



Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

**ESTUDIO DE LA VARIACION DE LAS RELACIONES DE RESISTENCIAS A
FLEXOTRACCION / COMPRESION PARA DIFERENTES MAGNITUDES DE RESISTENCIA A
COMPRESION ENTRE H° 10 Y H° 70.**

Por: Alan González Sepúlveda.

Profesor guía: Juan Egaña Ramos.

Enero, 2015

AGRADECIMIENTOS

A través de estas palabras quiero agradecer a mi madre por su sacrificio y esfuerzo y al igual que mis hermanas que me ayudaron y apoyaron a lo largo de este bonito camino que ahora finalizamos con alegría y orgullo familiar. Cómo no mencionar a mis amigos que siempre me ayudaron al igual que mis compañeros de carrera con los cuales viví momentos inolvidables, también quiero dedicar unas palabras de agradecimiento a mi profesor guía don Juan Egaña por ofrecerme un tema para desarrollar, por su dedicación, por guiarme y apoyarme a lo largo de toda la investigación con una disposición digna de destacar. Se le agradece también de manera entrañable a la señora Emperatriz Villanueva por todas las veces que me solucionó problemas por no hacer las cosas a tiempo y a las personas de los laboratorios de hormigón por todo el apoyo brindado.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO 1 OBJETIVOS

1.1	Objetivo General	.....	12
1.2	Objetivos Específicos	.....	12
1.3	Hipótesis	.....	13
1.4	Alcances	.....	13
1.5	Limitaciones	.....	13
1.5.1	Limitaciones de Materiales	.....	13
1.5.2	Limitaciones de Maquinarias	.....	13
1.5.3	Limitaciones de Aplicación	.....	13
1.6	Metodología	.....	14-15
1.7	Factibilidad Técnico Económica	.....	16
1.7.1	Equipos y Materiales	.....	16
1.7.2	Tiempo Toma de Datos	.....	16
1.8	Justificación e Importancia	.....	17

CAPITULO 2 ANTECEDENTES

2.1	Antecedentes Bibliográficos	.....	18-21
2.2	Antecedentes Generales	.....	22
2.2.1	Resistencias Mecánicas	.....	22-23
2.2.2	Cualidades Resistentes del Hormigón	.....	23
2.2.3	Dosificación de Componentes	.....	24
2.2.4	Confección	.....	24
2.2.5	Relación Agua Cemento	.....	24
2.3	Clasificación del Hormigón	.....	25
2.4	Docilidad	.....	26
2.5	Componentes del Hormigón	.....	26
2.5.1	Clasificación de Cementos Fabricados en Chile	.....	27

2.5.2	Áridos	27-28
2.5.3	Aditivos Reductores de Agua	28-31

CAPITULO 3 METODOLOGIA DE TRABAJO

3.1	Confección de Probetas de Hormigón	32
3.2	Moldes y Materias Primas	32
3.3	Granulometría de los Áridos	33
3.3.1	Granulometría de la Arena	33
3.3.2	Granulometría de la Gravilla	34
3.3.3	Granulometría Árido Combinado	35-36
3.4	Dosificaciones Utilizadas	36-38
3.5	Ensayos	39
3.5.1	Ensayos Hormigón Fresco	39
3.5.2	Ensayos a Compresión	39-40
3.5.3	Ensayos a Flexotracción	40-41

CAPITULO 4 RESULTADOS OBTENIDOS Y ANALISIS

4.1	Resultados Hormigón Fresco	42
4.2	Resultados Ensayos a Compresión y a Flexotracción	42-46
4.3	Análisis Estadístico de Resultados	47
4.3.1	Cálculo Coeficiente de Correlación de PEARSON	48
4.3.2	Cálculo Recta de Regresión	49
4.3.3	Cálculo de Error Típico de Estimación	49

CAPITULO 5 CONCLUSIONES

5.1	Conclusiones	52
-----	--------------------	----

BIBLIOGRAFIA	53
---------------------------	-----------

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ACI: American Concrete Institute

IDIEM: Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

DIN:Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización).

Dn: Diámetro nominal

Of: Oficial

NCh: Norma Chilena

LISTA DE SIMBOLOS

A: arena

A/C: relación agua/cemento

C: cemento

cm: centímetros

cm²: centímetro cuadrado

cm³: centímetro cúbico

F_c: resistencia especificada a la compresión

F_f: resistencia especificada a la flexotracción

F_k: nivel de confianza

F_r: resistencia media requerida

G: gravilla

K: constante

Kg: kilogramo

Kgf: kilogramo fuerza

Lts: litros

M: momento flector

mm: milímetros

MPA: megapascal

P: carga

R_c: resistencia a la compresión

R_f: resistencia a flexotracción

S: desviación estándar

R_u: error típico de estimación

R²: coeficiente de determinación

R_{xy}: coeficiente de correlación de PEARSON

INDICE DE TABLAS Y GRAFICOS

Tablas:

Tabla N°1 Clasificación de los hormigones por resistencia a compresión (NCh 170 Of .85)	.25
Tabla N°2 Clasificación de los hormigones por resistencia a flexotracción (NCh 170 Of .85)	.25
Tabla N°3 Clasificación de cemento según su composición	.....27
Tabla N°4 Clasificación de cemento según su resistencia	.....27
Tabla N°5 Escurrimiento, asentamiento de cono y resistencia a la compresión fluidificado con diferentes dosis de Sikamentt FF-86	.....30
Tabla N°6 Efectos sobre la resistencia	.....30
Tabla N°7 Resistencias mecánicas en morteros a baja temperatura	.....30
Tabla N°8 Granulometría arena	.....33
Tabla N°9 Granulometría gravilla	.....34
Tabla N°10 Granulometría árido combinado	.....35
Tabla N°11 Dosificación	.....36
Tabla N°12 Cuadro resumen resultados obtenidos de los ensayos a los áridos	.....38
Tabla N°13 Resultados ensayos asentamiento	.....42
Tabla N°14 Resultados ensayos a compresión hormigones H10-H20	.....42
Tabla N°15 Resultados ensayos a flexotracción hormigones H10-H20	.....43
Tabla N°16 Resultados ensayos a compresión hormigones H30-H40	.....44
Tabla N°17 Resultados ensayos a flexotracción hormigones H30-H40	.....44
Tabla N°18 Resultado ensayos a compresión hormigones H50-H60	.....45
Tabla N°19 Resultados ensayos a flexotracción hormigones H50-H60	.....45
Tabla N°20 Resultados ensayos a compresión hormigón H70	.....46
Tabla N°21 Resultados ensayos a flexotracción hormigón H70	.....46
Tabla N°22 Resultados análisis estadísticos resistencias a compresión	.....47
Tabla N°23 Resultados análisis estadísticos resistencias a flexotracción	.....47
Tabla N°24 Resistencias promedio compresión, flexotracción y sus respectivos factores de conversión	.....50

Gráficos:

Gráfico N°1 Curva granulométrica arena	33
Gráfico N°2 Curva granulométrica gravilla	34
Gráfico N°3 Curva granulométrica árido combinado	36
Gráfico N°4 Correlación resistencia a compresión – resistencia a flexotracción	50
Gráfico N°5 Factores de conversión para cada nivel de resistencia en el intervalo H10-H70.....	51

RESUMEN

El control de calidad de los hormigones al igual que su dosificación se basa principalmente en los resultados de ensayos a compresión de probetas cúbicas representativas del hormigón colocado.

Dada la complejidad de las estructuras modernas que son diseñadas para soportar interacciones mecánicas como por ejemplo flexión compresión y considerando las variaciones significativas que han experimentado los hormigones en términos de resistencia en los últimos años, es de especial interés actualizar los criterios de control y en especial las relaciones de correlación entre la resistencia a compresión y a flexotracción para distintos niveles de resistencia a compresión.

Para ello se confeccionarán 7 hormigones uno para cada grado de hormigón desde el H10 hasta el H70; para cada hormigón se analizarán 5 probetas cúbicas de 15x15 cm a compresión y 5 vigas de 15x15x53 cm a flexotracción a los 28 días.

Del análisis estadístico se deduce una relación lineal entre la resistencia a compresión y la resistencia a flexotracción, estableciendo factores de conversión entre dichas propiedades para cada nivel de resistencia a compresión.

SUMMARY

Quality control of concrete as its dosage is based primarily on the results of compression trial on cubic test tubes characteristic of placed cement.

Given the complexity of modern structures which are designed to withstand mechanical interactions such as bending and compression; and, considering that concrete has undergone significant changes in terms of strength in recent years, it is of particular interest to update the control criteria, specially the relations of correlation between the compressive and flexural strength for different levels of compression resistance.

For that reason, seven concrete structures will be built one for each grade of cement from H10 to H70. Also; for each concrete 5 cubic test tubes of 15x15 cm compressed will be analyzed and 5 beams of 15x15x53 cm flexural within 28 days.

Statistical analysis shows a linear relationship between compressive and flexural strength, setting conversion factors among such properties for each level of compressive resistance.

INTRODUCCION

Dentro del mundo de la construcción, el hormigón es el material más empleado y fabricado en la actualidad. Dada la importancia de este material, sus características y propiedades son materia de estudio e investigación constante, a fin de obtener el mayor conocimiento en post de utilizarlo de manera más eficiente y segura.

La relación existente entre las resistencias mecánicas del hormigón, en particular, entre las de tracción y de compresión, ha sido estudiada abundantemente y, sin embargo, a pesar de los múltiples esfuerzos realizados no se ha logrado establecer una relación consensuada. En todo caso, se ha llegado a detectar que la relación entre la tracción pura y la resistencia a compresión puede variar entre $1/10$, para resistencias bajas, y $1/25$, para resistencias altas. En la práctica, la relación que interesa es la que existe entre la tracción indirecta, o flexotracción y la resistencia a compresión, esto es, para la forma como se miden normalmente estos tipos de resistencia.

El tema que se propone, consiste en cuantificar de qué manera cambia la variación de la relación resistencia a flexotracción/resistencia a compresión, dentro de un intervalo de resistencia a compresión entre H10 y H70.

CAPITULO 1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Determinar experimentalmente la variación de la relación resistencia a flexotracción/resistencia a compresión, dentro de un intervalo H10-H70.

1.2 Objetivos específicos

- Para cumplir con las bases del tema, diseñar y lograr obtener hormigones de resistencia a compresión variable dentro del intervalo H10-H70.
- Determinar el tipo de correlación existente entre resistencias a flexotracción y resistencia a compresión.
- De acuerdo a los resultados que se obtengan, establecer coeficientes de conversión de resistencias de flexotracción a compresión según nivel de resistencia.

1.3 Hipótesis

Hay una variación clara y cuantificable de las relaciones de resistencias del hormigón a flexo tracción y compresión para un intervalo acotado de distintos niveles de resistencia a compresión.

1.4 Alcances

Se estudiará la variación de las relaciones de resistencia a flexotracción/resistencia a compresión a los 28 días al efectuar ensayos de asentamiento; cubos a compresión y vigas a flexotracción para un intervalo de resistencia aproximada a compresión H10-H70 y de asentamiento 8 ± 2 cm.

1.5 Limitaciones

1.5.1 Limitaciones de materiales

- Para la fabricación del hormigón se utilizará cemento portland puzolánico grado corriente.
- Se empleará árido grueso (grava) Dn 20 mm proveniente de la planta Maggi.
- Se empleará árido fino (arena) proveniente de la planta Maggi.
- Para la fabricación del hormigón se utilizará agua potable.
- Se utilizará un aditivo reductor de agua Sikamentt FF-86.
- Para efectuar los ensayos de flexotracción y compresión se utilizaran 5 probetas cúbicas de arista 15 cm y 5 probetas viga de 15x15x53 cm.

1.5.2 Limitaciones de maquinaria

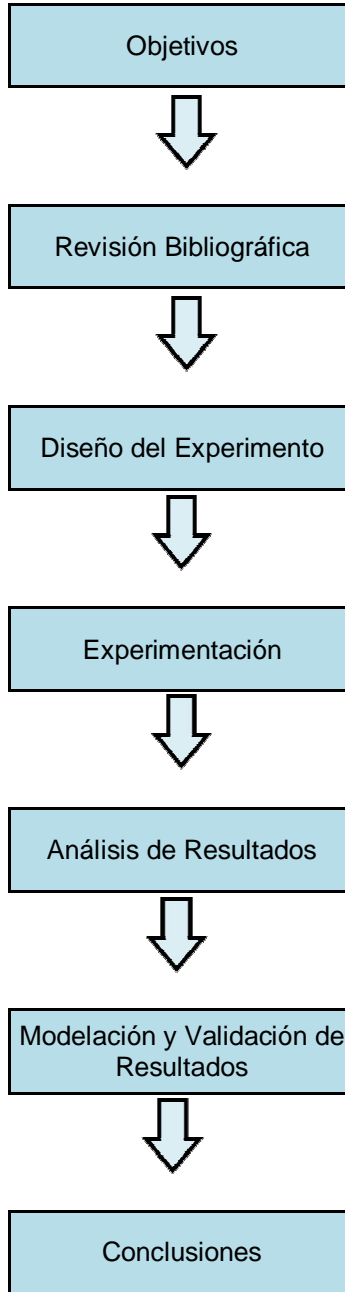
- Para la elaboración del hormigón se usará una betonera de eje vertical, que tiene una capacidad de 60 lts.
- Para la vibración del hormigón se empleará vibrador de inmersión.

1.5.3 Limitaciones de aplicación

Los resultados y conclusiones de este estudio están acotados y serán validos y aplicables a los hormigones de uso corriente estipulados en la NCh 170 Of 85, que estipula la clasificación de hormigones por resistencia a compresión. No siendo así para hormigones especiales como es el caso del hormigón celular.

1.6 Metodología

La metodología de la presente tesis está graficada en la figura que se detalla a continuación.



El primer paso de la metodología, es identificar los hormigones que serán objeto de estudio y el campo de aplicación de cada uno de ellos en forma general. Para ello se extraerán muestras de hormigón fresco, según NCh 171. Una vez obtenida la muestra, se confeccionarán las probetas para ensayo, las cuales serán 5 vigas de 15x15x53 cm de sección y longitud de 53 cm; y 5 probetas cúbicas de 15 cm de arista, para cada tipo de hormigón en el intervalo H10-H70, de acuerdo a lo establecido en la norma NCh 1017. Por último, se efectuarán los ensayos de compresión según NCh 1037, y de flexotracción, o tracción por flexión, conforme a NCh 1038.

El diseño de este trabajo consiste primero en realizar la experimentación y en segundo lugar en realizar un análisis estadístico el cual nos permita elaborar y/o establecer un factor de conversión de resistencia de flexotracción a compresión según nivel de resistencia.

El análisis estadístico consiste en el cálculo de desviaciones estándar, relativas, coeficiente de correlación de PEARSON, recta de regresión y errores típicos de estimación. Dichos cálculos permitirán obtener una idea acabada de la representatividad de los datos y la validación de los mismos para, a partir de éstos, obtener las conclusiones respectivas.

1.7 Factibilidad Técnico-Económica

1.7.1 Equipos y materiales

Se dispone de las instalaciones y laboratorios de la escuela para la realización de los ensayos involucrados en la investigación.

Respecto de los materiales a utilizar son de fácil acceso a través del comercio formal y de costos solventables por quien realiza la investigación.

1.7.2 Tiempos de toma de datos.

Considerando la edad de los ensayos a realizar y la cantidad de muestras a tomar, se seguirá de acuerdo a la siguiente planificación.

1. Coordinación de las fechas con el laboratorio de hormigón
2. Fabricación de hormigones. Se realizarán tres sesiones en las cuales se fabricarán 2 tipos de hormigón y una última sesión en la cual se pretende fabricar 3 tipos.
3. Una vez confeccionadas las vigas y probetas cúbicas se someterán a los ensayos de flexotracción y compresión a una edad de 28 días.

1.8 Justificación e importancia

“El objetivo de un diseño de hormigón es obtener una mezcla que posea un mínimo de determinadas propiedades tanto en estado fresco como endurecido, al menor costo de producción posible” (*Marcelo Romo Proaño 2003*) (1).

El siguiente trabajo pretende ser un aporte concreto y práctico para la comprensión del comportamiento mecánico del hormigón y la relación entre las distintas sollicitaciones a las que se somete generalmente el hormigón, como son la flexotracción y la compresión.

Al tener un conocimiento más acabado de las propiedades mecánicas del hormigón, se puede hacer un diseño más eficiente de los elementos estructurales donde el hormigón juegue un papel fundamental como lo es el caso de los elementos de hormigón armado. Además de poder obtener hormigones a flexotracción siendo previamente diseñados en relación a su resistencia a compresión y al aplicar un factor de conversión específico para el grado de hormigón utilizado, estos factores de conversión son muy útiles para calcular hormigones para galpones industriales, carreteras, vigas pretensadas y losetas pretensadas con altas sollicitaciones a la flexión.

Desde el punto de vista estructural, el hormigón tiene gran resistencia a la compresión no ocurriendo lo mismo con la tracción, es por ello la necesidad de estudiar la variación de estas propiedades, a distintos niveles de resistencia del hormigón a compresión dado que es su principal característica de clasificación y utilización.

CAPITULO 2 ANTECEDENTES

2.1 Antecedentes Bibliográficos

Mediante la recopilación bibliográfica, se han obtenido antecedentes y datos que apoyan y sustentan la hipótesis planteada.

En la bibliografía, se citan valores para la **resistencia a compresión** del hormigón medida sobre cubos de 20 cm de arista, es de unos 1100 kg/cm² y mediante tratamientos térmicos de alta temperatura se puede llegar a los 1600 kg/cm². Estos valores citados se refieren siempre a morteros muy grasos y a probetas muy pequeñas que no son comparables con los hormigones regulares. Como el endurecimiento del hormigón va progresando a lo largo del tiempo es necesario fijar fechas escogidas convenientemente. La principal de ellas es la de 28 días, por ejemplo, en Alemania para la consignación de calidades para el hormigón ordinario ésta se hace con valores de resistencias mínimas de la compresión a los 28 días.

Para el caso de la **resistencia a flexotracción**, la bibliografía señala que para poder determinarla y mantener constante el momento *M* de flexión durante el ensayo, en un largo segmento, en lugar de una sola carga se emplean dos cargas concentradas de magnitud *P/2*, actuando a la distancia *a*, de los apoyos de la viga.

El ensayo con dos cargas concentradas arroja generalmente valores inferiores a los obtenidos trabajando con una sola carga concentrada.

“En términos generales, los mismos factores que influyen en la resistencia a la compresión, son determinantes en la resistencia a la flexotracción, en cambio, la cantidad de agua añadida no influye tanto en la resistencia a la flexotracción como en la resistencia a la compresión. Por otra parte, hay que tener en cuenta la forma del grano y la naturaleza de la superficie de los áridos, cuya influencia es notablemente más intensa. Además, las dimensiones de la sección transversal influyen directa e indirectamente. En ensayos especiales cuanto mayor sea la sección de la viga, tanto menor resulta la resistencia a la flexotracción, a igualdad de las restantes condiciones. Para determinar dimensiones de la sección y formas de conservación, a ciertas edades del hormigón, quedan los resultados falseados por las tensiones de retracción” (A. Hummel) (2).

Con el fin de evitar estas tensiones de retracción modernamente se ensayan las vigas de hormigón únicamente después de haber estado almacenadas bajo agua o conservadas permanentemente en ambiente húmedo.

“La resistencia a la flexotracción y la resistencia a la compresión guardan relación entre sí” (A. Hummel) (3).

Para la resistencia a la flexotracción y a la compresión de primas de mortero de cemento según DIN 1164 la fórmula da como promedio $B = D^{0,70}$ a $0,73$. Por la posibilidad de que las tensiones de retracción desfiguren el valor de las resistencias a la flexotracción y que tales alteraciones, como es natural, puedan ser mayores al aumentar las secciones, el valor práctico de dichas resistencias es muy discutible.

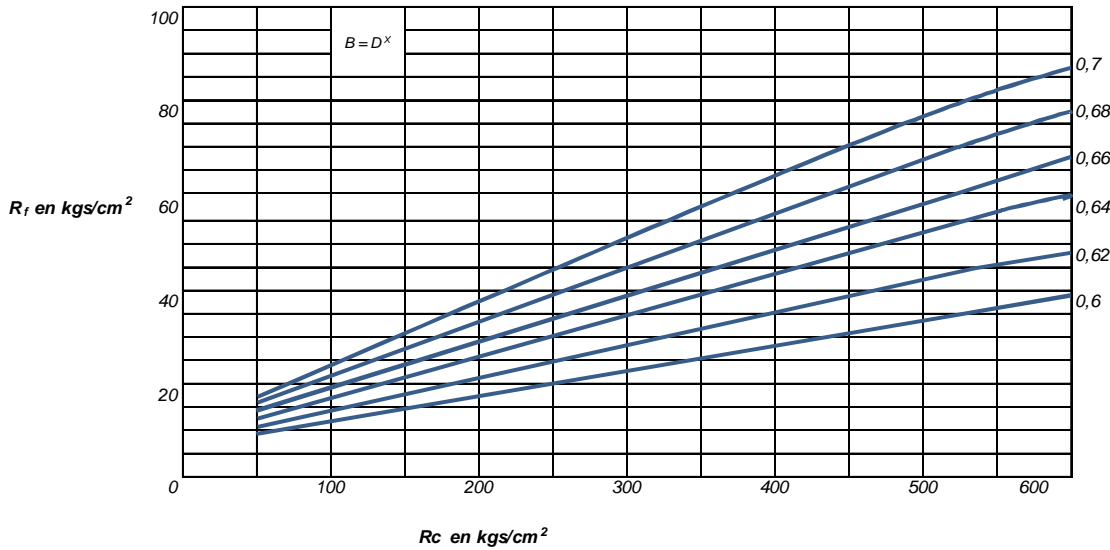


Fig. 1 Relación entre las resistencias a la flexotracción y a la compresión del hormigón.

A continuación se ilustran estudios relacionados que avalan esta aseveración.

Relación entre las resistencias

Especialistas en la materia, han tratado este tema abundantemente, sin embargo, los diferentes resultados obtenidos presentan ciertas diferencias y en algunos casos significativas. En Chile, también se han realizado trabajos al respecto, aunque estos han sido principalmente en laboratorio, y algo menos, utilizando valores de obra.

Algunas relaciones encontradas por otros autores:

“En vista de los numerosos factores que influyen la razón de las resistencias (a compresión y a flexotracción) no debe sorprender que generalmente no sea aplicable una relación única. El mismo autor, cita a su vez, resultados obtenidos en los Laboratorios de la Portland Cement Association, de los cuales extractamos lo siguiente, en donde las resistencias están en kgf/cm^2 y referidas al cubo de 20 cm de arista” (Neville, A.M)(4)

R_c	R_f/R_c
245	0,16
327	0,15
408	0,14
490	0,13
572	0,12

(A.Hummel) (5) por su parte, establece una relación de la forma siguiente, para probetas viga de dimensiones 70x15x10 cm y probeta cúbica de arista 20 cm.

$$R_F = R_C^x ,$$

donde, el valor x para áridos rodados puede variar entre 0,60 y 0,66; y para áridos chancados, entre 0,66 y 0,72.

(Troxel, Davis y Kelly) (6) proponen una relación aproximada entre ambas resistencias, considerando probetas cilíndricas de 15x30 cm para compresión y viga de sección 15x15 cm para flexotracción:

$$R_C = (R_F/K)^2 ,$$

donde, K es una constante que puede variar entre 8 y 10. Esta expresión considera resistencias en libras por pulgada cuadrada.

En una investigación realizada en el IDIEM, (Piñeiro; Valenzuela y Genta) (7) encontraron las siguientes expresiones para la resistencia a flexotracción en función de la resistencia a compresión:

$$R_F = 1,08 R_C^{0,649} \text{ (árido chancado)}$$

$$R_F = 1,11 R_C^{0,623} \text{ (árido rodado)}$$

Las probetas empleadas para compresión fueron cúbicas de 20 cm de arista y, para flexotracción vigas de sección 15x15 cm.

Con datos extraídos de una obra construida en Santiago, Piñeiro y Muñoz (8) obtuvieron la siguiente relación, empleando probeta cilíndrica 15x30 cm para compresión, y viga de sección 15x15 cm para flexotracción:

$$R_F = 1,26 R_C^{0,63}$$

En las IV Jornadas Chilenas del Hormigón, (Thumm, Cifuentes y Downey) (9) presentaron un trabajo que incluyen relaciones compresión-flexotracción para 6 obras de pavimentación de carreteras. De este trabajo hemos extractado los valores encontrados por los autores citados.

Obra N°	Relación R_F/R_C		
	a 7 días	a 28 días	a 90 días
1	0,17	0,158	0,14
2	0,177	0,153	0,144
3	0,158	0,152	0,145
4	0,152	0,147	0,152
5	0,129	0,127	0,131
6	0,126	0,122	0,127

En las obras 1 a 4, se empleó probeta cilíndrica 15x30 cm para los ensayos de compresión; en las obras 5 y 6, para dicho ensayo se empleó la probeta cúbica de 15 cm de arista. En todas las obras, la resistencia a flexotracción se determinó en la probeta viga de 15x15 cm de sección.

Otro estudio realizado en el IDIEM (*Juan Egaña Ramos*) (10) se encontró la siguiente relación, cuyo análisis proviene de diversas obras de pavimentación tanto urbanas como de carreteras con especificaciones similares.

Entre las resistencias a compresión y a flexotracción de cada muestra individual, y para las edades de ensayo consideradas, se estableció una relación

$$K = (R \text{ flexotracción} / R \text{ compresión}) \times 100 (\%)$$

Las relaciones obtenidas se procesaron estadísticamente, obteniéndose los siguientes resultados:

	7 d	28 d	90 d
Número juegos de probetas	365	380	110
Relación K media, %	12,6	12,4	10,8
Desviación típica	2,3	1,8	1,7
Coefficiente de variación	18,3	14,5	15,7

En definitiva, los valores obtenidos se pueden resumir en las siguientes expresiones:

	7 d	28 d	90 d
Relación media	$R_f = 0,126 * R_c$	$R_f = 0,124 * R_c$	$R_f = 0,108 * R_c$
Desviación inferior	$R_f = 0,103 * R_c$	$R_f = 0,106 * R_c$	$R_f = 0,091 * R_c$
Desviación superior	$R_f = 0,149 * R_c$	$R_f = 0,142 * R_c$	$R_f = 0,125 * R_c$

2.2 Antecedentes Generales

La NCh 170 Of.85, entrega una tabla de conversión de resultados de ensayos a compresión de probetas cilíndricas a cúbicas, sin embargo, no existe una tabla de conversión de resultados de ensayos a compresión y ensayos a flexo tracción, es decir, no hay una relación establecida entre la resistencia a flexotracción y la resistencia a compresión.

La norma chilena NCh 170 Of.85, define hormigón como: "Material que resulta de la mezcla de cemento, grava, arena, agua, eventualmente aditivos y adiciones en proporciones adecuadas que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia" (11).

Cuando el hormigón se encuentra recién mezclado debe presentar una condición plástica, que facilite las operaciones indispensables para su colocación en los moldes y con el paso del tiempo éste debe ser capaz de adquirir una cohesión y resistencia, esto va a depender en gran medida de la buena compactación que se le realice, que lo hagan apto para ser empleado en la gran variedad de obras de ingeniería como autopistas, calles, puentes, túneles, presas, grandes edificios, etc.

Una de las propiedades más notables y por supuesto la más importante de las muchas que tiene el hormigón, es su resistencia, la que puede ser predeterminada y está directamente relacionada con las características de sus materiales componentes.

El hormigón es un material sumamente resistente a la compresión, pero extremadamente frágil y débil a solicitaciones de tracción. Para aprovechar sus fortalezas y superar sus limitaciones, en estructuras se utiliza el hormigón combinado con barras de acero resistente a la tracción, lo que se conoce como hormigón armado.

2.2.1 Resistencias Mecánicas del Hormigón.

La principal característica estructural del hormigón es resistir muy bien los esfuerzos de compresión, sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas.

La resistencia a compresión del hormigón se mide de forma directa a través del ensayo de compresión. La norma NCh 1037 Of 77 establece el método para efectuar el ensayo a rotura por compresión de probetas cúbicas y/o cilíndricas de hormigón, obtenidas según la norma NCh 1017 Of 75.

"Los ensayos de tracción pura en el hormigón son muy problemáticos". (12). Por lo anterior, se realizan pruebas directas e indirectas.

Las pruebas directas de tracción se pueden ejecutar mediante la prueba directa a la tracción.

También se pueden realizar pruebas indirectas de medición a la tracción, tales como, la medición de tracción por hendimiento a la rotura de probetas cilíndricas de hormigón, NCh 1170 Of 1977 "En general se concluyó que el Ensayo de Hendimiento no es el mejor indicador de la resistencia a tracción del hormigón" (13). Otra forma indirecta de medición, siendo ésta la más utilizada, es mediante el Ensayo de Flexotracción, que mide la tracción por flexión a la rotura de probetas prismáticas de hormigón, simplemente apoyadas NCh 1038.

Cada día es más importante el estudio e investigación de las propiedades mecánicas del hormigón dadas las aplicaciones cada vez más arriesgadas y las tensiones cada día más elevadas que se aceptan para este material.

La resistencia a la compresión especificada a los 28 días, para un tipo individual de hormigón, es la resistencia que se espera sea igualada o sobrepasada. La tolerancia promedio debe igualar a la resistencia especificada más una tolerancia que responde a las variaciones en los materiales; a las variaciones de métodos de mezclado, transporte y colocación del hormigón y las variaciones en la elaboración, curado y ensayo de las muestras cúbicas de hormigón.

Resistencia a compresión.

Esta característica es la más importante del hormigón; como se mencionó anteriormente su medición se hace a través de probetas cúbicas.

La NCh 170 Of 85 incorpora algunos conceptos claves.

Resistencia mecánica.

Tensión máxima que soporta el hormigón (de compresión, de tracción, de hendimiento, etc.). Se expresa en MPA ($1\text{MPA} = 1\text{N/mm}^2$).

Resistencia media requerida.

Valor medio o estimado de los resultados de la resistencia mecánica que se necesita alcanzar para satisfacer la resistencia especificada.

Resistencia especificada f_c y f_t .

A compresión y flexotracción respectivamente, establecida en el proyecto sobre probetas normales con un determinado nivel de confianza.

Nivel de confianza f_k .

Valor calculado estadísticamente a partir de los resultados obtenidos en los ensayos que corresponde a un nivel de confianza determinado, considerando una distribución normal.

2.2.2 Cualidades Resistentes del Hormigón.

Cualidades de los materiales: La calidad del cemento, de los áridos y del agua influyen directamente en el grado de resistencia del hormigón.

El hecho de que pueda regularse la velocidad con que el cemento amasado pierde su fluidez y se endurece, lo hace un producto muy útil en construcción. Una reacción rápida de hidratación y endurecimiento dificultaría su transporte y una cómoda puesta en obra relleno de todos los huecos en los encofrados. Una reacción lenta aplazaría de forma importante el desarrollo de resistencias mecánicas (*Instituto Chileno del Cemento y Hormigón*)(14).

2.2.3 Dosificación de componentes.

“Dosificar es calcular las proporciones en que se mezcla el cemento, los áridos, el agua y posibles aditivos”(Instituto Chileno del Cemento y Hormigón).(15)

Una selección adecuada de los materiales y de las características de la mezcla y una dosificación adecuada, se pueden obtener las propiedades de trabajabilidad en el hormigón fresco; durabilidad, resistencia y uniformidad en el hormigón endurecido y a la vez economía. Antes de efectuar una dosificación de hormigón, se deben seleccionar sus características en base al uso que se le quiera dar al hormigón, a las condiciones de exposición, al tamaño y forma de los elementos, y las propiedades físicas del hormigón, principalmente la resistencia que se le quiera dar a la estructura. Como la mayor parte de las propiedades que se busca obtener en el hormigón endurecido dependen de la calidad de la pasta de cemento, el primer paso para definir una mezcla de concreto es la selección de una relación agua/cemento acorde con la durabilidad y resistencia requerida.

2.2.4 Confección.

Para la preparación y puesta en obra del hormigón es importante considerar los factores que afectan a la resistencia y durabilidad del hormigón.

- a) El tiempo de amasado aumenta la resistencia, pero un tiempo demasiado largo puede producir segregación.
- b) El vibrado del hormigón debe ser el adecuado para el tipo de hormigón con el fin de reducir el volumen de huecos.
- c) Un curado adecuado mejora la resistencia del hormigón.

2.2.5 Relación agua-cemento.

La relación agua-cemento que se elija para el diseño de la mezcla, debe ser el menor valor requerido para cubrir las consideraciones de exposición de diseño. Cuando la durabilidad no sea el factor que rija el diseño, la relación agua/cemento deberá elegirse en base a la resistencia a compresión del hormigón. Por la facilidad con que se determina, la resistencia a la compresión es la medida para la calidad del hormigón empleada más universalmente. A pesar de ser una característica importante, otras propiedades tales como la durabilidad, la permeabilidad y la resistencia al desgaste que pueden tener igual o mayor importancia. La resistencia de la pasta de cemento en el concreto depende de la cantidad y calidad de los componentes reactivos y del grado al cual se completa la reacción de hidratación. El hormigón se vuelve más resistente con el tiempo, siempre y cuando exista humedad disponible y se tenga una temperatura favorable.

2.3 Clasificación del Hormigón

La NCh 170 Of 85 establece una clasificación del hormigón en grado según su resistencia especificada a compresión, medida en probetas cúbicas de 20 cm de arista a la edad de 28 días en donde la resistencia a compresión llega hasta 500kgf/cm².

Con respecto a la resistencia a flexotracción se mide en probetas prismáticas de 15x15 cm de sección y 50 a 60 cm de longitud al igual que los ensayos a compresión la edad será de 28 días en donde la resistencia a flexotracción llega a los 60kgf/cm².

Tabla N°1. Clasificación de los Hormigones por resistencia a compresión (NCh170 Of 85).

Grado 1	Resistencia Especificada	
	MPA	Kgf/cm ²
H5	5	50
H10	10	100
H15	15	150
H20	20	200
H25	25	250
H30	30	300
H35	35	350
H40	40	400
H45	45	450
H50	50	500

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°2. Clasificación de hormigones por resistencia a flexotracción (NCh170 Of 85).

Grado Flexotracción	Resistencia Especificada	
	MPA	Kgf/cm ²
HF3,0	3,0	30
HF3,5	3,5	35
HF4,0	4,0	40
HF4,5	4,5	45
HF5,0	5,0	50
HF5,5	5,5	55
HF6,0	6,0	60

Fuente: Elaboración propia.

2.4 Docilidad

De gran importancia, ya que de ella depende la facilidad que podamos obtener para manejar el hormigón en estado fresco. Diremos que está relacionada directamente con:

- La composición granulométrica que tengan los áridos, la cual será regulada por la norma NCh 165 y NCh 163.
- El contenido de granos finos, el que es regulado por la norma NCh 163 y NCh 1223.
- Forma de los granos, regulada por la norma NCh 163 y NCh 1511.
- Porosidad, regulada por NCh 163, NCh 1239 y NCh 1117.

El hormigón debe ser fabricado siempre para tener una trabajabilidad, consistencia, y plasticidad adecuada a las condiciones de trabajo. La trabajabilidad es una medida de lo fácil o difícil que significa colocar, consolidar y darle acabados al hormigón. La consistencia es la facultad del hormigón fresco para fluir. La plasticidad determina la facilidad de moldear al hormigón. Si se usa mas agregado en una mezcla de hormigón o si se agrega menos agua, la mezcla se vuelve más rígida (menos plástica o menos trabajable) y difícil de moldear. No se puede considerar plásticas a las mezclas muy secas o muy desmoronables ni a las muy aguadas o fluidas.

La trabajabilidad del hormigón en el momento de su colocación puede ser deducida mediante el asentamiento del cono de Abrams, de acuerdo con la NCh.1019. Esta se debe elegir según tabla N°2 (NCh.170 Of.85).

La docilidad es un indicador de la trabajabilidad cuando se evalúan mezclas similares. Sin embargo no deben usarse para comparar mezclas totalmente distintas. Un cambio de docilidad en las diferentes mezclas de la misma proporción indica un cambio en la consistencia y en las características de los materiales, en las proporciones de la mezcla, o en el contenido de agua.

2.5 Componentes del Hormigón

Cemento, es uno de los principales componentes del hormigón debido a la función de aglomerante que cumple en la mezcla y también por la gran incidencia económica en el costo final del producto llamado "hormigón". El cemento es del grupo de los llamados conglomerantes hidráulicos, ya que al ser amasado con agua fraguan y en endurecen debido a reacciones químicas exotérmicas que se efectúan una vez mezclada el agua con el cemento.

Los principales componentes del cemento son la caliza (cal), sílice, alúmina y el óxido férrico. Estos son mezclados en proporciones adecuadas y sometidos a un proceso de fusión en un horno rotatorio, donde adquiere una consistencia pastosa que al enfriarse se convierte en fragmentos de coloración oscura, compactos y duros dando creación al clínquer. Este posteriormente será sometido a molinos tubulares, provistos de bolas de acero, donde se le agrega aproximadamente un 3% de yeso para regular el tiempo del fraguado, convirtiéndolo en polvo finísimo.

2.5.1 Clasificación de cementos fabricados en Chile.

Según la norma NCh 148 Of 68. Cemento. Terminología, Clasificación y Especificaciones Generales. Los cementos nacionales se clasifican por su composición y su resistencia.

Según su composición:

Tabla N° 3. Clasificación de los cementos según su composición.

Denominación	Proporción de los componentes		
	CLINQUER	PUZOLANA	ESCORIA
PORTLAND	100%	–	–
PORTLAND/PUZOLANICO	≥70%	≤30%	–
PORTLAND/SIDERURGICO	≥70%	–	≤30%
PUZOLANICO	50-70%	30-50%	–
SIDERURGICO	25-70%	–	30-75%

Fuente: Compendio tecnología del hormigón.

Según su resistencia:

Tabla N° 4. Clasificación de los cementos según su resistencia.

Grado	Tiempo de fraguado		Resistencia mínima kg/cm ²			
	Inicial mín.	Final máx.	Compresión		Flexión	
			7 días	28 días	7 días	28 días
CORRIENTE	60 min	12 h	180	250	35	45
ALTA RESISTENCIA	45 min	10 h	250	350	45	55

Fuente: Compendio tecnología del hormigón.

2.5.2 Áridos.

Se denomina árido al material granulado que se utiliza como materia prima en la construcción principalmente. El árido se diferencia de otros materiales por su estabilidad química y su resistencia mecánica, y se caracteriza por su tamaño. No se consideran como áridos a aquellas sustancias minerales utilizadas como materias primas en procesos industriales debido a su composición química. Representan el mayor volumen en el hormigón. Normalmente entre un 65-75% del hormigón está constituido por áridos NCh163 Of 79.

Condiciones que deben cumplir los áridos.

Las especificaciones del tamaño máximo de los áridos en el hormigón son importantes para obtener uniformidad de las mezclas, impermeabilidad y calidad en la textura superficial del hormigón y finalmente para optimizar la dosis de cemento.

El tamaño de los áridos varía entre 0.08 mm y 50 mm, estos ocupan entre 65 % y 75% del volumen total del hormigón, lo que influye significativamente en las propiedades del hormigón, incluyendo la resistencia a la compresión y flexotracción.

Para su buena integración en el hormigón el árido debe cumplir, con todas las condiciones exigidas en la norma NCh163 Of. 79. Las condiciones pueden resumirse en tres grupos:

Resistencia Propia:

El árido debe ser capaz de resistir condiciones ambientales y las tensiones para las cuales será diseñado. Una forma indirecta de medir esta resistencia es someter la muestra a los ensayos de desgaste de grava, por el método de la máquina de los ángeles y partículas desmenuzables, cuyos ensayos serán regidos por las normas NCh 1369 y NCh 1327 respectivamente. Además de cumplir con estas normas de ensayo, los áridos deberán satisfacer los requisitos mínimos especificados en la NCh163.

Estabilidad Físico-Química:

El árido debe ser capaz de soportar las condiciones físico-químicas provocadas por el ambiente al que será expuesto.

En su estabilidad química, los áridos deberán presentar inalterabilidad ante los compuestos producidos durante el proceso de fraguado, además no deben poseer productos nocivos que puedan alterar el proceso de fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento.

Por otro lado en su estabilidad física, el árido debe ser capaz de soportar los ciclos alternados de altas y bajas temperaturas (ciclos de hielo-deshielo).

Agua:

La presencia del agua es imprescindible en la confección de los hormigones, ya que tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de mezclas, otorgándole trabajabilidad al hormigón fresco y como medio de curado en las estructuras recién construidas, proceso que consiste en lograr que el material disponga del agua que necesita el cemento para hidratarse y mantenerse en condiciones moderadas de temperatura.

Como componente del hormigón convencional el agua representa aproximadamente entre el 10 y el 25% del volumen del hormigón recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo del agregado que se utilice y de la docilidad que se requiera. El agua debe cumplir con ciertos requisitos lo que son regulados por la norma NCh 1498. Sólo el agua potable está permitido utilizarla sin necesidad de verificar su calidad. Todo otro tipo de agua debe ser analizada. Es importante mencionar que el agua de mar no debe ser utilizada en hormigones armados.

2.5.3 Aditivos reductores de agua.

En los últimos años la industria de los aditivos químicos para hormigón ha seguido desarrollando nuevos productos e introduciéndolos en el mercado nacional tales como: inhibidores de corrosión, reductores de retracción y aditivos reductores de agua de alta eficiencia.

El uso en Chile de los diferentes aditivos, especialmente los reductores de agua, ha permitido desarrollar eficiente y económicamente el hormigón premezclado y las diferentes técnicas de

hormigonado, tales como: hormigón bombeado, hormigón proyectado, hormigón fluido, hormigón prefabricado, hormigón bajo agua, etc.

Conceptos generales

Los aditivos son aquellos productos que introducidos en el hormigón permiten modificar sus propiedades en una forma susceptible de ser prevista y controlada.

Productos que, agregados en pequeña proporción en pastas, morteros y hormigones en el momento de su fabricación, mejoran o modifican una o varias de sus propiedades.

Plastificantes - reductores de agua

Generalidades

Las exigencias actuales, ya sea estructuras complicadas, con gran densidad de armaduras, etc., hacen que este aditivo sea uno de los más usados ya que, produce un aumento de la docilidad, sin la necesidad de aumentar la cantidad de agua de amasado, cumpliendo así con las resistencias especificadas, con una trabajabilidad mayor que la que le correspondería a la razón agua-cemento especificada.

Los Aditivos Plastificantes reductores de agua, cumplen la función, como se mencionaba anteriormente, de aumentar la docilidad del hormigón sin variar su razón agua-cemento.

Otra alternativa que brinda este tipo de aditivo es la de mantener una trabajabilidad determinada disminuyendo la dosis de agua y por consiguiente la razón agua-cemento, dando como resultado un aumento de la compacidad, la resistencia, la impermeabilidad y la durabilidad del hormigón, así como también, una menor tendencia a la fisuración.

A través de las indicaciones otorgadas por el fabricante se pronostican los siguientes efectos:

Efectos producidos por aditivos Plastificante - reductor de agua

- El principal efecto de este aditivo es su influencia en la trabajabilidad del hormigón fresco.
- Retarda el tiempo de fraguado, dependiendo del tipo y de la dosis de aditivo este retardo puede ir de 0.5 a 16 horas.
- Tiende a influir sobre la incorporación de aire, dependiendo del tipo de aditivo utilizado, variando esta influencia de un 0,3 a un 2,5%.
- La reducción de agua provoca un aumento en la cohesión, la impermeabilidad, la compacidad y la durabilidad del hormigón. Y a su vez también reduce la segregación y exudación.
- Aumenta levemente la resistencia mecánica del hormigón.

Para esta experiencia se empleará específicamente el aditivo reductor de agua Sikament FF-86 que se utilizará en los hormigones de grado H50; H60; H70 con el fin de reducir la relación agua/cemento y poder llegar a las resistencias requeridas para los grados de hormigón anteriormente mencionados. A continuación se presentarán conceptos técnicos del aditivo en relación a su definición, usos, datos técnicos, etc.

Tabla N°5. Ecurrimiento, asentamiento de cono y resistencia a la compresión de un hormigón fluidificado con diferentes dosis de Sikament FF-86.

Hormigón	A/C	Aditivo(%)	Cono(cm)	Din(Cm)	Aire(%)	Resistencia(Kgf/cm2)		
						R3	R7	R28
Patrón	0,49		6	32	1,1	115	172	318
sikament FF-86	0,49	0,5	19	43	0,5	129	190	325
sikament FF-86	0,49	0,8	21	47	0,4	128	196	339
sikament FF-86	0,49	1,0	23	51	0,4	130	201	344
sikament FF-86	0,49	1,5	25	61	0,4	133	178	383

Fuente: Ficha técnica Sikament FF-86.

Observaciones.

- El escurrimiento según la norma Din 1048 se hace notablemente mayor incrementando la dosis de Sikament FF-86.
- Las resistencias mecánicas son superiores al patrón en los hormigones con Sikament FF-86 a pesar del mayor asentamiento de cono y la misma relación A/C.

Hormigón con reducción de agua.

Tabla N°6. Efectos sobre la resistencia.

Hormigón	A/C	Aditivo(%)	Cono(cm)	Din(Cm)	Aire(%)	Resistencia(Kgf/cm2)		
						R3	R7	R28
Patrón	0,49		6	32	1,1	52	115	318
sikament FF-86	0,44	0,5	8	33	1,0	73	171	389
sikament FF-86	0,42	0,8	8	30	1,1	82	184	431
sikament FF-86	0,41	1,0	5	28	1,5	109	249	459

Fuente: Ficha técnica Sikament FF-86.

Observaciones.

- El aumento de la resistencia inicial puede llegar ser más del doble de un hormigón sin Sikament FF-86.
- La resistencia a los 28 días puede ser aumentada hasta un 50% con Sikament FF-86.

Tabla N°7. Resistencias mecánicas en morteros a baja temperatura.

Ensayo	A/C	Aditivo	3 días		7 días		28 días	
			Fft(Kgf/cm2)	Fc(Kgf/cm2)	Fft(Kgf/cm2)	Fc(Kgf/cm2)	Fft(Kgf/cm2)	Fc(Kgf/cm2)
Patrón	0,49	%	29	119	56	250	73	384
Sikament FF-86	0,44	1	41	167	60	336	80	458
Sikament FF-86	0,41	2	47	184	60	384	82	541

Fuente: Ficha técnica Sikament FF-86.

Método de aplicación:

- Sikament FF-86 se puede agregar diluido en agua o para obtener un mejor resultado, al final del amasado. El hormigón debe tener inicialmente la cantidad de agua necesaria para obtener un asentamiento de cono de 6-8 cm. Una vez agregado Sikament FF-86 se obtiene un cono de 18-20 cm.

Para altas resistencias:

- (0.8 2% del peso del cemento) Sikament FF-86 debe diluirse en el agua de amasado, la que debe reducirse entre un 10 y un 25 %, según la dosis utilizada, hasta obtener la resistencia requerida.

CAPITULO 3 METODOLOGIA DE TRABAJO

3.1 Confección de Probetas de Hormigón

Por cada tipo de hormigón se confeccionarán 5 probetas cúbicas y 5 vigas de secciones 15x15 cm de arista en el caso de las probetas cúbicas y 15x15x53 cm en el caso de las vigas, por lo que se estima un volumen de hormigón por colada de 95 lts.

En este volumen se encuentran contempladas eventuales pérdidas y el ensayo de hormigón fresco.

La confección del hormigón se hace conforme a la NCh101 EOf.1977 preparación de mezclas para ensayos de laboratorio.

Todas las probetas serán ensayadas a la misma edad (28 días), las probetas cúbicas se ensayarán a compresión y las vigas a flexotracción.

La confección de las probetas se realiza de acuerdo a la norma NCh1017 Of.1975.

Debido a la gran cantidad de probetas y la capacidad del laboratorio, el curado inicial de las probetas es a intemperie con cubierta plástica.

Una vez transcurridas 24 horas desde su confección, las probetas son desmoldadas e identificadas. Luego, se trasladan a piscinas para realizar el curado bajo agua con temperatura controlada en 20 ± 3 °C.

3.2 Moldes y Materias Primas

Los moldes que se utilizan para la confección de las probetas corresponden a los utilizados comúnmente por IDIEM y cuentan con verificación que asegura el cumplimiento de las especificaciones establecidas en la NCh1017 Of.1975. Hormigón–Confección y Curado en Obra de Probetas para Ensayos de Compresión y Tracción.

Áridos: La procedencia de los áridos es de la planta de áridos Maggi. El análisis de los áridos se desarrolló de acuerdo a las normas chilenas.

- Para la extracción de muestras de ensayo, según la NCh 164 Of 76.
- Análisis granulométrico, según NCh 165 Of 77.

Los resultados a un promedio de 3 granulometrías, donde el tamaño de la muestra fue de 1kg.

3.3 Granulometría de los Áridos

3.3.1 Granulometría de la Arena.

Tabla N°8. Granulometría Arena.

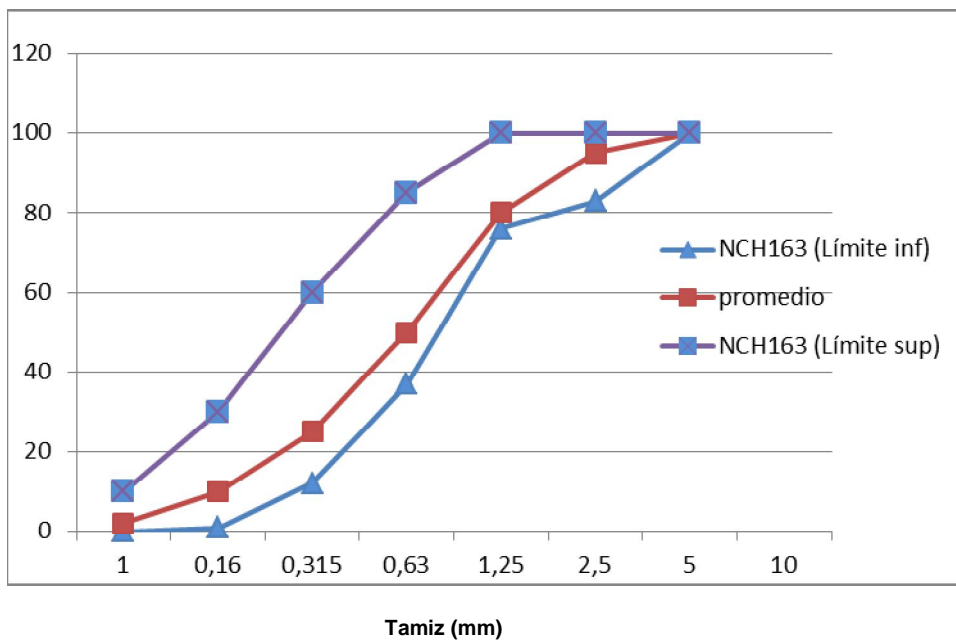
Tamiz (mm)	% acumulado que pasa			Promedio	Corregido	NCh 163
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3			
10	100	100	100	100		100
5	96	94	93	94	100	95-100
2,5	70	82	83	78	83	80-100
1,25	65	75	76	72	76	50-85
0,63	39	33	33	35	37	25-60
0,315	11	10	12	11	12	10-30
0,16	1	1	2	1	1	2-10
Módulo de Finura	3,18	3,05	3,01	3,02	2,91	

Fuente: Elaboración propia.

GRAFICO N°1.

CURVA GRANULOMETRICA ARENA.

% que pasa



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Granulometría Gravilla.

Los resultados corresponden a un promedio de 3 muestras, en donde el tamaño de la muestra fue de 1 kg.

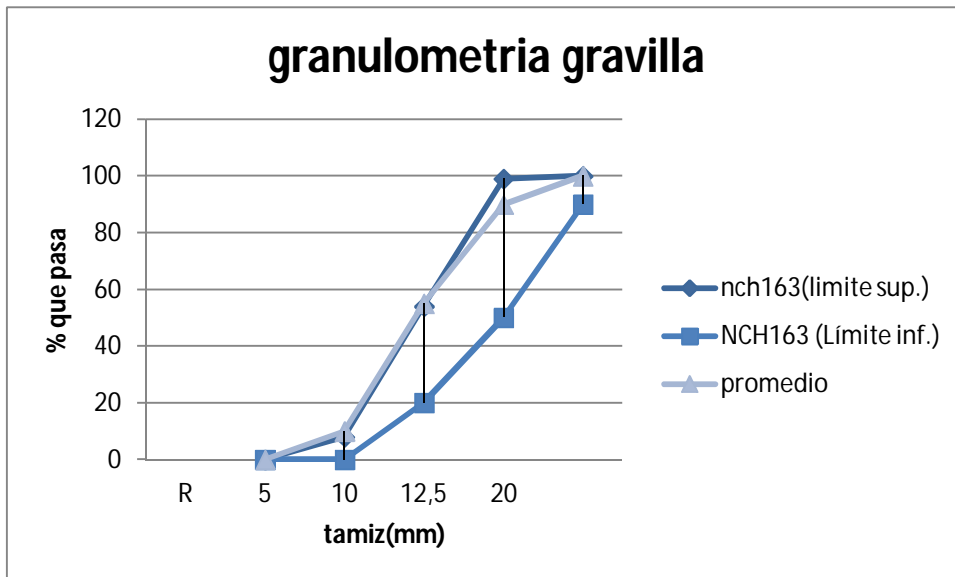
Tabla N°9. Granulometría gravilla.

Tamiz (mm)	% acumulado que pasa			Promedio	NCh 163	NCh 163
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3			
25	100	100	100	100		
20	99	99	98	99	100	100
12,5	62	48	53	54	-	-
10	23	19	24	22	20	55
5	1	1	1	1	0	10
Módulo de Finura	6,77	6,81	6,77	6,78		

Fuente: Elaboración propia.

GRAFICO N°2

CURVA GRANULOMETRICA GRAVILLA



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Árido Combinado.

Dados los resultados de la granulometría de los áridos, específicamente a los % de arena y gravilla que pasan por la malla # 4 (5mm) y las recomendaciones de la NCh 163 para árido combinado se han obtenidos los siguientes % para cada árido de acuerdo a esta ecuación.

$$G+94A=40(A+G)$$

$$39G-54A=0$$

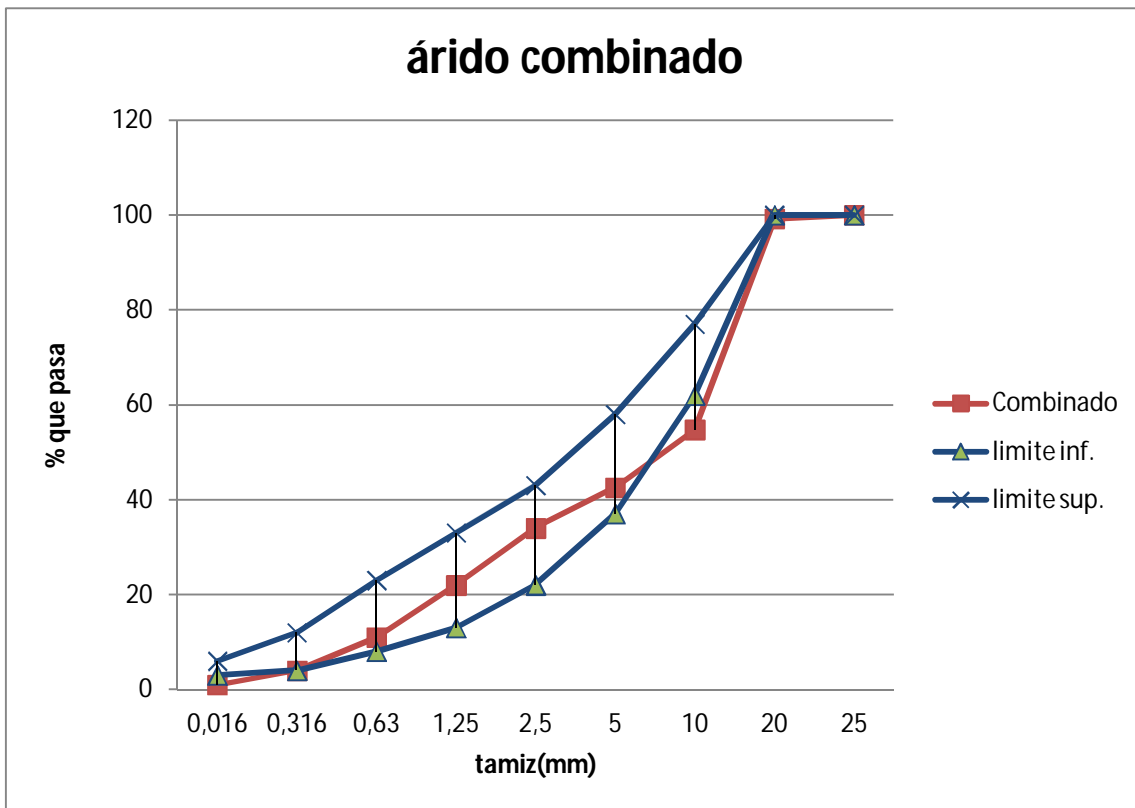
$$G=54/39+54 \quad ; A=39/39+54$$

$$G= 58\% \quad ; \quad A=42\%$$

Tabla N°10. Árido combinado.

Tamices	Tamices	% que pasa	NCh 163 gravilla	%	% que pasa	NCh 163	%	% árido combinado	NCh163 árido combinado
ASTM	Abertura	Gravilla		gravilla	arena	arena	Arena		
Nº	Mm			0,58			0,42		
1"	25	100	100	58	100		42	100	100
3/4"	20	99	90-100	57	100		42	99	100
3/8"	10	22	20-55	13	100		42	55	62-77
#4	5	1	0-10	1	94	95-100	39	40	37-58
#8	2,5		0-5		78	80-100	33	33	22-43
#16	1,25		-		72	50-85	22	30	13-33
#30	0,63				35	25-60	11	15	8-23
#50	0,316				11	10-30	4	5	4-12
#100	0,016				1	2-10	1	1	3-6

Fuente: Elaboración propia.

GRAFICO N°3.**CURVA GRANULOMETRICA ARIDO COMBINADO**

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Dosificaciones Utilizadas

Se confeccionarán 7 tipos de hormigón que parten del grado H10 hasta el H70 con las siguientes dosificaciones de acuerdo al método IDIEM.

Tabla N°11 Dosificaciones.

Grado	fr (kg/cm ²)	C (kg/m ³)	W (kg/m ³)	A (kg/m ³)	Gravilla (kg/m ³)	Arena (kg/m ³)	W/C
H10	138	240	170		1206	873	0.71
H20	238	330	185		1185	790	0.56
H30	338	380	190		1151	767	0.50
H40	438	440	205		1143	701	0.47
H50	538	500	190	50	1116	684	0.39
H60	638	530	185	106	1136	639	0.35
H70	738	550	170	165	1132	637	0.31

Fuente: Elaboración propia.

f_e : resistencia media requerida, en kgf/cm^2 (se han considerado $t = 1,282$ y $s = 30 \text{ kgf/cm}^2$), que corresponde a un nivel de confianza del 90 %.

- **C**: dosis de cemento, kg/m^3 .
- **W**: dosis de agua de amasado, en kg/m^3 .
- **A**: dosis de aditivo (Sikament FF 86), porcentajes referidos al peso de cemento.
- **W/C**: razón agua/cemento.

La dosificación ilustrada se determinó una vez realizados los ensayos granulométricos de arena, gravilla y árido combinado y el siguiente procedimiento establecido por el método IDIEM.

Resistencia media requerida.

La resistencia media requerida f_e para calcular la dosificación y cumplir con el nivel de confianza debe ser mayor que la resistencia especificada f_c , en una cantidad tal que pueda absorber las dispersiones propias de los materiales en uso y de los procedimientos aplicados.

Dosis de cemento.

Se determina en función de la resistencia media requerida tabla N°1 (Método IDIEM) (Dosis de cemento utilizada en función de la resistencia media requerida).

Dosis de agua.

Se determina según tabla N°2 (Método IDIEM) (Dosis de agua en función de la cantidad de cemento).

Proporción de los áridos.

Se determina el peso de 1m^3 de hormigón y se hace la diferencia con la cantidad de agua y cemento, el restante será la cantidad de áridos que conforman la mezcla en % obtenidos por el análisis granulométrico de arena, gravilla y árido combinado.

A continuación se presenta una tabla resumen de los ensayos efectuados a los áridos y la normativa bajo la cual se efectuaron los procedimientos de ensayo. Los valores indicados tanto para la arena como para la grava son el promedio de 3 muestras representativas, las que se realizaron en base a la NCh 164 Of 76.

Tabla N°12 Cuadro resumen resultados obtenidos de los ensayos a los áridos.

Según las siguientes normas:

Norma chilena	Nombre del ensayo	Arena	Gravilla
NCh 1116 Of 77	Densidad aparente compactada (Kg/m ³)	1627	2698
NCh 1116 Of 78	Densidad aparente suelta (Kg/m ³)	1525	2618
NCh 1223 Of 77	Contenido de material fino menor a 0,08 m ³	2,54	0,6
NCh 1326 Of 77	Contenido de huecos (%)	35	39
NCh 1117/1239 Of 77	Densidad real (Kg/m ³)	2586	2675
NCh 1117/1239 Of 77	Densidad neta (Kg/m ³)	2638	2772
NCh 1117/1239 Of 77	Absorción (%)	0,8	1,3

Fuente: Elaboración propia.

Agua.

El agua es potable.

Aditivos.

Se utilizará aditivo reductor de agua Sikamentt. **No se encuentran entradas de índice.** FF-86 en los % indicados a continuación

1%-H50 ; 2%-H60 ;3% H70.

Se utilizará con el fin de reducir la razón agua/cemento para poder llegar a los valores de resistencia requerida.

3.5 Ensayos

Además del ensayo a compresión y flexotracción, se realizan ensayos previos a la confección del hormigón, los cuales permiten dosificar exactamente el hormigón y determinar las condiciones de las materias primas y de laboratorio, y ensayos al hormigón fresco, los cuales permiten caracterizar el tipo de hormigón confeccionado.

Ensayos previos a la confección.

Previo a la confección del hormigón se realizarán los siguientes ensayos:

- a) Cálculo de porcentaje de humedad de los áridos. Este dato permite calcular de manera exacta el agua necesaria para obtener la relación A/C buscada
- .b) Medición de temperatura del:
 - Ambiente.
 - Agua.
 - Arena - Cemento.

3.5.1 Ensayos al hormigón fresco.

Luego de confeccionar el hormigón y antes de confeccionar las probetas se realizan los siguientes ensayos al hormigón fresco:

- Asentamiento del cono de Abrams según norma NCh1019.Of1974. Hormigón Determinación de la docilidad. Método del asentamiento del cono de Abrams.

Procedimiento:

Para cada colada realizada en la betonera del laboratorio, se llenaron 5 cubos de 150 mm de arista las cuales serán ensayadas de acuerdo a la NCh 1037 a los 28 días ya que el hormigón en ese tiempo alcanza su resistencia máxima. Las probetas se desmoldan 24 hrs después de su llenado y permanecen en la piscina de curado durante 7 días.

3.5.2 Ensayo a Compresión.

Previo al ensayo, se debe observar que las placas de carga y caras de ensayo se encuentren absolutamente limpias, y que la probeta se encuentre correctamente centrada entre las placas de carga.

a) Posición de las probetas

Se coloca la probeta cúbica con su cara de llenado en un plano perpendicular a la placa inferior de la prensa.

b) Aplicación de la carga

La carga se deberá aplicar en forma continua y sin choques, Luego se registra la carga máxima P, expresada en Mpa.

Expresión de resultados

Se calcula la resistencia a la compresión del hormigón mediante la siguiente fórmula:

$$R_c = P * K/S$$

donde,

S = Superficie de carga

P = Carga Máxima

K= Factor de transformación Rc15 a Rc20

3.5.3 Ensayo a Flexotracción.

El ensayo se basa en la norma chilena NCh 1038 y consiste en someter a una vigueta de hormigón simplemente apoyada, a una sollicitación de flexión mediante la acción de dos cargas concentradas en los límites del tercio central de la luz de ensayo.

Procedimiento

Por cada colada realizada en el laboratorio se llenaron 5 prismas de 15x15x53 cm, las cuales serán ensayadas de acuerdo a la NCh 1038 a los 28 días. Dado a que el hormigón alcanza su resistencia máxima. Las probetas se desmoldan 24 hrs después de su llenado y permanecen en la piscina de curado durante 7 días.

Ensayo

Colocar la probeta en la prensa de ensayo, dejando la cara de llenado en un plano vertical, el contacto entre la probeta y cada pieza de apoyo o de carga deberá ser total.

Expresión de resultados

Si la fractura de la probeta se produce en el tercio central de la luz de ensayo, se calcula la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$R = (P * L)/(b * h^2)$$

donde,

R = Tensión de rotura, (Kgf/cm²)

P = Carga máxima aplicada, (Kgf);

L = Luz de ensayo de la probeta, (cm)

b = Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura, (cm);

h = Altura promedio de la probeta en la sección de rotura, (cm).

Si la fractura de la probeta se produce fuera del tercio central de la luz de ensayo, en la zona comprendida entre la línea de aplicación de la carga y una distancia de 0,005 L de esta línea, se calcula la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$R = (3 \cdot P \cdot a) / (b \cdot h^2)$$

donde,

R = Tensión de rotura, (Kgf/cm²)

P = Carga máxima aplicada, (Kgf); **a** = Distancia entre la sección de rotura y el apoyo más próximo, (cm); **b** = Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura, (cm); **h** = Altura promedio de la probeta en la sección de rotura, (cm).

Para la confección de las muestras se utilizó el siguiente procedimiento:

Una vez pesadas las cantidades obtenidas por la dosificación según el grado, se procedió a agregar los materiales a la betonera, una vez terminada la mezcla se procede a medir la docilidad del hormigón, lo cual se hace utilizando el cono de Abrams, y siguiendo el procedimiento establecido en la NCh 1019. Se colocó el molde sobre la plancha de apoyo horizontal, ambos limpios y humedecidos sólo con agua. Luego se procedió a pararse sobre las pisaderas, no produciéndose ningún movimiento del molde mientras se llenaba. El molde se llenó en tres capas de aproximadamente igual volumen, apisonándose cada capa con 25 golpes de la varilla-pisón, distribuidos uniformemente. Terminadas las tres capas se enrasa la superficie de la última capa y se limpió el hormigón que fue derramado, en la placa horizontal. Se cargó el cono, con las manos por las asas, y posteriormente se retiró los pies de las pisaderas.

Se levantó el cono en la forma lo mas vertical posible. Inmediatamente levantado el molde, se mide el descenso de altura respecto del mismo molde.

CAPITULO 4 RESULTADOS OBTENIDOS Y ANALISIS

4.1 Resultados Hormigón Fresco

Tabla N°13 Resultados ensayos asentamiento

Grado hormigón	Asentamiento requerido (cm)	Asentamiento obtenido (cm)
H10	8+-2	6
H20	8+-2	8
H30	8+-2	8
H40	8+-2	10
H50	8+-2	18
H60	8+-2	20
H70	8+-2	18

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Resultados Ensayos a Compresión y Flexotracción

Tabla N°14 Resultados ensayos a compresión hormigones H10 y H20.

Grado	N°Probeta	Ancho promedio (cm)	Alto promedio (cm)	Área (cm ²)	P(carga)Kg	Factor conversión	F _c (Kg/cm ²)
H10	1	15	15	225	26000	0,95	110
H10	2	15,1	15	226,5	26000	0,95	109
H10	3	14,95	14,7	219,765	24000	0,95	104
H10	4	14,9	15,1	224,99	25000	0,95	106
H10	5	14,8	15,1	223,48	24000	0,95	102
H20	1	15	15	225	46000	0,95	194
H20	2	15	15	225	50000	0,95	211
H20	3	15	15	225	46000	0,95	194
H20	4	14,9	15	223,5	50000	0,95	213
H20	5	14,9	15	223,5	48000	0,95	204

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°15 Resultados ensayos a flexotracción hormigones H10 y H 20.

Grado	N° Probeta	P(carga)Kg	Ancho Probeta (cm)	Luz de ensayo (cm)	Altura Probeta (cm)	Ff (Kg/cm ²)
H10	1	2250	14	45	15	32,1
H10	2	2200	15	45	15	29,3
H10	3	1700	15,5	45	15	21,9
H10	4	1300	15	45	14	19,9
H10	5	2300	15	45	15	30,7
H20	1	2400	15	45	14	36,7
H20	2	2000	15	45	15	26,7
H20	3	2200	14,5	45	15	30,3
H20	4	2000	14,5	45	15	27,6
H20	5	2300	15	45	15	30,7

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°1 ensayo a flexotracción.



Fuente: elaboración propia.

Tabla N°16 Resultados ensayos a compresión hormigones H30 y H40.

Grado	N° Probeta	Ancho promedio (cm)	Alto promedio (cm)	Área (cm ²)	P(carga)Kg	Factor conversión	F _c (Kg/cm ²)
H30	1	15	14,5	217,5	70000	0,95	306
H30	2	15	15	225	72000	0,95	304
H30	3	14,9	14,9	222,01	72000	0,95	308
H30	4	15	15	225	74000	0,95	312
H30	5	15	15	225	76000	0,95	321
H40	1	15	15	225	90000	0,95	380
H40	2	15	15	225	96000	0,95	405
H40	3	15	15	225	84000	0,95	355
H40	4	15	15	225	86000	0,95	363
H40	5	15	15	225	94000	0,95	397

Fuente:Elaboración propia.

Tabla N°17 Resultados ensayos a flexotracción hormigones H30 y H40.

Grado	N° Probeta	P(carga)Kg	Ancho Probeta (cm)	Luz ensayo (cm)	Altura Probeta (cm)	F _f (Kg/cm ²)
H30	1	2700	15	45	15	36,00
H30	2	2500	15	45	15	33,3
H30	3	2800	15	45	15	37,3
H30	4	2500	15	45	15	33,3
H30	5	2500	15	45	15	33,3
H40	1	3700	15	45	14	56,6
H40	2	3700	15	45	15	49,3
H40	3	3850	14,5	45	15	53,1
H40	4	3500	14,5	45	15	48,3
H40	5	3850	15	45	15	51,3

Fuente:Elaboración propia.

Tabla N°18 Resultados ensayos a compresión hormigones H50 y H60.

Grado	N° Probeta	Ancho promedio (cm)	Alto promedio (cm)	Área (cm²)	P(carga)Kg	Factor conversión	Fc (Kg/cm²)
H50	1	15	15	225	115000	0,95	486
H50	2	15	15	225	120000	0,95	507
H50	3	15	15	225	100000	0,95	422
H50	4	15	15	225	120000	0,95	507
H50	5	15	15	225	120000	0,95	507
H60	1	15	15	225	140000	0,95	591
H60	2	15	15	225	140000	0,95	591
H60	3	15	15	225	130000	0,95	549
H60	4	15	15	225	130000	0,95	549
H60	5	15	15	225	140000	0,95	591

Fuente:Elaboración propia.

Tabla N°19 Resultados ensayos a flexotracción hormigones H50 y H60.

Grado	N° Probeta	P(carga) Kg	Ancho Probeta (cm)	Luz ensayo (cm)	Altura Probeta (cm)	Ff (Kg/cm²)
H50	1	5000	15	45	15	66,7
H50	2	5800	15	45	15	77,3
H50	3	6400	15	45	15	85,3
H50	4	5100	15	45	15	68,0
H50	5	6300	15	45	15	84,0
H60	1	6500	15	45	14	99,5
H60	2	6800	15	45	15	90,7
H60	3	6800	15	45	15	90,7
H60	4	6800	15	45	15	90,7
H60	5	6600	15	45	15	88,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°20 Resultados ensayos a compresión hormigón H70.

Grado	N° Probeta	Ancho promedio (cm)	Alto promedio (cm)	Área (cm²)	P(carga) Kg	Factor conversión	Fc (Kg/cm²)
H70	1	15	15	225	165000	0,95	697
H70	2	15	15	225	150000	0,95	633
H70	3	15	15	225	160000	0,95	676
H70	4	15	15	225	150000	0,95	633
H70	5	15	15	225	155000	0,95	654

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°21 Resultados ensayos a flexotracción hormigón H70.

Grado	N° Probeta	P(carga) Kg	Ancho Probeta (cm)	Luz ensayo (cm)	Altura Probeta (cm)	Ff (Kg/cm²)
H70	1	7000	15	45	15	93,3
H70	2	6600	15	45	15	88
H70	3	6800	15	45	15	90,7
H70	4	6500	15	45	15	86,7
H70	5	6700	15	45	15	89,3

Fuente: Elaboración propia.

4.3 ANALISIS ESTADISTICO DE RESULTADOS

A continuación se ilustra una tabla con el análisis estadístico de los resultados obtenidos mediante ensayos de compresión y flexotracción a dichos datos se les calculó su desviación estándar y coeficiente de variación con el fin de comprobar que los datos sean válidos y representativos.

Tabla N°22 Resultados análisis estadísticos resistencias a compresión.

Grado	$R_c(\text{kgf/cm}^2)$	S	V (%)
H10	106	3,3	3,1
H20	203	9	4,4
H30	310	6,72	2,2
H40	380	21,4	5,6
H50	486	36,8	7,6
H60	574	23	4
H70	659	27,9	4,2

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

S: es la desviación estándar típica que se calcula mediante $S = \sqrt{((\quad - \quad)^2) / (\quad - 1))}$.

V(%): es el coeficiente de variación, que se calcula mediante $V(\%) = (S / X_{\text{promedio}}) * 100$

Tabla N°23 Resultados análisis estadísticos resistencias a flexotracción.

Grado	$R_{ft}(\text{kgf/cm}^2)$	S	v (%)
H10	26,8	5,5	20,5
H20	30,4	3,94	13
H30	34,7	1,89	5,4
H40	51,7	3,31	6,4
H50	76,3	8,71	11,4
H60	91,9	4,4	4,8
H70	89,6	2,56	2,9

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Cálculo de coeficiente de correlación de PEARSON.

	X	Y	(X) ²	(Y) ²	XY
	106	26,8	11236	71824	2840,8
	203	30,4	41209	92416	6171
	310	34,7	96100	120409	10757
	380	51,7	144400	267289	19646
	486	76,3	236196	582169	37081,8
	574	91,9	329476	844561	52750,6
	659	89,6	434281	802816	59046,4
Σ	2718	401,4	1292898	2781484	188294

donde,

X_i: es la resistencia promedio a compresión por grado de hormigón (H10-H70).

Y_i: es la resistencia promedio a flexotracción por grado de hormigón (H10-H70).

n: es el numero de datos.

El coeficiente de correlación de PEARSON se calcula mediante la siguiente expresión:

Ahora reemplazando los valores en la fórmula obtenemos la correlación entre la resistencia a compresión y la resistencia a flexotracción.

$$r_{xy} = \frac{7 \cdot 188293.6 - 2718 \cdot 401.4}{\sqrt{(7 \cdot 1292898 - (2718)^2) \cdot (7 \cdot 27814.84 - (401.4)^2)}}$$

$$r_{xy} = \frac{7 \cdot 188293.6 - 2718 \cdot 401.4}{\sqrt{(7 \cdot 1292898 - (2718)^2) \cdot (7 \cdot 27814.84 - (401.4)^2)}} = 0.96.$$

Este valor 0.96 nos indica que la relación entre las 2 resistencias analizadas es directa, ya que el coeficiente de correlación de PEARSON indica lo siguiente;

El valor del índice de correlación varía en el intervalo [-1,1]:

Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada *relación directa*: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.

Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.

Si $r = 0$, no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.

Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.

Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada *relación inversa*: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante

4.3.2 Cálculo de recta de regresión.

Esta recta nos permite modelar la relación entre la resistencia a compresión que será nuestra variable independiente y la resistencia a flexotracción que será la variable dependiente, esta modelación se expresará a través de la siguiente recta de regresión.

La recta de regresión se calcula mediante la siguiente expresión dado que la relación entre las 2 variables es directa: $Y' = A + BX$.

$$A = \bar{X} - B\bar{Y};$$

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

Remplazando,

$$B = (188293.6 - 2718 \cdot 401.4/7) / (1292898 - (2718)^2/7) = 32435.9 / 237537.4 = 0.137.$$

$$A = 57.34 - 0.137 \cdot 388.3 = 4.14$$

Entonces la recta de regresión toma la siguiente forma, $Y = 4.14 + 0.137X$.

4.3.3 Cálculo de error típico de estimación.

El error típico de estimación es el término utilizado para referirse a una estimación de la desviación estándar, derivado de una muestra especial utilizada para calcular la estimación en las estadísticas. En la más común, error estándar es un proceso de estimación de la desviación estándar de la distribución de muestreo asociada con el método de estimación.

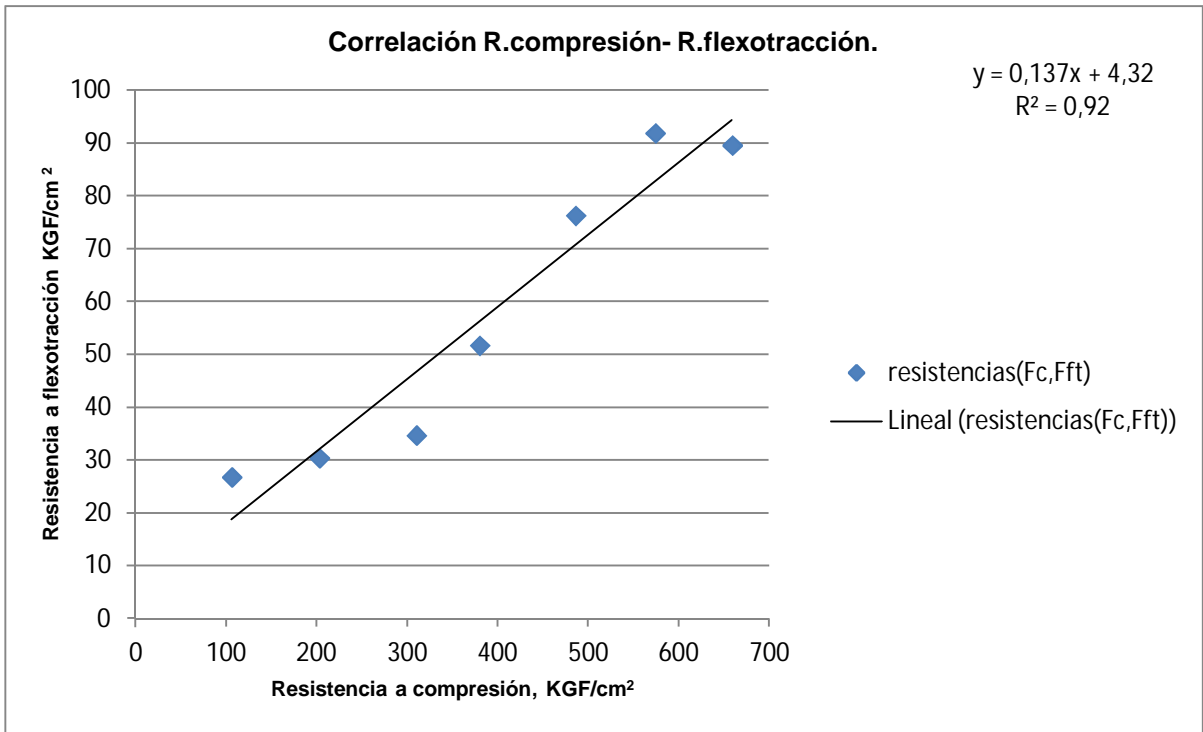
Cada estadística tiene un error estándar asociado. Una medida de la precisión de la estadística puede deducir que el error estándar de 0 representa que la estadística tiene ningún error aleatorio y el más grande representa menos preciso de las estadísticas. Error estándar no es constantemente informado y no siempre fácil de calcular.

Se calcula mediante la siguiente operación.

$$\text{Entonces, } S_{\mu} = \frac{\sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}}{\sqrt{n}} = 8.6.$$

GRAFICO N°4

CORRELACION R. COMPRESION – R. FLEXOTRACCION



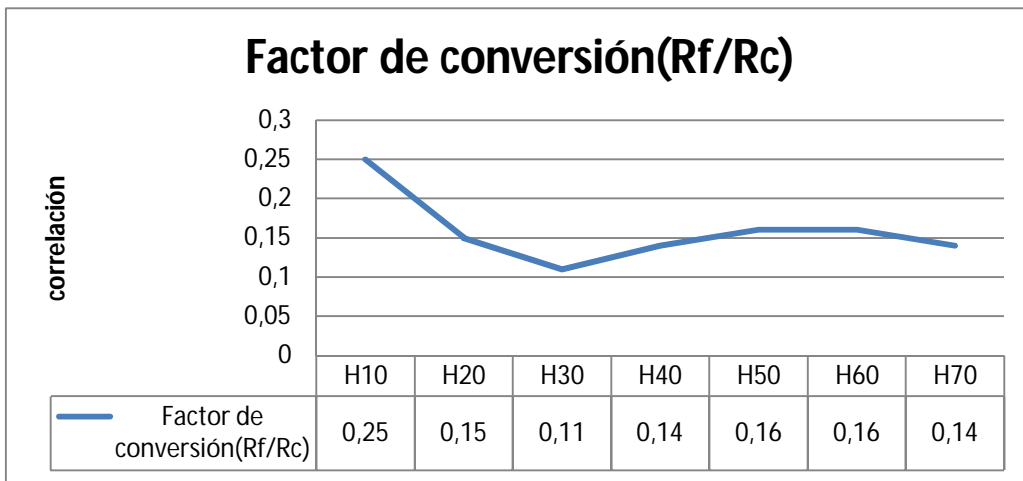
Fuente: Elaboración propia

A continuación se ilustra una tabla resumen con los promedios de resistencia a compresión y flexotracción y la relación entre ambas para todos los grados de hormigón estudiados.

Tabla N° 24 Resistencia promedio a compresión, flexotracción y su respectivos factores de conversión.

Grado	Rc(kgf/cm ²)	Rft(kgf/cm ²)	Rf/Rc
H10	106	26,8	0,25
H20	203	30,4	0,15
H30	310	34,7	0,11
H40	380	51,7	0,14
H50	486	76,3	0,16
H60	574	91,9	0,16
H70	659	89,6	0,14

Fuente: Elaboración propia.

Grafico N°5 Factores de conversión para cada nivel de resistencia en el intervalo H10-H70.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 5 CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos, es posible inferir las siguientes conclusiones:

1.0 La relación resistencia a flexotracción/resistencia a compresión presenta relaciones dentro del intervalo estudiado. Para resistencias del grado H10, la relación es 0,25; sin embargo, para resistencias mayores, la relación disminuye a valores entre 0,11 y 0,16, pero sin mostrar una tendencia definida.

2.0 Dentro del intervalo considerado H10–H70, la correlación entre resistencias a compresión y a flexotracción es fuerte, resultando un coeficiente de correlación de PEARSON igual a 0,96. Los valores obtenidos se ajustaron a una recta de regresión cuya expresión es $y=0,137x + 4,32$.

3.0 De acuerdo a la conclusión 1 se podría considerar las siguientes relaciones entre resistencias: para grado H10: $R_f = 0,25 * R_c$

Para el intervalo H20-H70: $R_f = 0,14 \pm 0,02 R_c$

4.0 Las dispersiones de las resistencias obtenidas entre los dos tipos de ensayo son diferentes: en promedio, las resistencias a compresión son de 4,4%, las de flexotracción son de 9,2%, expresados como coeficiente de variación.

BIBLIOGRAFIA CITADA.

- (1) ROMO, MARCELO. Proaño 2013.
- (2) HUMMEL, A. Prontuario del Hormigón, 2da Edición española. ETA. 1966
- (3) HUMMEL, A. Prontuario del Hormigón, 2da Edición española. ETA. 1966.
- (4) NEVILLE, AM. Properties of Concrete, 3rd edition. PITMAN. 1981.
- (5) HUMMEL, A. Prontuario del Hormigón, 2da Edición española. ETA. 1966.
- (6) TROXEL, G.E. DAVIS, H.E. , KELLY, JW. Composition and Properties of Concrete. 2nd Edition. Mc Graw – Hill Book Company. 1968.
- (7) PIÑEIRO M. , VALENZUELA S. , GENTA J. El ensayo de flexotracción y el ensayo de hendimiento del Hormigón. Revista del IDIEM, vol. 6, N°2, Octubre 1967.
- (8) PIÑEIRO M. , MUÑOZ R. Resistencias mecánicas del hormigón: Relaciones entre resistencias obtenidas en el control de una obra. Revista del IDIEM, vol. 10, N°1, Mayo 1971.
- (9) THUMM J. , CIFUENTES A. , DOWNEY P. , Controles de Resistencia a compresión y a flexotracción en hormigones de pavimento. Anales de las IV Jornadas Chilenas del Hormigón, Tomo 2, Valdivia, Noviembre 1982.
- (10) EGAÑA JUAN . IDIEM, Relación entre resistencias a compresión y a flexotracción en hormigones de la zona central, 1987.
- (11) Norma Chilena NCh 170 Of. 85. Hormigón requisitos generales.
- (12) Norma Chilena NCh 1017 Of 75. Hormigón - Confección y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y tracción.
- (13) Norma Chilena NCh 1170 Of 77. Hormigón - Ensayo de tracción por hendimiento
- (14) INSTITUTO CHILENO DEL CEMENTO Y EL HORMIGON. Manual del Hormigón.
- (15) INSTITUTO CHILENO DEL CEMENTO Y EL HORMIGON. Manual del Hormigón.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 1. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Hardened Concrete: Physical and Mechanical Aspects. ACI Monograph N°6. 1971.
- 2. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete. (ACI 214-77).

