MPa, se obtuvieron las mas bajas y las mas altas resistencias respectivamente, esto se debe a que mientras mas grande es el tamaño máximo nominal de árido, menor es la influencia en el ensayo al hendimiento y por el contrario mientras mas pequeño se hace el tamaño máximo nominal del árido, este se hace mas influyente en el ensayo al hendimiento.

En cuanto a la relación entre la resistencia al hendimiento y la resistencia a la compresión del hormigón para cada tamaño máximo nominal de árido, se logra correlacionar linealmente la resistencia al hendimiento y la resistencia a la compresión del hormigón correspondiente a cada tamaño máximo nominal de árido resultando no satisfactorio esta relación para los Dn 12 y 5 mm.

- Correlación para Dn 5mm $\rightarrow y = 3.536x + 210.49$
R= 0,6725 Error típico de estimación: 127 kg/cm²
- Correlación para Dn 12mm $\rightarrow y = 7.362x + 67.52$
R= 0,7602 Error típico de estimación: 60 kg/cm²
- Correlación para Dn 20mm $\rightarrow y = 8.319x + 92.68$
R= 0,9340 Error típico de estimación: 35 kg/cm²
- Correlación para Dn 40mm $\rightarrow y = 11.70x - 33.86$
R= 0,9861 Error típico de estimación: 10 kg/cm²

De acuerdo a este estudio se determina que a partir de los resultados obtenidos no es posible establecer con claridad el efecto del tamaño máximo nominal del árido sobre la resistencia a la compresión del hormigón como se puede ver en la figura 5.12 del capítulo anterior.

Bibliografía y referencias

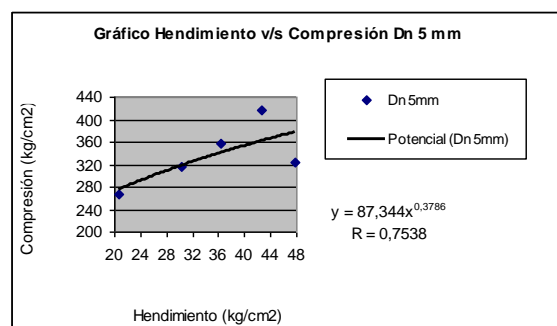
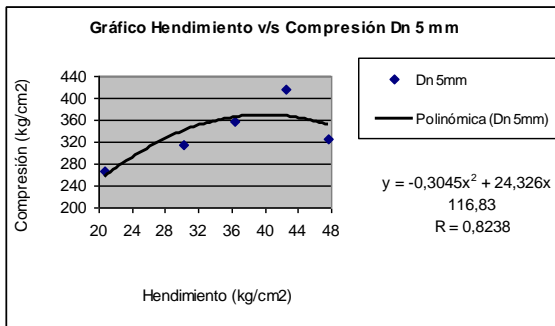
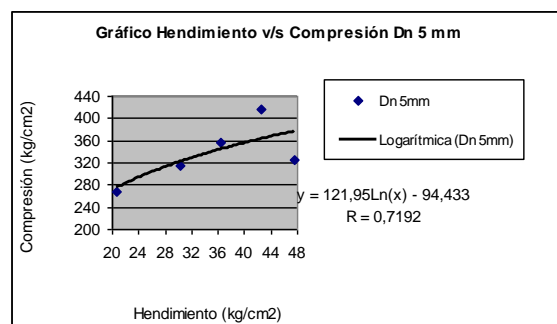
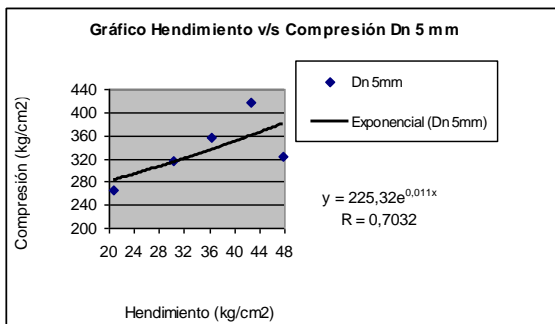
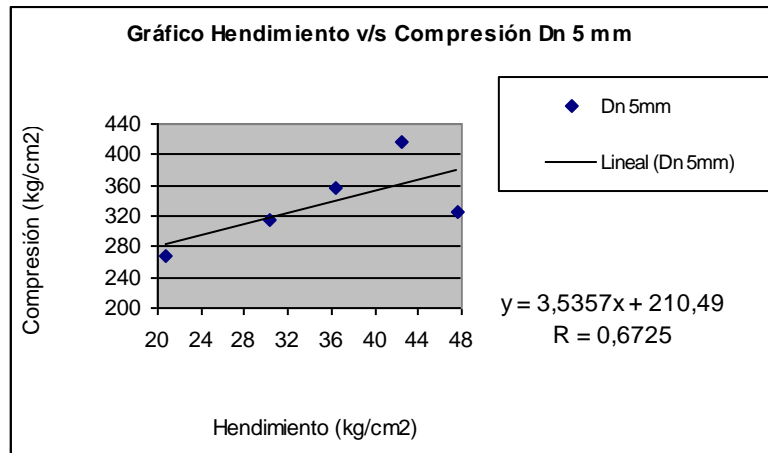
- ❖ Norma chilena NCh 170 of 1985 – Hormigon – Requisitos generales
- ❖ Norma chilena NCh 1018 of 1974 – Hormigon – Preparacion de mezclas de prueba en laboratorio.
- ❖ Norma chilena Nch 1017 of 1975 – Hormigon – Confección y curado en obra probetas cubicas y cilindricas.
- ❖ Norma chilena NCh 1019 of 1974 – Hormigon – Determinacion de la docilidad. Metodo del asentamiento del cono de Abrams.
- ❖ Norma chilena NCh 1037 of 1977 – Hormigón – Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas.
- ❖ Norma chilena NCh 1170 of 1977 – Hormigón – Ensayo de tracción por hendimiento.
- ❖ Norma chilena NCh 1172 of 1978 – Hormigón – Refrentado de probetas
- ❖ Fernando Luis Lobos Carneiro and A Barcellos “Tensille strength of concrete” – Paper presented at the National Institute of Technology, Rio de Janeiro, Brasil”
- ❖ Adam Neville “Tecnología del concreto (1999) 1° edicion” – Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- ❖ Revista Construcción y Tecnología publicación del Arenacreto, presente y futuro – www.imcyc.com/revista/1999/enero/sandcret.html

ANEXOS

Anexo 1. Comparación líneas de tendencia y correlaciones para diferentes Dn.

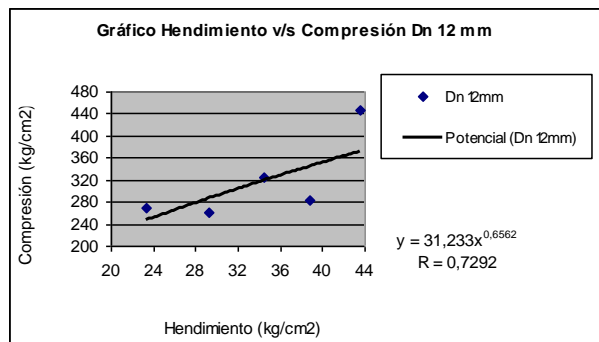
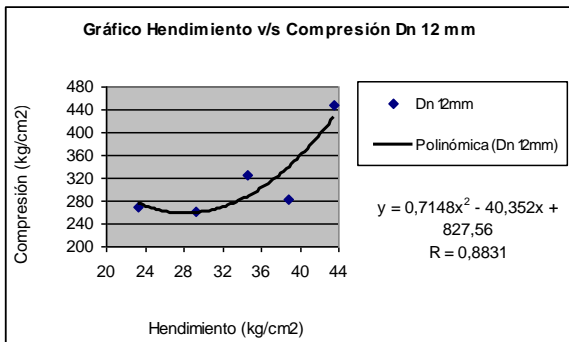
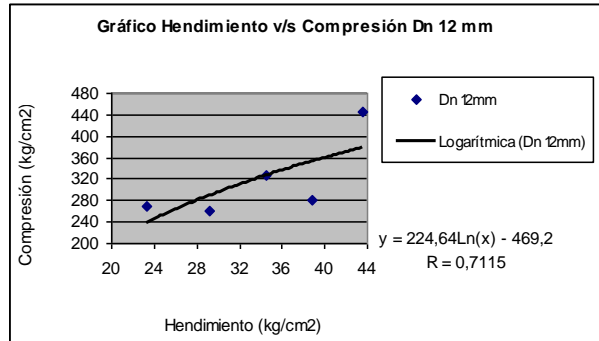
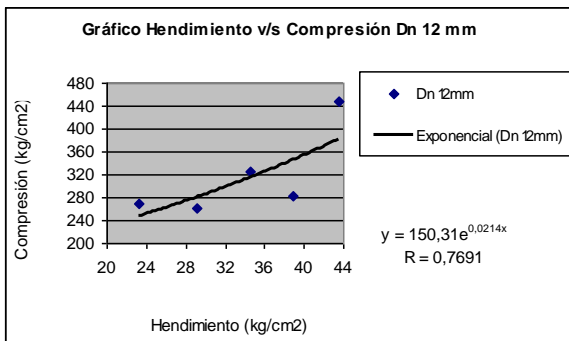
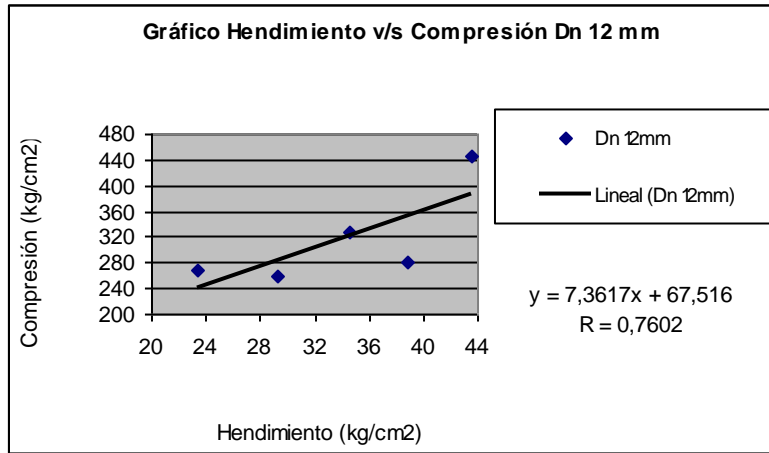
1.1 Tamaño Maximo nominal de 5mm

HF MPa	Hendimiento	Resistencia compresión			Compr. cilindro	Compr. cubo
	Dn 5mm				15x30	20x20
3,0	20,7	226	198	226	217	267
3,5	30,3	252	283	260	265	315
4,0	36,3	323	289	311	307	357
4,5	42,5	240	382	351	366	416
5,0	47,7	262	277	283	274	324



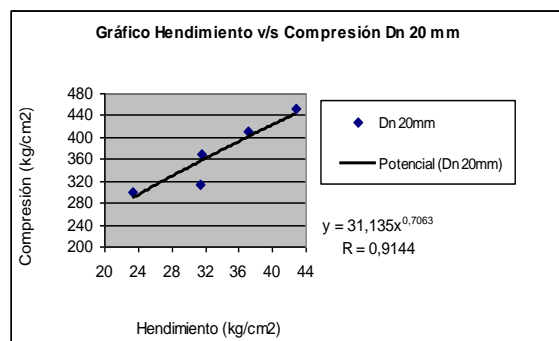
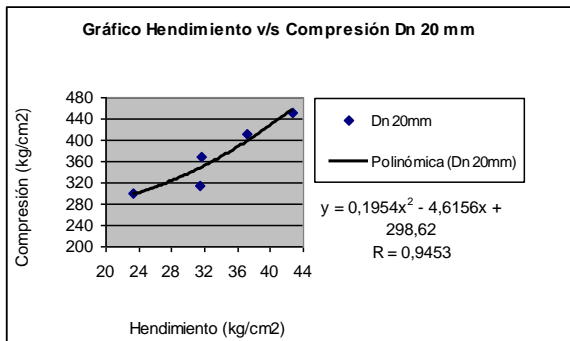
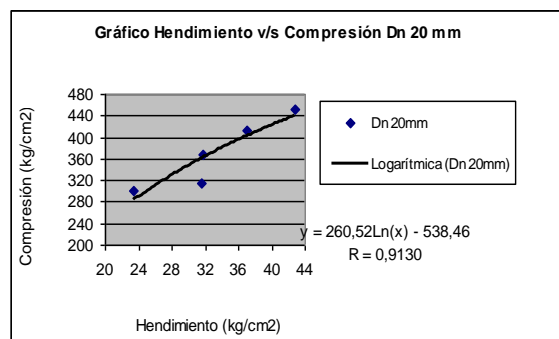
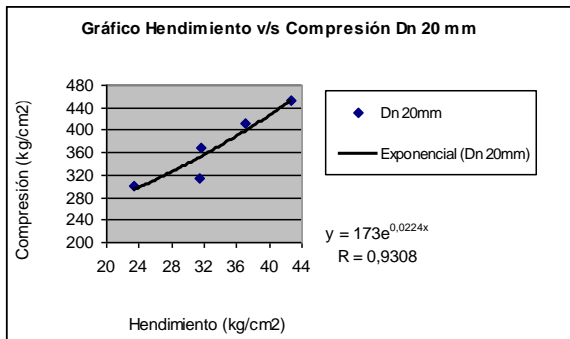
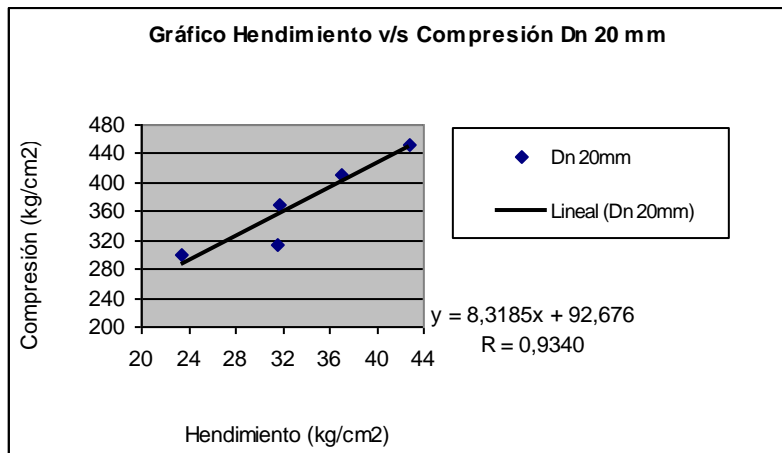
1.2 Tamaño Maximo nominal de 12mm

HF MPa	Hendimiento	Resistencia compresión			Compr. cilindro	Compr. cubo
	Dn 12mm				15x30	20x20
3,0	23,3	223	198	238	220	270
3,5	29,2	226	195	209	210	260
4,0	34,5	281	264	283	276	326
4,5	38,8	238	192	226	232	282
5,0	43,6	353	397	396	397	447



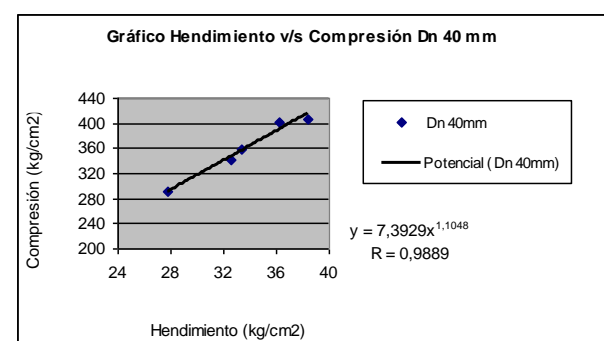
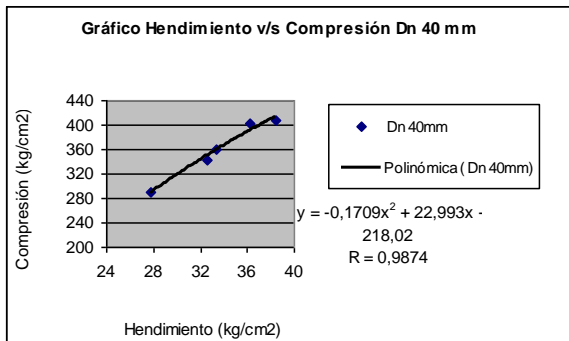
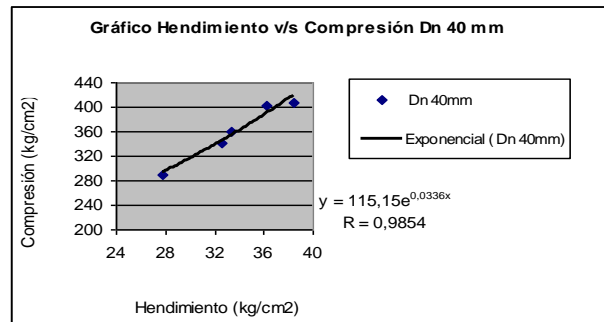
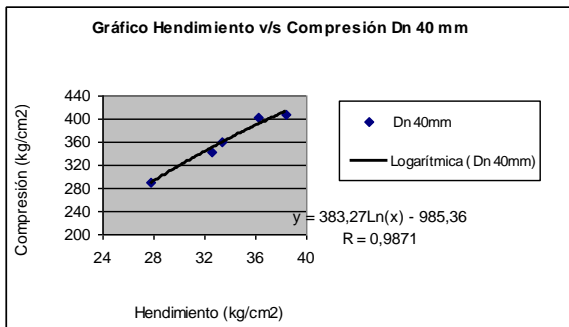
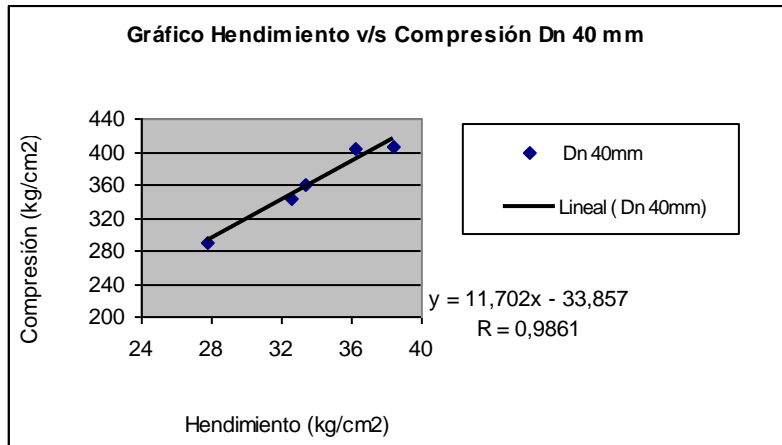
1.3 Tamaño Maximo nominal de 20mm

HF MPa	Hendimiento	Resistencia compresion			Compr. cil	Compr. cub
	Dn 20mm				15x30	20x20
3,0	23,4	272	255	226	251	301
3,5	31,5	260	260	272	264	314
4,0	31,7	317	298	340	318	368
4,5	37,1	365	352	368	362	412
5,0	42,7	416	407	385	403	453



1.4 Tamaño Maximo nominal de 40mm

HF MPa	Hendimiento	Resistencia compresion			Compr. cil	Compr. cub
	Dn 40mm				15x30	20x20
3,0	27,8	229	238	255	240	290
3,5	32,6	304	283	289	292	342
4,0	33,4	318	311	300	310	360
4,5	36,3	328	357	373	353	403
5,0	38,4	340	370	362	357	407



Anexo 2.

BOLETIN RILEM N°13
MARCH 1953. PARIS - FRANCIA

RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE HORMIGÓN

Por
MM. Fernando Luiz Lobo B. Carneiro
Y
Aguinaldo Barcellos
Engineers

RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE HORMIGÓN

Documento presentado por la FLL Carneiro y
.A. Barcellos, asst. Los ingenieros del
Instituto Nacional de Tecnología, RIO DE JANEIRO, Brasil.

I – Introducción.- (por F. L. L. Carneiro)

Este documento se compone de dos partes:

- 1) Un nuevo método para determinar la resistencia a la tracción de los hormigones por asst. eng. F. L. L. Carneiro.
- 2) Correlación entre la resistencia a la tracción y resistencia a la compresión del concreto, por asst. eng. A. Barcellos.

El Instituto Brasileño de Tecnología está llevando a cabo desde 1937 una serie de investigaciones sobre la relación entre la resistencia a la tracción ya la compresión del hormigón.

Todos los métodos conocidos anteriormente para la determinación directa de la resistencia a la tracción de los hormigones presentan ciertos defectos que hicieron los resultados obtenidos no totalmente dignos de confianza. Por ejemplo, los especímenes tradicionales en forma de 8 hace tiempo que han sido abandonados. Incluso el método Gonnerman -Schuman adoptado en los Estados Unidos, en el que las muestras cilíndricas se someten a un esfuerzo de tracción axial por medio de anillos que comprimen los extremos radialmente, presenta dificultades graves de rendimiento.

Debido a estos inconvenientes , las primeras investigaciones en el Instituto Nacional de Tecnología se limitó a la flexión pruebas , lo que llevó a los resultados convencionales designados como " resistencia a la tracción a través de la flexión " , obtenidos por aplicación de las probetas fórmulas estándar de ruptura es , de hecho , muy diferente de la distribución lineal asumido en estas fórmulas . Perturbaciones locales en las cercanías de las concentraciones de esfuerzos tienen el efecto de modificar notablemente los resultados de la misma el tipo de centro de carga utilizados y con la profundidad de corte transversal.

Esta investigación condujo a la formulación de una ley que une " resistencia a la tracción a través de la flexión " , con resistencia a la compresión, esta relación es (dentro de ciertos límites y un grado de precisión suficiente para fines prácticos) independiente de la calidad del cemento, la naturaleza y la distribución de tamaño de grano de arena y grava, la dosificación , la relación agua -

cemento y la edad del hormigón . Esta ley pone en negrita cierto sólo para hormigones adecuadamente lotes de consistencia plástica.

σ_{F1} = "Resistencia a la tracción a través de la flexión" en Kg. / Sq. cm. de barras bajo centro de carga.

σ_{F2} = "Resistencia a la tracción a través de la flexión" en Kg. / Sq. cm. de barras bajo cargas tercer punto.

σ_c = resistencia a la compresión en Kg. / sq. cm. de las probetas cilíndricas estándar brasileño.

las relaciones derivadas de las pruebas de laboratorio son:

$$\sigma_{F1} = 2,88 \times \sigma_c^{0,51}$$

$$\sigma_{F2} = 1,10 \times \sigma_c^{0,658}$$

En 1943, Fernando Luis Carneiro presentó en la 5° Conferencia de la Asociación para la Estandarización Brasileña un informe técnico titulado "Un nuevo método para determinar el esfuerzo de tracción en los hormigones", en el cual proponía la adopción del ensayo sobre probetas cilíndricas y someterlas a una compresión diametral. La justificación de este método fue avalada por experimentos desarrollados por el Instituto Nacional de Tecnología y por el autor del informe técnico.

Esta investigación preliminar incluye sólo un pequeño número de pruebas bajo compresión simple y diametral pero los datos obtenidos fueron tan interesante que la dirección del Instituto Nacional del rendimiento de la tecnología por A. Barcellos y la segunda parte de este documento contiene los principales resultados obtenidos.

Antes de concluir esta introducción, nos gustaría explicar que en Brasil la determinación de la resistencia a la compresión de los hormigones se realiza por medio de probetas cilíndricas similares a las adoptadas en los Estados Unidos. Los cilindros de concreto son 15 cm. de diámetro y 30 cm. alta. Sus extremos deben ser perfectamente plano y se coloca entre las platinas de la máquina sin el intermediario de placas hechas de materiales compresibles. La resistencia a la compresión así obtenido es igual a aproximadamente 80% de la resistencia obtenido con especímenes cúbicos en uso.

Para la realización de la prueba de compresión diametral, que hemos adoptado las mismas probetas cilíndricas, modificando sólo su posición entre las platinas de la máquina de ensayo.

II - Un nuevo método para determinar la resistencia a la tracción de los hormigones. –
(por Fernando Luis Lodo Carneiro)

1) Histórico.

El nuevo método para determinar la resistencia a la tracción de los hormigones fue sugerido por ensayos de compresión diametral sobre los rodillos de soporte hechas de tubos de hierro fundido rellenos de hormigón. Hemos verificado el hecho de que el primer signo de ruptura en estos rodillos consistió de una grieta a lo largo del plano diametral vertical que contiene los dos generadores de contacto del rodillo con los platos de la prensa. La tensión de tracción normal, a este plano, calculado de acuerdo con la teoría de la elasticidad de la carga correspondiente al inicio de esta grieta, coincide más o menos con la mitad de la "resistencia a la tracción a través de la flexión" del hormigón utilizado.

2) Distribución de tensiones en un cilindro sometido a compresión diametral.

La investigación de la distribución de la tensión en una placa circular bajo la acción de dos fuerzas diametralmente opuestas (estado plano de estrés) o en un cilindro bajo la acción de tensiones de compresión distribuida de manera uniforme a lo largo de los dos generadores ubicados en el mismo plano por Hertz (estado plano de la deformación) inicialmente ha sido hecha por Hertz (véase:.. Föppl "und Drang Zwang" 53; Timoshenko "Teoría de la Elasticidad" capítulo III n.º 33, Max F. Frocht "fotoelasticidad" capítulo III, 5-10).

Tensiones unitarias se pueden obtener en cualquier punto por la suma de los tres componentes; las tensiones uniformemente distribuidas-causadas por una fuerza que actúa sobre un semiplano que irradia de las dos fuerzas de compresión diametralmente opuestos el uno al otro a lo largo del límite circular. Estos esfuerzos tienen el valor:

$$\frac{2}{\pi} \frac{P}{DL}$$

P es la fuerza de compresión total de
D el diámetro
L la longitud del cilindro

Como resultado de todo esto, tenemos a lo largo de todo el plano diametral donde los generadores en el que los actos de compresión se ubican a la tracción distribuida uniformemente tensiones normales a la misma e igual a:

$$\sigma_1 = \frac{2}{\pi} \frac{P}{DL}$$

En cualquier punto de este plano diametral, el otro esfuerzo principal es un esfuerzo de compresión que tiene por valor:

$$\sigma_2 = \frac{2}{\pi} \frac{P}{DL} \left(1 - \frac{1}{r/D} - \frac{1}{1 - r/D} \right)$$

(siendo r la distancia del generador de contacto más cercano a él). Este estrés se incrementa a medida que se aleja del centro, donde tiene el valor:

$$-3\sigma_1$$

y es el generador de contacto se acercó a donde tiene el valor:

$$-\infty$$

En realidad, el contacto no se realiza a lo largo de la línea del generador. Hay una banda de contacto con los platos de la máquina de pruebas que tiene una anchura a .

Esto provoca una perturbación local de esfuerzos en las proximidades de la zona de contacto y el valor máximo de la tensión principal de compresión (asumiendo una distribución uniforme de la presión) es:

en lugar de
$$-\frac{P}{DL}$$

$$-\infty$$

En cuanto a la tensión principal, disminuye en la campana neighbor de la zona de contacto, se convierte en cero y cambia de signo cada vez un esfuerzo de compresión (ses fig. 1). El cálculo de esta perturbación local mientras hacía fácilmente, excedería el alcance de este documento.

Las fórmulas para tensiones principales a lo largo de todo el plano diametral (. Con suficiente aproximación, si $a = 0,1 D$) son los siguientes:

$$\sigma_1 = \frac{2}{\pi} \frac{P}{DL} \left(1 - \frac{D}{2a} (\varphi - \sin \varphi) \right)$$

$$\sigma_2 = \frac{2}{\pi} \frac{P}{DL} \left(1 - \frac{D}{2a} (\varphi - \sin \varphi) - \frac{1}{1 - r/D} \right)$$

donde,
$$\varphi = 2 \operatorname{arctg} (a/2r)$$

Aunque la anchura de la banda de contacto es muy pequeña, sin embargo, se verificó que a lo largo de casi toda la superficie del plano diametral, los esfuerzos de tracción normal que tienen el valor:

$$\frac{2}{\pi} \frac{P}{DL}$$

Probablemente, estos resultados son válidos hasta la ruptura, aunque esto nos saca de la teoría de la elasticidad. De hecho, la distribución de la tensión a la tracción es de la uriform principio y las tensiones de compresión en la rotura son muy pequeñas (excepto en la vecindad inmediata de la zona de contacto).

3) La rotura de cilindros de hormigón sometido a compresión diametral.

La teoría de la ruptura que mejor se explica los fenómenos en el caso del hormigón es una combinación de la teoría principal de la tracción del esfuerzo máximo y de la teoría de la fricción interna de Coulomb.

Hay una zona en la que, a pesar de la coexistencia de una tensión principal de compresión, la rotura se produce siempre por separación a lo largo de un plano normal a la de la fuerza de tensión principal y ocurre en el momento en que esta tensión alcanza la resistencia a la tracción de hormigón.

El director de la tensión de compresión puede llegar a un valor igual a aproximadamente 5 veces la fuerza de tensión principal, sin tener influencia en la ruptura. Por lo tanto, en esta área, se verifica la teoría de la máxima tensión de tracción director.

Los cilindros de los materiales dúctiles (de acero) cuya resistencia a la tracción y resistencia a la compresión son iguales cuando son sometidos a la compresión diametral, se rompen por el deslizamiento en la vecindad de las zonas de contacto.

Al contrario de lo que sucede en este caso los cilindros de materiales frágiles (hormigón), cuya resistencia a la tracción es mucho menor que su ruptura resistencia a la compresión a través del efecto de los esfuerzos de tracción a lo largo de todo el plano diametral donde se encuentran los generadores de contacto, en el momento cuando estas tensiones llegar a la resistencia a la tracción del material. La superficie de ruptura es precisamente este último plano. En la vecindad de las zonas de contacto, hay un estado de tensión triaxial, cuyos tres tensiones principales son la compresión. El intermedio estrés en el valor que es paralelo al eje de la (estado plano de deformación) del cilindro. Aunque los valores de las tensiones de compresión son muy alto, la ruptura no se manifiesta en esta área por deslizamiento (como puede ser verificado por medio del círculo de Mohr) . Estas consideraciones constituyen la base teórica del nuevo método propuesto.

4) Método de prueba.

Por lo tanto, en el nuevo método, el hormigón cilíndrico (o mortero) muestra se coloca horizontalmente entre los platos de la prensa con el fin de someterlo a la compresión diametral.

Como por lo general los generadores no son líneas rectas perfectamente, cuñas de madera que tienen una sección cuadrada, dimensiones de menos de 0,1 D y una longitud igual a la de la muestra tiene que ser insertado.

La carga de compresión debe aumentarse gradualmente hasta la rotura, lo que ocurre de una manera repentina. La resistencia a la tracción del hormigón se calcula entonces por la fórmula: en el que

P = rotura de carga,

D = diámetro de la probeta,

L = longitud de la muestra

$$\sigma_r = \frac{2}{\pi} \frac{P}{DL}$$

.....

Anexo 3. Tabla de conos.

3.1 Se presenta tabla de conos en centímetros para las 20 mezclas en estudio.

HF (MPa)	Tamaño máximo nominal del árido (mm)			
	5	12	20	40
3,0	12,0	8,5	10,5	9,5
3,5	11,5	8,5	11,0	8,5
4,0	12,0	10,0	8,5	12,0
4,5	10,5	12,0	12,0	10,5
5,0	11,0	11,5	11,0	8,5