



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RAZÓN
AGUA/CEMENTO DE LA NCH 170 Y DE LA TABLA 22
RAZÓN AGUA/CEMENTO DE VIALIDAD”**

Tesis Para Optar Al Título De:
Constructor Civil

Profesor Patrocinante:
Sr. José Arrey Díaz.
Constructor Civil, especialista en hormigones.
Experto en Prevención de Riesgos Ocupacionales.

**MARCELA ANDREA KEHR SCHUSTER
VALDIVIA-CHILE**

2008

DEDICATORIA

Dedicada a mis padres.

Carlos Kehr y Patricia Schuster.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos que siempre estuvieron conmigo me dieron todo su apoyo, cariño y comprensión.

A mi marido José por su cariño y apoyo.

A mi profesor guía don José Arrey Díaz.

A todo el personal del Lemco por su colaboración: Rodrigo, Marcelo, Leonardo y Fernando.

A todos quienes de alguna u otra forma estuvieron conmigo y me ayudaron para poder finalizar con éxito este proceso.

Y a todos con quienes compartí estudios y amistad en mi paso por la universidad.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Se realizara un análisis comparativo de las resistencias asociadas a las Razones A/C entre la tabla 3 Razón agua/cemento de la NCh 170 y la tabla 22 Razón agua/cemento del Manual de Carreteras.

Para realizar esta experiencia se utilizara cemento de grado corriente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diseñar mezclas de prueba tomando como base las razones agua/cemento contenidas en la tabla 3 de la NCh 170.

Confeccionar las muestras de prueba según la NCh 1017. Eof 75 “Hormigón – Confección en obra de probetas para ensayo de compresión y tracción”.

Elaboración y ensayo de tres probetas cúbicas de 15 cm. para cada razón A/C y su posterior ensayo a la compresión a la edad de 28 días.

Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos del ensayo a la compresión realizado a las mezclas de prueba y las tablas 3 NCh 170 y tabla 22 Manual de Carreteras.

INTRODUCCION

El tema que abordare tiene como finalidad dar a conocer la influencia que tiene la razón agua/cemento en la resistencia del hormigón. Esto es determinante en su diseño.

Este tema se genera ya que muchas empresas constructoras al diseñar sus hormigones consultan por la cantidad de cemento que se debe agregar a la mezcla, generando con esto una inquietud que en esta estudio se abordara.

Para esto se realizaran ensayos con las razones agua/cemento de la tabla 3 de Nch 170 y la tabla 22 razón agua/cemento del Manual de Carreteras.

Esto se realizara por medio de ensayos a la compresión a los 28 días, para verificar a cual de las dos tablas razón A/C v/s Resistencia (Nch170 y tabla 22 Vialidad) se acerca mas el resultado y que tan significativo será este.

El método de dosificación que se usara será el usado por el Lemco.

De estos resultados se obtendrán las conclusiones para determinar cuales de estos llegan a las resistencias esperadas con un mejor aprovechamiento de los materiales para así optimizar los recursos, ya que en la industria de la construcción la cantidad de cemento utilizada para fabricar hormigones es un factor económico de gran importancia.

RESUMEN

Compararemos por medio de ensayos los valores de las resistencias asociadas a los coeficientes de la razón agua/cemento de la Nch 170 y los que utiliza vialidad según el Manual de Carreteras para un mismo tipo de hormigón ensayando a la compresión, por medio de un método de dosificación, el cual será el utilizado en el Lemco.

Los materiales que se utilizaran para realizar los ensayos serán de buena calidad, para que solo influya en la resistencia la razón Agua/Cemento.

Los ensayos se realizaran con probetas cúbicas de 15x15x15 cm, las cuales se ensayaran a la compresión a los 28 días.

De estos resultados se obtendrán las conclusiones para determinar cuales de estos llegan a las resistencias esperadas con un mejor aprovechamiento de los materiales para así optimizar los recursos.

SUMMARY

It will be compared through essay the values of resistance associated to the coefficient of the water/concrete of the NCh 170 and those that is used by vialidad according to the "Manual de Carreteras" for a save type of concrete essay to the compresion, through of a wethod of dosage will be used in the Lemco.

The materials that will be used to do realise the essay will be of good qualit, in older for the resistance water/concrete influences on .

The essay are going to do with cubic test tube of 15x15x15 cm., wich will exploitation to the compresion to the 28 days after.

From these result the conclusions will be obtained in order to determiner which of these rsacia the wated resistance with a best aprobechamiento of the materials and with this way improve that resources.

INDICE

TEMA	PAG.
CAPITULO I: INTRODUCCION	
1.1.0 RESEÑA HISTORICA DEL HORMIGON.	1
1.1.1 Desarrollo Del Cemento.	1
1.1.2 Evolución Del Cemento En Nuestro País.	2
CAPITULO II: HORMIGONES	
2.1.0 GENERALIDADES DEL HORMIGON.	4
2.1.1 Hormigón fresco.	4
2.1.2 Hormigón endurecido.	8
2.2.0 RAZON AGUA/CEMENTO SEGÚN NCH 170.	12
2.2.1 Determinación de la Razón Agua/Cemento según NCh 170.	12
CAPITULO III: DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA	
3.1.0 MATERIALES QUE INTERVIENEN EN LA EXPERIENCIA	13
3.1.1 Áridos.	13
3.1.2 Cemento.	13
3.1.3 Agua.	14
3.2.0 ENSAYOS A LOS ARIDOS.	15
3.2.1 Extracción De La Muestra NCh 164.	15
3.2.2 Porcentaje De Fino Menor A 0,08 Mm. NCh 1223.	16
3.2.3 Determinación Colorimetría De La Presencia De Impurezas Orgánicas En Las Arenas Para Hormigones NCh 166. Of 52.	17
3.2.4 Granulometría NCh 165. Of 77.	18

3.2.5	Método de la maquina de los Ángeles	
	(Determinación del desgaste de las gravas) NCh 1369.of78.	20
3.2.6	Método para determinar la cubicidad de las partículas.	22
3.2.7	Densidad Real Y Neta y La Absorción De Agua	
	De Las Gravas NCh 1117 .Eof77.	22
3.2.8	Densidad Real Y Neta y La Absorción	
	De Agua De Las Arenas NCh 1239 .of77.	23
3.3.0	DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	24
3.4.0	DOSIFICACIÓN DE MUESTRAS DE PRUEBA DE HORMIGÓN	27
3.4.1	Dosificación Proceso de calculo método Lemco.	27
3.4.2	Tablas de Dosificación en peso corregidas	
	por humedad para cada razón A/C.	31
3.4.0	CONFECCION MEZCLAS DE PRUEBA	37
3.4.1	Confección de mezclas de prueba de hormigón.	37
3.4.2	Confección y curado de las mezclas de prueba.	39

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1.0	ENSAYO A LA COMPRESION NCh 1037	41
4.1.1	Alcance y campo de aplicación.	41
4.1.2	Aparatos utilizados en el ensayo.	41
4.1.3	Procedimiento del ensayo.	42
4.1.4	Expresión de resultados.	42
4.1.5	Antecedentes de cada probeta.	43
4.2.0	TABLA RESULTADOS ENSAYO A LA COMPRESION.	44
4.3.0	GRAFICOS RAZON AGUA/CEMENTO V/S RESISTENCIA.	46
4.3.1	Grafico resistencia NCh 170 v/s razón A/C.	46
4.3.2	Grafico resistencia Manual de Carreteras v/s Razón A/C.	47

4.3.3 Grafico resistencia Muestras de prueba v/s Razón A/C.	47
4.3.4 Grafico Razón agua/cemento v/s Resistencia a los 28 días.	48

CAPITULO V: CONCLUSIONES

CONCLUSIONES	53
---------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA	55
---------------------	-----------

INDICE DE FIGURAS

TEMA	PAG.
 CAPITULO II: HORMIGONES	
Figura N° 1 Correspondencia entre la resistencia y la relación agua/cemento del hormigón.	9
Figura N° 2 Desarrollo de la Resistencia en el tiempo, expresada como porcentaje de la resistencia a los 28 días.	11
 CAPITULO III: DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA	
Figura N° 3. Áridos (arena, grava y gravilla).	13
Figura N° 4 Cuarteo a pala.	16
Figura N° 5. Ensayo colorimetría NCh 166 of 52.	17
Figura N° 6. Serie de tamices utilizados en granulometría de gravas.	18
Figura N° 7. Maquina de Los Angeles. Ensayo NCh 1369.of78	
Determinación del desgaste de las gravas.	21
Figura N° 8. Betonera donde se fabrico el hormigón.	37
Figura N° 9. Asentamiento de cono de Abrams.	38
Figura N° 10. Moldes cúbicos de 150 mm.	39
Figura N° 11. Compactación con vibrador.	39
Figura N° 12. Identificación provisoria de moldes.	40
 CAPITULO IV: RESULTADOS	
Figura N° 13. Grafico resistencia a los 28 días NCh 170 v/s Razón agua/cemento.	46
Figura N° 14. Grafico resistencia a los 28 días	
Manual de Carreteras v/s Razón agua/cemento.	47

Figura N° 15. Grafico resistencia a los 28 días	
Mezclas de prueba v/s Razón agua/cemento.	47
Figura N° 16. Grafico Resistencias a los 28 días v/s Razón agua/cemento.	48
Figura N° 17. Grafico curva resistencias Mezclas de prueba ensayo	
a la compresión v/s curva resistencias Manual de Carreteras.	49
Figura N° 18. Grafico curva resistencias Mezclas de prueba ensayo	
a la compresión v/s curva resistencias NCh 170.	50
Figura N° 19. Grafico Diferencias entre las resistencias de las normas	
con los resultados del ensayo a la compresión.	52

INDICE DE TABLAS

TEMA	PAG.
CAPITULO II: HORMIGONES	
Tabla N° 1. Razón agua/cemento para resistencia media requerida, fr.	12
CAPITULO III: DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA	
Tabla N° 2. Resumen resultado % de fino menor a 0,08 mm.	
Resultado ensayo a los áridos.	17
Tabla N° 3. Contenido de materia orgánica en las arenas.	17
Tabla N° 4. Tabla de resultados ensayo granulometría para la arena.	18
Tabla N° 5. Tabla de resultados ensayo granulometría para la gravilla.	19
Tabla N° 6. Tabla de resultados ensayo granulometría para la grava.	19
Tabla N° 7. Tabla Dosificación de mezcla de áridos para hormigón.	20
Tabla N° 8. Desgaste de las gravas (P) Maquina de los Angeles.	21
Tabla N° 9. Resultados método para determinar la cubicidad de las partículas.	22
Tabla N° 10. Resultados densidad real y absorción de la grava.	22
Tabla N° 11. Razón A/C para la resistencia media requerida, fr.	24
Tabla N° 12. Manual de Carreteras vol. 8 Vialidad,	
Resistencia v/s Razón Agua/Cemento.	25
Tabla N° 13. Tabla 22 interpolada Manual de Carreteras vol. 8 Vialidad,	
para obtener valores razon A/C de la tabla 3 NCh 170.	25
Tabla N° 14. Tabla comparativa de la Nch 170 y Vialidad para una misma razón A/C	
con sus respectivas resistencias. Para cementos de grado corriente.	26
Tabla N° 15. Tabla resumen datos para dosificación.	31
Tabla N° 16. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,85.	31
Tabla N° 17. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,80.	32

Tabla N° 18. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,75.	32
Tabla N° 19. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,70.	33
Tabla N° 20. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,65.	33
Tabla N° 21. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,60.	34
Tabla N° 22. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,55.	34
Tabla N° 23. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,50.	35
Tabla N° 24. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,45.	35
Tabla N° 25. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,43.	36
Tabla N° 26. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,41.	36

CAPITULO IV: RESULTADOS

Tabla N° 27. Resultados ensayo a la compresión razón A/C 0,85; 0,80; 0,75.	44
Tabla N° 28. Resultados ensayo a la compresión razón A/C 0,70; 0,65; 0,60.	44
Tabla N° 29. Resultados ensayo a la compresión razón A/C 0,55; 0,50; 0,45.	45
Tabla N° 30. Resultados ensayo a la compresión razón A/C 0,43; 0,41.	45
Tabla N° 31. Tabla Razón agua/cemento v/s resistencia NCh 170, Manual de Carreteras vol. 8 y las resistencias obtenidas del ensayo a la compresión.	46
Tabla N° 32. Tabla Razón agua/cemento v/s resistencia NCh 170, Manual de Carreteras y las resistencias obtenidas del ensayo a la compresión de las Mezclas de prueba con sus diferencias.	51

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1.0 RESEÑA HISTORICA DEL HORMIGON.

La primera utilización de un aglomerante mezclado con agua se encuentra en Egipto. Las pirámides fueron construidas utilizando yeso calcinado.

Las primeras clases que se emplearon de este material se remontan a los periodos de los griegos y romanos.

Los griegos fueron los primeros en utilizar la cal calcinada mezclándola con arena y agua. Mas tarde usaron las tierras de Santorín, una puzolana que mezclada con cal era capaz de endurecer bajo el agua o al aire.

Posteriormente los romanos emplearon cenizas volcánicas de Pozzuoli, mezcladas con cal, de donde proviene el termino “puzolana”. Con estas mezclas se construyeron, entre otras obras, la Basílica de Constantinopla y el Coliseo.

1.1.1 Desarrollo Del Cemento.

- El cemento tal como lo conocemos hoy en día, empezó a prepararse durante el siglo XVIII. El ingles Smeaton (1756) debió reconstruir un faro y necesitaba para ello un material que resistiera la acción del agua de mar. Mezclo cal, un poco de yeso y puzolana proveniente de Italia. El producto lo mezclo con agua y prontamente empezó a endurecer.
- Parker (1796) descubrió que mezclando cal con puzolana obtenía un cemento semejante al romano.
- Joseph Apsdin (1824) obtuvo la primera patente para un producto que llamo cemento de Portland y que fabrico mezclando en húmedo arcilla con calcáreos, los dejaba secar, los

sometía a cocción y el producto que obtenía lo molía, denominándolo cemento Portland, por su aspecto parecido al de unas piedras muy apreciadas del sector de Pórtland, Inglaterra.

Tanto las proporciones del material como la temperatura de cocción, Apsdin las mantuvo en secreto.

- Jonson (1845) redescubrió las proporciones y la temperatura de cocción sobre 1000 °C y se le declaró como el verdadero inventor del “Cemento Pórtland”.
- Johnson, en 1884, en relación con el proceso de clinquerizado, que permitió la producción industrial del cemento.
- De Preaudeau, en relación con la determinación de la compacidad de las arenas.
- Alexandre, sobre los procedimientos para la determinación del agua de mojado de las arenas y la influencia de la temperatura sobre el fraguado de la pasta de cemento.
- Feret, también sobre la determinación de la compacidad y el agua de mojado de las arenas y una de las propiedades básicas del hormigón, la influencia de la razón agua cemento sobre la resistencia de los morteros.
- Abrams, quien investigó sobre la medición de la trabajabilidad de los hormigones, desarrollando el cono que lleva su nombre para este objeto, ideó la noción de módulo de finura de los áridos, destinado a sintetizar su granulometría en una sola cifra, y que también llegó, paralelamente con Feret, a la relación entre resistencia y razón agua/cemento.

1.1.2 Evolución Del Cemento En Nuestro País.

En lo que concierne a la evolución del empleo del hormigón en nuestro país, no hay antecedentes históricos muy completos.

La primera aplicación registrada del uso del cemento en nuestro país corresponde a la infraestructura del puente ferroviario sobre el río Maipo en 1856, en la que se empleó cemento importado.

Por su parte , el empleo del hormigón armado se inicia en 1906 con la construcción, no terminada por un accidente durante su ejecución, de una estructura en albañilería armada, denominada “Casa Prá”, y continua con otras tales como el Puente Quillota sobre el Estero Viña, la Maestranza San Bernardo, el Club Hípico de Santiago, y los puentes del ferrocarril de Púa a Traiguen, la mayoría ejecutados por la Compañía Holandesa de Cemento Armado, instalada en nuestro país en 1906, así como numerosos edificios mixtos en estructura metálica revestida en hormigón.

Posteriormente, los datos existentes se relacionan preferentemente con su uso como revestimiento de estructuras metálicas y en elementos de hormigón armado.

Otro hito importante lo constituye la apertura en Chile, a mediados de 1906, de la fabrica de Cemento Melón, la primera en Sudamérica.

El reemplazo del cemento importado por nacional permite que el empleo del hormigón se extienda y se diversifique, construyéndose posteriormente numerosas obras, principalmente de vialidad, puentes, centrales hidroeléctricas, instalaciones industriales, etc., pudiendo decirse que a la fecha, constituye el principal material de construcción en nuestro país.

Una gran contribución en la difusión del uso del hormigones las obras, principalmente en las obras de edificación, pavimentación y urbanización de las ciudades de nuestro país, lo constituye sin duda el creciente empleo del hormigón premezclado, inducido principalmente por las garantías de calidad, costo y simplificación constructiva que ofrece.

CAPITULO II

HORMIGONES

2.1.0 GENERALIDADES DEL HORMIGON.

El hormigón esta compuesto básicamente de áridos y pasta de cemento (cemento + agua). Esto quiere decir que depende de estos tres elementos que lo componen.

El hormigón se presenta en dos estados hormigón fresco y hormigón endurecido los cuales presentan distintas características.

2.1.1 Hormigón fresco.

El hormigón se considera en estado fresco desde la finalización del amasado hasta que se comienza a rigidizar; en este estado posee características favorables, como la docilidad, e inconvenientes como la segregación, exudación y la sedimentación.

Durante la etapa en que el hormigón se mantiene en estado fresco es de gran importancia poder otorgarle una docilidad adecuada al uso que se desea dar. Para esto, es necesario cuantificarla, utilizando una forma de medida de la docilidad, para lo que se han desarrollado numerosos sistemas.

Docilidad: es la cualidad que presenta un hormigón para ser transportado, colocado y compactado adecuadamente, sin que pierda su homogeneidad. Esto se obtiene empleando áridos de buena calidad (no contengan lascas) y que tengan buena granulometría, con una proporción adecuada entre grava y arena, con una dosis equilibrada de agua (obteniendo hormigones plásticos y cohesivos) y en los casos en que se necesite se pueden agregar aditivos plastificantes, fluidificantes o incorporadores de aire debidamente controlados.

El ensayo que mide la docilidad del hormigón es el “Cono de Abrams”.

Ensayo del Cono de Abrams: Este ensayo está determinado por la norma NCh 1019 Of. 74 la cual regula la forma de realizar este ensayo tanto en obra como en laboratorio.

Este ensayo es aplicable a hormigones cuyo árido sea de tamaño igual o menor a 50 mm. Además no determina docilidades de asentamiento de cono inferiores a 2 cm. Y mayores a 18 cm.

El molde utilizado para este ensayo consiste en un tronco de cono recto metálico cuyo diámetro superior es de 100 ± 1.5 mm., diámetro inferior de 200 ± 1.5 mm., y altura igual a 300 ± 1.5 mm. ; Provisto de dos pisaderas en la parte inferior para la sujeción por parte del operador durante el llenado, y dos asas en el tercio superior para levantar el molde después del llenado.

En lo que corresponde a la extracción de la muestra, la norma NCh 171 E of 75, determina que se debe extraer como mínimo el doble de la cantidad de hormigón necesario (8 litros min.) para realizar el ensayo, además, el material se deberá mezclar antes en una carretilla.

La forma de realizar el ensayo es la siguiente.

- Se coloca el molde sobre la plancha de apoyo horizontal, rígida, no absorbente, ambos limpios y humedecidos sólo con agua.
- El operador se posa sobre las pisadoras evitando el movimiento del molde durante el llenado.
- Se llena el molde con tres capas de aproximadamente igual volumen, apisonando cada capa con 25 golpes de la varilla-pisón distribuidos uniformemente.
- La capa inferior se apisona en toda su profundidad; la mitad de los golpes se darán alrededor del perímetro ligeramente inclinado. La capa media y superior se deben apisonar penetrando la capa subyacente. Al apisonar la última capa se debe mantener un exceso permanente sobre el borde superior del molde.
- Terminado el llenado y compactado del molde, se enrasa la superficie de la capa superior con la varilla-pisón y se limpia el hormigón derramado en la zona adyacente al molde.

- Inmediatamente llenado el molde, enrasado y retirado los residuos de hormigón, se carga el molde con las manos, se liberan las pisaderas; se procede a levantar el molde en dirección vertical sin perturbar el hormigón en un lapso de 5 a 10 segundos.
- Se coloca el molde al lado del hormigón moldeado.
- Todo el procedimiento de llenado, compactado, enrase y levantamiento del cono, no debe demorar más de 3 minutos.
- Luego de levantado el molde, se mide inmediatamente la disminución de altura del hormigón moldeado respecto al molde, aproximando a 0.5 cm. La medición se hace en el eje central del molde en su posición original.
- Si el hormigón se inclina decididamente hacia un lado después de retirado el molde o sufre disgregaciones, se repite el ensayo, si por segunda vez se presenta este fenómeno, se considera el hormigón no apto para realizar el ensayo del cono por carecer de la plasticidad y cohesión necesaria.

Durante la etapa en que el hormigón mantiene su estado fresco, experimenta una serie de procesos cuyo origen y consecuencias es necesario conocerlos para tenerlos debidamente en cuenta.

Estos procesos son principalmente:

- Segregación.
- Exudación del agua de amasado.
- Sedimentación.
- Retracción plástica.
- Falso fraguado del hormigón.

Segregación: ocurre cuando los materiales componentes del hormigón se separan, dejando de ser una mezcla uniforme en cuanto a la distribución de sus partículas. Esto produce serias dificultades en la colocación y compactación de la mezcla. Y el hormigón resulta con poros y nidos.

La segregación se puede evitar con el uso de áridos de buena granulometría, dosificando y manteniendo la proporción correcta entre los áridos grueso y fino, dosis de agua equilibrada, transportando, colocando y compactando en forma correcta el hormigón, evitando la caída del hormigón desde gran altura, no desplazar el hormigón con el vibrador, sin realizar exceso de vibrado.

Exudación: Ocurre cuando parte del agua de amasado tiende a subir a la superficie del hormigón ya colocado y compactado. Esto sucede porque los sólidos tienen un mayor peso específico que el agua. A consecuencia de esto en la superficie del hormigón queda una capa de agua con sedimentos finos la cual es débil porosa y permeable, lo cual produce una superficie poco resistente al desgaste. Esto puede evitarse con una buena granulometría y proporción de los áridos, con bajas dosis de agua, usando aditivos incorporadores de aire y colocando el hormigón en capas delgadas.

Sedimentación: la sedimentación de los áridos produce un acortamiento en sentido vertical de hasta un 1% del hormigón, produciendo grietas en el encuentro de dos capas de hormigonado. Este efecto se puede evitar dejando transcurrir 45 a 60 min. Entre el hormigonado de un elemento vertical y uno horizontal, para que el hormigón del elemento vertical sedimente. En caso de rellenos debe agregarse un aditivo expansor para compensar la sedimentación.

Retracción Plástica: La evaporación del agua produce un secado progresivo del hormigón desde fuera hacia dentro, lo que produce que la superficie del hormigón se contrae y las capas interiores se lo impiden por estar saturadas. Entonces si la evaporación del agua es muy rápida por falta de protección o curado, se producen grietas en las primeras horas o minutos de colocado el hormigón. Estas grietas son de forma irregular y se encuentran en la superficie del hormigón por efecto del viento y el sol. Esto se puede evitar protegiendo el hormigón fresco de la pérdida de humedad.

Falso fraguado del cemento: es la rigidización del hormigón aún en estado fresco, esto ocurre en los primeros minutos después de la adición del agua de amasado, dificultando el transporte, colocación y compactación del hormigón. Este efecto puede evitarse aumentando el tiempo de

amasado, esto rompe la cristalización del yeso componente del cemento y da plasticidad al hormigón sin necesidad de adicionar mas agua.

2.1.2 Hormigón endurecido.

El hormigón pasa por un proceso de endurecimiento el cual es progresivo que lo hace pasar de un material plástico a uno sólido, el que se produce por un proceso físico – químico.

Cuando el hormigón endurece sus propiedades van evolucionando en el tiempo y estas propiedades dependerán de las características y propiedades de los materiales que lo componen, además del ambiente al cual estará expuesto.

El hormigón endurecido tiene las siguientes propiedades: Resistencia, Durabilidad y Cambios de volumen. De estas propiedades la que interesa en este estudio es la Resistencia ya que tiene directa relación con la razón agua/cemento.

Resistencia

La resistencia del hormigón es el factor que se emplea frecuentemente para definir su calidad. Se pueden medir resistencias a la compresión, tracción, flexión y tracción indirecta de acuerdo al uso que tendrá.

En la resistencia del hormigón pueden influir diversos factores como son: Influencia de los Materiales y el Método de Fabricación, Influencia de la Razón Agua/Cemento, Influencia de la Dosificación y Tipo de Cemento y la Influencia de la Edad en la Resistencia del Hormigón.

Influencia de los Materiales y el Método de Fabricación: Un cemento alta resistencia mejora la resistencia de un hormigón a los 28 días entre un 20-30% comparado con un cemento de grado corriente. Además la mala calidad del agua influye en la resistencia ya que perturba el fraguado y endurecimiento, al igual que las sustancias que puedan contener los áridos perjudican la resistencia del hormigón.

Influencia de la Razón Agua/Cemento: Del total del agua que interviene en la confección del hormigón una parte es absorbida al interior de los áridos, el resto se denomina agua libre o agua neta. Solo una parte del agua libre reacciona con el cemento, aproximadamente el 25%

del peso de este, el excedente se utiliza para proporcionar docilidad a la mezcla y lograr una masa plástica.

El agua libre de amasado esta compuesta por el agua de hidratación mas el agua adicional. Esta ultima no participa en la reacción y posteriormente se evapora dejando en su lugar poros de aire. Entonces el cuociente entre el peso del agua libre (w) y el peso del cemento (c) empleado recibe el nombre de razón agua/cemento (w/c).

A medida que aumenta el agua libre, mayor es la cantidad de agua que no se combina. Al evaporarse el agua en exceso la pasta resulta tanto mas porosa mientras mas agua se ha empleado, y como consecuencia, su resistencia decrecerá.

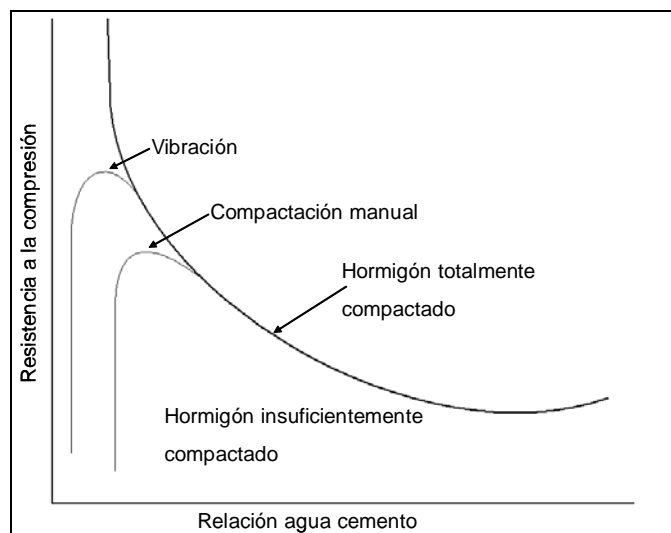


Fig. N° 1 Correspondencia entre la resistencia y la relación agua/cemento del hormigón.

Abrams demostró que un hormigón perfectamente compactado, en el cual se han empleado buenos áridos y un cemento dado, su resistencia solo depende de la razón agua/cemento. Esta ley tiene una formula de tipo logarítmica: $R = A/B^\gamma$, donde γ es la razón agua/cemento, A y B corresponden a coeficientes numéricos que dependen de cada cemento.

Cuanto menor sea la razón agua/cemento, mayor será la resistencia; sin embargo, al emplear razones agua cemento muy bajas la mezclase hará mas seca y difícil de compactar, quedando porosas, al punto que la resistencia empezará a decrecer.

Influencia de la Dosificación y tipo de Cemento: La resistencia a compresión aumenta al disminuir la relación agua/cemento.

La resistencia aumenta con la cantidad de cemento. Sin embargo, cuando la dosificación de cemento sobrepasa los 400 kg. Por m³, se incrementan fuertemente la retracción y el calor de fraguado y deben prevenirse sus efectos. En algunos casos pueden emplearse dosis mayores, como en prefabricados, pretensados y en otros hormigones, si se adoptan sistemas oportunos y eficientes de protección y curado (curado al vapor, enfriamientos).

La resistencia del hormigón disminuye al aumentar la cantidad de agua mas allá de la necesaria para conseguir la hidratación completa del cemento y la lubricación de la masa. Los áridos se deben dosificar en proporciones que den la máxima compacidad, es decir, un volumen de huecos mínimo.

Después de iniciada la hidratación del cemento, comienza un aumento progresivo de la resistencia del hormigón que depende principalmente de los componentes mineralógicos del cemento, por lo cual se puede encontrar aumentos de resistencia diferentes para iguales edades en hormigones fabricados de igual manera, pero con diferentes cementos.

Influencia de la Edad en la Resistencia del Hormigón: Desde que se confecciona un hormigón comienza a adquirir resistencia.

La reacción de hidratación del cemento la cual da origen a los compuestos resistentes, es un proceso lento por lo cual bajo condiciones favorables de humedad y temperatura sigue desarrollándose en forma indefinida en el tiempo.

La mayor o menor rapidez con que se desarrolla la resistencia de un hormigón depende de la velocidad de hidratación del cemento empleado en su confección, la que varia de acuerdo con la clase de cemento y con su finura. Los cementos Pórtland son mas rápidos que los cementos con adiciones y también lo son los cementos de grano mas fino con respecto a los de menor finura.

A continuación se muestra un gráfico con las curvas de desarrollo de resistencia de dos hormigones, uno con cemento corriente y otro con cemento de alta resistencia, los cuales han sido dosificados para obtener la misma resistencia media a los 28 días. Hay que hacer notar que para cumplir esta condición, el hormigón de cemento corriente necesita una dosis de cemento más alta que el hormigón de cemento de alta resistencia.

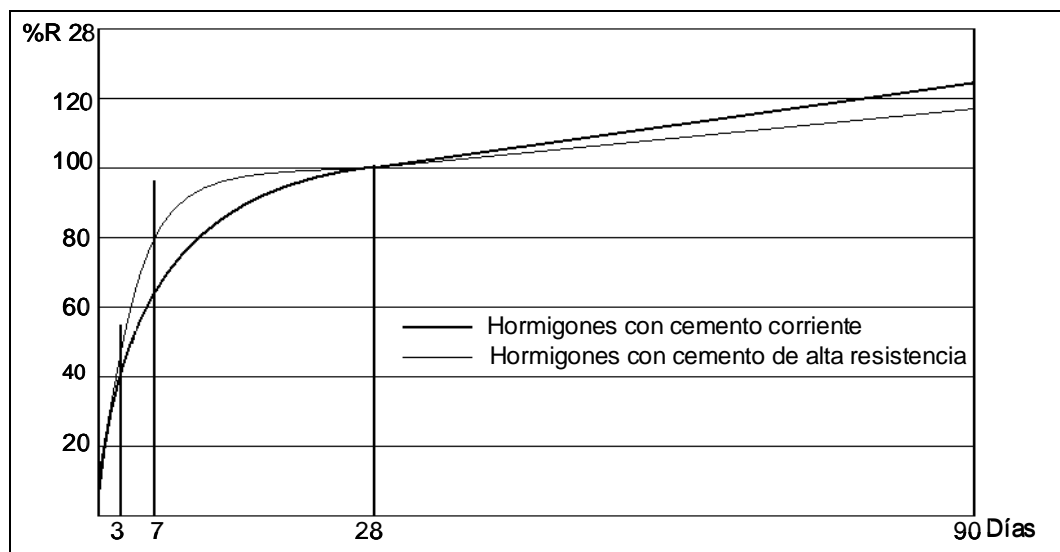


Fig. N° 2 Desarrollo de la Resistencia en el tiempo, expresada como porcentaje de la resistencia a los 28 días.

Si ambos hormigones se confeccionaran con igual dosificación y dosis de cemento, aquel con alta resistencia tendría a 28 días una resistencia mayor que el de cemento corriente, aunque en el largo plazo ambas resistencias tenderían a ser similares.

2.2.0 RAZON AGUA/CEMENTO SEGÚN NCH 170.

2.2.1 Determinación de la Razón Agua/Cemento según NCh 170.

La razón agua/cemento se puede determinar por condiciones de resistencia o por condiciones de durabilidad, o por ambas.

En esta experiencia se utilizara el procedimiento N° 3 determinado por condiciones de resistencia que indica la NCh 170 tabla N° 3 para cemento de grado corriente.

Procedimiento N° 3

Determinación de la razón agua/cemento a partir de la resistencia media requerida mediante la tabla N° 1.

Tabla N° 1. Razón agua/cemento para resistencia media requerida, fr.

Razon agua/cemento en masa	Resistencia media requerida, fr, Mpa	
	Cemento grado corriente	Cemento grado alta resistencia
0,45	34	43
0,50	29	36
0,55	25	31
0,60	21	26
0,65	18	23
0,70	16	20
0,75	14	17
0,80	12	15
0,85	10	13

(Fuente: Tabla N° 3 NCh 170).

CAPITULO III

DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

3.1.0 MATERIALES QUE INTERVIENEN EN LA EXPERIENCIA

Los materiales a utilizar para las muestras de prueba, cemento corriente, agua potable, en cuanto a áridos será, grava, gravilla y arena.

3.1.1 Áridos.

Los áridos utilizados en esta experiencia corresponden a la empresa Áridos las Animas, ubicada en la localidad de Las Animas, provincia de Valdivia y corresponden a áridos de extracción fluvial.



Fig. N° 3. Áridos (arena, grava y gravilla).
Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Cemento.

El cemento que se utilizó en esta investigación, es fabricado por CEMENTOS BIO - BIO.

Bío – Bío Especial Pórtland Puzolánico, es un cemento elaborado sobre la base de clínker, puzolana y yeso. De acuerdo a la norma NCH 148 Of. 68, se clasifica como Especial Pórtland Puzolánico, grado corriente.

3.1.3 Agua.

Se utilizó agua potable, por lo que no es necesario comprobar su calidad (Nch 1498), debido a que el agua es un componente fundamental al momento de fabricar el hormigón, ya que su presencia determina tanto el desarrollo de las propiedades en su estado fresco como en la etapa de endurecimiento.

3.2.0 ENSAYOS A LOS ARIDOS.

Para poder realizar esta experiencia, lo primero que se debe realizar son los ensayos a los áridos. Para poder obtener las características de estos y así dosificar los hormigones de prueba.

Los ensayos a los cuales se sometieron los áridos son los obligatorios destinados al control de recepción.

- Granulometría.
- Material fino menor a 0,08 mm.
- Materia orgánica.

Además se incluirá:

- Desgaste de los Ángeles.
- Cubisidad de las partículas y porcentaje de rodado, chancado y laja.

En cuanto a los ensayos de control de uso, los cuales intervienen en el cálculo de la dosificación.

- Densidad real.
- Absorción y humedad.

3.2.1 Extracción De La Muestra NCh 164.

Se extrae una muestra simple que se considera representativa del lote, y se reduce por medio de cuarteo, antes de esto el material se debe colocar en una superficie horizontal y limpia en la cual se mezcla para así obtener una muestra homogénea. Luego se reduce la muestra mediante cuarteo que en este caso se realizó con pala como se muestra en la Fig. N° 4.

El ensayo fue realizado según la NCh 164.



Fig. N° 4 Cuarteo a pala.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Porcentaje De Fino Menor A 0,08 Mm. NCh 1223.

Alcance y campo de aplicación.

Estas partículas recubren los granos de los áridos formando películas que desmejoran la adherencia cemento-árido y afectan la resistencia de los hormigones. El exceso de finos produce hormigones fisurables y de baja resistencia a la abrasión. Por otra parte el exceso de de fino mejora la trabajabilidad y la impermeabilidad de los hormigones (además, mejora la terminación superficial).

El ensayo fue realizado según la NCh 1223.

La norma chilena estipula cantidades máximas aceptables para partículas inferiores a 0.080 mm.

Estos limites indican lo siguiente:

	Grava	Arena
Para hormigón sometido a desgaste % máximo	0.5	3.0
Para todo otro hormigón % máximo	1.0	5.0

Tabla N° 2. Resumen resultado % de fino menor a 0,08 mm. Resultado ensayo a los áridos.

Material	A (gr.)	B (gr.)	F (%)
arena	500	493	1,4
grava	2000	1980	1
gravilla	1000	994	0,6

(A: masa seca antes de lavado, B: masa seca después de lavado)

3.2.3 Determinación Colorimetría De La Presencia De Impurezas Orgánicas En Las Arenas Para Hormigones NCh 166. Of 52.

Procedimiento.

Se selecciona una muestra según norma, se pesan 200 gr. de arena y se colocan en un envase que contiene 100 cc. de una solución de hidróxido de sodio al 3% agitándola y dejándola reposar por 24 hrs. en un lugar sin luz. Luego se compara el color con el patrón de colores, como se muestra en la fig. N° 5.



Fig. N° 5. Ensayo colorimetría NCh 166 of 52.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3. Contenido de materia orgánica en las arenas.

Nivel	Color	Contenido materia orgánica	Aceptación
1		no contiene	↑ Nivel de aceptación ↑ Máximo aceptable
2		escasa	
3		Indicios	
4		Abundante	
5		Muy abundante	

Al comparar la muestra ensayada con el patrón colorimétrico (Hellige tester N°. 815) dio como resultado el nivel N° 2 por lo cual según tabla N° 4 tiene un nivel aceptable de contenido de materia orgánica.

3.2.4 Granulometría NCh 165. Of 77.

La granulometría de los áridos se determina haciendo pasar muestras representativas del acopio por una serie de tamices ordenados por abertura de mayor a menor. Los pesos retenidos en cada tamiz se expresan como porcentajes del peso total de la muestra y, finalmente, la granulometría del árido se indica en porcentajes que pasan, acumulados.

Este ensayo fue realizado según la norma Nch 165.



Fig. N° 6. Serie de tamices utilizados en granulometría de gravas.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 4. Tabla de resultados ensayo granulometría para la arena.
Peso seco arena 1105 gr.

Tamiz (mm.)	Peso Retenido (gr.)	% Retenido	% Que Pasa
12,5	13	1	99
10	45	4	95
5	160	15	80
2,5	120	11	69
1,25	144	13	56
0,63	386	35	21
0,315	188	17	4
0,16	34	3	1
Residuo	15	1	0
Suma			231
Calculo			6-231/80
Modulo Finura			3,11

Tabla N° 5. Tabla de resultados ensayo granulometría para la gravilla.
Peso seco gravilla 4995 gr.

Tamiz (mm.)	Peso Retenido (gr.)	% Retenido	% Que Pasa
80	0	–	100
63	0	–	100
50	0	–	100
40	0	–	100
25	0	–	100
20	30	1	99
12,5	107	2	97
10	1083	22	75
6,3	2522	50	25
5	1015	20	5
2,5	190	4	1
1,25	23	0	0
0,63	19	0	–
0,31	6	0	–
0,16	0	0	–
Residuo	0	0	–
Suma			280
Calculo			9-280/100
Modulo Finura			6,2

Tabla N° 6. Tabla de resultados ensayo granulometría para la grava.
Peso seco grava 10008 gr.

Tamiz (mm.)	Peso Retenido (gr.)	% Retenido	% Que Pasa
80	0	–	100
63	0	–	100
50	0	–	100
40	0	–	100
25	2790	28	72
20	3098	31	41
12,5	3910	39	2
10	127	1	1
6,3	65	1	0
5	9	0	–
2,5	2	0	–
1,25	0	0	–
0,63	0	0	–
0,31	0	0	–
0,16	0	0	–
Residuo	0	0	–
Suma			142
Calculo			9-142/100
Modulo Finura			7,58

Para la dosificación de la mezcla de áridos se utilizara una Tabla N° 7 usada por el laboratorio Lemco, la cual por medio de ingresar los porcentajes en forma aleatoria se puede ver cual es el que mejor se inserta en las bandas granulométricas.

Tabla N° 7. Tabla Dosificación de mezcla de áridos para hormigón.

Mallas	% QUE PASA			Grava	Gravilla	Arena	Granulometría	Especificación		
	Grava	Gravilla	Arena					38%	30%	32%
2"	100	100	100	38	30	32	100		-	
1 1/2"	100	100	100	38	30	32	100		100	
1"	72	100	100	27	30	32	89		-	
3/4"	41	99	100	16	30	32	77	60	-	80
1/2"	2	97	99	1	29	32	62		-	
3/8"	1	75	95	0	23	30	53	40	-	61
No 4	0	5	80	0	2	26	27	24	-	48
No 8	0	1	69	0	0	22	22	15	-	37
No 16	0	0	56	0	0	18	18	10	-	28
No 30	0	0	21	0	0	7	7	6	-	19
No 50	0	0	12	0	0	4	4	3	-	11
No 100	0	0	1	0	0	0	0	2	-	5
GRAVA	GRAVILLA		ARENA							
38%	30%		32%							

(Fuente: Laboratorio de ensayo Lemco)

3.2.5 Método de la maquina de los Ángeles (Determinación del desgaste de las gravas)

NCh 1369.of78.

Alcance y campo de aplicación.

El método consiste en analizar granulométricamente un árido grueso, preparar una muestra de ensayo que se somete a abrasión en la máquina de Los Angeles y expresar la

pérdida de material o desgaste como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra con respecto a su masa inicial.

Este ensayo se realizó según se indica en la norma NCh 164.



Fig. N° 7. Máquina de Los Angeles. Ensayo NCh 1369.0f78 Determinación del desgaste de las gravas.

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la granulometría se puede elegir de la tabla grado del ensayo según la tabla grados del ensayo NCh 1369. Representando con esto la mayor proporción del material original. Para la grava el grado de ensayo fue N°4 y la gravilla N°6.

Resultados

El cálculo del desgaste de la grava se expresa como el porcentaje de pérdida de masa (P).

Tabla N° 8. Desgaste de las gravas (P) Máquina de los Angeles.

	mi (gr.)	mf (gr.)	$P = (mi - mf) * 100 / mi$
Grava	4991	4099	17,90%
Gravilla	4991	4312	13,60%

3.2.6 Método para determinar la cubicidad de las partículas. Manual de Carreteras.

Especificaciones y control de muestreo, Ensayo y Control. Vol. N° 8.

Alcance y campo de aplicación

Este método establece el procedimiento para determinar el contenido porcentual de partículas chancadas, rodadas y lajeadas de la fracción de un pétreo retenida en el tamiz 5 mm.

Las cantidades de material a ensayar se obtienen de la tabla 8.202.6.A. Manual de Carreteras Vol. 8.

Resultados

Tabla N° 9. Resultados método para determinar la cubicidad de las partículas.

	Grava (%)	Gravilla (%)
Porcentaje total de chancado (Cht)	0,58	63,56
Porcentaje total de rodado (Rt)	99,42	35,44
Porcentaje total de Laja (Lt)	0	0

3.2.7 Densidad Real Y Neta y La Absorción De Agua De Las Gravas NCh 1117 .Eof77.

Se calculo la densidad real y la absorción ya que se dosificara en peso.

Este ensayo se realizo según se indica en la norma NCh 1117 .Eof77.

Resultados

Tabla N° 10. Resultados densidad real y absorción de la grava.

	Densidad real seca ρ_{RT} (kg/m ³)	Absorción α (%)
Grava	2,648	1,18
Gravilla	2,64	1,82

3.2.8 Densidad Real Y Neta y La Absorción De Agua De Las Arenas NCh 1239 .of77.

Este ensayo se realizo según se indica en la norma NCh 1239 .of77.

Resultados

$\rho_{Rs} = 2.526 \text{ kg/m}^3$; Densidad real seca de la arena.

$\alpha = 1,91 \%$; Absorción de agua de la arena.

3.3.0 DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

Esta experiencia consiste en realizar diseño y confección de mezclas de prueba en peso, usando el método utilizado en el laboratorio de ensayo de materiales Lemco, para las razones agua/cemento (A/C) de la NCh 170.

Tabla N° 11. Razón A/C para la resistencia media requerida, fr.

Razón A/C en masa	Resistencia (Mpa)
0.45	34
0.50	29
0.55	25
0.60	21
0.65	18
0.70	16
0.75	14
0.80	12
0.85	10

(Fuente: Tabla N° 3 NCh 170)

Con estas dosificaciones se realizarán tres probetas de hormigón para cada razón A/C, estas probetas serán cúbicas de 15 cm. sus lados.

Las muestras de prueba serán ensayadas a la compresión según la NCh 1037 y luego se compararán los resultados con las resistencias medias requeridas (fr) que indica la Tabla N° 14 para cemento grado corriente y las resistencias correspondientes según la tabla 22 razón A/C del Manual de Carreteras vol. 8.

Tabla N° 12. Manual de Carreteras vol. 8 Vialidad, Resistencia v/s Razón Agua/Cemento.

Razón A/C	fr a los 28 días (Mpa)
0.41	41
0.43	35
0.46	31
0.53	26
0.58	23
0.78	18
0.92	14
1.00	13

(Fuente: Tabla 22 Manual de carreteras vol. 8 Vialidad)

Para poder hacer un análisis comparativo se deberá interpolar la razón A/C de la tabla de la Tabla N° 12 para obtener los mismos valores de la razón A/C de la Tabla N° 11, y obtener la resistencia media requerida asociada.

Tabla N° 13. Tabla 22 interpolada Manual de Carreteras vol. 8 Vialidad, para obtener valores razón A/C de la tabla 3 NCh 170.

Razón A/C	fr a los 28 días (Mpa)
0.45	32.3
0.50	28.5
0.55	25.8
0.60	22.7
0.65	21.3
0.70	20.0
0.75	18.9
0.80	17.5
0.85	16.0

Una vez obtenidos los valores de las razones A/C, se puede hacer una tabla comparativa para ver las resistencias asociadas según cada norma.

Tabla N° 14. Tabla comparativa de la Nch 170 y Vialidad para una misma razón A/C con sus respectivas resistencias. Para cementos de grado corriente.

Razón A/C	Resistencia Nch 170 fr (Mpa)	Resistencia M.C. fr a los 28 días (Mpa)
0.41	----- (*)	41.0
0.43	----- (*)	35.0
0.45	34	32.3
0.50	29	28.5
0.55	25	25.8
0.60	21	22.7
0.65	18	21.3
0.70	16	20.0
0.75	14	18.9
0.80	12	17.5
0.85	10	16.0

(*) No esta determinada la resistencia, ya que no se encuentra este valor de razón A/C para esta tabla.

Con los valores de la tabla N° 14, mas los resultados de las probetas a ensayar se podrá completar el análisis comparativo y obtener las conclusiones de la experiencia.

3.4.0 DOSIFICACIÓN DE MUESTRAS DE PRUEBA DE HORMIGÓN

La dosificación de las muestras de prueba de hormigón se realizara en peso, a partir del valor conocido de la razón agua/cemento (A/C). Para los valores que indica la NCh 170 y los del Manual de Carreteras vol. 8 indicados en la tabla N° 14.

La docilidad que se utilizara para la razón A/C 0,45 y menores a esta será de 2–4 cm. (descenso de cono de Abrams) y para los valores de la razón A/C superiores a 0,45 será de 6–9 cm.

3.4.1 Dosificación Proceso de calculo método Lemco.

Determinación de la resistencia media de dosificación (fm).

$$Fm=fc+s*t$$

fc = resistencia a la compresión.

s = desviación Standard.

t = nivel de confianza.

Este proceso parte por conocer la resistencia media de dosificación, pero para este caso partiremos por el valor conocido de la razón A/C.

Determinación de la cantidad de agua.

Para la determinación de la cantidad de agua de amasado en m³ es necesario conocer la trabajabilidad y el tamaño máximo nominal de los áridos. En este caso el tamaño máximo de los áridos según la granulometría es de 1 ½” y la trabajabilidad será para algunos de 2-4 cm. y de 6-9 cm. según lo indicado anteriormente para las razones A/C.

Con los datos mencionados anteriormente se puede obtener el volumen de agua de amasado de la Tabla N° 22 NCh 170.

Para el tamaño máximo nominal 1 ½” y docilidad 6 – 9 cm. el volumen de agua de amasado será de 0,170 m³. Y para la docilidad 2 – 4 cm. el volumen de agua será el promedio que se utiliza para la docilidad de 0 – 2 y 3 – 4 cm., este valor es de 0,155 m³.

Determinación de la razón agua/cemento A/C.

Como se conoce la razón A/C y el volumen de agua de amasado, se puede determinar la cantidad de cemento. Para 1 m³ de mezcla de hormigón.

$$A/C = \frac{\text{agua}}{C}$$

C = cemento kg.

$$C = \frac{\text{agua}}{A/C}$$

Calculo del volumen de los áridos. V (lt.)

Luego se debe calcular el volumen de los áridos, para esto ya se obtuvieron las cantidades de agua de amasado y de cemento. Lo que se debe encontrar es el volumen de aire atrapado el cual depende del tamaño máximo nominal de los áridos. La Tabla N° 23 NCh 170 determina los volúmenes de aire.

$$V=1000- (\text{agua}+(c/3)+a); \text{lt.}$$

c = cemento en kg.

a = aire atrapado lt.

La cantidad de aire atrapado según el tamaño máximo nominal de 1 ½” es de 10 lt.

Calculo del peso de los áridos. P (kg.)

Para determinar este cálculo se necesita conocer las densidades reales de los áridos, ya calculadas en el punto 3.1.2. NCh 1239 of 77 y NCh 1117 E.of 77 y los porcentajes de los áridos en la mezcla determinados por la NCh 165 of 77 Granulometría Tabla N° 7. Además del volumen de los áridos.

$$P = \frac{DrG * Drg * Dra * V}{(\% GM * Drg * Dra) + (\% gM * DrG * Dra) + (\% aM * DrG * Drg)}$$

DrG = densidad real de la grava. (2,648 kg/dm³).

Drg = densidad real de la gravilla. (2,640 kg/dm³).

Dra = densidad real de la arena. (2,526 kg/dm³).

% GM = porcentaje de grava en la muestra. (38%).

% gM = porcentaje de gravilla en la muestra. (30%).

% aM = porcentaje de arena en la muestra. (32%).

V = volumen de los áridos.

Calculo del peso de las fracciones PG, Pg, Pa. (kg).

Con el calculo del peso de los áridos (P) mas los porcentajes de árido en la mezcla (% GM, % gM, % aM) se podrá calcular el peso de las fracciones.

PG = P * % GM; peso de la grava.

Pg = P * % gM; peso de la gravilla.

Pa = P * % aM; peso de la arena.

Calculo del agua de absorción y agua de humedad. (lt).

El agua de absorción que se obtiene de la sumatoria del producto del peso de las fracciones de los áridos por sus porcentajes de absorción respectivos Cáp. 3.1.2 (NCh 1239 of 77 y NCh 1117 Eof 77).

El agua de humedad se calcula por la sumatoria del producto del peso de las fracciones de los áridos por sus porcentajes de humedad respectivo. El porcentaje de humedad de cada árido se obtiene registrando los pesos húmedos de una muestra y los pesos secos. El porcentaje de humedad se toma con un poco de tiempo antes de realizar la mezcla de hormigón, para que el material no pierda humedad y el porcentaje obtenido sea fiel reflejo de su estado.

A absorción = $(PG * \alpha G) + (Pg * \alpha g) + (Pa * \alpha a)$; agua de absorción (lt.).

αG = absorción grava (%).

αg = absorción gravilla (%).

αa = absorción arena (%).

A humedad = $(PG * HG) + (Pg * Hg) + (Pa * Ha)$; agua de humedad (lt.).

H = $\frac{Pm - Po}{Po} * 100$; humedad de cada árido.

Pm = peso árido húmedo.

Po = peso árido seco.

Humedad libre HI (lt.).

Se utiliza para hacer la corrección de agua de amasado de la mezcla, si este valor es negativo se debe agregar agua libre a la mezcla y al contrario si el valor es positivo se le deberá restar al agua de amasado.

HI = A humedad – A absorción; en lt.

Una vez hecha la dosificación para 1 m³ de mezcla de hormigón se deberá reducir este volumen para el volumen deseado, en este caso para cada dosificación se harán tres cubos de 15 cm. mas la muestra de cono eso da un volumen total de 20 lt. Por lo cual el factor de reducción será n= 50.

3.4.2 Tablas de Dosificación en peso corregidas por humedad para cada razón A/C.

Tabla N° 15. Tabla resumen datos para dosificación.

Datos obtenidos para dosificación		
Nivel de confianza	%	80
Desviación estandar	kgf/cm ²	47,6
Factor estadístico T		0,842
Tamaño máximo nominal árido	mm.	40
Aire atrapado	lts.	10
Densidad real seca grava	kg/dm ³	2,648
Densidad real seca gravilla	kg/dm ³	2,640
Densidad real seca arena	kg/dm ³	2,526
% grava en mezcla	%	38
% gravilla en mezcla	%	30
% arena en mezcla	%	32
% absorción grava	%	1,18
% absorción gravilla	%	1,82
% absorción arena	%	1,91

Tabla N° 16. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,85.

Dosificación razón A/C = 0,85				
Dosis de agua	lt.			170
Razón A/C				0,85
Cemento	kg.			200
Volumen áridos	lt.			753
Peso áridos	kg.			1963
Peso grava	kg.			746
Peso gravilla	kg.			589
Peso arena	kg.			628
	Pm	Po	Humedad (%)	
Grava (kg.)	4,03	3,96	1,77	
Gravilla (kg.)	4,01	3,85	4,16	
Arena (kg.)	1,00	0,93	7,53	
	Peso humedad	Peso absorción	Humedad libre	
Grava (kg.)	13,18	8,80		
Gravilla (kg.)	24,47	10,72		
Arena (kg.)	47,27	12,00		
Total	84,93	31,51	53,41	
Dosificación en peso y corrección por humedad				
	1 m ³	corrección	1 m ³ corregido	20 lt. (factor n=50)
Cemento (kg.)	200		200,00	4,00
Grava (kg.)	746	13,18	759,01	15,18
Gravilla (kg.)	589	24,47	613,28	12,27
Arena (kg.)	628	47,27	675,34	13,51
Agua amasado (lts.)	170	53,41	116,59	2,33

Tabla N° 17. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,80.

Dosificación razón A/C = 0,80				
Dosis de agua	lt.			170
Razón A/C				0,80
Cemento	kg.			213
Volumen aridos	lt.			749
Peso aridos	kg.			1952
Peso grava	kg.			742
Peso gravilla	kg.			586
Peso arena	kg.			625
	Pm	Po	Humedad (%)	
Grava (kg.)	4,03	3,96		1,77
Gravilla (kg.)	4,01	3,85		4,16
Arena (kg.)	1,00	0,93		7,53
	Peso humedad	Peso absorcion	Humedad libre	
Grava (kg.)	13,11	8,75		
Gravilla (kg.)	24,33	10,66		
Arena (kg.)	47,01	11,93		
Total	84,46	31,34		53,12
Docificación en peso y corrección por humedad				
	1 m3	correccion	1 m3 corregido	20 lt. (factor n=50)
Cemento (kg.)	213		213	4,25
Grava (kg.)	742	13,11	754,81	15,10
Gravilla (kg.)	586	24,33	609,89	12,20
Arena (kg.)	625	47,01	671,61	13,43
Agua amasado (lts.)	170	53,12	116,88	2,34

Tabla N° 18. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,75.

Dosificación razón A/C = 0,75				
Dosis de agua	lt.			170
Razón A/C				0,75
Cemento	kg.			227
Volumen aridos	lt.			744
Peso aridos	kg.			1940
Peso grava	kg.			737
Peso gravilla	kg.			582
Peso arena	kg.			621
	Pm	Po	Humedad (%)	
Grava (kg.)	2,00	1,97		1,52
Gravilla (kg.)	2,00	1,93		3,63
Arena (kg.)	1,00	0,96		4,17
	Peso humedad	Peso absorcion	Humedad libre	
Grava (kg.)	11,22	8,70		
Gravilla (kg.)	21,10	10,59		
Arena (kg.)	25,86	11,85		
Total	58,19	31,14		27,05
Docificación en peso y corrección por humedad				
	1 m3	correccion	1 m3 corregido	20 lt. (factor n=50)
Cemento (kg.)	227		227	4,53
Grava (kg.)	737	11,22	748,25	14,97
Gravilla (kg.)	582	21,10	602,97	12,06
Arena (kg.)	621	25,86	646,52	12,93
Agua amasado (lts.)	170	27,05	142,95	2,86

Tabla N° 19. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,70.

Dosificación razón A/C = 0,70				
Dosis de agua	lt.			170
Razón A/C				0,70
Cemento	kg.			243
Volumen aridos	lt.			739
Peso aridos	kg.			1925
Peso grava	kg.			732
Peso gravilla	kg.			578
Peso arena	kg.			616
	Pm	Po	Humedad (%)	
Grava (kg.)	4,03	3,96	1,77	
Gravilla (kg.)	4,01	3,85	4,16	
Arena (kg.)	1,00	0,93	7,53	
	Peso humedad	Peso absorcion	Humedad libre	
Grava (kg.)	12,93	8,63		
Gravilla (kg.)	24,01	10,51		
Arena (kg.)	46,38	11,77		
Total	83,32	30,92	52,40	
Docificación en peso y corrección por humedad				
	1 m3	correccion	1 m3 corregido	20 lt. (factor n=50)
Cemento (kg.)	243		243	4,86
Grava (kg.)	732	12,93	744,62	14,89
Gravilla (kg.)	578	24,01	601,65	12,03
Arena (kg.)	616	46,38	662,53	13,25
Agua amasado (lts.)	170	52,40	117,60	2,35

Tabla N° 20. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,65.

Dosificación razón A/C = 0,65				
Dosis de agua	lt.			170
Razón A/C				0,65
Cemento	kg.			262
Volumen aridos	lt.			733
Peso aridos	kg.			1909
Peso grava	kg.			726
Peso gravilla	kg.			573
Peso arena	kg.			611
	Pm	Po	Humedad (%)	
Grava (kg.)	2,00	1,97	1,52	
Gravilla (kg.)	2,00	1,93	3,63	
Arena (kg.)	1,00	0,96	4,17	
	Peso humedad	Peso absorcion	Humedad libre	
Grava (kg.)	11,05	8,56		
Gravilla (kg.)	20,77	10,42		
Arena (kg.)	25,46	11,67		
Total	57,28	30,66	26,62	
Docificación en peso y corrección por humedad				
	1 m3	correccion	1 m3 corregido	20 lt. (factor n=50)
Cemento (kg.)	262		262	5,23
Grava (kg.)	726	11,05	736,57	14,73
Gravilla (kg.)	573	20,77	593,55	11,87
Arena (kg.)	611	25,46	636,42	12,73
Agua amasado (lts.)	170	26,62	143,38	2,87

Tabla N° 21. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,60.

Docificación razon A/C = 0,60				
Dosis de agua	lt.			170
Razon A/C				0,60
Cemento	kg.			283
Volumen aridos	lt.			726
Peso aridos	kg.			1890
Peso grava	kg.			718
Peso gravilla	kg.			567
Peso arena	kg.			605
	Pm	Po	Humedad (%)	
Grava (kg.)	4,03	3,96		1,77
Gravilla (kg.)	4,01	3,85		4,16
Arena (kg.)	1,00	0,93		7,53
	Peso humedad	Peso absorcion	Humedad libre	
Grava (kg.)	12,70	8,48		
Gravilla (kg.)	23,57	10,32		
Arena (kg.)	45,53	11,55		
Total	81,80	30,35		51,45
Docificación en peso y correccion por humedad				
	1 m3	correccion	1 m3 corregido	20 lt. (factor n=50)
Cemento (kg.)	283		283	5,67
Grava (kg.)	718	12,70	731,03	14,62
Gravilla (kg.)	567	23,57	590,67	11,81
Arena (kg.)	605	45,53	650,44	13,01
Agua amasado (lts.)	170	51,45	118,55	2,37

Tabla N° 22. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,55.

Docificación razon A/C = 0,55				
Dosis de agua	lt.			170
Razon A/C				0,55
Cemento	kg.			309
Volumen aridos	lt.			717
Peso aridos	kg.			1868
Peso grava	kg.			710
Peso gravilla	kg.			560
Peso arena	kg.			598
	Pm	Po	Humedad (%)	
Grava (kg.)	4,03	3,96		1,77
Gravilla (kg.)	4,01	3,85		4,16
Arena (kg.)	1,00	0,93		7,53
	Peso humedad	Peso absorcion	Humedad libre	
Grava (kg.)	12,55	8,38		
Gravilla (kg.)	23,29	10,20		
Arena (kg.)	44,99	11,42		
Total	80,83	29,99		50,84
Docificación en peso y correccion por humedad				
	1 m3	correccion	1 m3 corregido	20 lt. (factor n=50)
Cemento (kg.)	309		309	6,18
Grava (kg.)	710	12,55	722,38	14,45
Gravilla (kg.)	560	23,29	583,68	11,67
Arena (kg.)	598	44,99	642,74	12,85
Agua amasado (lts.)	170	50,84	119,16	2,38

Tabla N° 23. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,50.

Docificación razon A/C = 0,50				
Dosis de agua	lt.			170
Razon A/C				0,50
Cemento	kg.			340
Volumen aridos	lt.			707
Peso aridos	kg.			1841
Peso grava	kg.			700
Peso gravilla	kg.			552
Peso arena	kg.			589
	Pm	Po	Humedad (%)	
Grava (kg.)	2,00	1,97		1,52
Gravilla (kg.)	2,00	1,93		3,63
Arena (kg.)	1,00	0,96		4,17
	Peso humedad	Peso absorcion	Humedad libre	
Grava (kg.)	10,65	8,26		
Gravilla (kg.)	20,03	10,05		
Arena (kg.)	24,55	11,25		
Total	55,24	29,56		25,67
Docificación en peso y correccion por humedad				
	1 m3	correccion	1 m3 corregido	20 lt. (factor n=50)
Cemento (kg.)	340		340	6,80
Grava (kg.)	700	10,65	710,28	14,21
Gravilla (kg.)	552	20,03	572,37	11,45
Arena (kg.)	589	24,55	613,71	12,27
Agua amasado (lts.)	170	25,67	144,33	2,89

Tabla N° 24. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,45.

Docificación razon A/C = 0,45				
Dosis de agua	lt.			155
Razon A/C				0,45
Cemento	kg.			344
Volumen aridos	lt.			720
Peso aridos	kg.			1876
Peso grava	kg.			713
Peso gravilla	kg.			563
Peso arena	kg.			600
	Pm	Po	Humedad (%)	
Grava (kg.)	4,03	3,96		1,77
Gravilla (kg.)	4,01	3,85		4,16
Arena (kg.)	1,00	0,93		7,53
	Peso humedad	Peso absorcion	Humedad libre	
Grava (kg.)	12,60	8,41		
Gravilla (kg.)	23,39	10,24		
Arena (kg.)	45,19	11,47		
Total	81,19	30,13		51,06
Docificación en peso y correccion por humedad				
	1 m3	correccion	1 m3 corregido	20 lt. (factor n=50)
Cemento (kg.)	344		344	6,89
Grava (kg.)	713	12,60	725,61	14,51
Gravilla (kg.)	563	23,39	586,30	11,73
Arena (kg.)	600	45,19	645,62	12,91

Tabla N° 25. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,43.

Docificación razon A/C = 0,43				
Dosis de agua	lt.			155
Razon A/C				0,43
Cemento	kg.			360
Volumen aridos	lt.			715
Peso aridos	kg.			1862
Peso grava	kg.			708
Peso gravilla	kg.			559
Peso arena	kg.			596
	Pm	Po	Humedad (%)	
Grava (kg.)	4,03	3,96	1,77	
Gravilla (kg.)	4,01	3,85	4,16	
Arena (kg.)	1,00	0,93	7,53	
	Peso humedad	Peso absorcion	Humedad libre	
Grava (kg.)	12,51	8,35		
Gravilla (kg.)	23,22	10,17		
Arena (kg.)	44,86	11,38		
Total	80,59	29,90	50,69	
Docificación en peso y correccion por humedad				
	1 m3	correccion	1 m3 corregido	20 lt. (factor n=50)
Cemento (kg.)	360		360	7,21
Grava (kg.)	708	12,51	720,23	14,40
Gravilla (kg.)	559	23,22	581,95	11,64
Arena (kg.)	596	44,86	640,84	12,82
Agua amasado (lts.)	155	50,69	104,31	2,09

Tabla N° 26. Tabla resumen dosificación y corrección por humedad razón A/C = 0,41.

Docificación razon A/C = 0,41				
Dosis de agua	lt.			155
Razon A/C				0,41
Cemento	kg.			378
Volumen aridos	lt.			709
Peso aridos	kg.			1847
Peso grava	kg.			702
Peso gravilla	kg.			554
Peso arena	kg.			591
	Pm	Po	Humedad (%)	
Grava (kg.)	2,00	1,97	1,52	
Gravilla (kg.)	2,00	1,93	3,63	
Arena (kg.)	1,00	0,96	4,17	
	Peso humedad	Peso absorcion	Humedad libre	
Grava (kg.)	10,69	8,28		
Gravilla (kg.)	20,10	10,09		
Arena (kg.)	24,63	11,29		
Total	55,42	29,66	25,76	
Docificación en peso y correccion por humedad				
	1 m3	correccion	1 m3 corregido	20 lt. (factor n=50)
Cemento (kg.)	378		378	7,56
Grava (kg.)	702	10,69	712,61	14,25
Gravilla (kg.)	554	20,10	574,25	11,48
Arena (kg.)	591	24,63	615,72	12,31
Agua amasado (lts.)	155	25,76	129,24	2,58

3.5.0 CONFECCION MEZCLAS DE PRUEBA

3.5.1 Confección de mezclas de prueba de hormigón.

Una vez que se tienen los pesos de los materiales (áridos, cemento y agua) se debe proceder a confeccionar el hormigón.

El día anterior a la confección de las mezclas de prueba se procedió a humedecer el árido, de acuerdo a lo establecido en la norma Nch 1018.

Unas horas antes de la fabricación de las mezclas de prueba se midió la humedad de los áridos y luego se procedió a realizar las correcciones por humedad.

Después de hechas las correcciones se miden los materiales.

Una vez reunidos todos los materiales comienza el proceso de llenado en la betonera.

El proceso de llenado en la betonera es el siguiente: se agrega la mitad de la cantidad de agua y luego la grava y gravilla, se revuelve en la maquina y luego se agrega la arena, el cemento y el resto del agua y se revuelve nuevamente hasta obtener una mezcla homogénea.



Fig. N° 8. Betonera donde se fabrico el hormigón.
Fuente: Elaboración propia.

Antes del llenado de los moldes se debe tomar la muestra de cono de Abrams según el procedimiento establecido por la NCh 1019 como se muestra en la fig. N° 9, con lo cual se comprueba que se cumpla con la docilidad indicada.



Fig. N° 9. Asentamiento de cono de Abrams.
Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento de la toma de muestra de cono de Abrams es el que se indica:

Se coloca el molde sobre una plancha de apoyo horizontal, ambos limpios y humedecidos solo con agua.

Luego deberá pararse sobre las pisaderas, evitando el movimiento del molde durante el llenado.

Se llenó el molde en tres capas de aproximadamente igual volumen, apisonándose cada capa con 25 golpes de la varilla-pisón, distribuidas uniformemente.

Acabadas las tres capas se enrasa la superficie de la última capa y se limpio 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 y se levantó el cono en la forma lo mas vertical posible.

Seguidamente levantado el molde, se midió el descenso de altura respecto del mismo molde, aproximando a 0,5 cm. La medición se hizo en el eje central del molde en su posición original.

3.5.2 Confección y curado de las mezclas de prueba.

Para la confección de las muestras de prueba se consulto la NCh 1017.Eof 75

Los moldes serán de forma cúbica de 150 mm. (fig. N° 10) para este ensayo, con lo cual por medio de un factor se puede llegar a los valores de resistencia de las muestras de prueba cúbicas de moldes de 200 mm.



Fig. N° 10. Moldes cúbicos de 150 mm.
Fuente: Elaboración propia.

Antes de proceder al llenado de los moldes se debe aplicar una película de desmoldante por todo el interior del molde. Luego se procede al llenado de los moldes con la mezcla de hormigón.

El vibrador se introduce en forma vertical en el centro, se hizo llegar hasta casi 2cm del fondo, una vez aparecida la lechada, se retiro lentamente el vibrador.

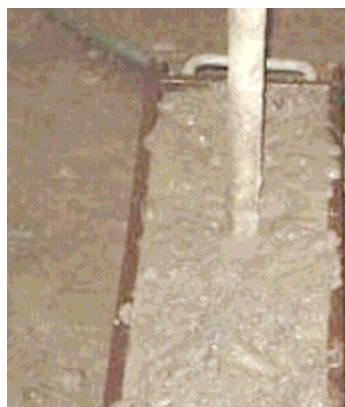


Fig. N° 11. Compactación con vibrador.
Fuente: Elaboración propia.

Luego de compactados los moldes se procedió enrasar con la varilla pisón haciendo movimientos de aserrado, y finalmente con una llana se procede a darle la terminación final.

Las muestras, se deberán dejar en un lugar seguro, protegidas con polietileno del sol y de toda contaminación, se identifican, provisoriamente con un papel hasta su desmolde, donde se hará finalmente.



Fig. N° 12. Identificación provisoria de moldes.
Fuente: Elaboración propia.

Luego de 48 hrs. se procede a desmoldar las probetas, teniendo especial cuidado de no dañarlas. Se identifican definitivamente con un lápiz marcador.

Se trasladan las probetas hasta la piscina de curado donde se mantendrán sumergidas en agua a una temperatura controlada, entre 17 y 23°C, hasta la fecha de ensayo.

Las probetas se retirarán de su curado inmediatamente antes de ensayar, protegiéndolas con arpilleras mojadas hasta el momento en que se deban colocar en la máquina de ensayo.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1.0 ENSAYO A LA COMPRESION NCh 1037

4.1.1 Alcance y campo de aplicación.

La norma NCh 1037. Of 77 por la cual se realizo este ensayo establece el método para efectuar el ensayo a rotura por compresión de probetas cúbicas de hormigón, obtenidas según la norma NCh 1017.

4.1.2 Aparatos utilizados en el ensayo.

Prensa de ensayo

Será rígida lo suficiente para resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de resultados.

La superficie de aplicación de la carga serán lisas y planas, las dimensiones de las placas serán igual o superior a la arista o diámetro de la probeta.

La sensibilidad de la prensa será tal que la menor división de la escala de lectura sea igual o inferior al 1% de la carga máxima.

La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de $\pm 1\%$ de la carga dentro del rango utilizable de la escala de lectura. Tendrá un dispositivo de regulación de carga.

Regla graduada, (huincha).

Estará graduada en mm., y tendrá una longitud igual o superior a 400 mm.

Balanza

Tendrá una capacidad igual o superior a 25 kg. y una precisión igual o superior al 1% de la pesada.

4.1.3 Procedimiento del ensayo.

Las probetas se retiran de la piscina inmediatamente antes del ensayo y se registra su dimensión y peso.

Se limpian las superficies de contacto de las placas de carga y de la probeta y se colocan la probeta en la máquina de ensayo alineada y centrada.

Las probetas cúbicas se colocan con la cara de llenado verticalmente.

Luego se acerca la placa superior de la máquina de ensayo y es asentada sobre la probeta de modo de obtener un apoyo lo más uniforme posible, aplicando la carga en forma continua y sin choques a velocidad uniforme cumpliendo las siguientes condiciones:

Alcanzar la rotura en un tiempo igual o superior a 100 segundos.

Velocidad de aplicación de carga no superior a 3,5 kgf/cm²/seg.

Registrar la carga máxima (**P**) expresada en kg.

4.1.4 Expresión de resultados.

Resistencia a la compresión de probetas cúbicas.

Se calcula la sección ($S=\text{área}$) de ensayo y volumen de la muestra.

Luego se calcula la resistencia a la compresión (R_n) (tensión de rotura) en kgf. la cual se obtiene del cociente entre la carga máxima aplicada (P) por la máquina de ensayo y el área de ensayo (S) en cm².

Como el moldaje utilizado para realizar las muestras de prueba fueron cubos de 150 mm. se deberá realizar una conversión con un factor $k=0,95$ el cual se obtiene de la tabla N° 17 NCh 170 anexo A. Este factor se multiplica por la resistencia a la compresión (R_n) Con lo cual se obtiene la resistencia característica (R) o tensión de rotura de un cubo de 200 mm.

Densidad aparente (D).

La densidad aparente será el cuociente entre la masa de la probeta y su volumen.

$$V = S * h$$

V = volumen de la probeta.

S = sección de ensayo cm².

h = altura promedio, cm.

D = densidad aparente.

M = masa de la probeta kg.

$$D = \frac{M}{V}$$

4.1.5 Antecedentes de cada probeta.

Se deberá indicar la fecha y edad en el momento del ensayo, densidad aparente, sección del ensayo, carga máxima registrada (kgf) y resistencia a la compresión (kgf/cm²).

4.2.0 TABLA RESULTADOS ENSAYO A LA COMPRESION.

Tabla N° 27. Resultados ensayo a la compresión razón A/C 0,85; 0,80; 0,75.

Razon A/C	N° probetas	Area (cm2)	Volumen (dm3)	Peso probeta (kg)	Carga (kg)	Rc 15 (kgf/cm2)	Rc (kgf/cm2)	Densidad (kg/dm3)
0,85	1	225,0	3,375	8,11	25500	113,33	107,67	2,403
	2	225,0	3,398	8,15	26000	115,56	109,78	2,399
	3	225,0	3,398	8,13	27000	120,00	114,00	2,393
	Promedio calculo probetas					26167	116,30	110,48
0,80	1	225,0	3,375	8,23	29000	128,89	122,44	2,439
	2	223,5	3,353	8,22	31500	140,94	133,89	2,452
	3	220,5	3,308	8,18	30000	136,05	129,25	2,473
	Promedio calculo probetas					30167	135,29	128,53
0,75	1	223,5	3,375	8,27	35000	156,60	148,77	2,450
	2	226,5	3,398	8,28	37000	163,36	155,19	2,437
	3	223,5	3,375	8,25	37500	167,79	159,40	2,445
	Promedio calculo probetas					36500	162,58	154,45

Tabla N° 28. Resultados ensayo a la compresión razón A/C 0,70; 0,65; 0,60.

Razon A/C	N° probetas	Area (cm2)	Volumen (dm3)	Peso probeta (kg)	Carga (kg)	Rc 15 (kgf/cm2)	Rc (kgf/cm2)	Densidad (kg/dm3)
0,70	1	223,5	3,353	8,30	41000	183,45	174,27	2,476
	2	223,5	3,353	8,30	41500	185,68	176,40	2,476
	3	234,1	3,558	8,31	42500	181,56	172,48	2,336
	Promedio calculo probetas					41667	183,56	174,38
0,65	1	228,0	3,420	8,35	46500	203,95	193,75	2,442
	2	226,5	3,398	8,31	46000	203,09	192,94	2,446
	3	225,0	3,375	8,30	45500	202,22	192,11	2,459
	Promedio calculo probetas					46000	203,09	192,93
0,60	1	225,0	3,375	8,35	52500	233,33	221,67	2,474
	2	225,0	3,375	8,35	53500	237,78	225,89	2,474
	3	226,5	3,398	8,37	54000	238,41	226,49	2,464
	Promedio calculo probetas					53333	236,51	224,68

Tabla N° 29. Resultados ensayo a la compresión razón A/C 0,55; 0,50; 0,45.

Razon A/C	N° probetas	Area (cm2)	Volumen (dm3)	Peso probeta (kg)	Carga (kg)	Rc 15 (kgf/cm2)	Rc (kgf/cm2)	Densidad (kg/dm3)
0,55	1	229,5	3,465	8,57	65000	283,22	269,06	2,473
	2	231,0	3,466	8,57	64500	279,21	265,25	2,473
	3	228,0	3,420	8,53	65500	287,27	272,90	2,494
	Promedio calculo probetas				65000	283,23	269,07	2,480
0,50	1	231,0	3,466	8,60	70000	302,98	287,83	2,482
	2	231,0	3,466	8,61	71500	309,47	294,00	2,484
	3	225,0	3,375	8,56	71000	315,56	299,78	2,536
	Promedio calculo probetas				70833	309,33	293,87	2,501
0,45	1	226,5	3,398	8,58	81000	357,62	339,74	2,525
	2	232,5	3,488	8,65	82500	354,78	337,04	2,480
	3	225,0	3,375	8,50	81000	360,00	342,00	2,519
	Promedio calculo probetas				81500	357,46	339,59	2,508

Tabla N° 30. Resultados ensayo a la compresión razón A/C 0,43; 0,41.

Razon A/C	N° probetas	Area (cm2)	Volumen (dm3)	Peso probeta (kg)	Carga (kg)	Rc 15 (kgf/cm2)	Rc (kgf/cm2)	Densidad (kg/dm3)
0,43	1	225,0	3,375	8,48	82000	364,44	346,22	2,513
	2	223,5	3,353	8,42	83500	373,60	354,92	2,512
	3	225,0	3,285	8,32	83000	368,89	350,44	2,533
	Promedio calculo probetas				82833	368,98	350,53	2,519
0,41	1	225,0	3,375	8,62	95000	422,22	401,11	2,554
	2	232,5	3,488	8,85	95500	410,68	390,15	2,537
	3	231,0	3,466	8,58	94500	409,02	388,57	2,476
	Promedio calculo probetas				95000	413,97	393,28	2,522

4.3.0 GRAFICOS RAZON AGUA/CEMENTO V/S RESISTENCIA.

Tabla N° 31. Tabla Razón agua/cemento v/s resistencia NCh 170, Manual de Carreteras vol. 8

y las resistencias obtenidas del ensayo a la compresión.

Razón A/C	Resist. NCh 170 (MPa)	Resist. (M. C.) (Mpa)	Resist. Mezclas de prueba (Mpa)
0,41		41,0	39,3
0,43		35,0	35,1
0,45	34	32,3	33,9
0,50	29	28,5	29,4
0,55	25	25,8	26,9
0,60	21	22,7	22,5
0,65	18	21,3	19,3
0,70	16	20,0	17,4
0,75	14	18,9	15,5
0,80	12	17,5	12,9
0,85	10	16,0	11,1

La diferencia mas significativa se produce entre las resistencias del Manual de Carreteras y las resistencias de las Mezclas de prueba a partir de la razón A/C 0,70 y los valores mayores a estos.

4.3.1 Grafico resistencia NCh 170 v/s razón A/C.

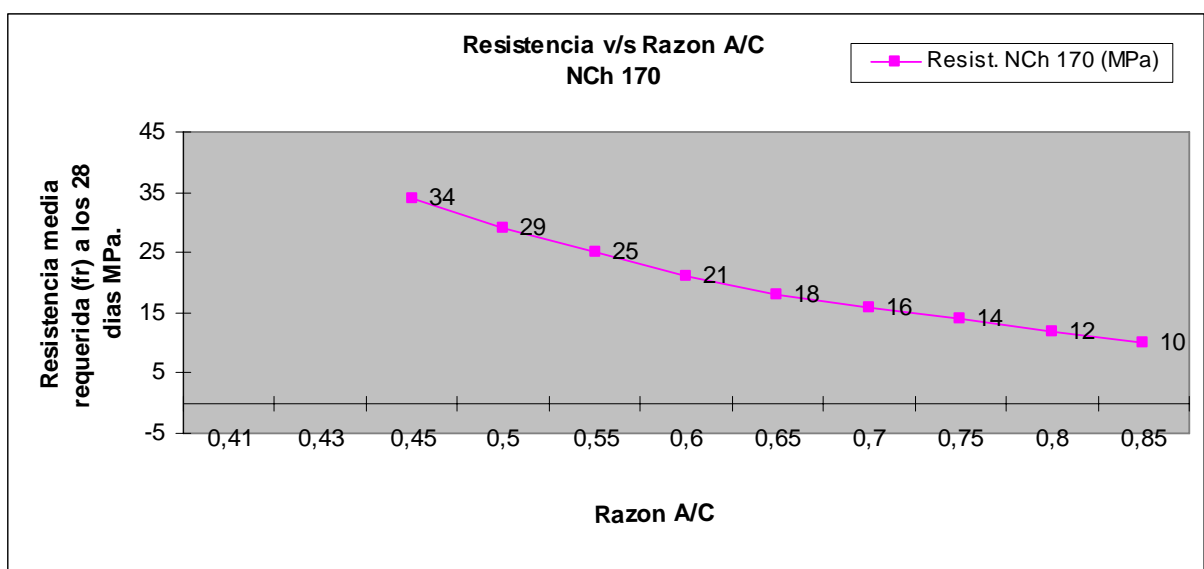


Fig. N° 13. Grafico resistencia a los 28 días NCh 170 v/s Razón agua/cemento.

4.3.2 Grafico resistencia Manual de Carreteras v/s Razón A/C.

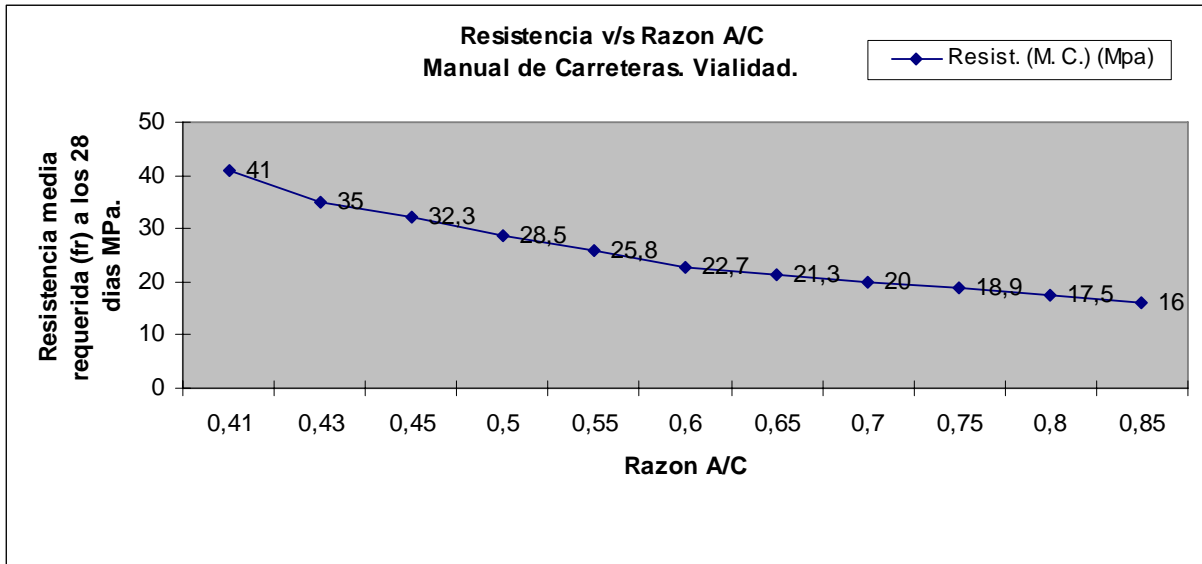


Fig. N° 14. Grafico resistencia a los 28 días Manual de Carreteras v/s Razón agua/cemento.

4.3.3 Grafico resistencia Muestras de prueba v/s Razón A/C.

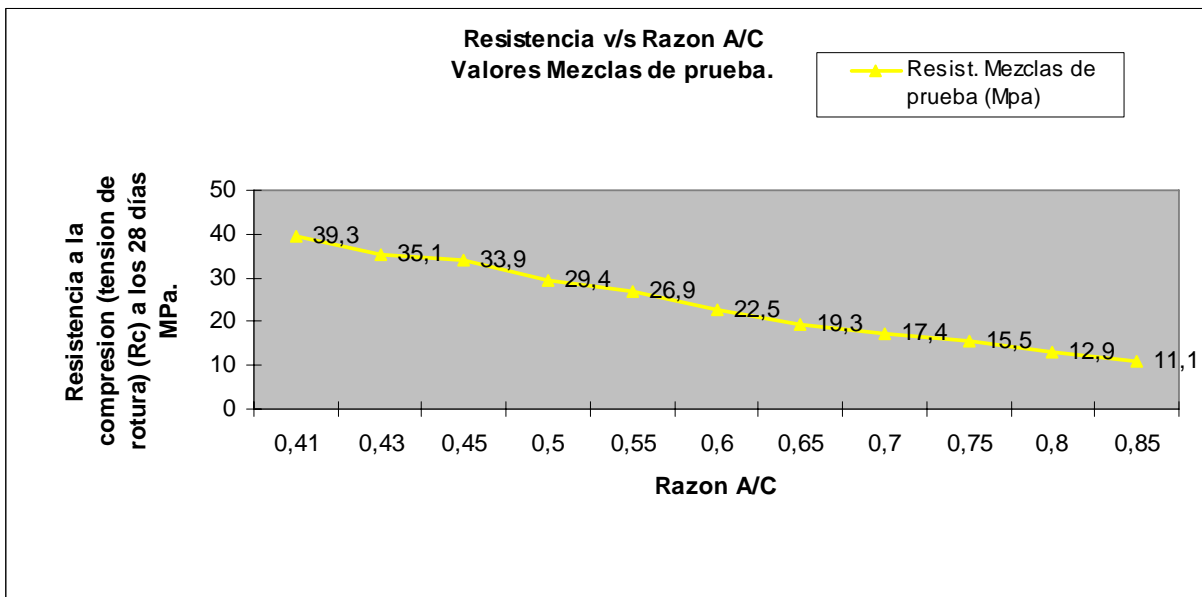


Fig. N° 15. Grafico resistencia a los 28 días Mezclas de prueba v/s Razón agua/cemento.

4.3.4 Grafico Razón agua/cemento v/s Resistencia a los 28 días.

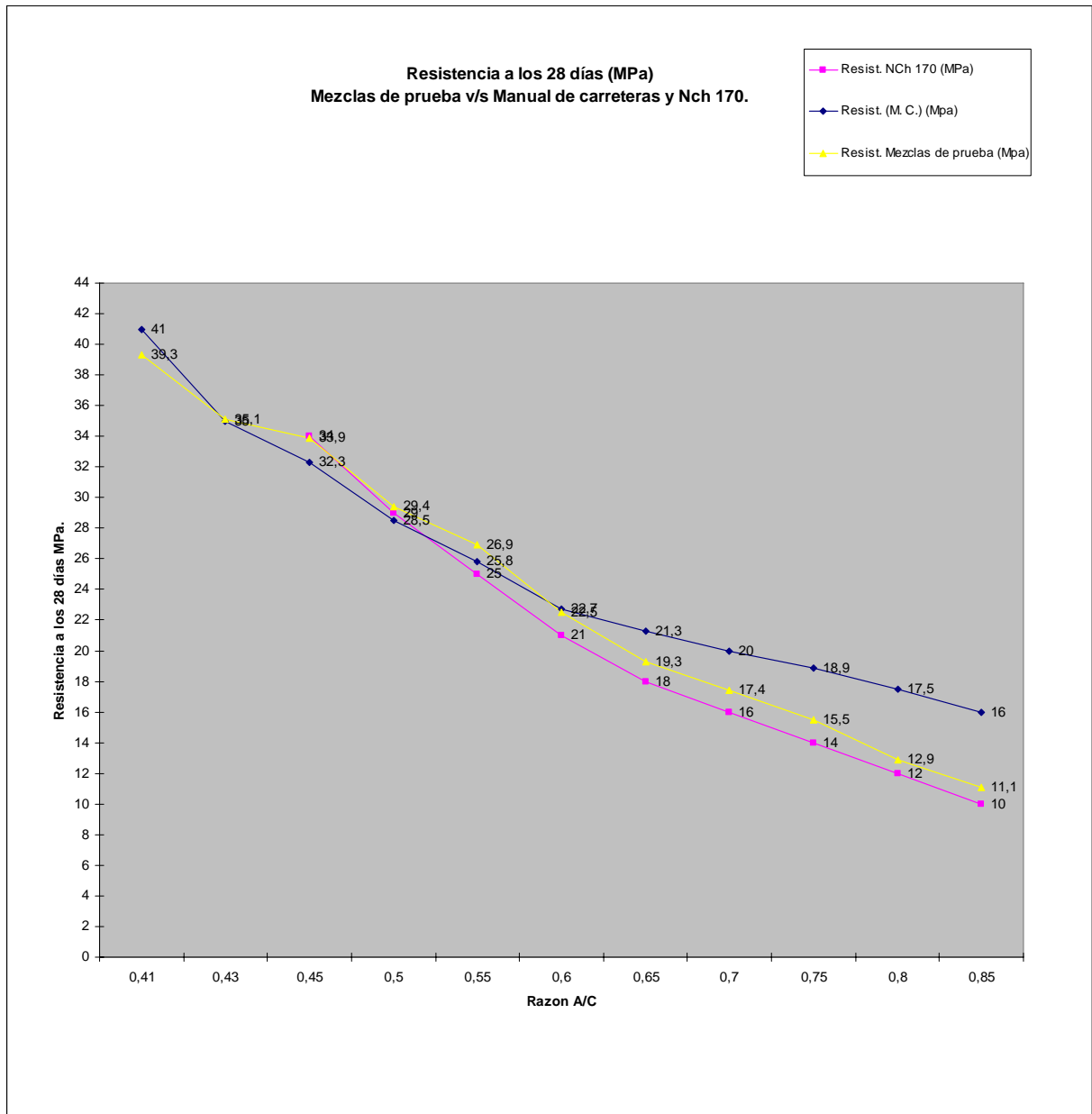


Fig. N° 16. Grafico Resistencias a los 28 días v/s Razón agua/cemento.

En los tres gráficos de la Fig. N° 16 se observa una relación inversamente proporcional a mayor razón a/c (eje x) menor resistencia (eje y).

Esto es más evidente en el grafico de NCh 170 y en la Resistencia de Mezclas de prueba, pues en el grafico del Manual Carreteras la pendiente es menos pronunciada a partir

del punto 0,6 (horizontal). Es decir, aunque sigue disminuyendo, lo hace más lento que NCh 170 y Resistencia de Mezclas de prueba.

Para realizar un mejor análisis de las curvas Razón A/C v/s resistencias, compararemos por separado las curvas del Manual de Carreteras (M.C.) v/s curva Resistencias de Mezclas de prueba (ensayo a la compresión) Fig. N° 17 y las curvas de NCh 170 v/s curva Resistencias de Mezclas de prueba Fig. N° 18.

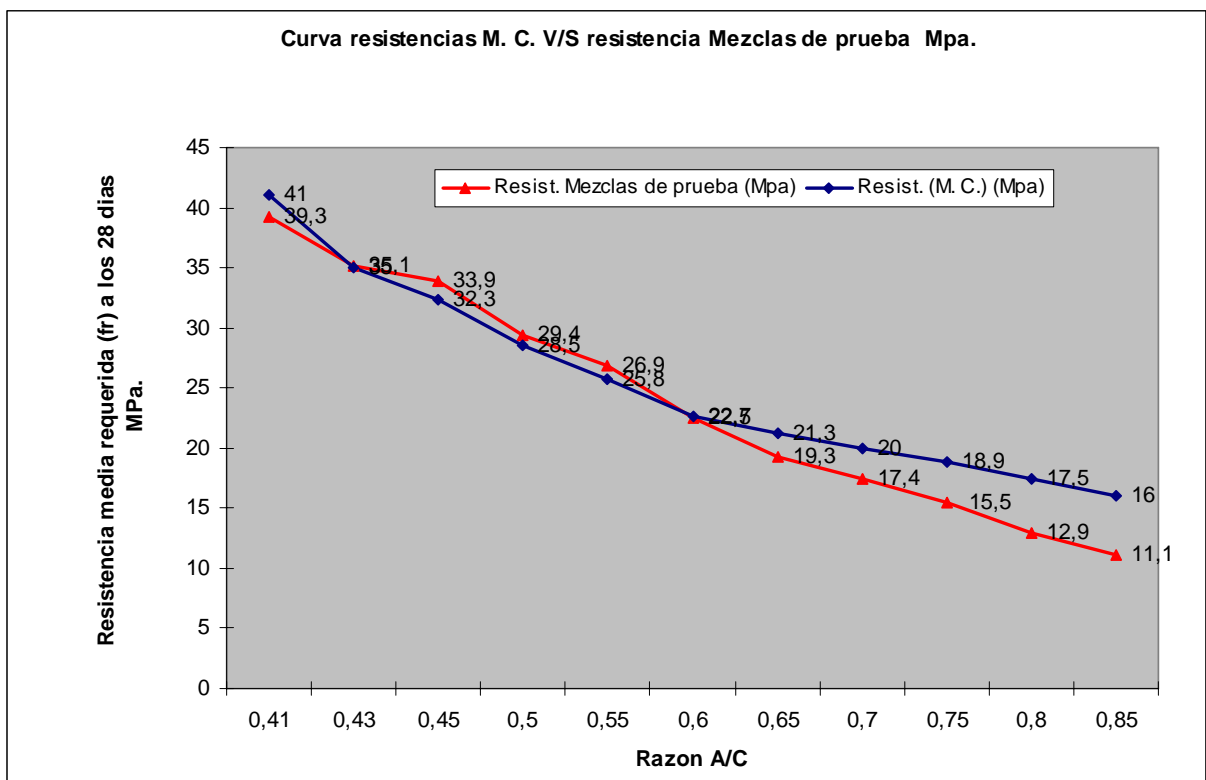


Fig. N° 17. Grafico curva resistencias Mezclas de prueba ensayo a la compresión v/s curva resistencias Manual de Carreteras.

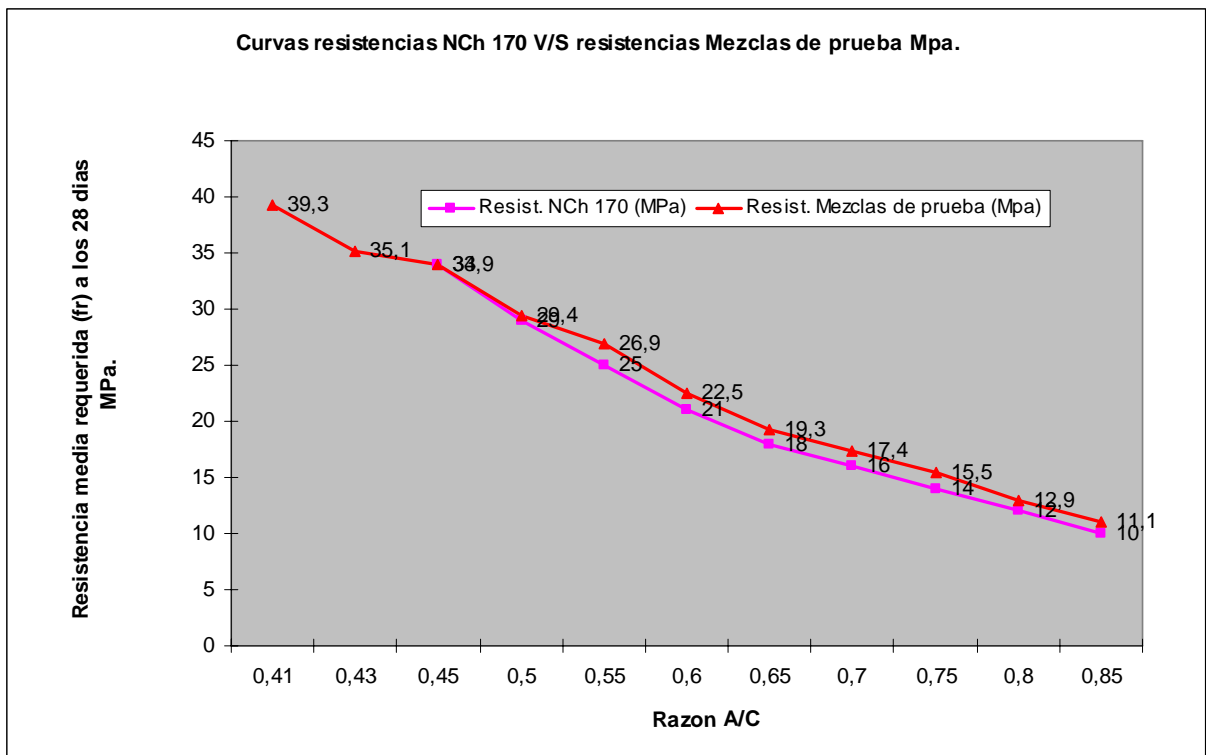


Fig. N° 18. Grafico curva resistencias Mezclas de prueba ensayo a la compresión v/s curva resistencias NCh 170.

Los gráficos indican que la curva resistencias de las mezclas de prueba (Fig. N° 18) tiene una pendiente semejante a la curva NCh 170, lo que indica que se acerca mayormente a esta y no a la curva resistencias Manual de Carreteras.

Para concluir estadísticamente lo anteriormente mencionado se recurrió a un análisis llamado “Prueba por Diferencia” el cual consiste en graficar el valor de las diferencias entre las resistencias que indican las normas (NCh 170 tabla 3 y la tabla 22 del Manual de Carreteras) para las razones A/C y las resistencias que se obtuvieron por medio del ensayo a la compresión realizado a las Mezclas de prueba. Se sacara la diferencia dejando como referencia el valor de las resistencias de las mezclas de prueba. Estos valores quedan expresados en la Tabla N° 32 y graficados en la Fig. N° 19.

Tabla N° 32. Tabla Razón agua/cemento v/s resistencia NCh 170, Manual de Carreteras y las resistencias obtenidas del ensayo a la compresión de las Mezclas de prueba con sus diferencias.

Razón A/C	Resist. NCh 170 (MPa)	Resist. (M. C.) (Mpa)	Resist. Mezclas de prueba (Mpa)	Diferencia entre las resistencias	
				NCh 170 / Mezclas de prueba (Mpa)	M.C. / Mezclas de prueba (Mpa)
0,41		41,0	39,3		-1,7
0,43		35,0	35,1		0,1
0,45	34	32,3	33,9	-0,1	1,6
0,50	29	28,5	29,4	0,4	0,9
0,55	25	25,8	26,9	1,9	1,1
0,60	21	22,7	22,5	1,5	-0,2
0,65	18	21,3	19,3	1,3	-2,0
0,70	16	20,0	17,4	1,4	-2,6
0,75	14	18,9	15,5	1,5	-3,4
0,80	12	17,5	12,9	0,9	-4,6
0,85	10	16,0	11,1	1,1	-4,9
Promedio				1,1	-1,4
Desvest				0,6	2,3

Del grafico de la Fig N° 19 se puede inferir que hay una menor diferencia entre los puntos de la NCh 170 y la curva de Mezcla de prueba (ensayo compresión), ya que el promedio de la diferencia para la NCh 170/Mezcla de prueba es de 1,1 y para M.C./Mezcla de

prueba es de -1,4; Lo que indica que la curva Mezcla de prueba se ajusta mayormente a la curva de la NCh 170.

Además la Desviación Standard para NCh 170/Mezclas de prueba es de 0,6 y para M.C./Mezclas de prueba es de 2,3 esto muestra que los puntos de la curva oscilan mas próximos a su promedio en NCh 170/Mezclas de prueba que en M.C./Mezclas de prueba. Lo cual hace que el comportamiento de la curva NCh 170/Mezclas de prueba sea más homogénea.

Las curvas lineales (tendencia lineal) de la Fig. N° 19 indican que hay un cierto paralelismo entre la NCh 170 y la curva de las Mezclas de prueba, ya que la pendiente de la curva tiende a cero.

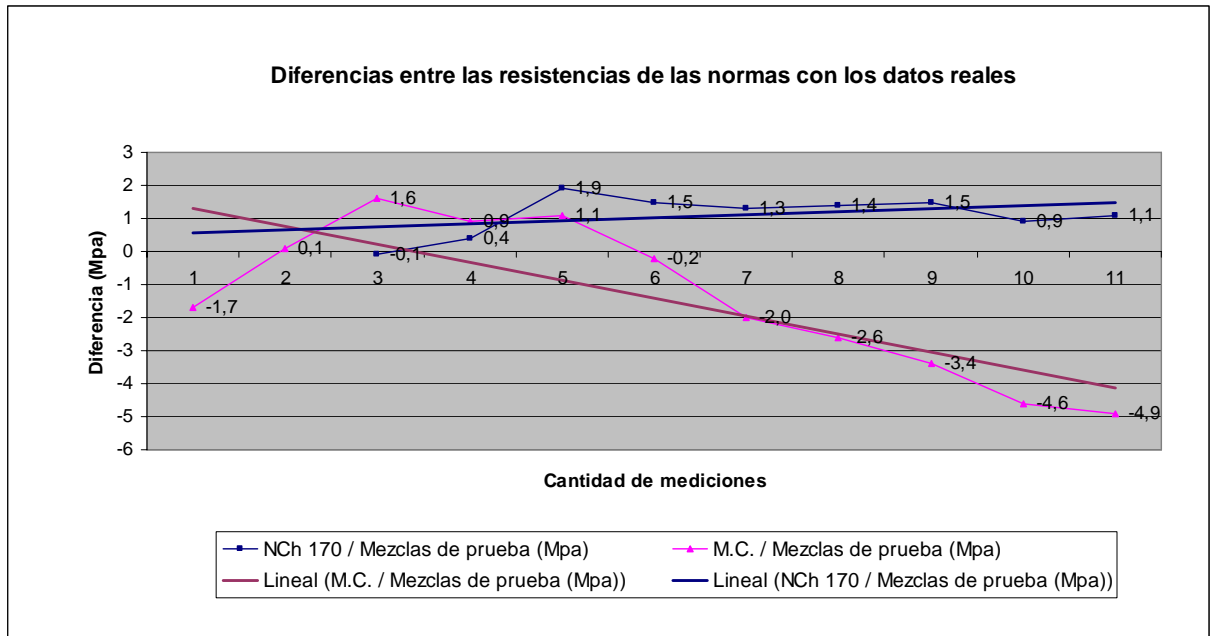


Fig. N° 19. Grafico Diferencias entre las resistencias de las normas con los resultados del ensayo a la compresión.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Del análisis comparativo realizado y teniendo en cuenta los análisis y experiencias realizadas se puede concluir lo siguiente:

- La tabla N° 3 de la Norma Chilena NCh 170 of.85 “Hormigón – Requisitos Generales”, no contempla razones agua/cemento para resistencias media requerida mayores a 340 kg/cm² (34MPa.). La tabla N° 22 del Manual de Carreteras del Laboratorio Normal de Vialidad contempla razones agua/cemento para resistencias de 350 kg/cm² y 410 kg/cm² (35 MPa y 41 MPa).
- Las resistencias contenidas en ambas tablas para razones agua/cemento entre 0,60 y 0,45 presentan diferencias 0,9 MPa. como promedio con respecto a las resistencias obtenidas de las mezclas de prueba.
- Los resultados contenidos en ambas tablas para razones agua/cemento de 0,85 a 0,65 presentan diferencias si bien no son significativas equivalen a 1,3 veces para tabla N° 3 NCh 170 v/s Muestras de Prueba y 3,9 veces entre tabla N° 22 Manual de Carreteras v/s Mezclas de Prueba respecto de las razones agua/cemento de entre 0,60 y 0,45. El promedio para este rango es de 3,3 %.
- De los resultados obtenidos en las experiencias realizados se puede decir lo siguiente:
Las resistencias obtenidas en las mezclas de prueba para las distintas razones agua/cemento versus los resultados contenidos en la tabla N° 3 de la Norma Chilena NCh 170 of.85 “Hormigón – Requisitos Generales” se puede decir que estos resultados son levemente superiores en 1,1 MPa. 5,5 % para razones agua/cemento de entre 0,45 a 0,85.

Los resultados obtenidos en las mezclas de prueba para las distintas razones agua/cemento versus resultados contenidos en la tabla N° 22 del Manual de Carreteras resultan levemente inferiores entre 0,85 y 0,60 en 23% y entre 0,60 y 0,43 son levemente superiores 2,4 %.

- Finalmente se puede concluir que es recomendable usar la razón agua/cemento de la tabla N° 3 de la Norma Chilena NCh 170 of.85 “Hormigón – Requisitos Generales” para resultados de entre 10 y 18 MPa. Para razones agua/cemento entre 0,45 y 0,60 las dos normas NCh 170 tabla N° 3 y la tabla N° 22 del Manual de Carreteras se recomiendan las dos y para resultados sobre los 35 MPa. Es aconsejable usar la tabla N° 22 del Manual de Carreteras ya que para la NCh 170 tabla N° 3 no hay registros.

BIBLIOGRAFIA

- Instituto chileno del hormigón. Manual del hormigón.
- Manual de Carreteras. Especificaciones y métodos de muestreo, ensayo y control. Vol. N° 8, edición 2003.
- NCh 163. Of. 1979, “Áridos para Morteros y Hormigones – Requisitos Generales”.
- NCh 164. Of. 1976, “Áridos para Morteros y Hormigones – Extracción y Preparación de Muestras”.
- NCh 165. Of. 1977, “Áridos para Morteros y Hormigones – Tamizado y Determinación de la Granulometría”.
- NCh. 166 Of. 1952. Determinación calorimétrica de la presencia de impurezas orgánicas en las arenas para hormigones.
- NCh 170. Of. 1985, “Hormigón – Requisitos Generales”.
- NCh 171. EOf. 1975, “Hormigón – Extracción de Muestras del Hormigón”.
- NCh 1017. EOf. 1975, “Hormigón – Confección y Curado en obra de probetas para Ensayos de Compresión y Tracción”.
- NCh. 1018 Of. 1977. Preparación de mezclas de hormigón en laboratorio.
- NCh 1019. EOf. 1974, “Hormigón – Determinación de la Docilidad. Método del Asentamiento del Cono de Abrams”.
- NCh 1037. Of. 1977, “Hormigón – Ensayo de Compresión de Probetas Cúbicas y Cilíndricas”.
- NCh 1117. Of. 1977, “Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación de la Densidad Real y Neta, y la Absorción de agua de las Gravas”.
- NCh 1223. Of. 1977, “Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación del Material fino menor que 0.080 mm”.

- NCh 1239. Of. 1977, “Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación de la Densidad Real y Neta de agua en las arenas”.
- NCh 1369. Of. 1978, “Aridos – Determinación del desgaste de las gravas – Metodo de la maquina de los angeles”.
- NCh 1511. Of. 1977, “Coeficiente volumétrico medio de las gravas”.