

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXÁCTAS FÍSICAS Y NATURALES



ASIGNATURA: PRÁCTICA SUPERVISADA
EXTRACCIÓN, ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE Y ANÁLISIS DE
RESULTADOS DE TESTIGOS DE HORMIGÓN DE DIFERENTE DIÁMETRO

Alumno: Joaquín Daniele

Tutora: Patricia Irico

Supervisor externo: Jorge Pagliero



RESUMEN

En el presente trabajo se planteó estudiar el cambio de los resultados de ensayos a compresión simple, de testigos de hormigón a través de la modificación del diámetro de los mismos.

Para ello se siguió el reglamento CIRSOC 201, capítulo 4 y la norma IRAM 1551.

Se extrajeron y ensayaron: veinte testigos con diámetros de 63mm y 94mm (10 de cada diámetro) de un hormigón de moderada edad, con resistencia característica 35 Mpa y tamaño máximo de agregado de 19mm; veinticuatro testigos con diámetros de 46mm, 63mm y 94mm (10, 10, y 4 respectivamente) de otro de elevada edad, resistencia característica desconocida y tamaño máximo del agregado 13mm; y finalmente treinta testigos con diámetros de 46, 63mm y 94mm (10 de cada diámetro) de uno de temprana edad, resistencia característica 21 Mpa con tamaño máximo de agregado 9.5mm.

A raíz de los resultados se concluyó que a medida que el diámetro de los testigos aumenta, lo hace su resistencia.

Además se encontró que existe una correlación entre la relación diámetro del testigo-tamaño máximo del agregado y la resistencia del testigo-resistencia del hormigón. En donde se puede observar que:

- A medida que la relación diámetro del testigo-tamaño máximo del agregado es grande, la variabilidad de los resultados es menor.
- A medida que aumenta la relación diámetro del testigo-tamaño máximo del agregado, aumenta la relación resistencia del testigo-resistencia del hormigón.

Este comportamiento se fundamenta en que mientras mayor es la relación diámetro del testigo- tamaño máximo del agregado, el testigo es más homogéneo y la influencia negativa del agregado en los resultados es menor.



ÍNDICE

RESUMEN.....	2
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	5
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA	6
EL LABORATORIO	7
LA EMPRESA	8
CAPÍTULO II: VARIABLES O FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS RESULTADOS DEL ENSAYO	10
GENERALIDADES.....	10
VARIABLES QUE INFLUYEN EN LOS RESULTADOS DE ENSAYO.....	10
CAPÍTULO III: CONSIDERACIONES DEL REGLAMENTO CIRSOC 201. CAPÍTULO 4. APARTADO 4.4	21
INTRODUCCIÓN	21
VERIFICACIONES A REALIZAR CUANDO UN LOTE NO POSEE LA RESISTENCIA POTENCIAL ESPECIFICADA	21
ASPECTOS DE NORMA IRAM 1551	22
ASPECTOS DE NORMA IRAM 1546.....	25
CAPÍTULO IV: TESTIGOS DE HORMIGÓN. CONSIDERACIONES PARA LA EXTRACCIÓN, PREPARACIÓN Y ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE	28
INTRODUCCIÓN	28
EQUIPO PARA EXTRACCIÓN DE TESTIGOS.....	28
PREPARACIÓN DE BASES Y ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE	30
CAPÍTULO V: EXTRACCIÓN DE TESTIGOS EN BLOQUES	34
INTRODUCCIÓN	34
CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES.....	34
EXTRACCIÓN DE TESTIGOS.....	36



RESULTADOS DE ENSAYOS	38
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	39
CAPÍTULO VI: EXTRACCIÓN DE TESTIGOS EN COLUMNA	48
INTRODUCCIÓN	48
CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA	48
EXTRACCIÓN DE TESTIGOS	50
RESULTADOS DE ENSAYOS	52
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	53
CAPITULO VII: EXTRACCIÓN DE TESTIGOS EN LA LOSA	60
INTRODUCCIÓN	60
CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA	60
HORMIGONADO DE LOSA	61
RESULTADOS DE ENSAYOS	69
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	70
CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS FINAL DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES	79
INTRODUCCIÓN	79
ANÁLISIS FINAL	79
ANEXO- PLANOS	84
BIBLIOGRAFÍA	85



CAPÍTULO I: GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de realizar mis Practicas Profesionales Supervisadas se solicitó a la empresa Hormi-Block la posibilidad de trabajar conjuntamente con ellos debido a que actualmente formaba parte del grupo de trabajo del Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

Este trabajo surge como respuesta a ciertas inquietudes que terceros presentaban (entre ellos Hormi-Block) de cómo cambian, con relación a la resistencia, los resultados de testigos de hormigón sometidos a ensayos de compresión modificando el diámetro de los mismos.

Para ello se planteó realizar la extracción de testigos de hormigón con diferentes diámetros para posteriormente hacer un estudio final de los resultados y analizar la posibilidad de encontrar factores de correlación entre los resultados de ensayo sobre testigos de distintos diámetros, extraídos de un mismo hormigón.

Para ello se definieron tres elementos de donde extraer testigos de hormigón: una columna que se encontraba en el Laboratorio de Estructuras, bloques de hormigón, y una losa realizada especialmente para la investigación.

Así, se decidió extraer: veinte testigos de los dos bloques de hormigón de resistencia característica 35 Mpa con diámetros de 63 mm y 94 mm (10 de cada diámetro). Veinticuatro testigos de la columna de hormigón con diámetros de 46 mm, 63mm y 94mm (10, 10 y 4 respectivamente). Y treinta testigos de la losa de hormigón



de resistencia característica 21 Mpa con diámetros de 46, 63mm y 94mm (10 de cada diámetro).

Por último se realizó un estudio final de los resultados para analizar la posibilidad de encontrar factores de correlación entre los resultados de ensayo sobre testigos con distintos diámetros, extraídos de un mismo hormigón.

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA

Se ha planteado para el desarrollo de la presente Práctica Supervisada cumplir con los siguientes objetivos personales, profesionales y del trabajo en particular.

- **Objetivos personales y profesionales**
 - Lograr interactuar permanentemente con un grupo de profesionales afines a la Ingeniería e idóneos de la materia.
 - Lograr un desarrollo personal y profesional en un ámbito de trabajo cotidiano y principalmente comprender la importancia del desarrollo personal y su correlación con el desarrollo profesional durante la actividad de trabajo.
 - Aplicar y profundizar los conceptos adquiridos durante el desarrollo de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.
 - Estudiar, analizar e interpretar normas y especificaciones técnicas.
 - Comprender las responsabilidades que conlleva el desarrollo de una actividad.
 - Lograr plasmar todos los resultados y consideraciones en una memoria de Ingeniería, realizar los informes técnicos necesarios y transmitir los resultados obtenidos a otros profesionales y técnicos.
- **Objetivos generales**

El objetivo de esta práctica supervisada es el análisis de los resultados de ensayo a compresión simple en testigos de hormigón de diferente diámetro.



- **Objetivos específicos**

Extraer 20 testigos de dos bloques de hormigón de resistencia característica de 35 Mpa con diámetros de 63 mm y 94 mm (10 de cada diámetro), someterlos a ensayo de compresión y analizar resultados para encontrar correlaciones.

Extraer 24 testigos de una columna de hormigón con diámetros de 46 mm, 63mm y 94mm (10, 10 y 4 respectivamente), someterlos a ensayo de compresión y analizar resultados para encontrar correlaciones.

Extraer 30 testigos de una losa de hormigón de resistencia característica de 21 Mpa provista por la empresa Hormi-block con diámetros de 46, 63mm y 94mm (10 de cada diámetro), someterlos a ensayo de compresión y analizar resultados para encontrar correlaciones.

Realizar un estudio estadístico final de los resultados para analizar la posibilidad de encontrar factores de correlación entre los resultados de ensayo sobre testigos distintos diámetros, extraídos de un mismo hormigón.

EL LABORATORIO

El Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba; forma parte del Departamento de Estructuras de la misma institución. Esta dirigido a la investigación aplicada y a la realización de ensayos sobre materiales que intervienen en la construcción. Esta dependencia constituye un centro de vinculación entre la Universidad y terceros.

Las funciones del mismo son:

- Asistir a las áreas de docencia, investigación y servicios a terceros en la ejecución de trabajos experimentales y de aplicación de teorías conocidas.
- Capacitar y aconsejar a docentes e investigadores en el manejo de técnicas experimentales.
- Formar profesionalmente a estudiantes de ingeniería a través de un régimen de becas rentadas.
- Intercambiar información y experiencias con Laboratorios de otras partes del país, para fomentar el desarrollo de técnicas experimentales.



Figura 1.1 Laboratorio de estructuras Universidad Nacional de Córdoba.

LA EMPRESA

Hormi-Block es una empresa que se encuentra radicada en la ciudad de Córdoba, dedicándose a la elaboración y transporte de Hormigón elaborado.

Esta cuenta con dos plantas hormigoneras: una en zona sur (casa central) y la restante en zona norte de Córdoba capital.

Se puede destacar que dicha empresa cuenta además con un área técnica, un laboratorio con adecuado equipamiento para realizar ensayos de rutina e investigación sobre áridos y hormigón en estado fresco y endurecido, permitiendo así, garantizar calidad y seguridad del producto final elaborado.

EXTRACCIÓN, ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE
TESTIGOS DE HORMIGÓN DE DIFERENTE DIÁMETRO



Figura 1.2 Zona de elaboración de hormigón empresa Hormi-Block.



CAPÍTULO II: VARIABLES O FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS RESULTADOS DEL ENSAYO

GENERALIDADES

El ensayo a compresión de testigos es el método más directo para determinar la resistencia a la compresión de un determinado hormigón.

Las probetas moldeadas normalizadas a diferencia de los testigos, no representan exactamente el hormigón en la estructura. Esto se debe a que hay diferencias (entre las probetas y el hormigón de la estructura) en cuanto a las condiciones de colocación, compactación y curado.

En la extracción de testigos para el ensayo a compresión se pueden evaluar las siguientes características y propiedades del hormigón que se colocó:

- La calidad del hormigón suministrado para la estructura (resistencia potencial)
- La calidad del hormigón en la estructura (resistencia in-situ)
- Evaluación del estado de una estructura

Las especificaciones del reglamento (Cirsoc 201, capítulo 4, apartado 4.4) se verán con más detenimiento en el capítulo siguiente.

Los procedimientos de extracción, preparación y ensayo de testigos están contemplados en la norma IRAM 1551-83.

VARIABLES QUE INFLUYEN EN LOS RESULTADOS DE ENSAYO

Los resultados del ensayo de resistencia a compresión de los testigos pueden verse influidos por varias variables. Estas fueron determinadas por diversos estudios asociados al tema. Entre las más importantes se puede mencionar:

- Diámetro del testigo.
- Dirección de extracción en relación con la dirección de hormigonado.
- Estado de humedad al momento del ensayo.
- Esbeltez del testigo.
- Existencia de armadura en el testigo.



- Edad del testigo.
- Centrado del testigo.

Existen otras variables o factores que influyen en la resistencia a compresión y que son intrínsecas de los testigos. Entre ellas están:

- El efecto producido por la extracción y corte. El cual puede generar un cierto nivel de daño en el hormigón del testigo y producir la aparición de micro fisuras que traen como consecuencia el debilitamiento de los áridos gruesos que termina alterando el resultado.
- Las condiciones de contorno, las cuales se manifiestan como irregularidades en la superficie lateral de los testigos, provocadas por la sonda de extracción y que reducen la resistencia.
- El efecto escala generado por la influencia que tienen las dimensiones del testigo sobre la de los componentes del hormigón.
- **Influencia en la dirección de extracción en relación con la dirección de hormigonado.**

La mayoría de los estudios arrojan que los testigos extraídos en la dirección de hormigonado pueden ser más resistentes que los testigos extraídos en la dirección perpendicular.

Delibes (1974) obtiene una resistencia media inferior al 5% en los testigos extraídos en la dirección perpendicular al hormigonado con respecto a los testigos en la dirección paralela a la de hormigonado. Este autor concluye que esta cierta influencia en la dirección de extracción de testigos con relación a la de hormigonado existe. Y, si bien es pequeña, en muchos casos está del lado de la seguridad.

Johnston (1973), citado en la norma del Instituto de Concreto Americano, señala que algunas burbujas de aire que se localizan debajo del árido grueso, causadas por la exudación, pueden reducir la resistencia a compresión transversal. Es por ello que la resistencia de testigos en la dirección paralela a la de hormigonado es levemente mayor que en la dirección perpendicular.



Otros investigadores como Petersons (1964) y Bungley & Millard (1996) obtienen como resultados que la diferencia entre un sentido y otro es del orden del 8 al 3% y señalan que este efecto no se presenta en hormigones con áridos ligeros.

A continuación se muestra una tabla que resume las investigaciones realizadas en el tema:

Fuente	Año	$f_{c,v}/f_{c,H}$
Bloem*	1958	1.15
Petersons	1964	1.12
Meininger	1968	1.07
Graham*	1969	1.07-1.09
Johnston*	1973	1.08
Delibes	1974	1.05
Munday & Dhir	1974	1.08
Bungey	1979	1.10
Kasai & Matui**	1979	1.04
Keiller	1984	0.98 >1.00
The Concrete Society BS 6089:1981 BS 1881: 1983	1987	1.08
Yip & Tam	1988	1.08 1.04
Leshchinsky	1990	0.97 1.03 1.04 1.01
Addis	1992	1.08
F. Cánovas	2007	1.05

* Citado por Neville (1995).

Tabla 2.1 Valores obtenidos en diferentes investigaciones de relaciones entre resultados en dirección paralela y perpendicular a la de hormigonado. Fuente: Tesis doctoral: "Ensayos de información y extracción de probetas testigos en hormigón auto-compactante" Ing. Lina Marcela Rojas Henao.



Fcv: Resistencia de los testigos en dirección paralela a la de hormigonado.

Fch: Resistencia de los testigos en dirección perpendicular a la de hormigonado.

La norma IRAM 1551-83 de *“Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido”* no establece factores de corrección por dirección y al respecto solo señala que (apartado 4.3-4.3.1): *“Los testigos que se extraigan en dirección perpendicular a una superficie horizontal tendrán, en lo posible, sus ejes longitudinales perpendiculares a la capa de asiento del hormigón tal como fue originariamente colocado. Los testigos no se extraerán cerca de las juntas de la estructura o de los bordes de los elementos estructurales”*.

Otras normas como la americana señala (ACI 214.4R-10) lo mencionado por Johnston.

La norma británica (BS 6089) establece factores de corrección, adoptando factores de corrección de resistencia de 0.92 para el caso de testigos extraídos en la dirección perpendicular a la de hormigonado.

Mientras que la norma Europea (UNE-EN 12504-1) no establece ningún tipo de factor y establece especificaciones similares a la IRAM.

- **Influencia de las condiciones de humedad del testigo en el momento del ensayo**

La mayoría de los investigadores han comprobado que la resistencia a compresión del hormigón es mayor si disminuye el grado de saturación. Esta diferencia esta cuantificada en el rango del 10 al 20% entre hormigón seco y el saturado. Algunos expertos consideran que la condición de testigos saturados es más fácil de reproducir que la de testigos secos porque estos pueden haber sido sometidos a varios grados de secado del hormigón, dependiendo de las condiciones ambientales predominantes del hormigón donde está ubicada la estructura, grado de asoleamiento de la estructura y edad del hormigón.

Otros consideran ensayar los testigos con las condiciones de humedad de extracción, dado que es menester conocer la resistencia real de la estructura para su evaluación.

Estudios de diversos investigadores dieron los siguientes resultados



Fuente	Año	$f_{c,SEC}/f_{c,SAT}$
Petersons	1964	1.2
Bloem	1968	1.10 a 1.25
Ortiz & Díaz*	1973	1.2
Delibes	1974	1.2
Calavera	1975	1.10 a 1.15
Kasay & Matui*	1979	1.08
Neville	1995	1.10 a 1.14
Yuan	1991	1.13
Mehta	1993	1.20 a 1.25
Calavera	1994	1.06 a 1.17
Bartlett & MacGregor	1994	1.10 a 1.14
UNE-EN 13791	2009	1.10 a 1.15

* Citado por Cañas (1997).

Tabla 2.2 Valores obtenidos en diferentes investigaciones de relaciones entre resultados de testigos secos y saturados. Fuente: Tesis doctoral: “Ensayos de información y extracción de probetas testigos en hormigón auto-compactante” Ing. Lina Marcela Rojas Henao.

La norma IRAM 1551-83 de “Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido” establece al respecto (apartado 5.3.3): “Si en las condiciones de servicio, el hormigón en el lugar de donde se realiza la extracción estuviese seco, los testigos se mantendrán durante 48 h en ambiente de laboratorio (temperatura comprendida entre $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), y se los ensayará a compresión con la humedad resultante de este tratamiento” (apartado 5.3.3.1).

“Si, en las condiciones de servicio, el hormigón de la estructura estuviese más que superficialmente humedecido, los testigos se sumergirán en una solución saturada de hidróxido de calcio, a temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante como mínimo las 40 h anteriores al momento del ensayo” (apartado 5.3.3.2).

La norma Americana ACI 214.4R-10 basada en los datos de Neville(1981) y Barlett & MacGregor (1994) indica que la resistencia de los testigos secos es en promedio un 10 a 14% mayor que los saturados.

La norma Inglesa BS-1881 Part 4, difiere de las demás al no hacer referencia a los testigos secados al aire y solo especifica que los testigos deberán estar saturados por



inmersión en agua a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante un periodo mínimo de 48 hs antes del ensayo.

La norma Europea actual UNE-EN 12504-1 señala que si se exige ensayar probetas saturadas, se debe sumergir la probeta en agua a $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ al menos durante 40 hs previas al ensayo. Así mismo la norma en su anexo indica que si el elemento de donde se extrae testigos esta bajo condiciones de saturación, los testigos deberán ensayarse en estado saturado. Y de modo similar si la estructura se encuentra en condición de seca los testigos se deberán ensayar en condiciones secas.

- **Influencia de la esbeltez del testigo en el momento del ensayo**

Generalmente los testigos son ensayados a compresión presentando valores de la esbeltez $\lambda=l/d$ similares a los que tiene las probetas de hormigón moldeadas para ensayos a compresión.

Los estudios realizados arrojan como resultados que a medida que la esbeltez de los testigos disminuye, mayor es su resistencia. Esto se debe a que en el proceso de compresión de los mismos, se produce un confinamiento lateral por la fricción entre los platos de la máquina y la superficie de la probeta haciendo una especie de efecto de zunchado que produce un aumento de la resistencia cuando menor es la esbeltez.

En general en todas las investigaciones realizadas hay un consenso que a medida que aumenta la esbeltez la resistencia obtenida es menor.

No obstante es importante destacar lo siguiente: los factores de corrección por esbeltez dependen del nivel de resistencia del hormigón (Munday & Dhir, 1984 y Barlett & MacGregor, 1994), estos disminuyen a medida que aumenta la resistencia del hormigón.

A continuación se muestran los factores de corrección de diferentes normas extranjeras:



Relación altura/diámetro λ	UNE 83- 302-84 ¹	ASTM C42/C 42M	BS 1881
2.00	1.00	1.00	1.00
1.75	0.98	0.98	0.97
1.50	0.96	0.96	0.92
1.25	0.94	0.93	0.87
1.10	0.90	-	-
1.00	-	0.87	0.80

Tabla 2.3 Valores de ajustes por relación altura diámetro de diferentes normas internacionales. Fuente: Norma UNE 83-302-84, Norma ASTM C42/C 42M, Norma BS1881.

Al respecto la norma IRAM 1551-83 de “Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido” establece: “Los testigos a ensayar tendrán una razón de esbeltez h/d comprendida entre 2 y 1” (apartado 5.3.4.5) y además establece una tabla con factores de corrección en caso de que la esbeltez de los testigos sea menor que 2 pero mayor a 1. “Si la razón entre la altura y el diámetro medio del testigo fuese menor que dos, la resistencia específica de rotura a la compresión obtenida según 5.3.5, deberá corregirse multiplicándola por el factor que se indica en I tabla 1, redondeando el resultado al 0,1 MPa mas próximo” (apartado 5.3.6.1).

Esbeltez h/d	Factor de corrección
2,00	1,00
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Tabla 2.4 Valores de ajustes por relación altura diámetro. Fuente: Norma IRAM 1551 “Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido”.



- **Influencia de la existencia de armadura embebida en el testigo y su posición**

La presencia de armadura puede generar inconvenientes para la extracción de testigos en piezas de hormigón armado, siendo el más importante de ellos el de la presencia de armadura en la zona de extracción. Existen equipos electromagnéticos conocidos como “pachómetros”, que permiten detectar la localización de las barras para evitar que se corten armaduras situadas en la zona de extracción, pero se pueden presentar casos en que los elementos tienen una alta densidad de armaduras y existe riesgo de extraer testigos con armadura en su interior. En el caso de que quede embebido algún trozo de armadura en el testigo es posible cortar la sección del testigo de tal forma de eliminar dicha armadura siempre y cuando se mantenga la esbeltez indicada por norma.

La mayoría de las investigaciones, normas y recomendaciones internacionales coinciden en que los ensayos que se realicen sean sin la presencia de armaduras y en caso contrario se apliquen algunos factores de corrección de la resistencia.

Diferentes investigaciones concluyen que la presencia de armadura en el sentido perpendicular al eje (en posición horizontal) y sobre los extremos de los testigos dan una disminución general de la resistencia, la cual es mayor si la armadura se encuentra en la parte central del testigo.

Por otro lado es importante destacar que la presencia de armadura en el sentido del eje del testigo no se puede despreciar ya que producen aumentos en la resistencia, similar (aunque en menor medida) para el caso de armaduras inclinadas.

Al respecto la norma IRAM 1551-83 de “*Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido*” establece: “*Los testigos deben ser íntegros y no tener materiales extraños al hormigón, tales como pedazos de madera, barras de acero, etc. Pueden aceptarse testigos que contengan barras de acero en dirección ortogonal a su eje cuya área de sección no exceda el 4% del área de la sección transversal del testigo, solamente para los casos en que se ensaye a la compresión*” (apartado 4.2.1).

“*En caso necesario, de los testigos destinados a ser ensayados a la compresión, se eliminarán las barras incluidas, o se reducirá la altura del testigo, pero la relación de*



esbeltez final entre la altura h y el diámetro transversal d , es decir, h/d debe ser igual o mayor que uno” (apartado 4.2.2).

Otras normas como la británica BS 6089 recomiendan que se hagan esfuerzos necesarios para obtener los testigos sin armaduras y en caso de que no sea posible especifica algunas correcciones tanto para 1 barra embebida como para varias y establece que estas serán tenidas en cuenta siempre que la corrección se encuentre entre un 5 y 10%.

La norma americana ACI 214.4R-10 señala que se debe evitar que los testigos contengan armadura incrustadas en su interior ya que pueden influir en el resultado del ensayo.

La norma europea UNE-EN 12504-1 también advierte que en lo posible se evite la extracción de testigos con armadura y especifica que para determinar la resistencia a compresión los testigos no podrán tener armadura en la dirección del eje longitudinal o cercano.

- **Influencia de la edad del hormigón**

La resistencia del hormigón se desarrolla y crece con el transcurso del tiempo. Esta cuestión está relacionada directamente con el proceso de hidratación del cemento portland.

En la figura se ve la variación de la resistencia mecánica de una mezcla con una determinada relación agua-cemento normal en función del tiempo. Se observa que la resistencia alcanza entre un 90 y 95% de su valor final a los 28 días.

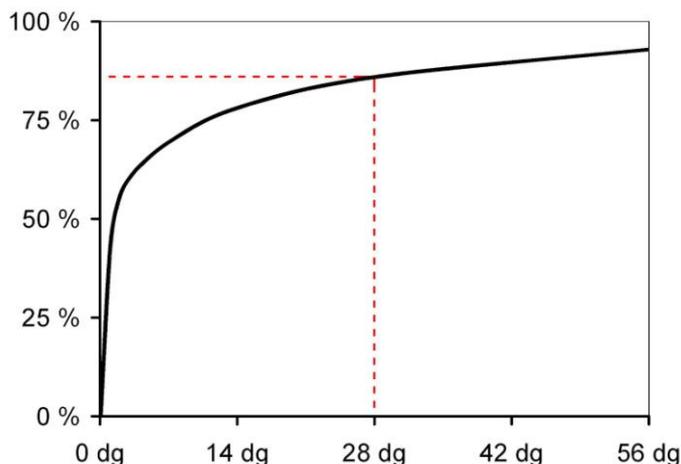


Figura 2.1 Desarrollo de la resistencia de hormigones a través del tiempo. Fuente: Notas de cátedra Tecnología de los Materiales de la Construcción. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.

Esta variable puede influir cuando se extraen testigos de diferentes elementos con misma resistencia pero diferente edad.

La norma IRAM 1551-83 de “*Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido*” establece: “*La extracción de los testigos de hormigón endurecido no se realizará antes de que el hormigón preparado con cemento portland normal tenga como mínima una edad de 14 d, a contar de la fecha de hormigonado, ni menor de 7 d, si el hormigón contiene cemento portland de alta resistencia inicial*” (apartado 4.1.1).

La norma europea UNE-EN 13791 en sus anexos A y D menciona que, en relación con la edad, la resistencia del testigo estará influida por la edad del hormigón en el momento de extracción del testigo. Además, también señala que la resistencia puede evaluarse a cualquier edad, pero que esta deberá incluirse en el informe y tenerse en cuenta si fuese necesario.

La norma americana ASTM C 42/C 42M no hace referencia a la edad del testigo.

- **Influencia del diámetro del testigo**

Las prescripciones contenidas en algunas normas (incluida la IRAM) y recomendaciones sobre los testigos de hormigón endurecido advierten que el diámetro es una de las variables que más puede afectar al resultado obtenido en el ensayo,



recomendando así que el diámetro mínimo del testigo sea al menos tres veces el tamaño máximo del árido con el que se fabricó el hormigón. De igual manera, se recomienda la utilización de diámetros iguales o superiores a 75 mm o 100 mm, aunque existen ocasiones en la que es necesario realizar la extracción de testigos de diámetro pequeño debido a una alta densidad de armaduras o por consideraciones estéticas.

El riesgo de operar con testigos cuyo diámetro sea menor que 3 veces el diámetro del agregado máximo radica en que en la operación de extracción se puede debilitar la interfase árido-pasta, trayendo como consecuencia el desprendimiento de los áridos.

Los posibles efectos que pueden causar diferencias en la resistencia a compresión en función del diámetro de los testigos son:

- El ya mencionado efecto producido por el proceso de extracción y corte, que genera microfisuras. Los testigos de menor diámetro son más susceptibles a este tipo de daño debido a que presentan mayor relación entre el área que sufre el corte y su volumen en comparación con testigos de mayor diámetro.
- El efecto volumen que está relacionado con los defectos que pueden encontrarse en un testigo. Cuanto mayor es el volumen, mayor es la posibilidad de tener más heterogeneidad en la muestra y por ende mayor probabilidad de tener zonas defectuosas. Es por ello que hay autores (Perez, 1998, Cañas, 1997, Neville, 1995) que señalan que a medida que el diámetro del testigo disminuye, aumenta la resistencia.

Es importante destacar que se han hecho muchas investigaciones acerca del tema, pero que no se ha llegado a un consenso. Algunos investigadores señalan que a medida que el diámetro del testigo disminuye aumenta la resistencia, otros señalan lo inverso.

A lo largo de este trabajo se estudiará este tema con mayor detalle y se sacarán las conclusiones correspondientes.



CAPÍTULO III: CONSIDERACIONES DEL REGLAMENTO CIRSOC 201.

CAPÍTULO 4. APARTADO 4.4

INTRODUCCIÓN

En muchos casos de la práctica profesional es necesario hacer un control del hormigón (entre otros materiales) que se está colando en obra. Esto se hace para tener una seguridad de que lo colocado tiene las mismas características que lo que se diseñó en la fase de proyecto.

Estos aspectos de control son tenidos en cuenta en la parte III dentro el capítulo IV del reglamento CIRSOC 201 que establece los criterios de control de conformidad del hormigón.

Los criterios de conformidad son las disposiciones destinadas a establecer si el hormigón que se colocó en una estructura cumple con los requisitos especificados por este Reglamento y los Documentos del Proyecto. El control de conformidad constituye el conjunto de acciones y decisiones destinadas a la recepción del hormigón, aplicando los criterios de conformidad. Se basa en la realización de ensayos normalizados que miden las propiedades del hormigón especificadas en los Documentos del Proyecto.

El reglamento establece, a través de ciertas pautas, que para verificar la resistencia especificada se moldeen probetas de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura y establece ciertos criterios de conformidad.

En caso de que un lote no posea la resistencia especificada es necesario realizar verificaciones complementarias y ahí, es cuando entra en juego la extracción de testigos.

VERIFICACIONES A REALIZAR CUANDO UN LOTE NO POSEE LA RESISTENCIA POTENCIAL ESPECIFICADA

Cuando un determinado lote de hormigón o fracción del mismo, no satisface con la resistencia especificada $f'c$, es necesario realizar verificaciones complementarias a fin de determinar la situación de ese sector de la estructura desde el punto de vista de la resistencia mecánica.

El reglamento indica proceder como sigue:



- Metodología
 - a) Acotar el lote o fracción de lote catalogado como defectuoso
 - b) Extraer testigos calados del hormigón de la estructura. La cantidad de testigos a extraer debe ser igual o mayor que el doble del número de muestras indicadas originalmente para la conformidad con la resistencia especificada en cada lote.
 - c) Los testigos calados deben ser extraídos en lugares que no afecten la estabilidad de la estructura, conforme norma IRAM 1551.
 - d) Los testigos calados se ensayan a compresión, según norma IRAM 1546.
 - e) El diámetro de los testigos debe ser igual o mayor que tres (3) veces el tamaño máximo del agregado grueso del hormigón y no menor que 7,5 cm. La relación altura/diámetro debe ser en lo posible igual a dos (2) y nunca menor de uno (1).

ASPECTOS DE NORMA IRAM 1551

Ya que el reglamento CIRSOC refiere a la norma IRAM 1551 para efectuar los procedimientos de extracción a continuación se destacan las consideraciones más importantes de la misma y que están relacionadas con el trabajo a realizar:

1) Muestreo. Extracción de testigos (apartado 4.1.2).

Los testigos que se extraigan para realizar ensayos no tendrán defectos, ni deben ser perjudicados en forma alguna durante el proceso de extracción. Los testigos defectuosos no serán ensayados.

2) Muestreo. Testigos con armaduras (apartado 4.2.1).

Los testigos deben ser íntegros y no tener materiales extraños al hormigón, tales como madera, barras de acero, etc. Pueden aceptarse testigos que contengan barras de acero en dirección normal al eje cuya área no exceda el 4% del área de la sección transversal del testigo, solamente para los casos en que se ensaye a compresión.

3) Muestreo. Forma de extracción (apartado 4.3.1 y 4.3.2).



Los testigos no se extraerán cerca de las juntas de la estructura o de los bordes de los elementos estructurales. Su ubicación siempre que sea posible se establecerá en el centro del elemento y nunca en las proximidades de una junta o borde.

- 4) Testigos cilíndricos. Resistencia a la compresión. Dimensiones de los testigos (apartado 5.3.1).

Los diámetros de los testigos cilíndricos que se empleen para determinar la resistencia a compresión, serán como mínimo 3 veces mayores que el tamaño máximo nominal del agregado grueso contenido en el hormigón. Antes de la preparación de la base de ensayo deberán tener una altura mayor que 0.95 del diámetro.

- 5) Testigos cilíndricos. Resistencia a la compresión. Preparación de las bases de los testigos (apartado 5.3.2).

Las bases de los testigos que deban ensayarse a compresión serán esencialmente lisas y planas, perpendiculares al eje longitudinal y del mismo diámetro que el cuerpo del testigo. Las bases se prepararan según la norma IRAM 1553. Si fuese necesario, se aserrarán o desgastarán los extremos del testigo hasta cumplir con las especificaciones dispuestas en la norma.

- 6) Testigos cilíndricos. Resistencia a la compresión. Condiciones de humedad (apartado 5.3.3).

Si el lugar donde se realiza la extracción estuviese seco, los testigos se mantendrán durante 48 h en ambiente de laboratorio y se los ensayará a compresión con la humedad resultante del ensayo (Caso de la investigación).

- 7) Testigos cilíndricos. Resistencia a la compresión. Mediciones (apartado 5.3.4).

Se determinara la altura del testigo antes de la preparación de sus bases, según norma IRAM 1574.

Antes de realizar el ensayo, se determinará la altura del testigo con sus bases preparadas según norma IRAM 1574. Esta medida se empleará para calcular la razón de esbeltez altura/diámetro (h/d).



Se determinará el diámetro medio resultante de tres medidas tomadas en el tercio medio de la altura del testigo. Estos se medirán con una aproximación máxima de 1 mm.

Los testigos tendrán una razón de esbeltez h/d comprendida entre 1 y 2.

- 8) Testigos cilíndricos. Resistencia a la compresión. Ensayo a la compresión (apartado 5.3.5)

Los testigos se ensayaron a la compresión de acuerdo con lo especificado por la norma IRAM 1546, determinándose la resistencia específica de rotura a la compresión.

- 9) Testigos cilíndricos. Resistencia a la compresión. Cálculos (apartado 5.3.6)

Si la razón entre la altura y el diámetro medio del testigo fuese menor que dos, la resistencia específica de rotura a la compresión deberá corregirse multiplicándola por un factor que se indica en tabla 1.

Los factores de corrección indicados podrán aplicarse a testigos secos al aire o saturados, de densidades mayores que 1600 kg/m^3 y que tengan resistencias específicas de rotura a la compresión comprendidas entre 14 y 42 Mpa.

- 10) Testigos cilíndricos. Resistencia a la compresión. Informe (apartado 5.3.7)

Además de lo especificado en la norma IRAM 1546 al respecto, se incluirá la información siguiente:

- Un croquis con localización de los testigos en los elementos de la estructura.
- La altura del testigo, antes y después de realizar la preparación de sus bases.
- La resistencia específica de rotura a la compresión redondeada al 0.1 Mpa más próximo.
- La dirección de aplicación de la carga sobre el testigo, con respecto al sentido de colado del hormigón del testigo.
- Condición de humedad del testigo en el momento del ensayo, consignando si los testigos se ensayaron secos al aire, o saturados con superficie seca.
- El tamaño máximo nominal estimado del agregado grueso contenido en el hormigón del testigo.



- El tipo de estructura.

ASPECTOS DE NORMA IRAM 1546

A esta norma refiere el reglamento CIRSOC para seguir los procedimientos e indicaciones para ensayar a compresión los testigos extraídos.

El objeto de la misma es establecer el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de probetas y testigos de hormigón de cemento portland.

Algunos aspectos a resaltar de la misma se muestran a continuación:

1) Instrumental. Máquina de ensayo (apartado 3)

La máquina de ensayo podrá ser de cualquier tipo, de capacidad suficiente y cumplirá con las exigencias que se indican a continuación.

Estará provista de un sistema de regulación de aplicación de cargas tal, que estas puedan aumentarse en forma continua y sin saltos bruscos entre los límites indicados en 5.2.1.

La máquina de ensayo dispondrá de 2 platos de acero entre los cuales se comprimen las probetas sometidas a ensayo. La superficie de contacto de dichas piezas tendrán una dureza Rockwell no menor que 55 HCR y un tratamiento tal que la profundidad de la capa tratada no sea menor que 5 mm.

Las superficies de los platos que estarán en contacto con las caras de las probetas en el ensayo serán planas y estarán rectificadas. No deben presentar, respecto de una superficie plana tomada como referencia, un apartamiento mayor que 0,01 mm por cada 100 mm de diámetro de la probeta. En máquinas en uso, los platos deberán someterse a un nuevo rectificado cuando presenten un apartamiento respecto de la superficie plana que sea el doble del valor indicado.

La medida menor de la superficie de los platos será mayor en 3 % como mínimo al diámetro de la probeta por ensayar. El plato inferior tendrá marcas que sirvan de guía para su correcto centrado. En el caso de que dichas marcas estén realizadas mediante acanaladuras en su superficie del plato, la medida transversal de estas no deberá ser mayor que 1 mm.



El espesor de los platos debe ser tal que asegure su indeformabilidad durante el ensayo.

El plato superior estará montado sobre una rotula o calota esférica que permita efectuar giros no menores que 4° alrededor del eje vertical y de cualquier valor en el eje horizontal.

El centro de la esfera de la rotula debe coincidir con el centro de la superficie de apoyo del plato superior sobre la probeta de ensayo, con una tolerancia de $1/200$ de la diagonal o diámetro del plato según sea este cuadrado a circular. A su vez el centro de la rotula estará en la vertical del centro del elemento que transmite la carga a los platos, con una tolerancia de $(0,2 + h/20)$ mm, siendo h la distancia entre platos expresada en milímetros en el ensayo considerado.

La rótula tendrá un diámetro mayor que el 75 % del diámetro de la probeta por ensayar.

La lectura de cargas debe realizarse apreciando al menos el 1 % del resultado del ensayo. Ella conduce a que el resultado mínimo aceptable, sea aquel que corresponde a 100 veces la apreciación del elemento de lectura.

Para que sean válidas las lecturas obtenidas, deben estar comprendidas entre el 20 % y el 90 % de la capacidad máxima de la escala empleada.

La apreciación del elemento de lectura debe ser mayor que el 1,5 % de la capacidad máxima de la escala empleada.

En todos los casos el elemento de lectura debe disponer de un indicador de la carga máxima alcanzada.

2) Muestras para ensayo y probetas (apartado 4)

Los testigos utilizados para realizar este ensayo cumplirán lo especificado en la norma IRAM 1551.

Previo a la ejecución del ensayo, se prepararan las bases de las probetas y testigos de acuerdo con lo establecido en la norma IRAM 1553.

El diámetro de las probetas de ensayo se determina promediando las longitudes de dos diámetros normales medidos, asegurando el 0,1 mm, en la mitad de la altura del espécimen.



La altura de las probetas, incluyendo las capas de terminado, se medirán asegurando el 1 mm, procediéndose de acuerdo con lo indicado por la norma IRAM 1574.

3) Procedimiento (apartado 5)

Antes de iniciar cada ensayo, se limpian cuidadosamente las superficies planas de contacto de los platos superior e inferior de la maquina y también ambas bases de cada probeta.

Se coloca la probeta sobre el plato inferior de apoyo y se la centra sobre su superficie, tomándose como referencia las marcas indicadas en 3.1.3.3.

Al iniciarse el acercamiento de la probeta al bloque superior, la parte móvil de este se hace rotar en forma manual, con el fin de facilitar un contacto uniforme y sin choques con la base superior de la probeta.

A continuación se aplica la carga en forma continua y sin choques bruscos, de manera que el aumento de la tensión media sobre la probeta sea de 0,4 MPa/s + 0,2 MPa/s.

La carga se aplica sin variación de las condiciones indicadas en 5.2.1, hasta que la probeta se deforme rápidamente antes de la rotura. A partir de ese momento, no se deben modificar las posiciones de los mandos de la maquina hasta que se produzca la rotura. Se registran el valor de la carga máxima alcanzada, el tipo de rotura y, además, toda otra información relacionada con el aspecto del hormigón en la zona de rotura.



CAPÍTULO IV: TESTIGOS DE HORMIGÓN. CONSIDERACIONES PARA LA EXTRACCIÓN, PREPARACIÓN Y ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE

INTRODUCCIÓN

Una vez planificado (teniendo en cuenta la normativa) los lugares de donde se sacarán los testigos de hormigón, estamos en condiciones de proceder a la extracción propiamente dicha.

En el siguiente capítulo se verá todo lo asociado a los métodos de extracción, tratamiento posterior y ensayo de los testigos de hormigón extraídos.

EQUIPO PARA EXTRACCIÓN DE TESTIGOS

Los diferentes equipos para extracción de testigos están especificados en la norma IRAM 1551-83 "*Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido*".

Para este trabajo se utilizó un equipo HILTI 00-130 y otro HILTI 00-150. El mismo está formado por los siguientes elementos:

- Base.
- Riel.
- Máquina.
- Broca.
- Recipiente de agua a presión.

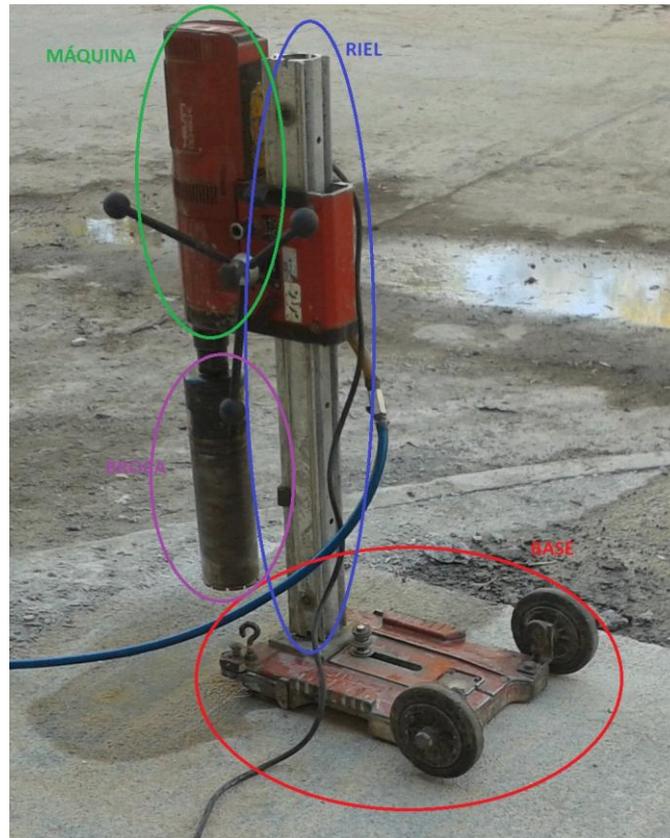


Figura 4.1 Partes componentes del equipo extractor.

Cada uno de los elementos cumple la siguiente función:

- Base: vincular el equipo a la estructura a través de un tirafondo para impedir desplazamientos durante la extracción.
- Riel: permitir el desplazamiento de la máquina y la broca para lograr la perforación.
- Máquina: hacer girar a la broca con cierta revolución de manera de lograr la perforación.
- Broca: penetrar en el hormigón. Está compuesta por unos dientes adiamantados de resistencia suficiente para la perforación.
- Recipiente con agua a presión: proveer de agua a la broca. Con esto se logra disminuir el calor por rozamiento entre la broca y el hormigón.



PREPARACIÓN DE BASES Y ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE

Ya extraídos los testigos es necesario preparar sus bases para que sean paralelas y de superficie regular. De esta manera se logra tener una distribución de cargas uniforme y así evitar concentraciones de tensiones al momento del ensayo.

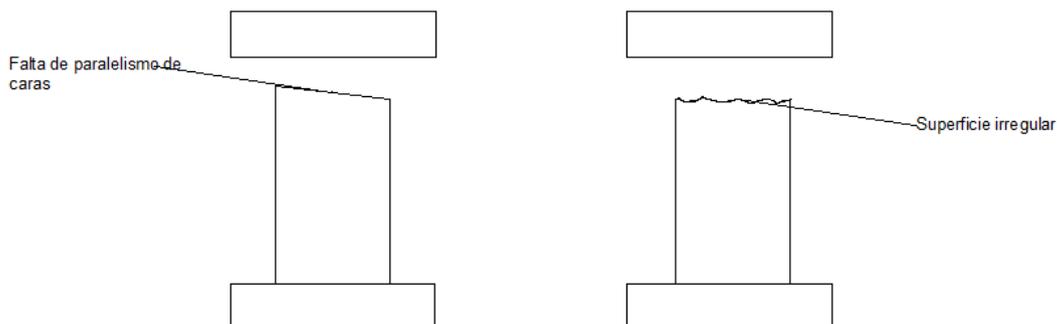


Figura 4.2 Bases no preparadas.

Las consideraciones al respecto son establecidas en la norma IRAM 1553 “Preparación de las bases de probetas cilíndricas y testigos cilíndricos, para ensayos a la compresión”.

La metodología que se siguió en los testigos extraídos de los tres elementos fue la siguiente:

- **Identificación del testigo**

Para de esta manera diferenciar unos de otros.

- **Medición de altura y diámetro del testigo**

Se hizo según norma IRAM 1574. Con esto se marcaron los lugares de corte de los testigos para que se cumpla la relación altura/diámetro.

- **Aserrado**

Ya marcados los lugares de corte, se procedió al aserrado propiamente dicho. Esto es necesario para lograr paralelismo entre las dos caras.



Figura 4.3 Testigo siendo aserrado.

- **Encabezado**

Se lo hace con la mezcla de azufre como indica la norma IRAM 1553. Es necesario para lograr una regularidad en las bases.



Figura 4.4 Testigo siendo encabezado.



- **Medición de altura del testigo encabezado.**

Se realiza con el calibre y es necesario para determinar la esbeltez de la muestra a ensayar.



Figura 4.5 Testigo siendo medido.

- **Ensayo a compresión simple.**

El procedimiento se hace como indica la norma IRAM 1546. Los testigos ya encabezados se colocan en la prensa hidráulica y se los somete a una carga perpendicular a su sección.



Figura 4.6 Testigo siendo ensayado.

Es importante tener en cuenta el centrado del testigo al momento de ensayarlo a compresión ya que pequeñas excentricidades generan momentos y el testigo en vez de estar sometido a compresión simple, se encuentra a flexo-compresión produciendo



la rotura prematura del testigo. Este efecto tiene influencia significativa en testigos de pequeños diámetros ya que se tiene menos área para distribuir las tensiones.

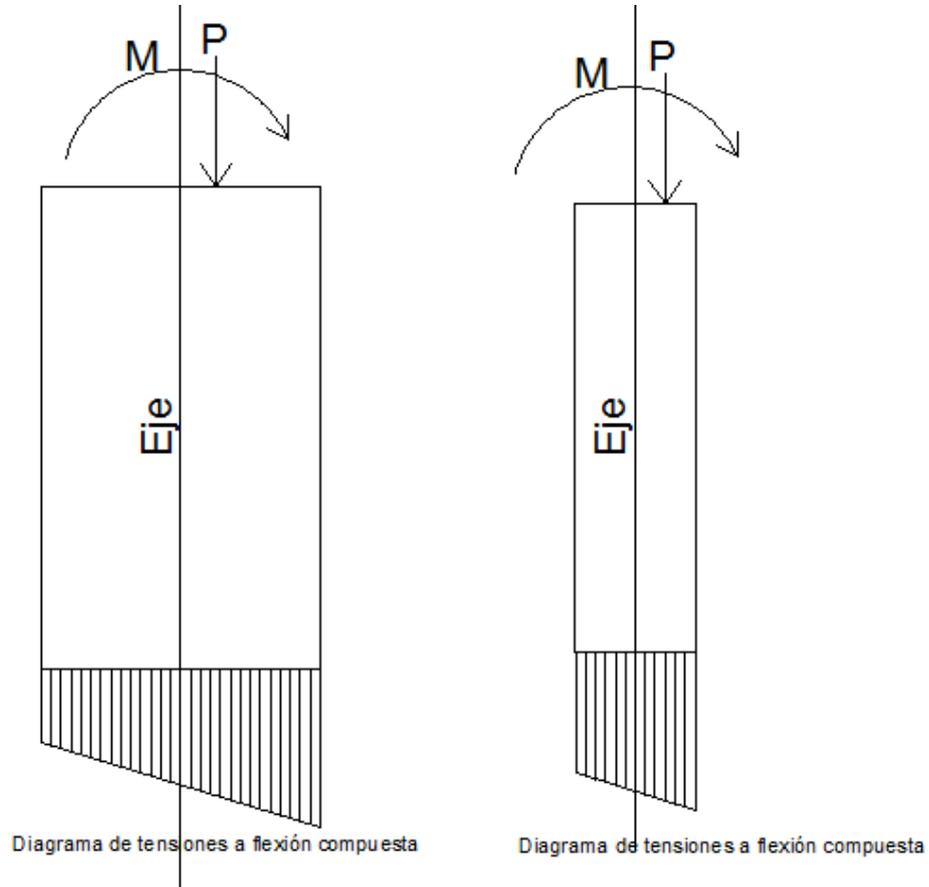


Figura 4.7 Distribución de tensiones en testigos excéntricos.



CAPÍTULO V: EXTRACCIÓN DE TESTIGOS EN BLOQUES

INTRODUCCIÓN

Como se explicó en capítulos anteriores, se dispuso de tres elementos para la extracción de testigos:

- Bloques de hormigón simple que habían sido construidos en el laboratorio.
- Columna que fue llevada al laboratorio en el año 2008 para realizar un ensayo a carga horizontal.
- Losa de hormigón efectuada especialmente para el trabajo.

En cada caso fue necesario realizar una planificación de la extracción debido a las diferencias geométricas de los elementos y a las características intrínsecas del hormigón de cada elemento.

En una correcta planificación de la extracción hay que tener en cuenta diversos factores entre los cuales se pueden mencionar principalmente los siguientes: definir diámetros de testigos, distancias entre extracciones, zonas de extracción, distancias a los bordes y cantidad de testigos a extraer. Todas estas variables están definidas, como se vio en capítulos anteriores, a través de las normativas y reglamentaciones.

CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES



Figura 5.1 Bloques donde fue realizada la extracción.

Para estimar la resistencia a la compresión simple se analizaron los ensayos de probetas de hormigón que fueron moldeadas al momento de la realización de los



bloques y se ensayaron cinco (5) probetas de hormigón que se encontraban en la cámara de curado. Con ello se obtuvieron los siguientes resultados:

IDENTIF.PROB.			FECHA DE ENSAYO	DIMENS. mm		CARGA MÁX. KN	T. ROTURA	TENSIÓN DE ROTURA		Ø1	Ø2
S/LABO	S/SOLIC			Ø	h			Mpa	(Kg/cm ²)		
LIM	IDENT.	EDAD ENS.									
0017-1	1	612	7-4-14	151.0	305	736	1	41	419	151	150
0017-2	2	9	7-8-12	151.0	307	442.5		25	252	150	152
0017-3	3	612	7-4-14	150.5	305	720.9	1	41	413	151	150
0017-4	4	9	7-8-12	151.0	307	462.2		26	263	151	151
0017-5	5	123	29-11-12	149.5	305	564.2		32	328	150	149
0017-6	6	612	7-4-14	151.0	307	721.7	1	40	411	151	151
0017-7	7	123	29-11-12	150.5	303	606.4		34	348	151	150
0017-8	8	612	7-4-14	149.5	307	693.7	1	40	403	150	149
0017-9	9	612	7-4-14	147.5	306	709.7	1	42	424	147	148
0017-12	12	9	7-8-12	149.0	305	461.3		26	270	149	149
0017-13	13	9	7-8-12	151.0	304	494.0		28	281	151	151
0017-14	14	122	29-11-12	151.5	307	616.8		34	349	152	151
0017-15	15	122	29-11-12	150.0	306	592.4		34	342	150	150

Tabla 5.1 Resultados de ensayos a compresión de probetas a diferentes edades del hormigón.

Se puede ver que se tienen resultados de las probetas a diferentes edades. De su análisis se deduce que la resistencia característica actual de hormigón es de 35 Mpa.

Para determinar la granulometría del árido utilizado en el hormigón de los bloques fue necesario realizar extracciones de testigos. En base a observaciones se determinó que poseían una granulometría de tamaño 6-19mm, de manera que el diámetro mínimo de extracción es de 48mm por lo que no es posible extraer testigos de 46 mm de diámetro.

La geometría de los bloques consistía en un cubo de 40x40x75.



Figura 5.2 Testigos extraídos en donde se puede ver que la granulometría del árido es de 6- 19mm.



EXTRACCIÓN DE TESTIGOS

Se procedió a la extracción de 20 testigos de 63 y 94 mm de diámetro (10 de cada uno) en dos bloques (10 en cada bloque).

Es importante destacar que no se tuvo en cuenta la cantidad de testigos a extraer que se menciona en el reglamento CIRSOC 201 capítulo 4 apartado 4.4 en donde se establece que *“la cantidad de testigos a extraer para realizar una verificación cuando un lote no posee la resistencia especificada debe ser del doble de la utilizada para la evaluación de la estructura”*. Se definieron 10 testigos de cada diámetro ya que la evaluación de la estructura no es objeto de este trabajo y se consideró estadísticamente aceptable esta cantidad, además de ser la mayor a poder extraer de cada bloque por cuestiones de tamaño.

Por otro lado no se cumplió lo indicado en el reglamento CIRSOC 201 capítulo 4 apartado 4.4 con respecto al diámetro mínimo de los testigos el cual indica *“El diámetro de los testigos debe ser igual o mayor que tres (3) veces el tamaño máximo del agregado grueso del hormigón y no menor que 7,5 cm. La relación altura/diámetro debe ser en lo posible igual a dos (2) y nunca menor de uno (1)”*. Esta decisión se fundamenta en el hecho de que lo que interesa, y es objeto de este trabajo, es cómo cambian los resultados con los diámetros y no se está realizando una evaluación de la estructura tal como indica el capítulo 4 del reglamento CIRSOC 201.

Cabe mencionar que se cumplen todas las especificaciones mencionadas por la norma IRAM 1551.

Así, se procedió a la extracción de testigos de hormigón de los bloques de la siguiente manera para cada bloque (Ver planos de extracción anexados):

- Cuatro (4) testigos de 64 mm de diámetro en la dirección paralela a hormigonado y uno (1) en la dirección perpendicular.
- Cuatro (4) testigos de 94 mm de diámetro en la dirección perpendicular a hormigonado y uno (1) en la dirección paralela.

En las siguientes figuras pueden verse las zonas de extracción y los testigos extraídos.



Figura 5.3 Lugares donde se realizaron las extracciones en los bloques y testigos extraídos.



Figura 5.4 Testigos extraídos de los bloques

EXTRACCIÓN, ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE
TESTIGOS DE HORMIGÓN DE DIFERENTE DIÁMETRO



Figura 5.5 Equipo extractor en funcionamiento sobre el bloque.

RESULTADOS DE ENSAYOS

Los resultados que se obtuvieron de los ensayos fueron los siguientes:

Identificación Testigo	Diámetro	Tensión de rotura corregida (Mpa)	Carga de rotura corregida (KN)	Dirección
1B1	64	34	111	Paralela
1B2	64	24	77	Paralela
1B3	64	29	99	Paralela
1B4	64	32	107	Paralela
1B7	64	35	116	Perpendicular
Promedio		31	102	

Identificación Testigo	Diámetro	Tensión de rotura corregida (Mpa)	Carga de rotura corregida (KN)	Dirección
1B5	94	32	222	Paralela
1B6	94	46	329	Perpendicular
1B8	94	41	289	Perpendicular
1B9	94	37	259	Perpendicular
1B10	94	47	330	Perpendicular
Promedio		40.6	286	

Tabla 5.2 Resultados de los testigos extraídos del bloque uno (1).



Identificación Testigo	Diámetro	Tensión de rotura corregida (Mpa)	Carga de rotura corregida (KN)	Dirección
2B1	64	35	119	Paralela
2B2	64	35	114	Paralela
2B3	64	28	89	Paralela
2B4	64	32	106	Paralela
2B8	64	47	154	Perpendicular
Promedio		36	116	

Identificación Testigo	Diámetro	Tensión de rotura corregida (Mpa)	Carga de rotura corregida (KN)	Dirección
2B5	94	33	230	Paralela
2B6	94	42	286	Perpendicular
2B7	94	39	278	Perpendicular
2B9	94	43	296	Perpendicular
2B10	94	41	291	Perpendicular
Promedio		40.00	276	

Tabla 5.3 Resultados de los testigos extraídos del bloque dos (2)

Carga de rotura corregida: carga última corregida por calibración de la prensa.

Tensión de rotura: tensión última corregida por esbeltez.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con los resultados de los ensayos se procedió a realizar un análisis estadístico de manera de determinar la resistencia para cada diámetro.

Se hizo un agrupamiento de los valores obtenidos por diámetro (46, 63 y 94mm) y a estas muestras se les gráfico un diagrama en caja para determinar valores atípicos a descartar.

Un diagrama de caja es un gráfico, basado en cuartiles, mediante el cual se visualiza un conjunto de datos. Está compuesto por un rectángulo, la "caja", y dos brazos, los "bigotes".

Es un gráfico que suministra información sobre los valores mínimo y máximo, los cuartiles Q1, Q2 o mediana y Q3, y sobre la existencia de valores atípicos y la simetría de la distribución. Primero es necesario encontrar la mediana para luego encontrar los 2 cuartiles restantes.

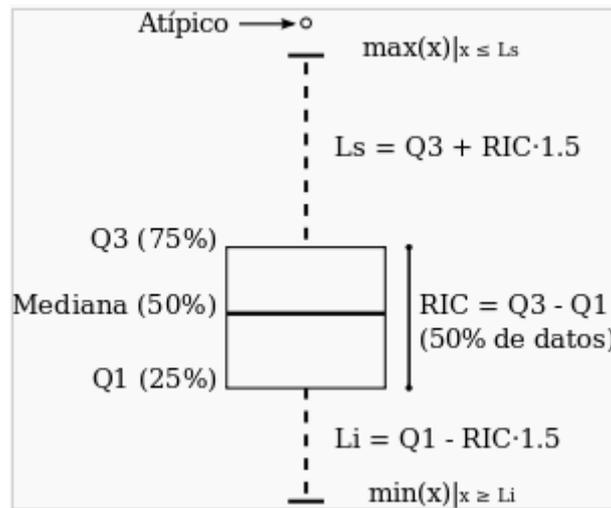


Figura 5.6 Diagrama en caja y sus partes.

El Q1 representa el 25% de los datos ordenados de menor a mayor, el Q2 o mediana el 50% y el Q3 el 75%.

El RIC (rango intercuartílico) es la diferencia de Q3 y Q1.

Se toma como límite superior e inferior (intervalo de valores admisibles), los siguientes valores:

$$Ls = Q3 + RIC \cdot 1.5$$

$$Li = Q1 - RIC \cdot 1.5$$

Ls: Límite superior.

Li: Límite inferior.

Valores de la muestra superiores a Ls o menores a Li, son considerados datos atípicos.

- **Diámetro de 63 mm**

Tabla resumen de los valores de tensión última obtenidos en cada testigo de 63 mm de diámetro extraído:

EXTRACCIÓN, ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE
TESTIGOS DE HORMIGÓN DE DIFERENTE DIÁMETRO



Diámetro	Resistencia H ^a	Bloque	Resultado
63	35	1	34
63	35	1	24
63	35	1	29
63	35	1	32
63	35	1	35
63	35	2	35
63	35	2	35
63	35	2	28
63	35	2	32
63	35	2	47

Tabla 5.4 Resultados obtenidos para testigos de 63 mm de diámetro, el valor de 47 Mpa fue descartado.

n	10.00	Cantidad de datos
Media	33.21	Media aritmética
σ	5.83	Desviación típica poblacional
S	6.15	Desviación típica de la muestra
$\sum x$	332.10	Suma de los n datos
$\sum x^2$	11369.16	Suma de los cuadrados
Min	23.81	Valor mínimo de los datos
Q1	30.08	Cuartil 1
Mediana	33.23	Cuartil 2 o mediana
Q3	35.03	Cuartil 3
Max	47.28	Valor máximo de los datos

Tabla 5.5 Diferentes medidas obtenidas de la muestra. Se destaca la desviación estándar y cuartiles de la muestra, como el rango de valores.

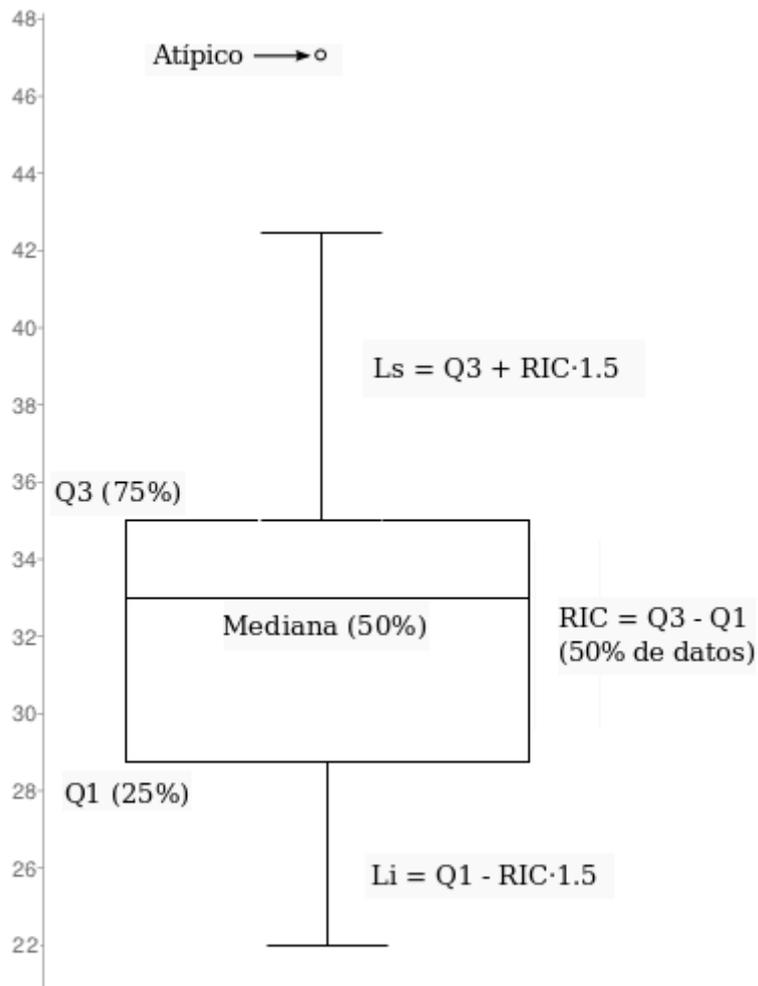


Figura 5.7 Diagrama en caja de los 10 testigos de 63 mm de diámetro.

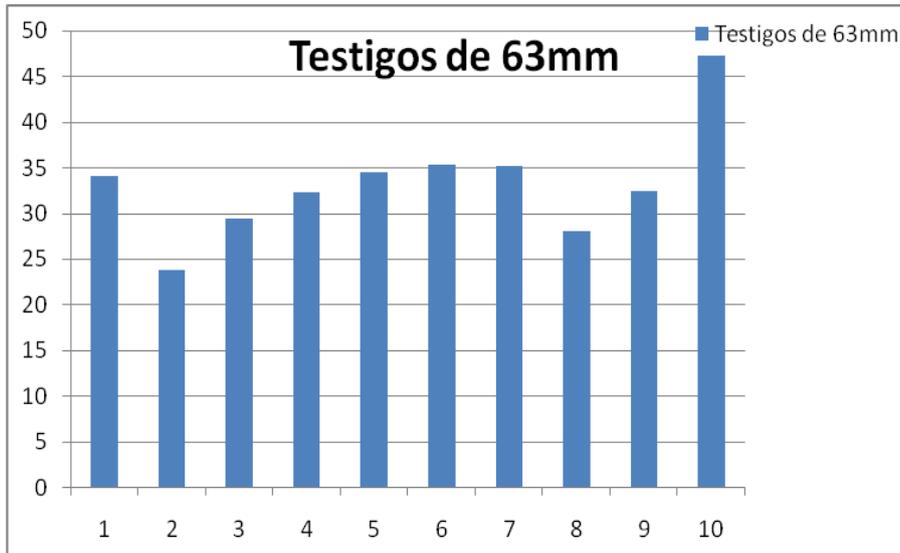


Grafico 5.8 Histograma de la muestra de los 10 testigos de 63mm de diámetro.

	Valores	Anchos
Min	23.81	24
Q1	30.08	6
Q2-MEDIANA	33.23	3
Q3	35.03	2
MAX	47.28	12

RIC	4.96
Li	22.64
Ls	42.47
Promedio	31.65

Tabla 5.6 Valores de cuártiles, rango intercuartílico y límite superior e inferior del diagrama en caja.

Se descartó el valor de 47 Mpa del testigo 2B8 por no ser representativo de la muestra según el diagrama en caja.

Esto nos da un promedio de las tensiones últimas de 32 Mpa (ver tabla 9 y gráfico 2).

- **Diámetro de 94 mm**

Tabla resumen de los valores de tensión última obtenidos en cada testigo de 94 mm de diámetro extraído:

EXTRACCIÓN, ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE
TESTIGOS DE HORMIGÓN DE DIFERENTE DIÁMETRO



Diámetro	Resistencia	Bloque	Resultado
94	35	1	32
94	35	1	46
94	35	1	41
94	35	1	37
94	35	1	47
94	35	2	33
94	35	2	42
94	35	2	39
94	35	2	43
94	35	2	41

Tabla 5.7 Resultados obtenidos para testigos de 94 mm de diámetro.

n	10.00	Cantidad de datos
Media	40.14	Media aritmética
σ	4.79	Desviación típica poblacional
S	5.05	Desviación típica de la muestra
$\sum x$	401.35	Suma de los n datos
$\sum x^2$	16337.91	Suma de los cuadrados
Min	31.93	Valor mínimo de los datos
Q1	37.52	Cuartil 1
Mediana	40.71	Cuartil 2 o mediana
Q3	42.68	Cuartil 3
Max	47.32	Valor máximo de los datos

Tabla 5.8 Diferentes medidas obtenidas de la muestra. Se destaca la desviación estándar y cuartiles de la muestra, como el rango de valores.

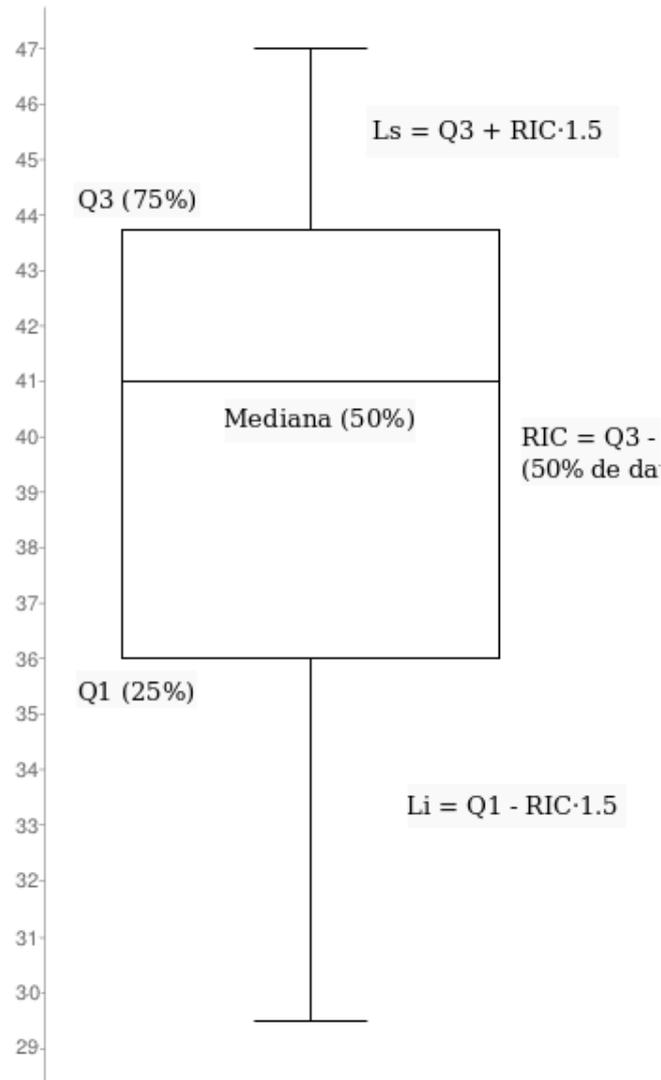


Figura 5.9 Diagrama en caja de los 10 testigos de 94 mm de diámetro.

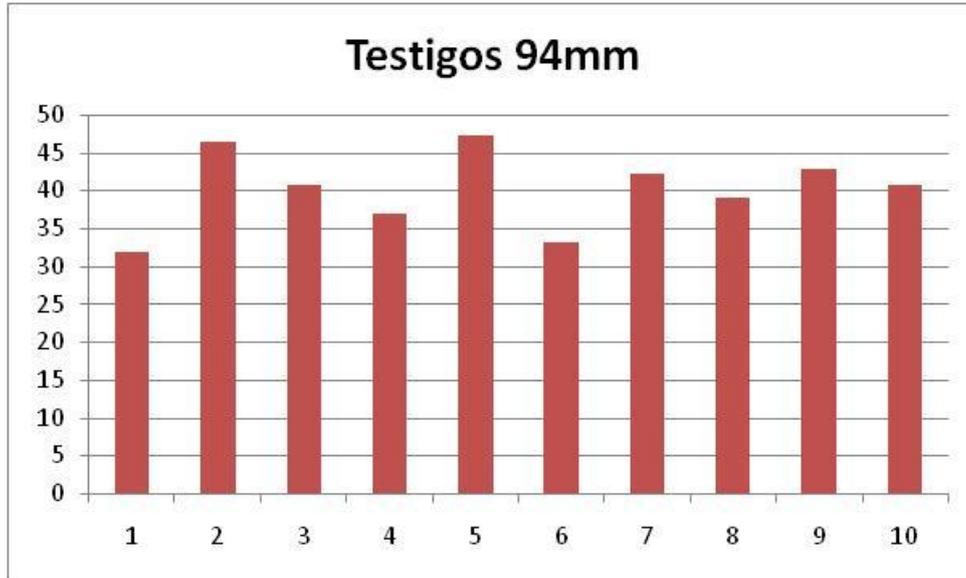


Figura 5.10 Diagrama en caja e histograma de la muestra de los 10 testigos de 94mm de diámetro.

	Valores	Anchos
Min	31.93	32
Q1	37.52	6
Q2-MEDIANA	40.71	3
Q3	42.68	2
MAX	47.32	5

RIC	5.16
Min	29.79
Max	50.41
Promedio	40.14

Tabla 5.9 Valores de cuártiles, rango intercuartílico y límite superior e inferior del diagrama en caja.

No se descartó ningún valor.

Lo que nos da un promedio de las tensiones últimas de 40 Mpa.

- **Análisis final**

En el caso de los bloques de hormigón la resistencia es mayor en testigos de 94 mm, registrando un aumento del 25% con respecto a los de 64mm.

EXTRACCIÓN, ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE
TESTIGOS DE HORMIGÓN DE DIFERENTE DIÁMETRO



Además hay menor variabilidad de los resultados cuando aumenta el diámetro del testigo.

Diámetro (mm)	Resistencia testigo (Mpa)	Relación con 63	Relación con resistencia del hormigón	Desviación estándar
63	32	1	0.914	5.83
94	40	1.250	1.143	4.79

Tabla 5.10 Tabla comparativa con resultados de testigos de 63 y 94 mm de diámetro.



CAPÍTULO VI: EXTRACCIÓN DE TESTIGOS EN COLUMNA

INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior se vio la extracción en los bloques de hormigón, en lo sucesivo se tratará todo lo asociado a la extracción en la columna de hormigón armado y en el capítulo 6 se verá lo relacionado extracción en la losa.

Como ya se mencionó en el capítulo anterior la planificación de la extracción depende de muchos factores: principalmente de las características intrínsecas de la pieza a extraer, ya que la norma establece consideraciones en función de ella.

CARACTERÍSTICAS DE LA COLUMNA

La columna donde se realizaron las extracciones corresponde a un prototipo que la empresa ASTORI deseaba colocar en la construcción del nuevo estadio del club Estudiantes de la Plata. Fue llevada al laboratorio en el año 2008 para realizar un ensayo para determinar el grado de empotramiento columna-viga y el comportamiento del nudo con los ciclos de carga y descarga. El esquema del ensayo era el siguiente:

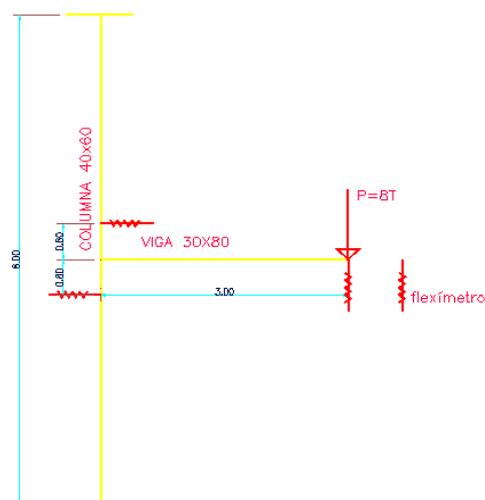
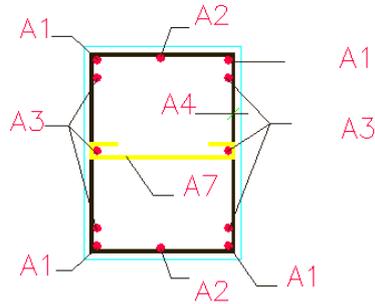


Figura 6.1 Esquema de ensayo de la columna.

La sección de la columna es de 40x60 con ocho (8) metros de largo y esta armada con estribos y armadura longitudinal como se puede ver a continuación:



ACERO COMUN		ØAL 220		MALLAS: AM 500	
ACERO CONFORMADO		ØADN o ADM 420			
POS.	Ø [mm]	Cantidad	Long. [m]	ESQUEMA	
A1	16	4	7.96	_____	
A2	16	2	7.96	_____	
A3	16	6	7.96	_____	
A4	Malla 6	1	2.08 7.96		
A5	8	27	1,68		
A6	10	4	1,17		
A7	8	27	0.56		

Figura 6.2 Esquema de armaduras. Fuente: Ing. Darío Campos, Astori estructuras.

Por otro lado las características del hormigón que compone la pieza son las siguientes:

- Hormigón resistencia característica 25 Mpa.
- Los resultados a compresión a 28 días son los siguientes: Curado Normal: 30.2 MPa y Curado Vapor: 28.5 MPa.
- La dosificación fue: 380 Kg de cemento, piedra 6-13 (canto rodado) 1010 Kg, Arena fina 344 Kg, Arena gruesa 516 Kg y aditivo plastificante reductor de agua 4.0 Kg (Sikament 90E).
- La relación agua cemento $a/c=0.475$.

Cabe mencionar que se tiene información provista por la empresa ASTORI ESTRUCTURAS de que la resistencia característica del hormigón se desarrolló



significativamente en el tiempo debido al alto porcentaje de finos. Este hormigón tiene aproximadamente 5 años de edad, es por ello que la resistencia característica de 25 Mpa determinada con los resultados de probetas de hormigón no es un valor confiable de la resistencia característica actual.

EXTRACCIÓN DE TESTIGOS

Sobre la columna ya se habían efectuado operaciones de extracción de testigos de un trabajo anterior, en donde se sacaron 18 testigos: 6 de 46mm, 6 de 63mm y 6 de 94mm. Datos que están disponibles.

Por cuestiones de disponibilidad de espacio se decidió sacar 10 testigos de 46 mm de diámetro, 10 de 63mm y 4 de 94 mm fundamentándose en el hecho de que los testigos más pequeños son los que más variabilidad en los resultados arrojan debido a la gran influencia que pequeñas excentricidades dan al momento del ensayo a compresión simple.

Una vez decidida la cantidad de testigos a extraer se procedió a realizar un relevamiento de las armaduras en la columna con un “pachómetro” y de esta manera junto con los planos se delimitaron las zonas de extracción.



Figura 6.3 Pachómetro utilizado para relevar las armaduras



Se extrajeron:

- Diez (10) testigos de 46mm de diámetro.
- Diez (10) testigos de 63mm de diámetro.
- Cuatro (4) testigos de 94mm de diámetro.

En las siguientes figuras pueden verse las zonas de extracción y los testigos extraídos.
Para más detalle ver los planos de extracción anexados.



Figura 6.4 Testigos de 63mm de diámetro extraídos.



Figura 6.5 Columna donde se realizaron las extracciones.



RESULTADOS DE ENSAYOS

Los resultados que se obtuvieron de los ensayos fueron los siguientes:

Identificación Testigo	Diámetro	Tensión de rotura corregida (Mpa)	Carga de rotura corregida (KN)
1	46	24	39
2	46	30	50
3	46	25	42
4	46	23	38
19	46	36	61
20	46	20	33
21	46	19	32
22	46	19	33
23	46	18	30
24	46	22	36
Promedio		24	39

Identificación Testigo	Diámetro	Tensión de rotura corregida (Mpa)	Carga de rotura corregida (KN)
5	64	35	113
6	64	38	123
7	64	25	79
8	64	39	127
13	64	42	135
14	64	20	65
15	64	36	117
16	64	42	135
17	64	33	107
18	64	45	146
Promedio		35	115

Identificación Testigo	Diámetro	Tensión de rotura corregida (Mpa)	Carga de rotura corregida (KN)
9	94	41	283
10	94	43	301
11	94	40	286
12	94	33	229
Promedio		39	274

Tabla 6.1 Resultados de los testigos extraídos de la columna.

Carga de rotura corregida: carga última corregida por calibración de la prensa.

Tensión de rotura: tensión última corregida por esbeltez.



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para este caso se realizó el mismo tratamiento que en el caso de los bloques.

- **Diámetro de 46 mm**

Tabla resumen de los valores de tensión última obtenidos en cada testigo de 46 mm de diámetro extraído:

Diámetro	Resultado
46	24
46	30
46	25
46	23
46	36
46	20
46	19
46	19
46	18
46	22

Tabla 6.2 Resultados obtenidos para testigos de 46 mm de diámetro, el valor de 36 Mpa fue descartado.

n	10.00	Cantidad de datos
Media	23.60	Media aritmética
σ	5.35	Desviación típica poblacional
S	5.64	Desviación típica de la muestra
$\sum x$	236.00	Suma de los n datos
$\sum x^2$	5856.00	Suma de los cuadrados
Min	18.00	Valor mínimo de los datos
Q1	19.25	Cuartil 1
Mediana	22.50	Cuartil 2 o mediana
Q3	24.75	Cuartil 3
Max	36.00	Valor máximo de los datos

Tabla 6.3 Diferentes medidas obtenidas de la muestra. Se destaca la desviación estándar y cuartiles de la muestra, como el rango de valores.

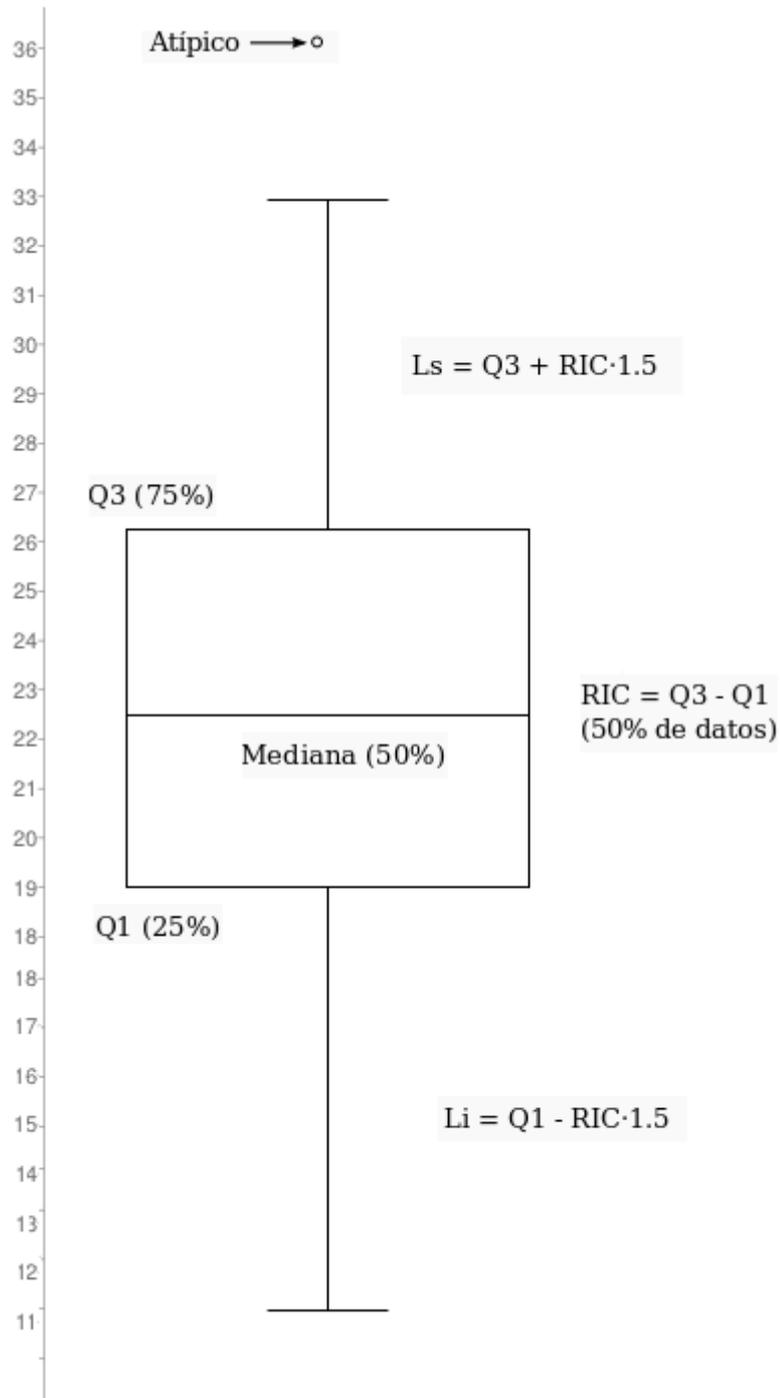


Figura 6.4 Diagrama en caja de los 10 testigos de 46 mm de diámetro.

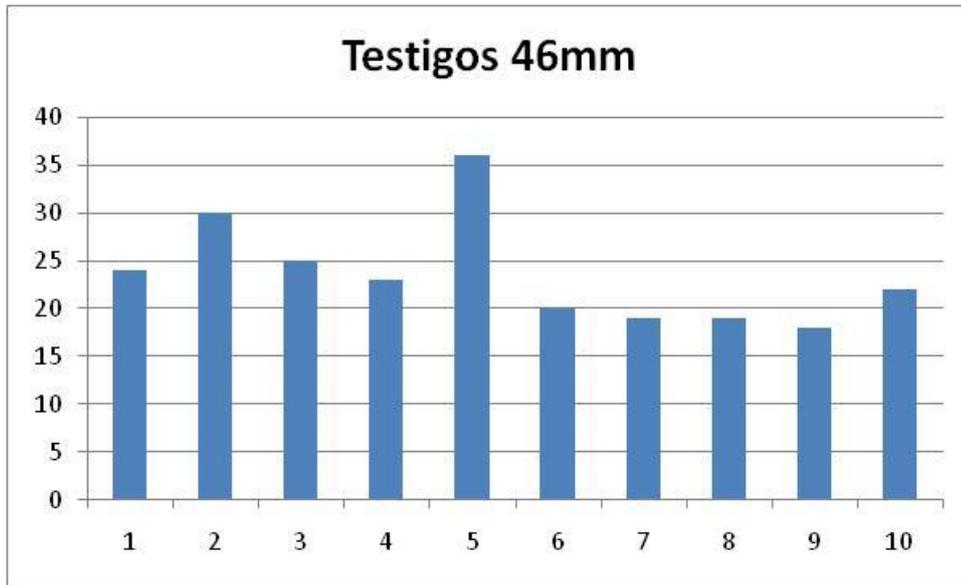


Figura 6.5 Diagrama en caja e histograma de la muestra de los 10 testigos de 46mm de diámetro.

	Valores	Anchos
Min	18.00	18
Q1	19.25	1
Q2-MEDIANA	22.50	3
Q3	24.75	2
MAX	36.00	11

RIC	6
Ls	33
Li	11
Promedio	22

Tabla 6.4 Valores de cuártiles, rango intercuartílico y límite superior e inferior del diagrama en caja.

Se descarta el valor de 36 Mpa del testigo 19 por no ser representativo de la muestra según el diagrama en caja.

Esto nos da un promedio de las tensiones últimas de 22 Mpa (ver tabla 6.4 y figura 6.5).

- **Diámetro de 63 mm**

A continuación se puede ver una tabla resumen de los valores de tensión última obtenidos en cada testigo de 63 mm de diámetro extraído:



Diámetro	Resultado
63	35
63	37
63	25
63	39
63	42
63	20
63	36
63	42
63	33
63	45

Tabla 6.5 Resultados obtenidos para testigos de 63 mm de diámetro, el valor de 20 Mpa fue descartado.

n	10.00	Cantidad de datos
Media	35.40	Media aritmética
σ	7.39	Desviación típica poblacional
S	7.79	Desviación típica de la muestra
Σx	354.00	Suma de los n datos
Σx^2	13078.00	Suma de los cuadrados
Min	20.00	Valor mínimo de los datos
Q1	33.50	Cuartil 1
Mediana	36.50	Cuartil 2 o mediana
Q3	41.25	Cuartil 3
Max	45.00	Valor máximo de los datos

Tabla 6.6 Diferentes medidas obtenidas de la muestra. Se destaca la desviación estándar y cuartiles de la muestra, como el rango de valores.

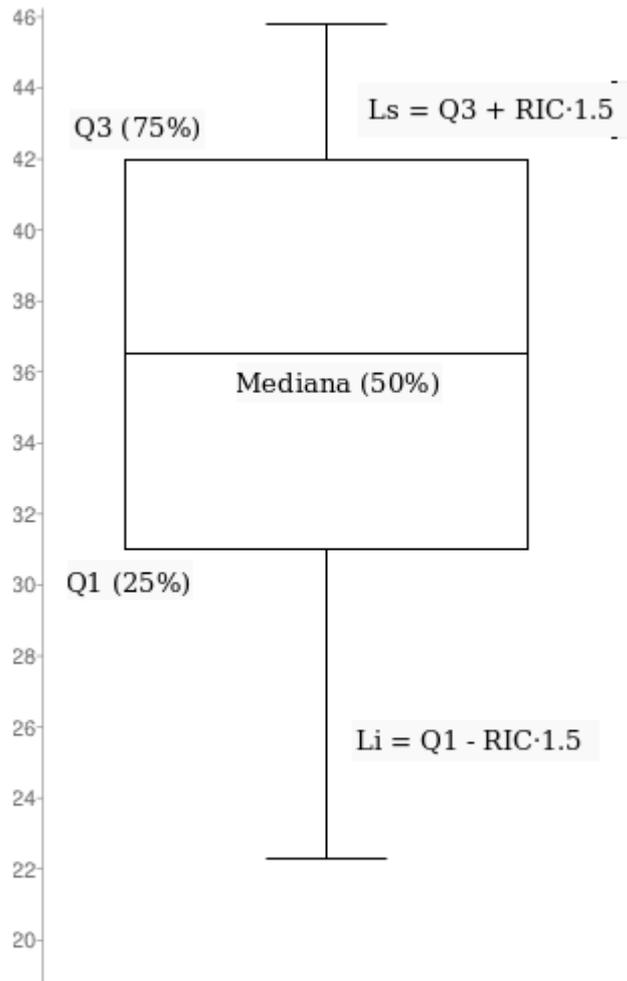


Figura 6.6 Diagrama en caja de los 10 testigos de 63mm de diámetro.

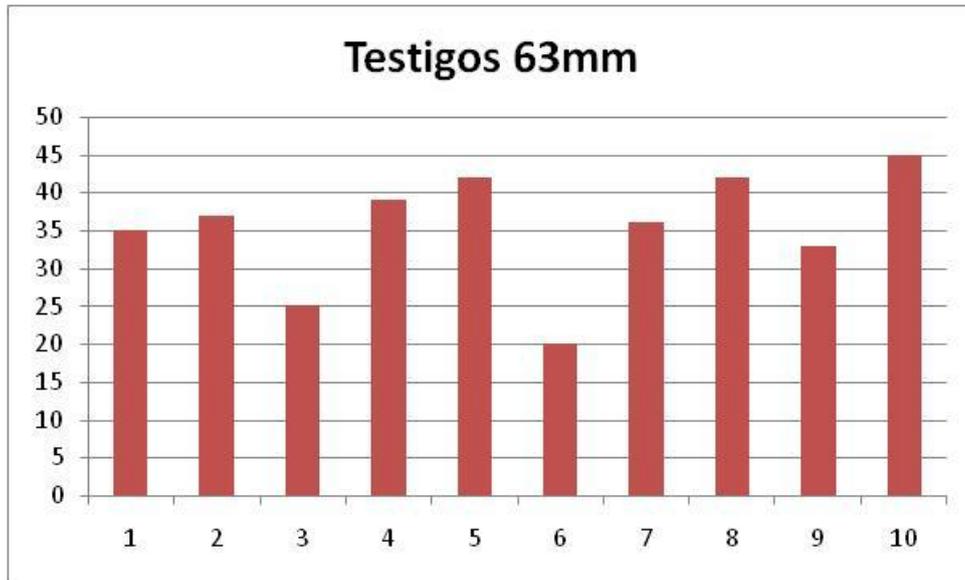


Figura 6.7 Histograma de la muestra de los 10 testigos de 63mm de diámetro.

	Valores	Anchos
Min	20.00	20
Q1	33.50	14
Q2-MEDIANA	36.50	3
Q3	41.25	5
MAX	45.00	4

RIC	7.75
Li	21.88
Ls	52.88
Promedio	35.40

Tabla 6.7 Valores de cuártiles, rango intercuartílico y límite superior e inferior del diagrama en caja.

Se descartó el valor de 20 Mpa del testigo 14 por no ser representativo de la muestra según el diagrama en caja.

Esto nos da un promedio de las tensiones últimas de 35 Mpa (ver tabla 6.7 y figura 6.7).

- **Diámetro de 94mm**

A continuación se puede ver una tabla resumen de los valores de tensión última obtenidos en cada testigo de 94 mm de diámetro extraído:

EXTRACCIÓN, ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE
TESTIGOS DE HORMIGÓN DE DIFERENTE DIÁMETRO



Diámetro	Resistencia H ^a	Resultado
94	35	41
94	35	43
94	35	40
94	35	33

Tabla 6.8 Resultados obtenidos para testigos de 94 mm de diámetro.

El promedio de la muestra anterior es de 41 Mpa.

- **Análisis final**

A continuación se muestra una tabla resumen:

Diámetro	Resistencia del testigo	Relación con 63	Relación con 46	Relación con 94	Relación con resistencia H°	Desviación estándar
46	22	0.595	1.000	0.537	0.629	5.35
63	37	1.000	1.682	0.902	1.057	4.95
94	41	1.108	1.864	1.000	1.171	4.35

Tabla 6.9 Tabla resumen

Se puede ver que mientras aumenta el diámetro del testigo aumenta la resistencia.

Además mientras aumenta el diámetro del testigo, disminuye la variabilidad.



CAPITULO VII: EXTRACCIÓN DE TESTIGOS EN LA LOSA

INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores se vio la extracción en la columna y en los bloques, en lo que sigue se tratara lo referido a la extracción en la losa.

Como ya se ha mencionado es necesario hacer una planificación de la extracción que depende de muchos factores: principalmente de las características intrínsecas de la pieza a extraer, ya que la norma establece consideraciones en función de ella. Estos fueron claves en el diseño geométrico de la losa.

CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA

Para definir la losa el primer aspecto a tener en cuenta fueron los diámetros y la cantidad de testigos a extraer. En base a que en las extracciones anteriores se decidió sacar 10 testigos de cada diámetro, se siguió este mismo criterio y por ende se extrajeron: 30 testigos (10 de cada diámetro, 46, 63 y 94 respectivamente).

Otro aspecto clave en las dimensiones finales de la losa era la distancia entre testigos, al respecto la norma IRAM 1551-83 establece: *“Los testigos no se extraerán cerca de las juntas de la estructura o de los bordes de los elementos estructurales. Su ubicación siempre que sea posible se establecerá en el centro del elemento y nunca en las proximidades de una junta o borde”*. (Apartado 4.3.1 y 4.3.2).

Al no establecer nada específico en cuanto a distancias, se consulto la norma chilena NCh 1171/1.Of 2012 *“Hormigón- Testigos de Hormigón endurecido- Parte 1: extracción y ensayo”* la cual en su apartado 5 establece que la distancias entre testigos sea mayor o igual a dos diámetros y se extraigan a 30 cm de los bordes como mínimo. Para la extracción se siguió este criterio, que además cumple con la norma IRAM 1551-83.

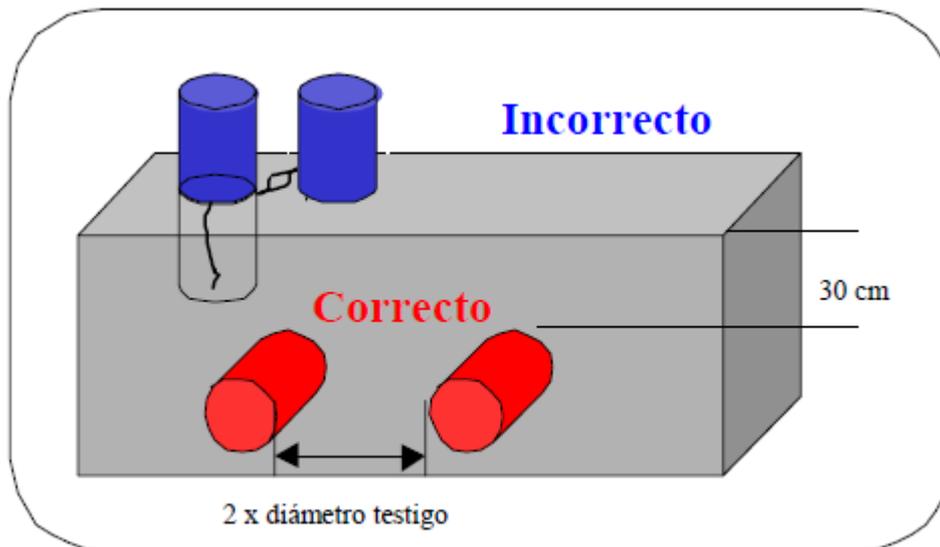


Figura 7.1 Distancias entre testigos y a los bordes. Fuente: Análisis sobre la norma chilena para testigos de Hormigón NCh 1171. Of 2001.

En relación a lo anterior se definió una losa de dimensiones de 2x2 metros por 20 cm de espesor con hormigón con resistencia característica 21 Mpa y binder como agregado (tamaño máximo del 3/8”).

Además se definió un pequeño bloque de 40x40x60 para extraer dos (2) testigos en dirección perpendicular a la de hormigonado y comparar resultados.

HORMIGONADO DE LOSA

Una vez definida la geometría de la losa, se procedió a determinar el lugar de la colocación y el material del encofrado.

El lugar elegido fue el laboratorio de estructuras de la facultad de ciencias exactas en una zona donde hay acceso al agua y a la electricidad, aspectos imprescindibles para poder utilizar la máquina extractora de testigos. El material del encofrado, por razones de disponibilidad y economía, fue madera.

Se coordinó como día para el hormigonado el sábado 10 de mayo a las 10:30 de la mañana, donde la temperatura de hormigonado se registro en 14°C.



Figura 7.2 Momento de hormigonado y vibrado de la losa.



Figura 7.3 Preparación y terminado.

Pasadas 3 horas del momento de hormigonado se recubrió la losa con cartón corrugado humedecido y por encima con un Nylon.



Figura 7.4 Colocación y humedecimiento de cartón corrugado.



Figura 7.5 Colocación de Nylon sobre cartón corrugado.

La losa se mantuvo en este estado durante los primeros 7 días, regándola periódicamente y registrando su estado. Es importante destacar que las temperaturas durante esos días no fueron elevadas, por lo que el calor de hidratación perdido tampoco lo fue.



Figura 7.6 Desarrollo del hormigón.

Posterior a los 7 días se la mantuvo sin nada encima, pero se continuó regándola periódicamente hasta el día 2 de junio (23 días de edad) donde se inicio la extracción de testigos.

EXTRACCIÓN DE TESTIGOS

Como se mencionó en el caso de la losa fue necesario definir previamente las características de la extracción para de esta manera diseñar la losa.

Se extrajeron:

- Diez (10) testigos de 94 mm de diámetro.
- Diez (10) testigos de 63 mm de diámetro.
- Diez (10) testigos de 46 mm de diámetro.
- Dos (2) testigos de 63 mm de diámetro en la dirección perpendicular.
- Dos (2) testigos de 94 mm de diámetro en la dirección perpendicular.



Figura 7.8 Replanteo de puntos de extracción.



Figura 7.9 Extracción de testigos.



Figura 7.10 Losa con testigos extraídos.



Figura 7.11 Bloque con testigos extraídos en dirección perpendicular a la de hormigonado.

EXTRACCIÓN, ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE
TESTIGOS DE HORMIGÓN DE DIFERENTE DIÁMETRO



Figura 7.12 Testigos extraídos de la losa.



RESULTADOS DE ENSAYOS

Los resultados que se obtuvieron de los ensayos fueron los siguientes:

Identificación Testigo	Diámetro	Tensión de rotura corregida (Mpa)	Carga de rotura corregida (KN)	Edad	Dirección
10	46	26	42	24	Paralela
11	46	28	46	24	Paralela
12	46	24	38	24	Paralela
13	46	30	48	24	Paralela
19	46	26	41	25	Paralela
20	46	22	36	25	Paralela
21	46	18	31	25	Paralela
22	46	21	34	25	Paralela
23	46	14	24	25	Paralela
30	46	23	36	25	Paralela
Promedio		23	38		

Identificación Testigo	Diámetro	Tensión de rotura corregida (Mpa)	Carga de rotura corregida (KN)	Edad	Dirección
6	64	27	83	23	Paralela
7	64	28	85	23	Paralela
8	64	28	87	23	Paralela
9	64	24	73	24	Paralela
24	64	26	83	25	Paralela
25	64	19	60	25	Paralela
26	64	28	87	25	Paralela
27	64	25	82	25	Paralela
28	64	18	55	25	Paralela
29	64	25	85	25	Paralela
31	64	20	72	44	Perpendicular
34	64	20	70	44	Perpendicular
Promedio		24	77		

Identificación Testigo	Diámetro	Tensión de rotura corregida (Mpa)	Carga de rotura corregida (KN)	Edad	Dirección
1	94	25	169	21	Paralela
2	94	24	166	23	Paralela
3	94	26	176	23	Paralela
4	94	27	179	23	Paralela
5	94	26	171	23	Paralela
14	94	25	170	24	Paralela
15	94	25	172	24	Paralela
16	94	24	166	24	Paralela
17	94	24	157	25	Paralela
18	94	24	173	25	Paralela
32	94	23	173	44	Perpendicular
33	94	23	176	44	Perpendicular
Promedio		25	171		

Tabla 7.1 Resultados del ensayo a compresión en los testigos extraídos de la losa.

Carga de rotura corregida: carga última corregida por calibración de la prensa.

Tensión de rotura: tensión última corregida por esbeltez y edad.



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- **Diámetro de 46 mm**

Tabla resumen de los valores de tensión última obtenidos en cada testigo de 46 mm de diámetro extraído:

Diámetro	Resistencia H ^a	Resultado	Dirección
46	21	26	Paralelo
46	21	28	Paralelo
46	21	24	Paralelo
46	21	30	Paralelo
46	21	26	Paralelo
46	21	22	Paralelo
46	21	18	Paralelo
46	21	21	Paralelo
46	21	14	Paralelo
46	21	23	Paralelo

Tabla 7.2 Resultados obtenidos para testigos de 46 mm de diámetro.

n	10.00	Cantidad de datos
Media	23.20	Media aritmética
σ	4.51	Desviación típica poblacional
S	4.76	Desviación típica de la muestra
Σx	232.00	Suma de los n datos
Σx^2	5586.00	Suma de los cuadrados
Min	14.00	Valor mínimo de los datos
Q1	21.25	Cuartil 1
Mediana	23.50	Cuartil 2 o mediana
Q3	26.00	Cuartil 3
Max	30.00	Valor máximo de los datos

Tabla 7.3 Diferentes medidas obtenidas de la muestra.

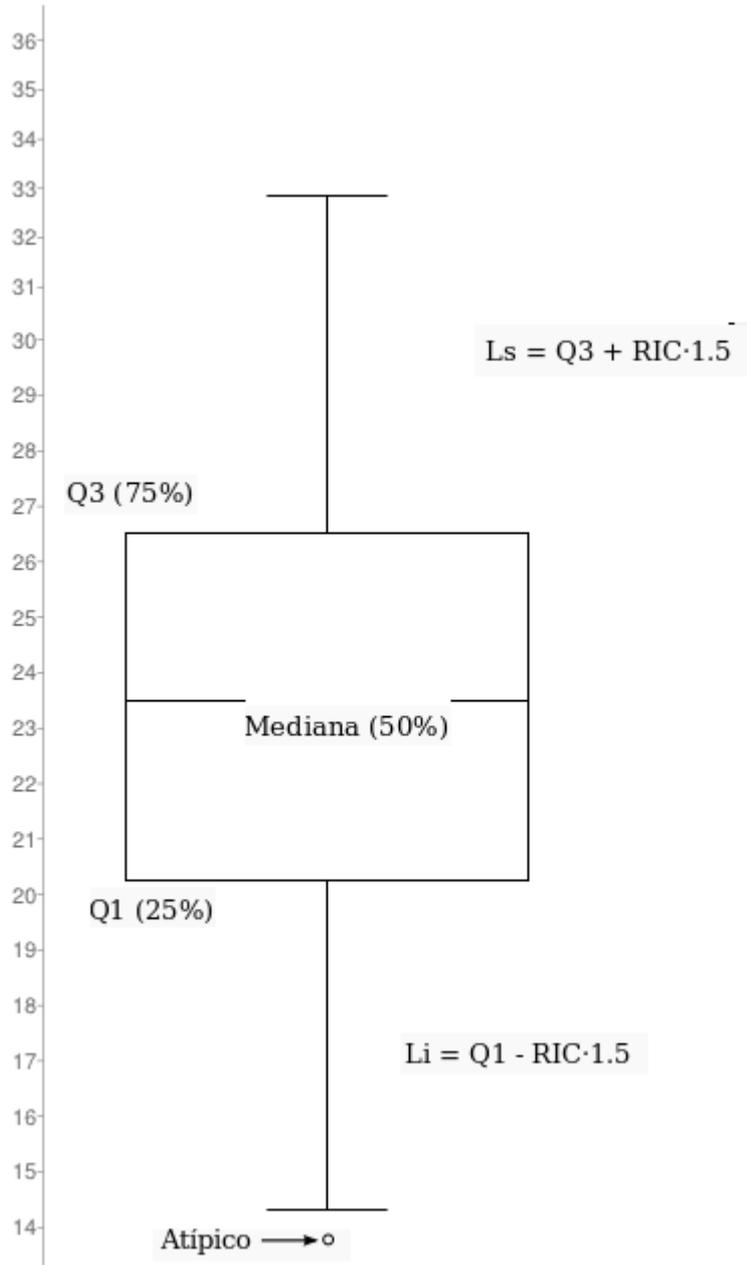


Figura 7.13 Diagrama en caja de los 10 testigos de 46mm de diámetro

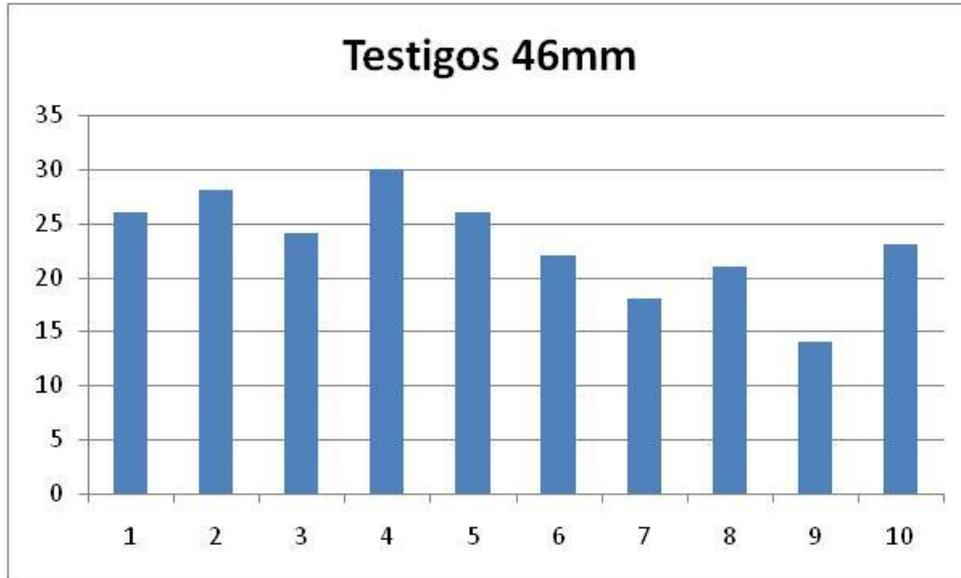


Figura 7.14 Histograma de la muestra de los 10 testigos de 46mm de diámetro.

	Valores	Anchos
Min	14.00	14
Q1	21.25	7
Q2-MEDIANA	23.50	2
Q3	26.00	3
MAX	30.00	4

RIC	5
Ls	33.125
Li	14.125
Promedio	23

Tabla 7.4 Valores de cuártiles, rango intercuartílico y límite superior e inferior del diagrama en caja.

Todos los valores se encuentran entre los límites. Se puede observar que los límites inferior y superior del diagrama en caja son de 14.125 y 33.125 respectivamente y el valor mínimo es de 14 y el máximo de 30.

Esto nos da un promedio de las tensiones últimas de 23 Mpa (ver tabla 7.4 y figura 7.13).

- **Diámetro de 63 mm**

A continuación se puede ver una tabla resumen de los valores de tensión última obtenidos en cada testigo de 63 mm de diámetro extraído:



Diámetro	Resistencia Hª	Resultado	Dirección
63	21	27	Paralelo
63	21	28	Paralelo
63	21	28	Paralelo
63	21	24	Paralelo
63	21	26	Paralelo
63	21	19	Paralelo
63	21	28	Paralelo
63	21	25	Paralelo
63	21	18	Paralelo
63	21	28	Paralelo

Tabla 7.5 Resultados obtenidos para testigos de 63 mm de diámetro.

n	10.00	Cantidad de datos
Media	25.05	Media aritmética
σ	3.56	Desviación típica poblacional
S	3.76	Desviación típica de la muestra
$\sum x$	250.49	Suma de los n datos
$\sum x^2$	6401.73	Suma de los cuadrados
Min	18.00	Valor mínimo de los datos
Q1	24.19	Cuartil 1
Mediana	26.38	Cuartil 2 o mediana
Q3	28.00	Cuartil 3
Max	28.00	Valor máximo de los datos

Tabla 7.6 Diferentes medidas obtenidas de la muestra.

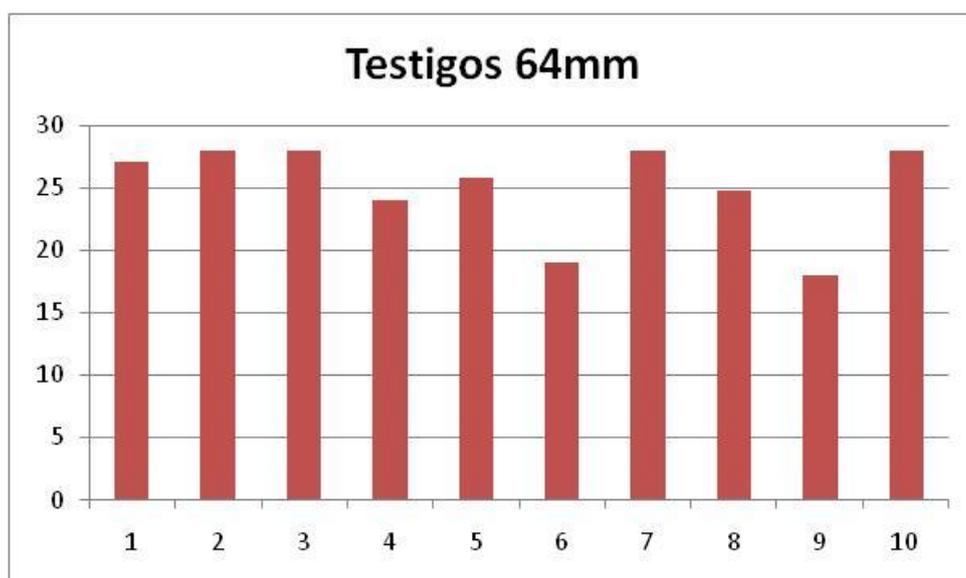


Figura 7.14 Histograma de la muestra de los 10 testigos de 63mm de diámetro.

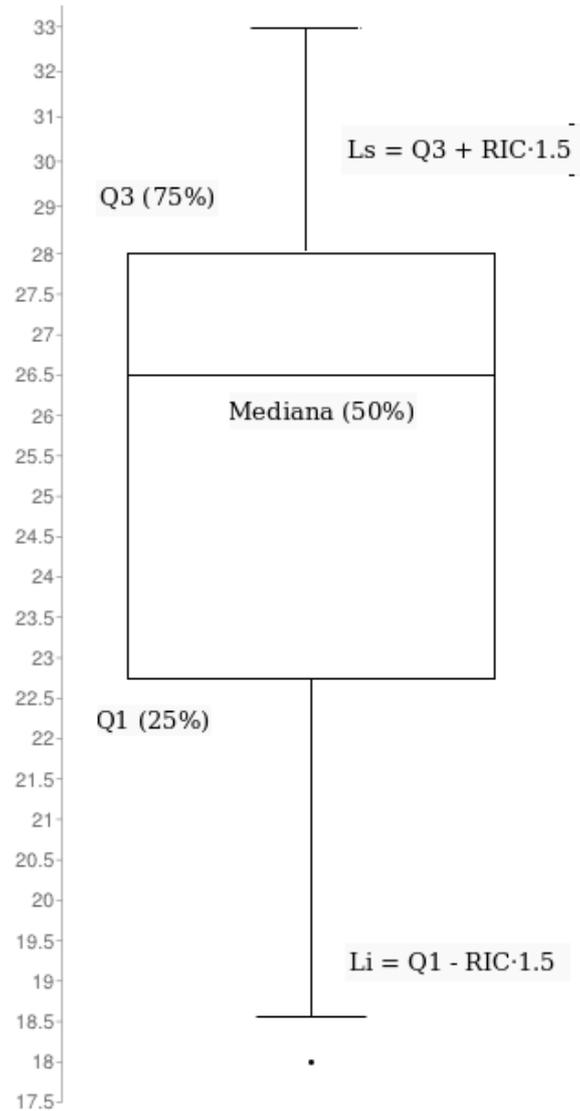


Figura 7.15 Diagrama en caja de la muestra de los 10 testigos de 63mm de diámetro

RIC	3.81
Li	18.48
Ls	33.71
Promedio	25.05

Tabla 7.7 Valores de cuártiles, rango intercuartílico y límite superior e inferior del diagrama en caja.



Ya que todos los valores se encuentran entre los límites no se procedió a sacar ninguno. Se puede observar que los límites inferior y superior del diagrama en caja son de 18.47 y 33.71 respectivamente y el valor mínimo es de 18 y el máximo de 28.

Esto nos da un promedio de las tensiones últimas de 25 Mpa (ver tabla 7.7 y figura 7.15).

- **Diámetro de 94mm**

A continuación se puede ver una tabla resumen de los valores de tensión última obtenidos en cada testigo de 94 mm de diámetro extraído:

Diámetro	Resistencia Hª	Resultado	Dirección
94	21	25	Paralelo
94	21	24	Paralelo
94	21	26	Paralelo
94	21	27	Paralelo
94	21	26	Paralelo
94	21	25	Paralelo
94	21	25	Paralelo
94	21	24	Paralelo
94	21	24	Paralelo
94	21	24	Paralelo

Tabla 7.8 Resultados obtenidos para testigos de 94 mm de diámetro.

n	10.00	Cantidad de datos
Media	25.00	Media aritmética
σ	1.00	Desviación típica poblacional
S	1.05	Desviación típica de la muestra
Σx	250.00	Suma de los n datos
Σx^2	6260.00	Suma de los cuadrados
Min	24.00	Valor mínimo de los datos
Q1	24.00	Cuartil 1
Mediana	25.00	Cuartil 2 o mediana
Q3	25.75	Cuartil 3
Max	27.00	Valor máximo de los datos

Tabla 7.9 Diferentes medidas obtenidas de la muestra.

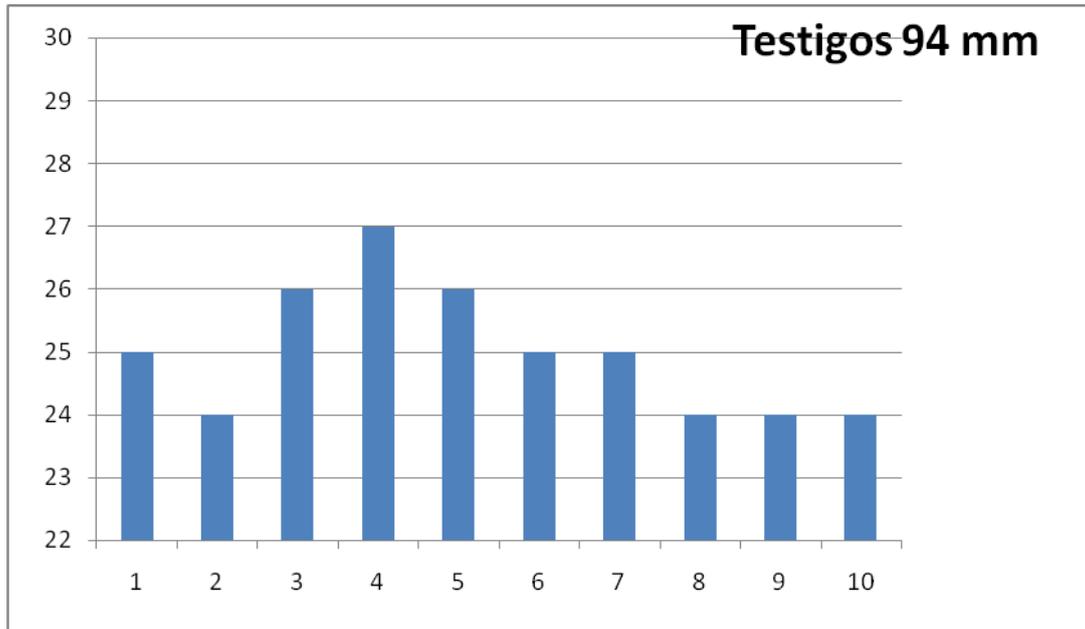


Figura 7.16 Histograma de la muestra de los 10 testigos de 63mm de diámetro.

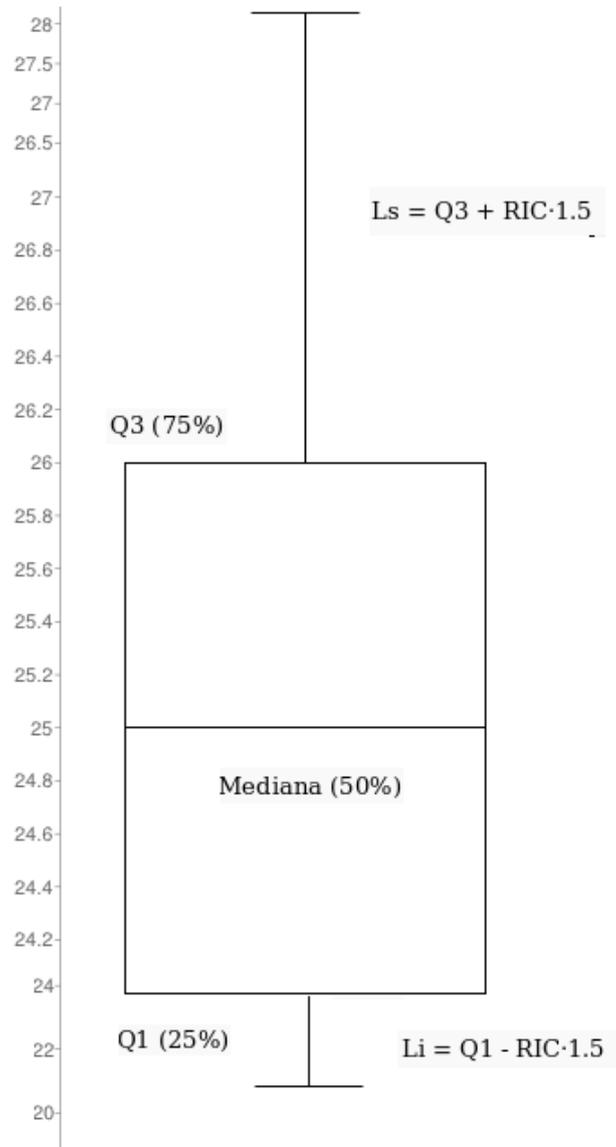


Figura 7.17 Diagrama en caja de la muestra de los 10 testigos de 63mm de diámetro.

RIC	1.75
Ls	28.38
Li	21.38
Promeido	25.00

Tabla 7.10 Valores de rango intercuartílico y limite superior e inferior del diagrama en caja.



Como todos los valores se encuentran entre los límites no se procedió a sacar ninguno. Se puede observar que los límites inferior y superior del diagrama en caja son de 21.37 y 28.37 respectivamente y el valor mínimo es de 24 y el máximo de 27.

Esto nos da un promedio de las tensiones últimas de 25 Mpa (ver tabla 7.10 y figura 7.17).

- **Análisis final**

A continuación se muestra una tabla resumen:

Diámetro	Resultado	Relación con 63	Relación con 46	Relación con 94	Relación con resistencia	Desviación estándar
46	23	0.920	1.000	0.920	0.92	4.512
63	25	1.000	1.087	1.000	1	3.564
94	25	1.000	1.087	1.000	1	1.000

Tabla 7.11 Resumen de resultados obtenidos en testigos de la losa.

En este caso se puede observar que la variabilidad de los resultados es menor a la de la columna y los bloques (ver tablas 5.10 y 6.9).

También se ve que la resistencia aumenta a medida que aumenta el diámetro y la variabilidad es mayor en testigos de menor diámetro.



CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS FINAL DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

INTRODUCCIÓN

En capítulos anteriores se han hecho análisis de los resultados en forma independiente para cada caso (bloque, columna y losa) entre los diámetros. En líneas generales se concluyó que la resistencia de los testigos aumenta a medida que el diámetro lo hace y que, por otra parte, la variabilidad es mayor mientras menor es el diámetro del testigo.

En este capítulo se hará un análisis más general, tratando de establecer correlaciones entre los resultados de cada elemento.

ANÁLISIS FINAL

Bloque

Resistencia H° 35 Mpa

Tamaño max 19 mm

Diámetro	Resultado	Variación	Relación con resistencia	Rango	Desvío	Relación diámetro-tamaño máximo
63	32		0.914	23	5.961543	3.316
94	40	1.25	1.143	15	5.048762	4.947

Columna

Resistencia Desconocida

Tamaño max 13 mm

Diámetro	Resultado	Variación	Rango	Desvío	Relación diámetro-tamaño máximo
46	22		18	5.641	3.538
63	35	1.591	20	4.952	4.846
94	41	1.171	10	4.350	7.231

Losa

Resistencia 21 Mpa

Tamaño max 9.525 mm

Diámetro	Resultado	Variación	Relación con resistencia	Rango	Desvío	Relación diámetro-tamaño máximo
46	23		1.095	4.400	4.756049	4.829
63	25	1.087	1.190	3.580	3.756328	6.614
94	25	1.000	1.190	0.880	1.053565	9.869

Tabla 8.1 Tabla resumen.



En la tabla 8.1 puede verse que los valores de testigos de diámetro 63 mm tienen una relación con la resistencia del hormigón del orden de 0.91 a 1.2.

Mientras que en los testigos de diámetro 94 mm la relación es mayor a 1 (entre 1.14 a 1.19).

En los testigos de 46 mm de diámetro la variabilidad es mayor, ya que su relación con la resistencia se encuentra entre 0.6 y 1.095. Esto se debe a que en todos los casos para este tipo de diámetro se encontró la mayor variabilidad.

Ahora bien hay una variable de la cual no se habló, que es importante y determinante en los resultados obtenidos y permite interpretarlos con mayor claridad: el tamaño máximo del agregado del hormigón. Es decir en cada elemento (columna, bloques y losas) se utilizó un tamaño de agregado máximo diferente y eso influyó notoriamente en los resultados finales obtenidos.

Se puede ver en la tabla 8.1 que para relaciones de diámetro-tamaño máximo del agregado menores a 4 se dan relaciones de resistencia menores a 1. Superado ese valor las relaciones resistencia del testigo-resistencia del hormigón tienden a 1.20, y con valores menores las relaciones de resistencia tienden a disminuir.

Esto explica que los resultados de los testigos extraídos en la losa sean similares, ya que al tener un agregado tan pequeño y por ende relaciones diámetro-tamaño máximo grandes los valores de relación de resistencia del testigo-resistencia del hormigón se encuentran entre 1 y 1.20 aproximadamente. Es decir en la losa el agregado es tan pequeño que los testigos son prácticamente homogéneos y no hay influencia del árido. Lo contrario ocurre con los testigos más pequeños en la columna y en los bloques.

A continuación se muestra un gráfico de relación diámetro-tamaño máximo del agregado vs relación resistencia del testigo-resistencia del hormigón para terminar de comprender mejor:

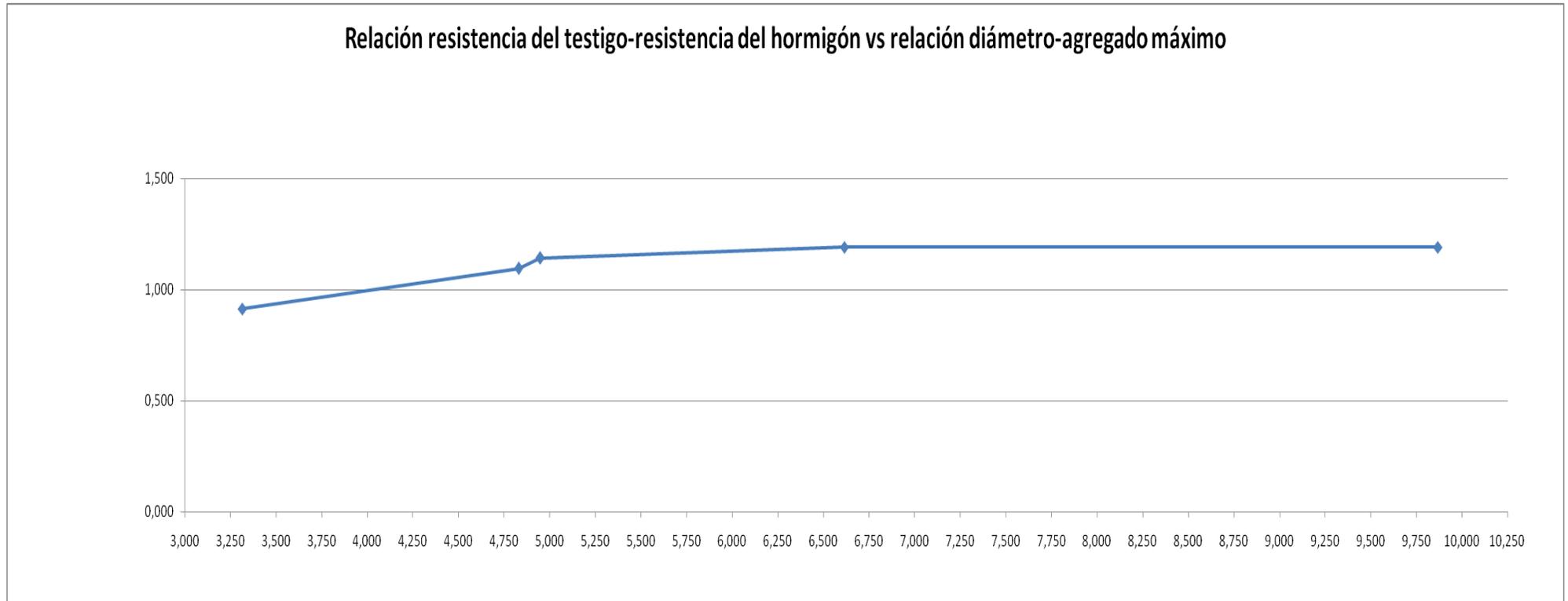


Figura 8.1 Relación resistencia del testigo- resistencia hormigón vs relación diámetro- tamaño de agregado máximo



Con respecto a la variabilidad de los resultados puede verse que: a medida que crece el tamaño máximo del agregado manteniendo los mismos diámetros (46, 63, 94), mayor es la dispersión en los resultados. Basta con comparar las variaciones de resultados entre diámetros de una misma granulometría para ver lo explicado. Por ejemplo viendo la tabla 8.1, para una granulometría grande de 19 mm (caso del bloque) el testigo de 94 mm de diámetro tiene una resistencia de un 25% mayor al de 63 mm de diámetro. En la granulometría de tamaño máximo 13 mm (caso de la columna) la variación registrada es de aproximadamente un 17%, mientras que en la losa (9.525 mm de tamaño) la variación prácticamente no existe. Es decir la variación es menor mientras menor es el tamaño máximo. En los siguientes gráficos puede verse de manera más clara:

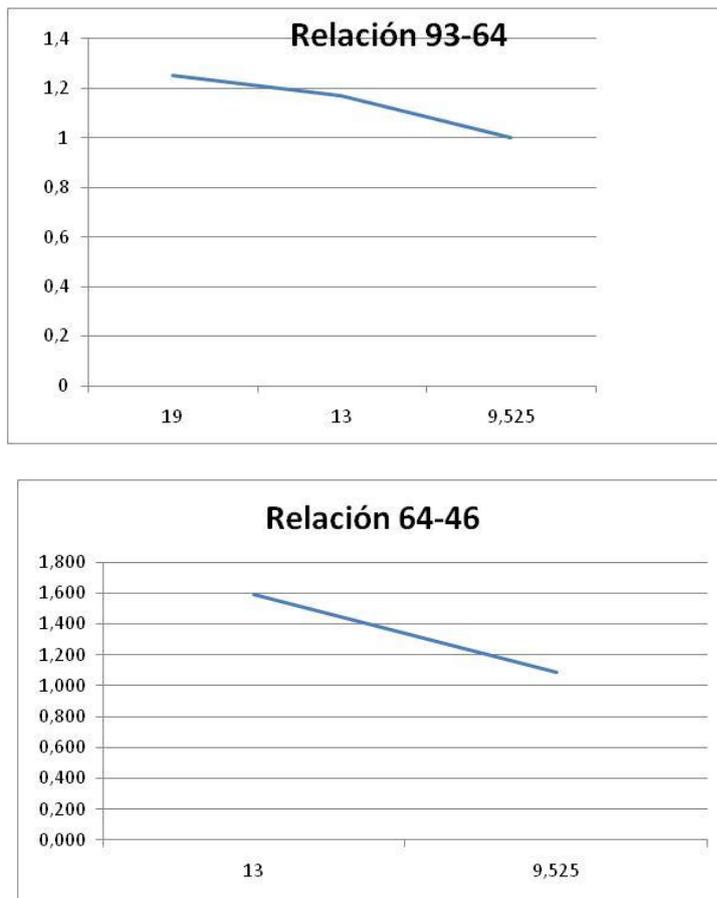


Figura 8.2 Relación resistencia del testigo-Resistencia del hormigón vs tamaño máximo del agregado.



Claro esta que lo mencionado son tendencias y para confirmarlo se tendrían que hacer mas estudios que no son objeto de este trabajo.

En síntesis lo que se puede concluir es que:

- Para los diámetros utilizados, hay mayor variabilidad en los resultados cuanto mayor es el tamaño del agregado.
- Para una misma granulometría, hay mayor variabilidad en los diámetros mas pequeños.
- Para una misma granulometría, la resistencia aumenta con el diámetro del testigo.
- A medida que la relación diámetro-tamaño máximo del agregado disminuye, la relación resistencia del testigo-resistencia del hormigón es menor.
- La influencia del tamaño del agregado se debe a que cuando la relación diámetro-tamaño máximo del agregado es pequeña, se tiene una zona de interfase cemento-árido mayor que genera heterogeneidad produciendo la rotura prematura del testigo (antes de llegar a la resistencia del hormigón). En la figura 8.3 se puede ver lo explicado. Para un mismo diámetro y resistencia característica del hormigón, el testigo de la izquierda romperá antes que el de la derecha.

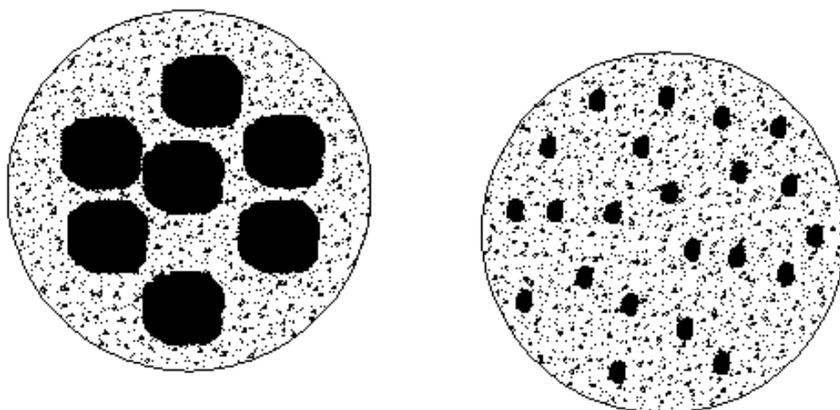


Figura 8.3. Testigos de hormigón con diferente tamaño de granulometría.



ANEXO- PLANOS



BIBLIOGRAFÍA

- Notas de cátedra. Tecnología de los Materiales de la Construcción FCEFYN. 2011.
- Reglamento CIRSOC 201. Parte 3. Capítulo 4. "Criterios y control de conformidad del hormigón".
- Norma IRAM 1551-83. "*Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido*".
- Norma IRAM 1553-83. "*Preparación de bases de probetas cilíndricas y testigos cilíndricos, para ensayos de compresión*".
- Norma IRAM 1574-90. "*Método para la determinación del espesor de testigos y de la altura de probetas de hormigón endurecido*".
- Norma IRAM 1546-83. "*Determinación de la resistencia a compresión de probetas de hormigón endurecido*".
- **Benjamin, J y Cornell, A.** *Probabilidades y Estadística en la Ingeniería Civil.* Ed. McGraw- Hill. Colombia. 1985.
- **Lina Marcela Rojas Henao.** Tesis doctoral. "*Ensayos de información y extracción de probetas testigo en hormigones autocompactantes*". Madrid. 2012.
- NCh1171. "*Hormigón, Testigos de hormigón endurecido*".

EXTRACCIÓN, ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE
TESTIGOS DE HORMIGÓN DE DIFERENTE DIÁMETRO

