



Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

"Efectos del tamaño máximo nominal del árido y contenido de cemento, sobre porcentajes de aire incorporado".

por

Carla Mauffray Jaque

Tesis para optar al grado de licenciado en ciencias de la construcción y al título de ingeniero constructor

Profesor guía: Juan Egaña Ramos

Diciembre, 2015

Tabla de contenido

1.-Antecedentes Generales.	7
1.1.- Introducción.	7
1.2.- Planteamiento del problema.	8
1.3.- Objetivos de la investigación.	9
1.3.1.- Objetivo general.	9
1.3.2.- Objetivos específicos.	9
1.4.- Alcances de la investigación.	10
1.5.- Hipótesis de trabajo.	11
1.6.- Metodología de la investigación.	12
1.7.- Presentación del tema.	13
1.7.1.- Justificación e importancia de la investigación.	13
2.- Antecedentes Generales del Hormigón.	14
2.1.- Generalidades del hormigón.	14
2.2.- Propiedades del hormigón.	15
2.2.1.- Propiedades del hormigón fresco.	15
2.2.1.1.-Fraguado.	16
.....	16
2.2.2.- Propiedades del hormigón endurecido.	16
2.2.2.1.-Endurecimiento.	16
2.2.2.2.-Durabilidad.	17
2.3.- Fenómenos del hormigón fresco durante la construcción.	17
2.3.1.-Segregación.	17
2.3.2.-Exudación del agua de amasado.	18
2.3.3.- Retracción.	19
2.3.3.1.- Retracción capilar.	20
2.3.3.2.- Retracción química (autógena).	20
2.3.3.3.- Retracción de secado.	21
2.4.- Materiales componentes del hormigón.	21
2.4.1.- Cemento.	21
2.4.2.- Áridos.	22
2.4.3.- Agua.	23
2.5.- Aditivos y adiciones.	24

2.5.1.-Definición de aditivos.	24
2.5.2.-Clasificación de los aditivos.....	25
2.5.3.-Aditivos que modifican las propiedades reológicas del hormigón fresco.....	25
2.5.3.1.- Incorporador de aire.	26
2.5.3.1.1.- Influencia sobre el hormigón endurecido.....	28
2.5.3.1.2.- Dosificación.....	28
2.6.- Métodos de medición del contenido de aire para hormigón en estado fresco.	28
2.6.1.- Método gravimétrico (por pesadas).....	29
2.6.2.- Método volumétrico (o por evacuación forzada de aire).	29
2.6.3.- Método de presión.....	29
3.- Desarrollo de la Investigación.....	30
3.1.- Planificación de la investigación.	30
3.2.- Generalidades y características del hormigón.	30
3.2.1.-Resistencia.....	30
3.2.2.-Relación agua/cemento.	31
3.2.3.-Docilidad.	31
3.2.4.-Contenido de agua.....	31
3.2.5.-Contenido de cemento.....	32
3.2.6-Granulometría.....	32
3.3.-Programa experimental.	32
3.4.-Metodología de ensayos.	33
3.4.1.-Determinación del contenido de aire en hormigón fresco por Método de presión.	33
3.4.1.1.-Generalidades.....	33
3.4.1.2.-Aparatos y equipos.....	34
3.4.1.2.1.-Aerímetro.....	34
3.4.1.2.2.-Calibración.	34
3.4.1.2.3.-Procedimiento.....	35
3.4.1.2.3.1.-Muestra de ensayo.	35
3.4.1.2.3.2.-Colocación y compactación de la muestra.	35
3.4.1.2.3.3.-Aplonado.	35
3.4.1.2.3.4.-Vibrado.....	35
3.4.1.2.3.5.-Determinación del contenido de aire.....	36
3.4.2.-Determinación de la docilidad Método del asentamiento del cono de Abrams.	36
3.4.2.1.-Generalidades.....	36
3.4.2.2.-Aparatos.	36
3.4.2.3.-Muestras de hormigón.....	37
3.4.2.4.-Procedimiento.	37
3.4.2.5.-Medición de asentamiento.....	37
3.4.3.-Ensayo de compresión en probetas cúbicas.	38
3.4.3.1.-Generalidades.....	38

3.4.3.2.-Aparatos.	38
3.4.3.3.-Procedimiento.	38
3.4.3.4.-Expresión de resultados.....	39
3.4.3.4.1.-Resistencia a compresión.	39
3.4.3.4.2.-Densidad aparente.	39
4.- Caracterización de los materiales.....	40
4.1.- Granulometría.....	40
4.2.-Densidad real y neta y absorción de agua de los áridos.....	45
4.3.- Dosificación de materiales.....	46
4.2.1.-Dosificación Etapa I.....	46
4.2.2.-Dosificación Etapa II.....	47
4.2.3.-Correcciones de la dosificación.....	48
4.2.3.1.-Corrección Etapa I.....	49
4.2.3.2.-Corrección Etapa II.	50
5.-Ejecución de la experiencia.....	52
5.1.-Fabricación del hormigón.....	52
5.2.-Resultados obtenidos.....	53
5.2.1.- Resultados obtenidos en Etapa I.....	53
5.2.2.- Resultados obtenidos en la Etapa II.	55
5.2.3.-Resultados resistencias a la compresión en Etapa I.	58
5.2.4.-Resultados resistencia a la compresión en Etapa II.....	60
6.- Conclusiones.	62
Bibliografía.....	63

Lista de tablas.

Tabla 1: granulometría promedio 3 muestras arena.	40
Tabla 2: granulometría promedio 3 muestras de árido grueso.	41
Tabla 3: granulometría promedio 3 muestras de árido grueso.	41
Tabla 4: granulometría promedio 3 muestras de árido grueso.	42
Tabla 5: densidad real y neta y absorción de la arena.	45
Tabla 6: características físicas de los áridos gruesos.	45
Tabla 7: volumen de las coladas.	46
Tabla 8: dosificación de materiales etapa i.	47
Tabla 9: dosificación de materiales etapa ii.	48
Tabla 10: humedad total, absorción, humedad libre.	49
Tabla 11: dosificación de materiales corregidos etapa i.	50
Tabla 12: dosificación de materiales corregidos etapa ii.	51
Tabla 13: resultados obtenidos etapa i.	53
Tabla 14: relación aire incorporado según dosis de cemento.	53
Tabla 15: relación de aire incorporado según dosis de aditivo.	54
Tabla 16: resultados obtenidos en la etapa ii.	55
Tabla 17: relación de aire incorporado según tamaño máximo nominal del árido.	56
Tabla 18: relación de aire incorporado según dosis de aditivo.	57
Tabla 19: resistencias etapa i.	58
Tabla 20: efecto del aire incorporado sobre la resistencia a compresión.	58
Tabla 21: resistencias etapa ii.	60
Tabla 22: efecto del aire incorporado sobre la resistencia a compresión.	60

Lista de ilustraciones.

Ilustración 1: granulometría promedio de la arena según su conversión.	42
Ilustración 2: granulometría promedio de la gravilla tmna 1/2".	43
Ilustración 3: granulometría promedio de la gravilla tmna 3/4".	43
Ilustración 4: granulometría promedio de la grava tmna 1 1/2".	44
Ilustración 5: relación aire incorporado según dosis de cemento.	54
Ilustración 6: relación de aire incorporado según dosis de aditivo.	55
Ilustración 7: relación de aire incorporado según tamaño máximo nominal del árido.	56
Ilustración 8: relación de aire incorporado según dosis de aditivo.	57
Ilustración 9: relación del aire incorporado sobre la resistencia a compresión etapa I.	59
Ilustración 10: relación del aire incorporado sobre la resistencia a compresión etapa II	61

1.-Antecedentes Generales.

1.1.- Introducción.

Cuando el hormigón se emplea en obras que durante su vida de servicio estarán expuestas al ataque de agentes agresivos tales como industrias, ambientes salinos o ciclos alternados de congelación y deshielo, una de las principales preocupaciones consiste en limitar su permeabilidad para impedir el acceso de estos agentes agresivos y, con ellos, brindarles la durabilidad requerida.

Uno de los métodos más empleados para conseguir el propósito señalado que, a veces las especificaciones técnicas de la obra lo hacen obligatorio, consiste en incorporarle microburbujas de aire mediante aditivos denominados incorporadores de aire.

Los incorporadores de aire a diferencia de otros tipos de aditivo, dependen de una serie de factores para obtener con ellos la finalidad perseguida, esto es, para incorporar aire en forma de microburbujas. Los principales factores se encuentran en las características de la mezcla; contenido de cemento y tamaño máximo nominal del árido entre otros. Es por ello que se ha estimado conveniente estudiar, precisamente, los dos aspectos señalados.

1.2.- Planteamiento del problema.

Producto de la interacción entre elementos y factores del clima en Chile existe una amplia variedad de climas, de manera general se puede identificar: climas áridos, climas semiáridos, climas templados, climas fríos, clima tropical lluvioso. Cada uno de los cuales presentan diversas variaciones de temperatura. (Carreras, 2010)

Una de las causas principales de la degradación del hormigón en regiones frías es el efecto provocado por los ciclos hielo-deshielo. La transición del hielo al deshielo está acompañada por cambios dimensionales y cambio de la tensión interna, pudiendo causar la pérdida de la capacidad resistente del hormigón. (Al-Assadi et al., 2009)

Hace ya cerca de cuarenta años se observó que algunas zonas de una carretera ubicada en un clima frío de los EE. UU. resistían en mejor forma que otras a la acción de la intemperie, particularmente a la desintegración producida por el congelamiento del agua en el hormigón endurecido. Fue un descubrimiento fortuito el que dio el primer paso a la investigación y posterior utilización racional de los hormigones con aire incorporado. Hoy día se conoce bien su técnica de fabricación, los factores en los que influye y sus efectos. De todos los hormigones especiales, los que contienen aire incorporado se encuentran entre los más empleados; puede ser porque no varían fundamentalmente las condiciones de fabricación con respecto a la de los hormigones tradicionales, añadiéndoles una cualidad importantísima: la durabilidad. En general, en casi todas las obras corrientes de hormigón puede emplearse hormigón con aire incorporado, como, por ejemplo, pavimentos de carreteras y aeropistas, obras viales, marítimas e industriales (aparte de considerar la acción química), hidráulicas y edificación en general. Su empleo es particularmente recomendable en todos los casos en que el hormigón va a estar sometido a la acción de la intemperie o climas artificiales fríos con temperatura extrema inferior a 4° C.

Existen dificultades que presentan las obras de hormigón para cumplir los requerimientos de cantidad de aire incorporado y aunque ya se han establecido algunos de los factores que interfieren en un mejor resultado, no se han establecido valores concretos ni relaciones entre ellos, por lo que se necesita establecer datos duros que determinen un resultado u otro.

1.3.- Objetivos de la investigación.

1.3.1.- Objetivo general.

Determinar la influencia del tamaño máximo nominal del árido y del contenido de cemento, en la incorporación de aire al hormigón con aditivo.

1.3.2.- Objetivos específicos.

Determinar la influencia de distintos tamaños máximos nominales del árido en el porcentaje de aire incorporado.

Establecer el contenido de cemento y su relación con el porcentaje de aire incorporado.

Identificar que factor de una mezcla de hormigón se puede alterar con el fin de asegurar un resultado determinado.

Analizar la eficacia del aditivo, según la composición de la mezcla de hormigón.

1.4.- Alcances de la investigación.

En las experiencias necesarias se deberá mantener constantes:

Tipo de cemento, Pórtland puzolánico grado corriente.

Tipo de agua.

Procedencia del árido fino

Procedencia del árido grueso

Aditivo incorporador de aire marca Cave, denominado Airtec.

Asentamiento 8 ± 2 cm.

Las variaciones de las cantidades serán las siguientes:

Dosis de aditivo.

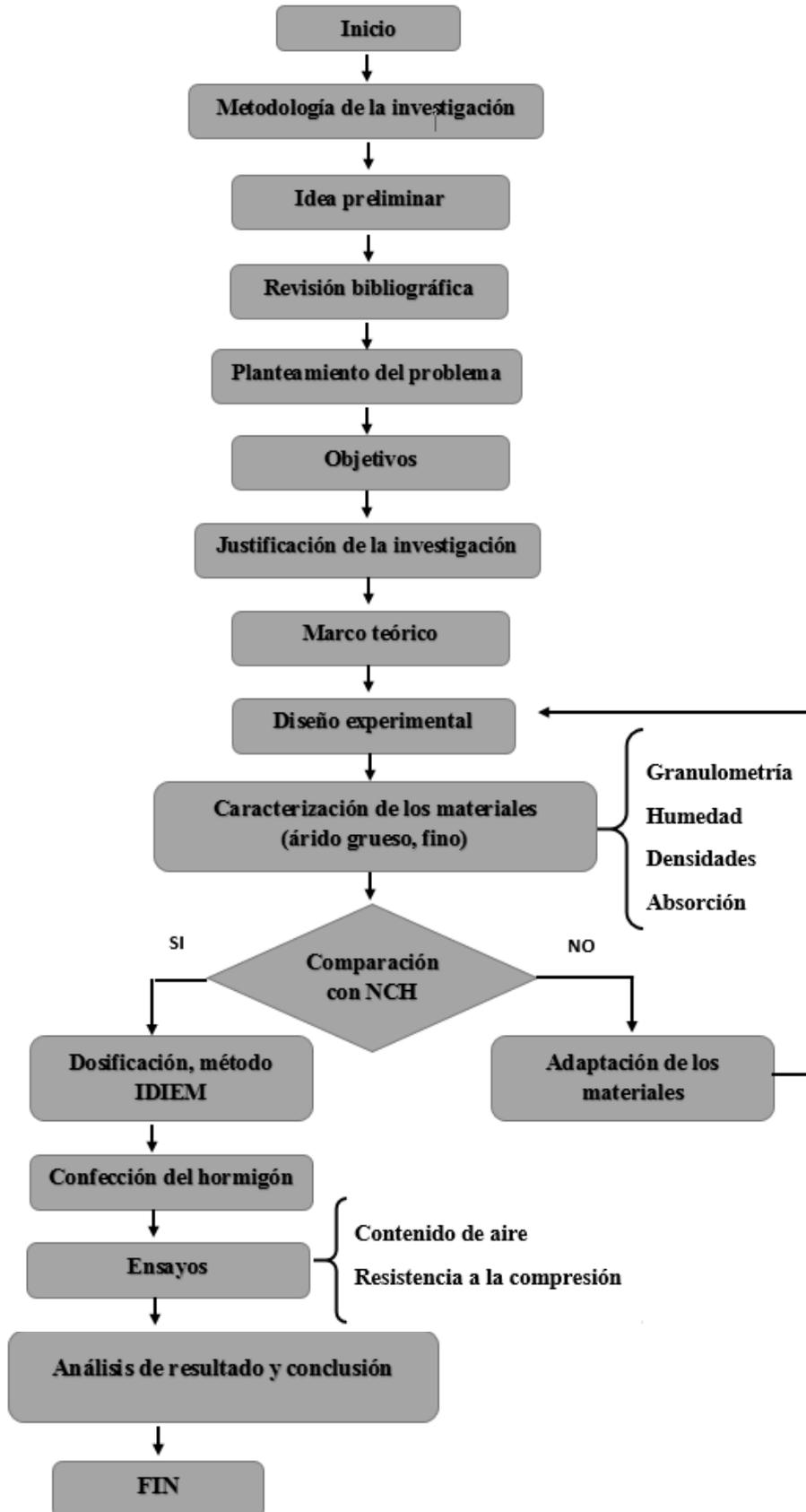
Cantidad de cemento.

Tamaños máximos nominales del árido.

1.5.- Hipótesis de trabajo.

En mezclas de hormigón que contengan un aditivo incorporador de aire se da que:
Un mayor tamaño máximo nominal del árido determina un menor contenido de aire.
Un mayor contenido de cemento implica un menor contenido de aire.

1.6.- Metodología de la investigación.



1.7.- Presentación del tema.

1.7.1.- Justificación e importancia de la investigación.

Este proyecto tiene su relevancia, debido a que el hormigón sigue siendo un material que forma parte de la mayoría de las construcciones actuales, debido a esto es muy beneficioso mejorar sus propiedades, para lograr que las solicitaciones a las que están sometidos los elementos sean soportadas de una manera óptima, el fenómeno principal al que sirve este trabajo son los ciclos de hielo-deshielo los cuales pueden generar un daño perjudicial en estructuras de hormigón armado llegando a quitar el recubrimiento de las armaduras inmersas en el hormigón, para esto se recomienda el uso de aditivos en este caso del tipo incorporadores de aire. El tema propuesto es conveniente de desarrollar desde el punto de vista constructivo, ya que el aditivo por si solo no asegura un porcentaje de aire incorporado, una misma cantidad de aditivo puede resultar en distintas cantidades de aire presentes en el hormigón.

Sería conveniente y profesional tener ensayos que indiquen cuales factores y su relación con el aire posible de incorporar.

El tema actualmente tiene identificado los factores que afectan el desempeño del aditivo y también existen valores predeterminados con relaciones entre ellos como por ejemplo valores tabulados que recomiendan un contenido de aire para algunos tamaños máximos nominales del árido.

El aporte de esta investigación sería establecer una relación entre variables del hormigón y su influencia en la obtención de un porcentaje de aire.

Se cuenta con los materiales necesarios y los que faltan son de fácil acceso como: áridos cemento, agua, aditivo. Están disponibles también los ensayos y herramientas necesarias para medir cualidades y características de las mezclas como por ejemplo: Ensayo de presión para la medición del contenido de aire en mezclas frescas de hormigón y ensayo de compresión que indique las capacidades resistentes del hormigón endurecido.

Es posible llevarlo a cabo ya que se trata de una investigación acotada, que abarca condiciones manejables de elementos simples y accesibles los recursos son abordables y hay acceso a ellos, lo que permite una cantidad de trabajo perfectamente abordable.

2.- Antecedentes Generales del Hormigón.

2.1.- Generalidades del hormigón.

El hormigón es sin lugar a dudas uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo. 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”.

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 este 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.

Al unirse el cemento con el agua, se inicia un proceso químico denominado hidratación, del cual resulta el endurecimiento gradual del hormigón. Es importante destacar que este endurecimiento puede continuar indefinidamente en el tiempo bajo condiciones favorables tanto de humedad como de temperatura, lo cual se traduce en un aumento de la capacidad resistente del hormigón. 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.

Si se mezclan los materiales en las proporciones adecuadas, el hormigón puede soportar fuerzas de compresión elevadas. Su resistencia longitudinal es baja, pero reforzándolo con acero y a través de un diseño adecuado se puede hacer que la estructura sea tan resistente a las fuerzas longitudinales como a la compresión.

Su larga duración se evidencia en la construcción de columnas construidas por los egipcios hace más de 3.600 años.

Otras de las características que han hecho del hormigón un material ampliamente utilizado en la construcción de diversas obras de ingeniería son: Facilidad de producción utilizando materiales de amplia difusión en cualquier país del mundo, facilidad para conferir cualquier forma, gracias a la plasticidad que posee este en su etapa inicial, posibilidad de construcción utilizando recursos simples o complejos según la naturaleza de la obra, posibilidad de prever y adaptar sus características a cualquier tipo de exigencia; buena durabilidad y resistencia a la corrosión, a condiciones ambientales desfavorables y al fuego.

El hormigón es un material que resulta de la mezcla de agua, arena, grava, cemento, eventualmente aditivo y adiciones, en proporciones adecuadas que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia (Nch 170 of 85). Ha alcanzado importancia como material estructural debido a que puede adaptarse fácilmente a una gran variedad de moldes, adquiriendo formas arbitrarias, de dimensiones variables, gracias a su consistencia plástica en estado fresco.

Las propiedades del hormigón dependen en gran medida de la calidad y proporciones de los componentes en la mezcla, y de las condiciones de humedad y temperatura, durante los procesos de fabricación y de fraguado. Para conseguir propiedades especiales del hormigón, como por ejemplo: mejor trabajabilidad, mayor resistencia o baja densidad, se pueden añadir otros componentes como aditivos químicos.

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 (Ruz, 2004).

El hormigón se clasifica en grados, ya sea con respecto a la resistencia a compresión o con respecto a la resistencia flexotracción (Nch 170 of 85).

2.2.- Propiedades del hormigón.

2.2.1.- Propiedades del hormigón fresco.

Cuando el cemento toma contacto con el agua, se produce la hidratación, comenzando una serie de fenómenos de tipo físico-químico, llamado fraguado, en donde se produce un gran desarrollo de calor (reacción exotérmica) conocida o denominada “calor de hidratación” la que varía entre 50 a 120 cal/gr de cemento.

En definitiva, algunas propiedades del hormigón fresco que se deben conocer y controlar son: trabajabilidad, segregación, exudación, sedimentación.

La consistencia del hormigón fresco es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse y ocupar todos los huecos del molde o encofrado. Influyen en ella distintos factores, especialmente la cantidad de agua de amasado, pero también el tamaño máximo del árido, la forma de los áridos y su granulometría.

Por otro lado, entre los ensayos que existen para determinar la docilidad del hormigón, el más empleado es el cono de Abrams. Consiste en llenar con hormigón fresco un molde troncocónico de 30 cm. De altura, la pérdida de altura que se produce cuando se retira el molde, es la medida que define el asentamiento (Jiménez Montoya)

Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos y fluidos.

2.2.1.1.-Fraguado

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

En el cemento Pórtland, el más frecuente empleado en los hormigones, los aluminatos se hidratan más rápido que los silicatos. El primer componente en reaccionar es el aluminato tricálcico. La reacción de éste con el agua es inmediata y libera mucho calor. Después reacciona el silicato tricálcico. A continuación reacciona el silicato bicálcico con una aportación inicial débil y muy importante a partir de los 28 días. El yeso, generalmente agregado al clinker, se usa para retrasar la velocidad de la reacción entre el aluminato y el agua, produciendo iones de sulfato. El balance entre el aluminato y sulfato determina la velocidad del fraguado (Soria, 1972).

2.2.2.- Propiedades del hormigón endurecido.

Se habla de hormigón endurecido, cuando este se encuentra saliendo del fraguado y entrando en el periodo inicial de protección y curado de las superficies expuestas. La propiedad más valiosa generalmente considerada en un hormigón endurecido es su resistencia mecánica.

2.2.2.1.-Endurecimiento.

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

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 rellenando todos los huecos en los encofrados. Una reacción lenta aplazaría de forma importante el desarrollo de resistencias mecánicas (Soria, 1972).

2.2.2.2.-Durabilidad.

Se define en la instrucción española EHE, la durabilidad del hormigón como la capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas y químicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura, protegiendo también las armaduras y elementos metálicos embebidos en su interior.

Por tanto no solo hay que considerar los efectos provocados por las cargas y sollicitaciones, sino también las condiciones físicas y químicas a las que se expone. Por ello se considera el tipo de ambiente en que se va a encontrar la estructura y que puede afectar a la corrosión de las armaduras, ambientes químicos agresivos, zonas afectadas por ciclo hielo-deshielo, etc. (institución de hormigón estructural, EHE; 1999).

2.3.- Fenómenos del hormigón fresco durante la construcción.

2.3.1.-Segregación.

Es la separación de los componentes del hormigón ya amasados, con la que la mezcla deja de ser uniforme en cuanto a la distribución de las distintas partículas que contiene. En el hormigón esa pérdida de homogeneidad se puede producir por las dos causas siguientes:

- 1.- Debido a causas de carácter propio de la mezcla.
- 2.- Debido a causas externas a la mezcla

La segregación por causas propias de la mezcla fresca suele denominarse de carácter interno. Esta segregación ocurre durante el transporte y principalmente luego de colocado el hormigón fresco, las partículas de agregados se separan del conjunto por su diferente densidad relativa con respecto a la pasta en las cuales están inmersas. Esta separación puede ser a su vez:

- 1.- Por sedimentación.
- 2.- Por flotación.

La sedimentación ocurre con partículas de agregado más pesadas que la pasta. La flotación en el caso de que aquellas sean más livianas que la pasta aglomerante.

El otro tipo de segregación, la externa, ocurre cuando se entrega energía en exceso al hormigón fresco.

Es importante indicar que la segregación del hormigón fresco esta relacionada directamente con muchas de las imperfecciones que ocurren en el hormigón endurecido, teniéndose entre ellas a las siguientes:

- 1.- Huecos producidos por atascamientos de partículas grandes segregadas, las que formando un tapón impiden el acceso del mortero al mismo.
- 2.- Zonas con acumulación de granos grandes con escaso mortero de adhesión, formando oquedades conocidas como nidos.
- 3.- Juntas de trabajo sin adherencia entre sí.
- 4.- Vacíos microscópicos por falta de material.
- 5.- Fuerte estratificación de los componentes del hormigón, generando así capas más débiles o más porosas que otras.
- 6.- Vetas con arena suelta sin pasta ligante en la masa del hormigón.
- 7.- Importantes diferencias en las propiedades mecánicas y elásticas en distintos puntos del hormigón, con una dispersión de valores muy alta.

Para comprender el fundamento de la segregación, hay que recordar que la principal dirección del movimiento de las partículas que segregan es la vertical y que el caso de agregados de peso normal ella es descendente. Lo que ocurre es que, luego de un determinado tiempo de iniciada la segregación, en promedio las partículas habrán descendido la misma longitud dentro del elemento que contiene al hormigón fresco, ocurriendo una pérdida de partículas en la porción superior y un aumento en la inferior, no sufriendo variación sensible la cantidad de partículas en la zona intermedia de la masa.

Lo indicado se debe a que en el fondo del recipiente los granos no pueden salirse del mismo, de modo que en esa zona se acumulan los existentes inicialmente y los que descienden de secciones superiores. En la zona superior no hay aporte externo de granos para compensar los que emigran hacia abajo, reduciéndose entonces su cantidad. En cambio en las capas intermedias existe una compensación entre lo que segrega, aportado por las capas superiores y los granos que las abandonan y se dirigen hacia las capas inferiores, sin modificación sensible de la concentración en las mismas.

2.3.2.-Exudación del agua de amasado.

La exudación se define como la tendencia del agua a ascender a la superficie del hormigón ya colocado y compactado, produciendo una decantación de los materiales sólidos (sedimentación de los sólidos por su mayor peso específico). La exudación se detendrá cuando las partículas sólidas se toquen y no puedan decantar más o cuando el cemento se rigidiza previniendo mayores movimientos.

Los inconvenientes que la exudación provoca en las mezclas son los siguientes:

- 1.- En la etapa fresca de las mezclas, la exudación solo incomoda a las tareas de terminación superficial de las mismas. Ello se debe a que la acumulación de agua aflorada dificulta estas operaciones. También cuando hay agua exudada, perdida por evaporación a la atmósfera, si los procesos de transporte y colocación del hormigón están demorados, se produce una pérdida de fluidez en la masa que dificulta la ejecución de esas tareas.

2.- En la etapa endurecida en cambio, la exudación producida en las etapas fresca y fraguado, genera varios inconvenientes de significativa importancia. Ellos reducen la cantidad de material terminado y lo desmejoran en cuanto a su durabilidad y resistencia mecánica. Estos inconvenientes son principalmente los siguientes:

- El agua en su ascenso hacia la superficie contornea los granos de agregados y barras de armadura, dejando una gran cantidad de canales de sección capilar, con dirección preferentemente vertical y comunicados con el exterior. Estos canales posteriormente, y una vez libre de agua la superficie, son vías de penetración de agentes externos, tanto líquidos como gaseosos, que atacan al hormigón endurecido destruyéndolo con el tiempo. Esto significa un gran aumento de la permeabilidad del hormigón endurecido.

- La red capilar de conductos, indicada en el punto anterior, afecta a la resistencia mecánica del hormigón, ya que hace variar en forma significativa su compacidad.

- En su ascenso parte del agua de exudación es atrapada por las partículas sólidas grandes del agregado grueso, principalmente las del tipo lajoso y por las barras de armadura de acero. En esas zonas se producen bolsas de agua en sus caras inferiores, con predominante desarrollo horizontal, las que disminuyen la adherencia de esos elementos con el resto de la masa.

- Cuando el agua asciende arrastra en su movimiento partículas livianas y blandas, que en general provienen de las impurezas que aportan los agregados, llevándolas hacia la parte superior de la capa de hormigón, generando en esa capa una zona débil y porosa.

- Cuando el agua exuda se acumula en la superficie de hormigón fresco y si la evaporación no es suficiente para eliminarla totalmente a la atmósfera, al colocar una nueva capa de hormigón superpuesta se producen entre ambas coladas un plano poroso, débil y de escasa adherencia.

- El proceso de exudación en las capas superiores de las piezas hormigonadas provoca un aumento de la concentración de agua respecto del cemento. Esas zonas tendrán, por lo tanto, una menor resistencia que el promedio de la masa debido al aumento de la razón agua/cemento en peso.

En resumen, se puede concluir que una masa de cemento que ha sufrido exudación además de los inconvenientes antes mencionados, presenta los siguientes aspectos:

- Una zona inferior donde se ha producido una compactación de los sólidos.
- Una zona periférica de sedimentación vertical.
- Una zona central de composición y densidad prácticamente no alterada.
- Una capa superficial de agua libre y limpia.

2.3.3.- Retracción.

La retracción es la deformación del hormigón en estado fresco o endurecido, se manifiesta mediante la disminución del volumen del hormigón durante el proceso de fraguado en sus primeras horas, o cuando se encuentra ya endurecido días o meses después y se produce por un hecho muy sencillo que es la pérdida de agua. (Cuellar, 2009)

Al producirse pérdida de agua en la mezcla de hormigón análogamente se produce una pérdida de volumen que puede generar tensiones internas de tracción las cuales causan las fisuras de retracción, aunque en este fenómeno también influyen otros factores relacionados con el diseño, condiciones ambientales y de ejecución; la retracción puede ser más o menos significativa y por ende la consecuencia de fisuración en el hormigón variará en cantidad y magnitud.

Para una evaluación detallada de la retracción hay que tomar en cuenta las diversas variables que influyen en este fenómeno, en especial: el grado de humedad del medio ambiente, el espesor y dimensión de la pieza, composición del hormigón, cantidad de armaduras y tiempo transcurrido desde la ejecución, que marca el inicio del fenómeno.

Tipos de retracción

Se han realizado ensayos del comportamiento del hormigón y se determinaron 3 tipos de retracción: retracción capilar, retracción química y retracción de secado.

2.3.3.1.- Retracción capilar.

La retracción capilar, también llamada retracción plástica está relacionada con la retracción del hormigón en su estado fresco y actúa durante las primeras horas después del vertido del hormigón. Corresponde a la deformación del hormigón antes del fraguado final, es provocada por una evaporación demasiado rápida del agua en la superficie del hormigón durante las primeras 12 horas de colocado, lo que genera una gran contracción en la mezcla, que se traduce en la fisuración de la superficie expuesta. Se entenderá por “evaporación demasiado rápida” cuando la tasa de evaporación superficial excederá la tasa por la cual el agua emerge desde el interior del hormigón, también conocida como velocidad exudación. Las pruebas e laboratorio han determinado que los factores de la mezcla que la afectan son: la relación agua/cemento, el volumen de pasta y el contenido de cemento; ya que tendremos mayor retracción a mayor contenido de cemento y de pasta y disminución de relación agua cemento.

Las altas temperaturas, el viento y una baja humedad relativa serán factores ambientales que contribuyen a este tipo de retracción.

2.3.3.2.- Retracción química (autógena).

La retracción química es un término utilizado para varios tipos de retracción que deben su origen a reacciones químicas en el hormigón, como la retracción autógena.

Al tener un hormigón con baja relación agua/cemento, puede ocurrir que no habrá suficiente agua para el proceso de hidratación, bajo estas condiciones la mezcla consumirá el agua libre que se encuentra en los poros capilares para seguir con la hidratación, dándose un consumo interno de agua conocido como autosecado que viene a ser la causa de la retracción autógena del hormigón.

Sin embargo Neville (1995) señala que el orden de magnitud de la retracción autógena en hormigones normales es de 40 a 50 micrones por metro, por lo que su importancia es de carácter secundario.

En consecuencia al ser muy pequeña en la práctica, no es necesario tomarla en cuenta como un fenómeno aparte de la retracción hidráulica ya que esta incluye los cambios autógenos que presenta este tipo de retracción.

2.3.3.3.- Retracción de secado.

La retracción de secado es la deformación en el hormigón endurecido por la pérdida de humedad. También es llamada retracción hidráulica, se da en el hormigón endurecido y tiene relación con la pérdida de humedad de este, ante la existencia de un gradiente de humedad entre el hormigón y el ambiente al que está expuesto, dicho movimiento de agua hacia el exterior es lo que causa la retracción, siendo la forma más común y visible de las retracciones. Este tipo de retracción se desarrolla en función de humedad relativa.

2.4.- Materiales componentes del hormigón.

2.4.1.- Cemento.

Es un conglomerante, que une o da cohesión, se presenta en forma de polvo que se obtiene de pulverizar duras rocas (caliza) y arcilla, luego quemarlas en un horno rotatorio y agregar yeso, y de nuevo molerla. Tiene la peculiaridad de endurecerse con el agua y producir compuestos mecánicamente resistentes.

Estos conglomerantes hidráulicos, convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados, resistentes y estables tanto al aire como bajo agua.

El clínquer es el producto de la mezcla y la calcinación de piedra caliza y arcilla, a unos 1500°C es el componente principal del cemento.

El cemento se presenta en forma de un polvo finísimo, de color gris que, mezclado con agua, forma una pasta que endurece tanto bajo agua como al aire (aglomerante hidráulico).

Es obtenido mediante un proceso de fabricación que utiliza principalmente dos materias primas:

- 1.-Una caliza, con un alto contenido de calcio en forma de óxidos de calcio.
- 2.-Un componente rico en sílice, constituido normalmente por arcilla o eventualmente por una escoria de alto horno.

Estos componentes son mezclados en proporciones adecuadas y sometidos a un proceso de fusión incipiente en un horno rotatorio, del cual se obtiene un material granular denominado clínquer, constituido por 4 compuestos básicos:

- Silicato tricálcico (3 CaO SiO_2), designado como C3S.
- Silicato bicálcico (2 CaO SiO_2), designado como C2S.
- Aluminato tricálcico ($3 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3$), designado como C3A.
- Ferroaluminato tetracálcico ($4 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$), designado como C4AF.

Estos se presentan en forma de 4 fases mineralizadas, en conjunto con una fase vítrea, integrada por los dos últimos, estas fases constituyen un 95% del peso total del clínquer, siendo el 5% restantes componentes menores, principalmente óxidos de sodio, potasio, titanio, residuos insolubles y otros.

El clínquer es sometido a molienda mediante molinos de bolas hasta convertirlo en el polvo finísimo ya mencionado, adicionándose en esta etapa una proporción de yeso alrededor de un 5% de su peso, destinado a regular el proceso de fraguado de la pasta de cemento, la que de otra manera endurecería en forma casi instantánea.

El cemento así obtenido se denomina cemento Portland. Durante la molienda se puede adicionar otros productos naturales o artificiales, constituyendo así los cementos Portland con adiciones o especiales, los que junto con mantener las propiedades típicas del Portland puro (fraguado y resistencia), poseen además, otras cualidades especialmente relacionadas con la durabilidad, resistencia química y otras.

Entre las adiciones más conocidas y utilizadas están las puzolanas, las cenizas volantes y las escorias básicas granuladas de alto horno.

2.4.2.- Áridos.

Un árido es un material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables (NCh 163 of 79), que se emplea en la construcción para la fabricación de mezclas destinadas a ser aglomeradas por un 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 (Valderrama A., 2004).

Los áridos pueden ser obtenidos de dos maneras, de acuerdo a esto se denominan áridos naturales o áridos tratados. Los áridos naturales son precedentes de yacimientos pétreos y no han sido sometidos a tratamiento mecanizado. En cambio los áridos tratados son los que se han sometido a procesos de trituración, clasificación por tamaños y/o lavados en operaciones mecanizadas controladas.

La norma chilena 163 define como arena (árido fino) al árido que pasa por el tamiz de abertura nominal de 5 mm y es retenido en el de 0.08 mm con las tolerancias establecidas en la citada norma. También define como grava (árido grueso) al árido retenido en el tamiz de abertura nominal de 5 mm con las tolerancias establecidas.

Los agregados pétreos tanto los finos como los gruesos se utilizan para la fabricación de hormigones, estos deben cumplir con las exigencias de dicha norma (NCh 163 Of 79).

La granulometría de un árido, es la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido, determinada de acuerdo a la NCh 165 Of 77.

El tamaño máximo absoluto de un árido (D_a) corresponde a la abertura del menor tamiz de las series establecidas en la NCh 165 Of 77, que deja pasar el 100% de la masa del árido.

El tamaño máximo nominal de un árido (D_n) corresponde a la abertura del tamiz inmediatamente menor que D_a , cuando por dicho tamiz pase el 90% o más de la masa de un árido. Cuando pasa menos del 90%, el tamaño máximo nominal se considerara igual al tamaño máximo absoluto.

Los áridos se clasifican según el tamaño de sus partículas en dos tipos: arena y grava. Las gravas se subclasifican según los tamaños límites de sus partículas.

Los áridos deben estar constituidos por partículas duras, de forma y tamaño estables y deben estar limpios y libres de terrones, partículas blandas o laminadas, arcillas, impurezas orgánicas, sales y otras sustancias que por su naturaleza o cantidad afecten la resistencia o la durabilidad de morteros y hormigones, de acuerdo con los valores límites (NCh 163 Of 79).

El módulo de finura sirve para determinar un exceso de granos finos, o una insuficiencia de ellos en el árido y se define como un índice que caracteriza el grosor o grado de finura de un árido.

El uso de arenas muy gruesas produce hormigones poco manejables y segregables, aspectos no deseables en un hormigón.

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 (Ruz, 2004).

2.4.3.- Agua.

De acuerdo con NCh 170 Of 85, el agua de amasado o libre es el agua que contiene el hormigón fresco, descontada el agua absorbida por los áridos hasta la condición de saturado superficialmente seco.

El agua potable de la red puede emplearse como agua de amasado siempre que no se contamine antes de su uso (NCh 1498 OF 82). El agua potable se define como el agua que cumple con los requisitos físicos, químicos, radioactivos y bacteriológicos prescritos en esta norma, que aseguran su inocuidad y aptitud para el consumo humano (NCh 409-1 Of 84).

No se permite el empleo de agua que contenga azúcares como sacarosa, glucosa o similares. Pueden emplearse aguas de otro origen o procedencia o cuya calidad se desconozca, siempre que cumplan con los requisitos químicos básicos indicados en la tabla N°1 de dicha norma (NCh 1498 Of 82).

El cemento mezclado con agua reacciona hidratándose. Ésta reacción libera una cierta cantidad de calor y provoca el progresivo endurecimiento de la pasta de cemento.

2.5.- Aditivos y adiciones.

2.5.1.-Definición de aditivos.

Los aditivos son productos (orgánicos e inorgánicos) que, introducidos en pequeñas porciones en el momento de la fabricación del hormigón, permiten modificar algunas de sus propiedades originales. Se presentan en forma de polvo, líquido o pasta y la dosis varía según el producto y el efecto deseado, respetando las indicaciones del fabricante, la dosis varían en un 0,1 y 5 % del peso del cemento.

Generalmente se emplean diluidos en el agua de amasado o directamente se incorporan a la mezcla, aunque en el caso de algunos productos en polvo, se prefiere que sean agregados directamente al cemento.

Su empleo se ha ido generalizando hasta el punto de constituir actualmente un componente habitual del hormigón.

“Los aditivos son productos que añadidos al conglomerante (pasta, mortero u hormigón) en el momento de su elaboración en las condiciones adecuadas, en la forma conveniente y en las dosis precisas, tiene por finalidad modificar en sentido positivo y con carácter permanente las propiedades del conglomerado, o en su caso conferírseles, para su mejor comportamiento en todos o en algún aspecto, tanto en estado fresco como una vez fraguado y endurecido”.

La definición es amplia y deja claro que los aditivos tienen que modificar en sentido positivo, y que la mejora ha de ser permanente tanto en estado fresco como endurecido, esto es, su acción ha de ser estable a lo largo del tiempo (J Calleja, 1983).

Los aditivos tienen una “función principal” que se caracteriza por producir una modificación determinada, y solamente una, de alguna de las características del hormigón, mortero o pasta, pudiendo tener además una “función secundaria” y accesoria de modificar alguna o algunas de las características de los materiales, independientemente de la que defina la función principal. A estas funciones se les podrían denominar también indicaciones.

Las dosis de aditivos en el hormigón son muy importantes, pues no hay que esperar que, a doble dosis corresponda doble efecto ni a mitad de dosis mitad de acción. Con determinados aditivos puede darse, además, el caso de que sobrepasar ciertas dosis sea muy contraproducente para el hormigón o que incluso se consigan efectos contrarios a los deseados.

“El correcto empleo de un aditivo supone no solo que se haya elegido bien, sino que esté además correctamente utilizado” (Venuat M, 1972).

Actualmente el empleo de los aditivos en los morteros y hormigones ha experimentado un gran incremento como consecuencia de la mejor calidad de los mismos. Puede decirse que, un porcentaje muy elevado del hormigón que se fabrica, lleva incorporado algún tipo de aditivo y que si estos son de calidad y están correctamente empleados, permiten conseguir hormigones dóciles, resistentes, durables y económicos.

Por último cabe indicar que nunca un aditivo va a transformar un hormigón malo en uno bueno, pero si podrá conseguir que un hormigón bueno sea mejor.

2.5.2.-Clasificación de los aditivos.

Existen diversos criterios para su clasificación. La norma ASTM C494 “Chemical admixtures for concrete” distingue 7 tipos:

Tipo A: reductor de agua.

Tipo B: retardador de fraguado.

Tipo C: acelerador de fraguado.

Tipo D: reductor de agua y retardador.

Tipo E: reductor de agua y acelerador.

Tipo F: reductor de agua de alto efecto y retardador.

Los aditivos incorporadores de aire se encuentran incluidos en la norma ASTM C260 “Specifications for air entraining admixtures for concrete”.

La norma chilena NCh 2182 Of 95 establece la siguiente clasificación:

Tipo A: aditivos plastificantes.

Tipo B: aditivos retardadores.

Tipo C: aditivos aceleradores.

Tipo D: aditivos plastificantes y retardadores.

Tipo E: aditivos plastificantes y aceleradores.

Tipo F: aditivos superplastificantes.

Tipo G: aditivos superplastificantes y retardadores.

Tipo H: aditivos incorporadores de aire.

2.5.3.-Aditivos que modifican las propiedades reológicas del hormigón fresco.

Son aditivos que permiten: una reducción de la proporción de agua para igual trabajabilidad, o un aumento de la trabajabilidad para igual proporción de agua.

Actúa de la siguiente forma: la estructura molecular de estos productos se puede esquematizar con una molécula larga de carbono, con una extremidad hidrófoba y otra hidrófila. La parte hidrófila, que generalmente es ionizable, está formada por grupos de tipo carboxilato o sulfonato. La parte hidrófoba es rechazada al exterior de la superficie del agua, orientándose perpendicularmente a la superficie de separación agua aire.

La ionización de los filamentos del aditivo produce la separación de los granos de cemento entre sí, conduciendo a una efectiva defloculación. Los granos de cemento quedan individualizados, facilitándose aún más el mojado, lo que produce una hidratación y reducción del esfuerzo de cizalle necesario para poner en movimiento el hormigón fresco, lo que explica su efecto como plastificante.

Por otro lado, las moléculas del aditivo son adsorbidas y se orientan en la superficie de los granos de cemento, en un espesor de varias moléculas, de lo que resulta una lubricación de las partículas. Este mecanismo puede producir incorporación de aire en forma de microburbujas esféricas, al evitar que el aire atrapado se disuelva o salga de la superficie. El efecto de incorporación de aire no siempre se ve expresado en un mayor volumen de aire, pues se supone que el aditivo convierte el aire atrapado en burbujas microscópicas retenidas en su masa, las que actúan como rodamientos entre las partículas sólidas, contribuyendo al aumento de la docilidad del hormigón.

2.5.3.1.- Incorporador de aire.

En 1932, en ciertos tramos de las carreteras en EE.UU. se observó y constató que resistían más que otras carreteras a las heladas. Mediante un estudio microscópico se obtuvo como causal de este fenómeno, la presencia en el hormigón de un gran número de minúsculas burbujas de aire. Estas derivaban de cementos fabricados con aditivos a base de aceite vegetal o a base de jabón.

Los agentes inclusores de aire fueron empleados a partir de 1938 en la construcción de carreteras. En 1939, una fábrica de cemento norteamericana elaboro por primera vez un cemento especial con incorporación de resina Vinsol. En esta época fue cuando T.C. Powers expuso la teoría física que explica bien el papel que desempeña el aire ocluido.

Después de la guerra esta técnica apareció en Europa, donde empezó a aplicarse en 1948 para la construcción de presas. En 1953, los suecos iniciaron la fabricación de un conglomerante de albañilería que contenía un tanto por ciento bastante elevado de un agente inclusor de aire.

Se define a un agente inclusor de aire, como:

“un aditivo para cemento hidráulico o un aditivo para hormigón o mortero que origina aire en el hormigón o mortero, usualmente en pequeñas cantidades en forma de burbujas pequeñas (aproximadamente de 1 mm de diámetro o menos) durante el mezclado, y usualmente para aumentar la trabajabilidad y la resistencia al congelamiento”

Otra definición de agente inclusor de aire, está dada de la siguiente manera:

“material que permite que una cantidad controlada de pequeñas burbujas de aire sea incorporada durante el amasado y permanezcan después de endurecido”

Forma de actuar

El cemento hidratado, los áridos y el hormigón endurecido están conformados por huecos u oquedades, cuyas formas y dimensiones son variadas, en la cual las causas de estos huecos en un hormigón sin aditivos pueden ser:

- Aire atrapado naturalmente durante la faena de hormigonado.
- Aire procedente de una evaporación del agua del hormigón.

Es conveniente establecer una diferencia entre el aire atrapado y el aire incorporado mediante aditivos. El hormigón normalmente contiene cierta proporción de aire atrapado durante su amasado y, principalmente, durante su colocación y que no ha sido posible eliminarlo totalmente durante su compactación, por otra parte también puede provenir de acumulación de gruesos al haber segregación.

Aire atrapado: burbujas de aire de forma y tamaño irregular que quedan atrapadas durante el proceso de fabricación del hormigón.

Aire incorporado: burbujas microscópicas de forma y tamaño regular producidas por efecto del empleo de aditivos y que se determina según Nch 2184, en el cual, las burbujas quedan uniformemente distribuidas en la masa de hormigón.

Este aire puede formar capilares continuos que aumentan la permeabilidad del hormigón y, en muchos casos, los poros de aire que permanecen en la masa son de tamaño mucho mayor que aquellos que se incorporan intencionalmente mediante aditivos. El aire incorporado por aditivos está formado por microburbujas, aproximadamente esféricas cerradas, de diámetro menor que 0,5 mm, poseen cierta granulometría y se distribuyen uniformemente en la masa del hormigón.

Las principales funciones del aire incorporado consisten en proporcionar mayor impermeabilidad brindando mayor resistencia del hormigón a los ciclos de congelación y deshielo; además, permite un aumento de la docilidad, hace a las mezclas más cohesivas contribuyendo a disminuir la segregación, a reducir la exudación y la permeabilidad. Las burbujas de aire permiten, por otra parte, reducir la cantidad de arena y también pueden suplir la cantidad de granos finos de algunas arenas. No obstante las múltiples ventajas que proporciona, debe tenerse en cuenta que, cuando el contenido de aire incorporado supera el 3% provoca una disminución de la resistencia mecánica que se estima en 3% por cada 1% extra de aire.

En la práctica, la posibilidad de lograr incorporación de aire va a depender de una serie de factores que es necesario tener en cuenta:

- La incorporación de aire, a igual dosis de aditivo, se hace más difícil a medida que aumenta el tamaño máximo del árido.

- El contenido de finos del hormigón, ya sea aportado por dosis elevadas de cemento o por arenas demasiado finas, en particular bajo 0,6 mm, reduce la formación de burbujas.

- El asentamiento ideal del hormigón para facilitar la incorporación de aire corresponde a un estado plástico, entre 3 y 10 cm; en un hormigón seco las burbujas no pueden formarse, y en un hormigón fluido, se forma gran cantidad de burbujas, pero tienden a escapar rápidamente.

- El tipo de amasado también puede influir, los mejores resultados se obtienen con amasado mecánico, en particular cuando es del tipo gravitacional, debiendo descartarse el amasado manual.

- La temperatura ambiente ideal se encuentra en el intervalo de 16 a 26 °C; la incorporación aumenta cuando la temperatura disminuye y decrece con temperaturas elevadas.

Campo de aplicación de este aditivo:

- Hormigones que estarán expuestos a ciclos de congelación y deshielo.

- Hormigones en masa de estructuras hidráulicas.

- Hormigones para carreteras.

- Hormigones que estarán expuestos a la acción de agentes químicos agresivos.

- Hormigones transportados en camiones de volteo.

2.5.3.1.1.- Influencia sobre el hormigón endurecido.

Las burbujas cambian la estructura del material y cortan la red de canalículos. Esto explica porque el aire ocluido mejora mucho la resistencia a los efectos de las heladas, de las sales descongelantes y de las aguas agresivas para los hormigones. Las burbujas mejoran la impermeabilidad de los hormigones limitando las subidas de agua debidas a la capilaridad. En tiempo de heladas desempeñan el papel de cámara de expansión para el agua impulsada por el hielo y para el propio hielo formado en los hormigones endurecidos, reducen las presiones hidráulicas y permiten un mejor reparto de los esfuerzos.

La protección contra las heladas queda asegurada no solamente si el contenido total de aire (en volumen) es suficiente sino, sobre todo, si las burbujas son suficientemente pequeñas y están bien repartidas en la masa y próximas unas a otras (la distancia entre burbujas debería ser por término medio inferior a 200 micras). Un agente inclusor de aire será más eficaz que otro si, para un mismo espaciado de las burbujas, éstas son más pequeñas (pues el contenido total de aire será un tanto por ciento más reducido y por consiguiente, las resistencias mecánicas quedaran menos afectadas).

2.5.3.1.2.- Dosificación.

Generalmente, se requieren solo pequeñas cantidades de aditivo inclusor de aire para incluir una cantidad deseada de aire, son del orden del 0.05% por peso del cemento. Si las cantidades de aditivo inclusor de aire recomendadas por el fabricante no logran que se obtenga la cantidad deseada de aire, es necesario ajustar la cantidad de aditivo añadida.

2.6.- Métodos de medición del contenido de aire para hormigón en estado fresco.

Existen numerosos métodos para medir el contenido de aire en el hormigón fresco, se destacan los siguientes:

2.6.1.- Método gravimétrico (por pesadas).

Es el método más antiguo, normalizado en los EE.UU. (ASTM C138). Se supone el conocimiento preciso de las masas volumétricas de los constituyentes, del tanto por ciento de humedad de los áridos y de la dosificación en volumen en los constituyentes. En base a estos datos, se calcula el peso teórico, sin huecos, de un cierto volumen de hormigón y se compara con el peso real del mismo volumen, relleno con el hormigón ensayado, de donde se deduce el tanto por ciento de huecos:

$$\text{Aire incorporado (\%)} = \frac{\text{P. teor.} - \text{P. med.}}{\text{P. teor.}} * 100$$

Dónde:

P. teor.= masa volumétrica teórica del hormigón macizo sin huecos.

P. med.= masa volumétrica del hormigón ensayado.

2.6.2.- Método volumétrico (o por evacuación forzada de aire).

Este método está normalizado en los EE.UU. (ASTM C173). Consiste en colocar en un recipiente normalizado, cierto volumen de hormigón fresco. Un volumen conocido, aproximadamente igual de agua, se le añade. Luego se agita el recipiente, el aire es expulsado por el agua y después de dejarlo reposar y de la eliminación de la espuma eventualmente formada, el nuevo nivel de agua da el tanto por ciento de aire ocluido.

2.6.3.- Método de presión.

El método de presión, se basa en la medición del cambio de volumen del hormigón sometido a un cambio de presión. El equipo que se especifica para este ensayo es el tipo B de la norma ASTM C231-82, el que está equipado con un dial que registra directamente el contenido de aire, en porcentaje, con respecto al volumen del hormigón.

El procedimiento se encuentra limitado a hormigones fabricados con áridos de densidad normal y tamaño máximo no superior a 50 mm.

Este método es el que se utilizará en este trabajo de investigación, para la determinación del contenido de aire en el hormigón fresco, y se encuentra detallado en Nch 2184 Of 92.

3.- Desarrollo de la Investigación.

3.1.- Planificación de la investigación.

Mediante comparación experimental entre hormigones con cantidades variables de cemento y tamaño máximo nominal del árido, se verificarán las influencias que ejercen estas dosis variables sobre los porcentajes de aire logrados. Donde los parámetros a definir estarán directamente relacionados con la dosificación del hormigón.

Los parámetros considerados son los siguientes:

- El origen de los áridos se mantendrá constante.
- El cemento a utilizar será del tipo Pórtland puzolánico, grado corriente, en diferentes dosis.
- Se empleará un solo tipo de aditivo incorporador de aire de marca Cave Airtec, aplicado a cada una de las dosificaciones de cemento (200, 300, 400, 500 kg/m³) en porcentajes de 0.03; 0.08 y 0.12 %.
- Se harán mezclas con 3 distintos Dn (12.5, 20, 40), para un contenido de cemento y con cada porcentaje de aditivo antes indicado.
- Los hormigones tendrán un asentamiento de 8 ± 2 cm.
- Se empleará una betonera de eje vertical, con capacidad aproximada de 100 lt. Manteniendo constante el tiempo de mezclado para cada colada.

3.2.- Generalidades y características del hormigón.

3.2.1.-Resistencia.

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 ensaye de las muestras cúbicas de hormigón.

3.2.2.-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.

3.2.3.-Docilidad.

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 el hormigón. si se usa más 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.

3.2.4.-Contenido de agua.

El contenido de agua puede ser afectado por un gran número de factores:

- Tamaño y forma del agregado
- Docilidad
- Relación agua/cemento
- Contenido de aire
- Contenido de cemento
- Aditivos
- Condiciones ambientales.

Un mayor contenido de aire y tamaño de agregado, una reducción en la relación agua/cemento y en la docilidad, los agregados redondeados y el uso de aditivos reductores de agua o de ceniza volante disminuyen la demanda de agua.

Por otra parte los aumentos de temperaturas, en los contenidos de cemento, de docilidad en la relación agua/cemento, de la angulosidad de los agregados, así como la disminución de la proporción de agregado grueso a fino elevan la demanda de agua.

3.2.5.-Contenido de cemento.

El contenido de cemento se calcula usualmente a partir de la relación agua/cemento y del contenido de agua elegido, aunque usualmente se incluye en las especificaciones un contenido mínimo de cemento, además de un contenido de relación agua/cemento máxima, los requisitos mínimos de cantidad de cemento sirven para asegurar una durabilidad y acabado satisfactorios, una mayor resistencia al desgaste en losas y una mejor apariencia superficial en elementos verticales. Esto es importante a pesar de que los requisitos de resistencia se satisfagan con menores contenidos de cemento.

Para lograr una mayor economía, la cantidad debe ser tal que el consumo requerido de cemento sea mínimo sin que se llegue a sacrificar la calidad del hormigón.

3.2.6-Granulometría.

Los áridos son un conjunto de partículas pétreas de diferentes tamaños. La aptitud de un árido como material de construcción depende tanto de las propiedades de sus partículas, de elementos aislados y de las propiedades como conjunto de partículas.

Granulometría: es la distribución por tamaños de las partículas de un árido. Para conocer la distribución de tamaños de las partículas que componen una muestra de árido se separan estos mediante tamices.

3.3.-Programa experimental.

Materiales a ocupar para esta investigación son los siguientes:

Grava Dn: 12.5; 20 y 40mm.

Arena.

Aditivo incorporador de aire Cave Airtec.

Cemento.

Las dosificaciones serán las siguientes:

-Hormigón con un contenido de cemento de 200, 300, 400, 500 Kg/m³. Para cada uno de estos hormigones se colocaran 3 dosis de aditivo incorporador de aire en las cantidades de 0.03, 0.08, 0.12 %. (Porcentajes referidos al peso de cemento).

-Hormigón con un contenido de cemento de 300 Kg/m³ pero 3 mezclas que contengan un Dn de 12.5, 20, 40 mm. A cada una de estas mezclas se les debe añadir aditivo en 0.03, 0.08, 0.12 %. (Porcentajes referidos al peso de cemento).

Los ensayos a realizar serán los siguientes:

Ensayo de consistencia: Asentamiento de cono (Cono de Abrams).

Medición de aire en hormigón fresco por método de presión

Resistencia a la compresión a 28 días.

La cantidad de muestras necesaria será la siguiente:

1 muestra por tipo de hormigón para ensayo de contenido de aire.

1 muestra por tipo de hormigón para ensayo de cono de Abrams.

3 probetas por tipo de hormigón para ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días.

3.4.-Metodología de ensayos.

A continuación se describen cada uno de los ensayos relacionados directamente con el estudio de esta investigación.

3.4.1.-Determinación del contenido de aire en hormigón fresco por Método de presión.

3.4.1.1.-Generalidades.

Este método se basa en la variación de volumen que experimenta una muestra de hormigón o mortero fresco al ser sometido a presión.

El método que se establece registra directamente el contenido de aire como porcentaje del volumen de hormigón o de mortero.

3.4.1.2.-Aparatos y equipos.

3.4.1.2.1.-Aerómetro.

Recipiente metálico, con superficie interna pulida y de rigidez suficiente para soportar presión sin deformación. El equipo de medición de aire consta de un recipiente con tapa de acero cuya capacidad mínima es de 7 litros. Además la tapa esta provista de un ajuste de goma o caucho para obtener un cierre hermético con el recipiente y cuenta con los siguientes dispositivos y aparatos:

- Un par de llaves para el agua, de entrada y purga.
- Cierres de tipo abrazadera o atornillados para apretar herméticamente la tapa y el recipiente.
- Cámara de presión con dial, bomba manual (o Bombin externo), válvula para traspasar el aire al recipiente y válvula de purga para ajustar la presión inicial en el dial.
- Vibrador de inmersión para el hormigón.
- Accesorios: probeta de calibración, mazo, regla de enrase, pisón y pera de goma.

3.4.1.2.2.-Calibración.

La calibración del aparato es necesaria para tener la seguridad que el contenido de aire indicado en el dial es el correcto; esta operación se hace necesaria cuando el equipo ha estado largo tiempo fuera de servicio y/o cuando ha sido maltratado o golpeado durante su manejo o transporte.

La calibración se realiza de la siguiente manera:

Instalar el recipiente en una superficie plana y nivelada, posteriormente llenarlo completamente con agua.

Introducir el tester de calibración en el recipiente, comprobando que el agua ha rebalsado los bordes de este último.

Colocar la tapa sobre el recipiente asentándola cuidadosamente, cerrando las cuatro abrazaderas de apriete.

Cerrar la válvula principal del aire y válvula de purga.

Abrir el par de llaves para la entrada del agua.

Colocar agua en el embudo hasta que el agua salga por el respiradero.

Sacudir suavemente el recipiente hasta que no salgan burbujas de aire por el respiradero.

Luego cerrar ambas llaves.

Bombear lentamente aire a la cámara hasta que la aguja del manómetro sobrepase el punto de presión inicial.

Abrir la válvula principal de aire entre la cámara de aire y el recipiente.

Hacer lectura en el manómetro. El equipo estará calibrado si el manómetro indica un 5% de aire de no ser así, habrá que hacer correcciones a las lecturas que se obtengan al realizar posteriormente el ensayo sobre hormigón.

3.4.1.2.3.-Procedimiento.

3.4.1.2.3.1.-Muestra de ensayo.

El tamaño de la muestra de hormigón fresco necesaria para realizar el ensayo, deberá ser representativa de la colada que se confecciono y su extracción se realizara de acuerdo a lo establecido en NCh 171.

3.4.1.2.3.2.-Colocación y compactación de la muestra.

Llenar el recipiente con la muestra de hormigón según el método de compactación que se aplique:

3.4.1.2.3.3.-Apisonado.

Colocar el hormigón en tres capas de igual volumen.

Apisonar por medio de 8 golpes cada 100 cm² de pisón distribuidos en toda el área.

La capa inferior se apisona en toda su altura sin golpear el fondo y las capas superiores se apisonarán de modo que el pisón penetre aproximadamente 3 cm. en la capa subyacente.

Después de apisonar, golpear los costados del recipiente 10 a 15 veces con un mazo de goma.

3.4.1.2.3.4.-Vibrado.

Llenar en dos capas de igual volumen, vibrando cada capa con una o dos inserciones del vibrador, sin tocar con este las paredes ni el fondo del recipiente.

La vibración se aplicará hasta que la superficie del hormigón tenga una apariencia suave y brillante, retirando lentamente el vibrador. Se evitará la sobre vibración.

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

3.4.1.2.3.5.-Determinación del contenido de aire.

Limpiar los bordes y en especial la goma de sello, colocar la tapa y ajustar herméticamente con las llaves de apriete.

Cerrar las válvulas para aire de abrir las llaves para agua. Mediante la pera de goma, introducir agua por una de las llaves de agua, hasta que fluya por la otra llave. Golpear lateralmente con un mazo para expulsar las burbujas de aire atrapadas en el agua introducida.

Bombear aire a la cámara de presión hasta que la aguja del dial llegue a la marca de presión inicial. Reposar algunos segundos para enfriar el aire comprimido. Estabilizar la aguja, mediante bombeos o purga, en la marca de presión inicial.

Cerrar las dos llaves de agua y abrir la válvula de entrada de aire comprimido de la cámara de aire del recipiente. Golpear suavemente los costados del recipiente, como también la tapa del dial para estabilizar la lectura.

Leer con aproximación a 0,1 % el contenido de aire registrado en el dial. Antes de abrir la tapa, mantener cerradas las válvulas de aire y abrir las llaves de agua para liberar la presión de aire existente en el recipiente.

3.4.2.-Determinación de la docilidad Método del asentamiento del cono de Abrams.

3.4.2.1.-Generalidades.

Este método permite determinar la docilidad del hormigón fresco, a través de la disminución de altura que experimenta en este ensayo, aplicado en laboratorio o en terreno.

3.4.2.2.-Aparatos.

El molde metálico que se utiliza para este ensayo tiene forma de tronco de cono recto, abierto por ambos extremos; con un espesor igual o superior a 1.6 mm. Tiene una superficie interna lisa, libre de rebordes y abolladuras.

La base superior tendrá un diámetro de 100 mm. Y la base inferior será de diámetro 200 mm. , la altura es de 300 mm. El molde estará provisto de dos pisaderas en su parte inferior para que el operador pueda afianzar el cono durante el llenado; además tendrá dos asas en el tercio superior de la altura para levantar el molde, después de llenado.

Otro aparato necesario para ejecutar este ensayo es una varilla-pison en forma de barra cilíndrica de acero lisa, de 16 mm de diámetro y 600 mm. de longitud, con sus extremos semi esféricos de 16 mm de diámetro.

Se cuenta con una plancha de apoyo no absorbente, rígida y por lo menos de 400*600 mm.; se utilizara una poruña metálica de sección y dimensiones tales que permita el vaciado de su contenido en el molde.

3.4.2.3.-Muestras de hormigón.

La cantidad de hormigón necesaria para realizar el ensayo deberá ser representativa de la colada que se confecciono.

3.4.2.4.-Procedimiento.

Se coloca el molde sobre la plancha de apoyo horizontal, ambos limpios y humedecidos solo con agua. Se llenará el molde en tres capas de igual volumen, donde el operador deberá pararse sobre las pisaderas evitando el movimiento del molde durante el llenado.

Cada capa deberá ser apisonada con 25 golpes de la varilla-pisón, distribuidos uniformemente en toda la sección. La capa inferior será apisonada en toda su profundidad; la mitad de los golpes se darán alrededor del perímetro con la varilla-pisón, ligeramente inclinada; seguir con el resto de los golpes con la varilla-pisón en posición vertical.

La capa media y superior se apisonara penetrando hasta la capa subyacente. Durante el apisonado de la última capa, mantener permanentemente un exceso de hormigón sobre el borde superior del molde.

Finalizada la compactación de la última capa, enrasar la superficie haciendo rotar sobre ella la varilla-pisón. Luego se limpia el hormigón derramado en la zona adyacente al molde. Una vez llenado el, molde se procede inmediatamente a levantarlo, donde, se deben cargar las asas con las manos dejando libres las pisaderas. Esta operación se debe realizar en forma suave, en dirección vertical sin perturbar el hormigón. Efectuar esta operación en un lapso de 5 a 10 segundos.

El tiempo total de la operación tendrá una duración inferior o igual a 3 minutos.

3.4.2.5.-Medición de asentamiento.

Una vez levantado el molde, medir inmediatamente la disminución de altura del hormigón moldeado respecto del molde, con aproximación de 0,5 cm. la medición se realiza en el eje central del molde en su posición primitiva.

Si el hormigón moldeado se inclina decididamente hacia un lado o sufre disgregaciones, se debe repetir el ensayo; en caso de que por segunda vez se presente este fenómeno, considerar que el hormigón no es apto para efectuar el ensayo del asentamiento por carecer de la plasticidad y cohesión necesarias.

3.4.3.-Ensayo de compresión en probetas cúbicas.

3.4.3.1.-Generalidades.

La resistencia a compresión se determinará por medio del ensayo de compresión de probetas cúbicas, basados en la norma NCh 1037 Of 77.

3.4.3.2.-Aparatos.

La prensa de ensayo, balanza y la regla graduada que se utilizarán en el laboratorio, cumplen con las exigencias estipuladas en la presente norma.

3.4.3.3.-Procedimiento.

Se deben medir las probetas cúbicas según los pasos siguientes:

Colocar el cubo con la cara de llenado en un plano vertical frente al operador.

Medir los anchos de las cuatro caras laterales del cubo aproximadamente en el eje horizontal de cada cara.

Medir las alturas de las cuatro caras laterales aproximadamente en el eje vertical de cada cara.

Expresar estas medidas en milímetros con aproximación a 1 mm.

Determinar la masa de la probeta aproximadamente a 50 gr.

Para comenzar con el ensayo, se debe limpiar la superficie de las placas y de las caras de ensayo de la probeta, colocando la probeta sobre la placa inferior alineando su eje central con el centro de esta placa. Las probetas cúbicas se deben situar con la cara de llenado en un plano perpendicular a la placa inferior de la prensa; asentando la placa superior sobre la probeta, guiándola suavemente con la mano, para obtener un apoyo de la placa lo más uniforme posible.

La carga se aplica en forma continua y sin choques, a una velocidad uniforme, que permita cumplir las siguientes condiciones:

a.- alcanzar una franca rotura de la probeta en un tiempo igual o superior a 100 segundos.

b.- no superar la velocidad de $0.35 \text{ N/m}^2/\text{seg}$ ($3.5 \text{ Kg/cm}^2/\text{seg}$).

Cuando se conoce aproximadamente la carga de rotura, será permisible aplicar la primera mitad de la carga a una velocidad mayor que la especificada en el punto anterior.

Una vez fijada la velocidad y especialmente en la segunda mitad de la carga, no se hará modificaciones de ella hasta el término del ensayo. Obtenida la carga máxima, se registra como P expresada en (N) o (Kgf).

3.4.3.4.-Expresión de resultados.

3.4.3.4.1.-Resistencia a compresión.

Se calculó la sección de ensayo de las probetas cúbicas, según la siguiente fórmula establecida en la Nch 1037 of 77:

$$S = \frac{(a1+a2)}{2} * \frac{(b1+b2)}{2}$$

Se calculó la resistencia a compresión como la tensión de rotura, según la siguiente fórmula (Nch 1037 of 77):

$$R = \frac{P}{S}$$

Donde:

R: tensión de rotura, N/mm² (Kgf./cm²)

P: carga de rotura, N (Kgf.)

S: sección transversal de la probeta, mm² (cm²)

3.4.3.4.2.-Densidad aparente.

Calcular el volumen V de la probeta según la siguiente fórmula (Nch 1037 of 77):

$$V = S * h \text{ (cm}^3\text{)}$$

Donde:

S: sección transversal de la probeta, mm.² (cm²)

H: altura promedio, mm. (cm.)

Calcular la densidad aparente de la probeta como (según Nch 1037 of 77):

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

D_b: densidad aparente.

M: masa de la probeta, Kg.

V: volumen de la probeta, m³.

4.- Caracterización de los materiales.

Las características de los materiales que se utilizan en el hormigón y que es necesario conocer para hacer el cálculo de dosificación, son las que se indican a continuación:

Para los áridos se obtuvo: granulometría, absorción y humedad total.

Para el cemento se estableció: grado resistente. (corriente o alta resistencia).

4.1.- Granulometría.

Los áridos son un conjunto de partículas pétreas de diferentes tamaños. La aptitud de un árido como material de construcción depende tanto de las propiedades de sus partículas como elementos aislados, como de las propiedades que tienen como conjunto.

La granulometría es necesaria para determinar la proporción en que han de mezclarse los áridos; además, permite determinar el módulo de finura y el tamaño máximo de los áridos entre otros.

Granulometría es la distribución por tamaños de las partículas de un árido. Para conocer la distribución de tamaños de las partículas que componen una muestra de árido se separan estos mediante tamices.

Tabla 1: granulometría promedio 3 muestras arena.

Malla N°	Ret. (grs)	Ret. parcial%	Ret. Acum %	% Que pasa	conversión	Nch 163
3/8	0	0	0	100	100	100
4	74	10	10	90	100	95-100
8	170	24	34	66	73	80-100
16	101	14	48	52	58	50-85
30	72	10	58	42	47	25-60
50	140	20	78	22	24	10-30
100	116	16	94	6	7	2-10
Residuo	45	6	100	0		
Sumatoria	717	100				

Ret: material retenido

Fuente: Elaboración propia.

Según Nch 163 cuando la granulometría de la arena revela que su tamaño máximo nominal es mayor que el correspondiente al tamiz N°4, se debe efectuar una conversión matemática considerando como 100% el material que pasa por el tamiz N°4, haciendo esto los nuevos valores ajustados son los que se pueden comparar con los valores establecidos en la norma.

Esta arena tiene un módulo de finura de 3,22 este valor junto con su granulometría la describen como una arena de tamaño gruesa: contienen gran cantidad de granos de tamaño medio, con poca sensibilidad a la segregación aceptan sin dificultad grandes dosis de cemento.

Tabla 2: granulometría promedio 3 muestras de árido grueso.

Malla N°	Ret. (grs)	Ret parcial%	Ret. Acum %	% Que pasa	Nch 163
1/2	0	0	0	100	90-100
3/8	2430	47	47	53	40-70
4	2513	49	96	4	0-15
8	153	3	99	1	0-5
Residuo	31	1	100	0	
Sumatoria	5127	0	100	0	

Ret: material retenido.

Fuente: Elaboración propia.

De los datos obtenidos se puede establecer que la grava corresponde a un tamaño máximo de ½" (12,5 mm.).

Tabla 3: granulometría promedio 3 muestras de árido grueso.

Malla N°	Ret. (grs)	Ret. parcial%	Ret. Acum %	% Que pasa	Nch 163
¾	0	0	0	100	90-100
3/8	6458	73	73	27	20-55
4	2275	26	99	1	0-10
Residuo	82	1	100	0	
Sumatoria	8815	100			

Ret: material retenido.

Fuente: Elaboración propia.

De los datos obtenidos se puede establecer que la grava corresponde a un tamaño máximo de ¾" (20 mm.)

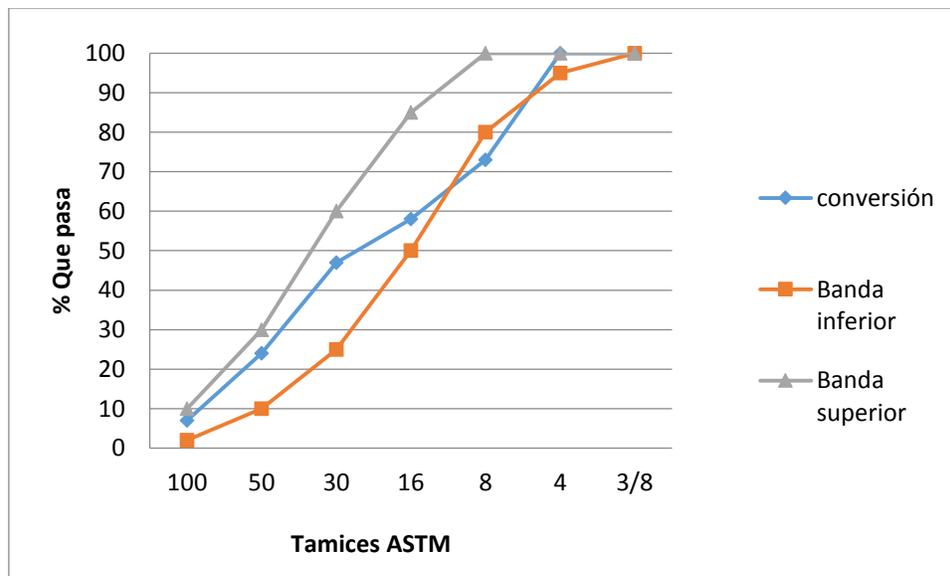
Tabla 4: granulometría promedio 3 muestras de árido grueso.

Malla N°	Ret. (grs)	Ret parcial%	Ret. Acum %	% Que pasa	Nch 163
1 1/2	0	0	0	100	90-100
3/4	9035	54	54	47	35-70
3/8	5532	33	86	14	10-30
4	2174	13	99	1	0-5
Residuo	150	1	100	0	
Sumatoria	16891	100			

Ret: material retenido.

Fuente: Elaboración propia.

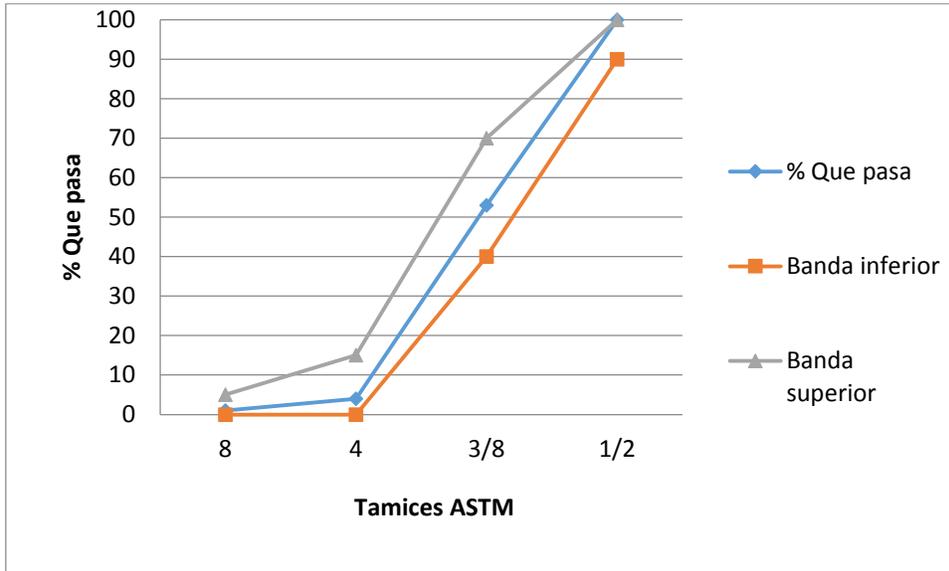
De los datos obtenidos se puede establecer que la grava corresponde con un tamaño máximo de 1 1/2" (40 mm.)

Ilustración 1: granulometría promedio de la arena según su conversión.

Fuente: Elaboración propia.

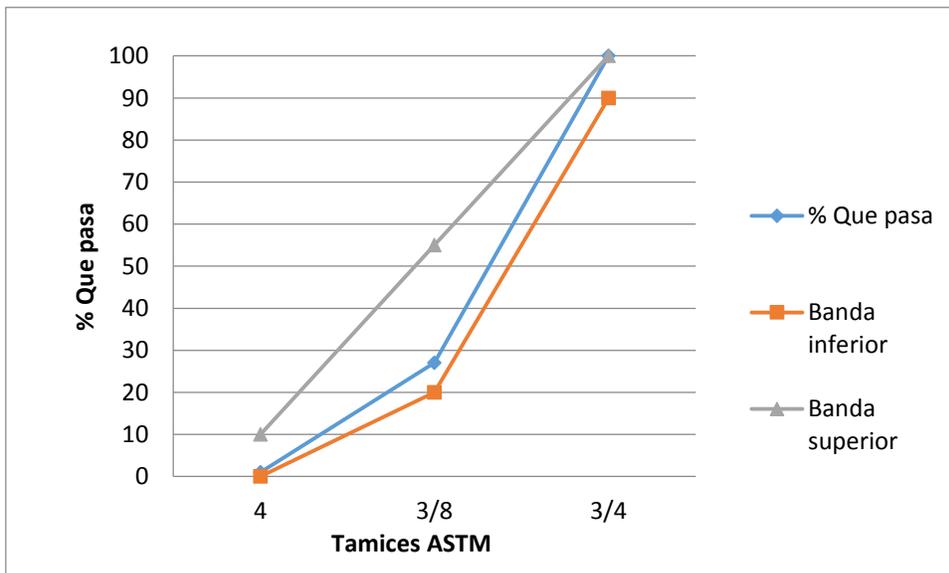
La figura 4.2 presenta la conversión de los datos obtenidos en la granulometría de la arena a utilizar, la cual ajusta los valores a la norma aunque sigue apareciendo un punto por fuera de los límites, lo que indica que hay menor cantidad de partículas de mayor tamaño (1,25 - 2,5 - 5mm).

Ilustración 2: granulometría promedio de la gravilla TMNA ½”.



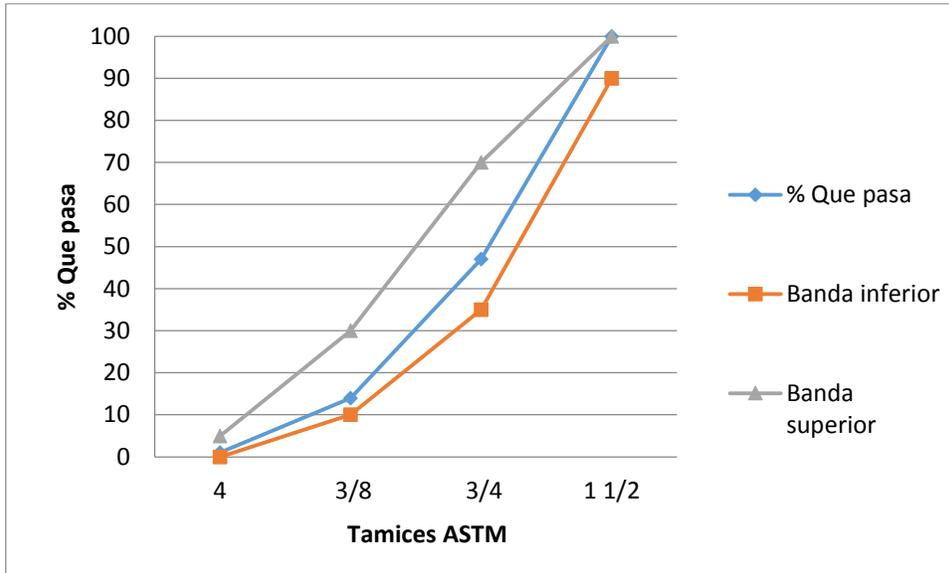
Fuente: elaboración propia.

Ilustración 3: granulometría promedio de la gravilla TMNA ¾”.



Fuente: elaboración propia.

En la ilustración 4.3 se puede observar como los datos obtenidos en la granulometría de la grava de mayor tamaño, se ajustan a lo propuesto en la norma. Lo que indica que tenemos un material con presencia de partículas de todos los tamaños necesarios y en cantidades regulares entre ellas.

Ilustración 4: granulometría promedio de la grava TMNA 1 ½”.

Fuente: elaboración propia.

4.2.-Densidad real y neta y absorción de agua de los áridos.

En gravas el procedimiento consiste en preparar la muestra, determinando su masa por pesada al aire ambiente en condiciones seca y saturada superficialmente seca, luego se establece su volumen por diferencia entre pesadas al aire ambiente y en sumergida en agua, con los anteriores datos es posible calcular la densidad real y neta y la absorción de agua.

En arenas luego se preparar la mezcla se debe medir su masa en condición seca y saturada superficialmente seca, para calcular el volumen como la masa de agua desplazada por el árido sumergido en un matraz aforado, finalmente se calculan las densidades real y neta y la absorción de agua en función de los valores obtenidos en las diferentes condiciones de determinación de las masas.

Tabla 5: densidad real y neta y absorción de la arena.

Muestra	Densidad real sss Kg/m ³	Densidad real seca Kg/m ³	Densidad neta Kg/m ³	Absorción %
m1	2591	2549	2659	1,626
m2	2717	2663	2816	2,04
m3	2653	2618	2712	1,32
Prom.	2654	2610	2729	1,662

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: características físicas de los áridos gruesos.

Características	Unidad	12,5mm	20mm	40mm
Densidad real árido *s.s.s	Kg/m ³	2678	2694	2684
Densidad real árido seco	Kg/m ³	2643	2655	2650
Densidad neta	Kg/m ³	2739	2763	2742
Absorción	%	1,323	1,473	1,268

*s.s.s: saturado superficialmente seco

Fuente: Elaboración propia

4.3.- Dosificación de materiales.

La dosificación de materiales será llevado a cabo, basado en el método IDIEM, (uno de los más usados en Chile) para obtener un producto de buena calidad.

A continuación establece el tamaño de cada colada tomando en cuenta la cantidad que se necesita para cada ensayo aplicado.

Tabla 7: volumen de las coladas.

Medición	cantidad Lt.
Asentamiento	5,3
Aire incorporado	8
Resistencia compresión	10,2
Exceso	6,5
Total	30

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.-Dosificación Etapa I.

Primero se determina una proporción de arena:

Para la dosis de 200 Kg/m³: 48 % contenido de arena.

Para la dosis de 300 y 400 Kg/m³: 44 % contenido de arena.

Para la dosis de 500 Kg/m³: 40 % contenido de arena.

Con estos contenidos de arena, más la granulometría de los áridos, más los límites impuestos en la Nch 163 para árido combinado. Se determina la proporción de los áridos.

Cálculo para proporciones de áridos:

Para 200 Kg./m³= G + 90 A= 48(G + A); 47G - 42A= 0; G= 0,47 ; A= 0,53.

Para 300 y 400 Kg./m³= G + 90 A= 44(G + A); 43G - 46A= 0; G= 0,52 ; A= 0,48.

Para 500 Kg./m³= G + 90 A= 40(G + A); 39G - 50A= 0; G =0,56 ; A= 0,44.

Cálculo dosificaciones.

Dosificación 200 Kg./m³: 2440-200-165= 2075 Kg. árido total. G= 975 Kg.; A= 1100 kg.

Dosificación 300 Kg./m³: 2240-300-182= 1958 Kg. árido total. G= 1018 kg; A= 940 kg.

Dosificación 400 Kg./m³: 2240-400-198= 1842 Kg. árido total. G= 958 Kg.; A=884 Kg.

Dosificación 500 kg/m³: 2240 - 500 - 216 = 1724 kg árido total. G = 965 kg; A = 759 kg.

Tabla 8: dosificación de materiales Etapa I.

Cantidad m3	1	0,03	1	0,03	1	0,03	1	0,03
Cemento Kg	200	6	300	9	400	12	500	15
Agua Kg	165	4,95	182	5,46	198	5,94	216	6,48
Grava 20 mm, Kg	975	29,25	1018	30,54	958	28,74	965	28,95
Arena Kg	1100	33	940	28,2	884	26,52	759	22,77
Adit. 0,03% gr	60	1,8	90	2,7	120	3,6	150	4,5
Adit. 0,08% gr	160	4,8	240	7,2	320	9,6	400	12
Adit. 0,12% gr	240	7,2	360	10,8	480	14,4	600	18

Adit: aditivo incorporador de aire.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.-Dosificación Etapa II.

Primero se determina una proporción de arena:

Para un Dn 40 mm: 42 % contenido de arena.

Para un Dn 20 mm: 46 % contenido de arena.

Para un Dn 12,5 mm: 50 % contenido de arena.

Con estos contenidos de arena, más la granulometría de los áridos, más los límites impuestos en la Nch 163 para árido combinado. Se determina la proporción de los áridos.

Cálculo para proporciones de áridos:

Para Dn 40 mm: $G+90A=42(G+A)$; $41G-48A=0$; $G=0,54$; $A=0,46$.

Para Dn 20 mm: $G+90A=46(G+A)$; $45G-44A=0$; $G=0,49$; $A=0,51$.

Para Dn 12,5 mm: $4G+90A=50(G+A)$; $46G-40A=0$; $G=0,47$; $A=0,53$.

Cálculo dosificaciones.

Dosificación Dn 40 mm: $2440-300-184= 1956$ Kg. árido total. $G= 1056$ Kg.; $A= 900$ Kg.

Dosificación Dn 20 mm: $2440-300-190=1950$ Kg. árido total. $G= 975$ kg; $A= 975$ Kg.

Dosificación Dn 12,5 mm: $2440-300-200= 1940$ Kg. árido total. $G= 912$ Kg.; $A=1028$ Kg.

Tabla 9: dosificación de materiales Etapa II.

T.M.N.A. mm	40		20		12,5	
Cantidad m3	1	0,03	1	0,03	1	0,03
Cemento Kg	300	9	300	9	300	9
Agua Kg	184	5,52	190	5,7	200	6
Grava Kg	1056	31,68	975	29,25	912	27,36
Arena Kg	900	27	975	29,25	1028	30,84
Adit. 0,03% gr	90	2,7	90	2,7	90	2,7
Adit. 0,08% gr	240	7,2	240	7,2	240	7,2
Adit. 0,12% gr	360	10,8	360	10,8	360	10,8

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.-Correcciones de la dosificación.

El cálculo de dosificaciones para hormigón, sea cual sea el método empleado, se proporciona tomando como base los áridos en estado seco. Pero sucede que ésta condición de los áridos rara vez se encuentra, lo normal es que se encuentren con cierto porcentaje de humedad libre que, si no se toma en cuenta, da origen a errores en la ejecución de la dosificación: cuando los áridos se miden en peso, la humedad presente falsea los valores registrados en las romana y cuando se miden en volumen, la dosificación no solo se ve afectada por la humedad, sino que la medición de la arena se ve fuertemente alterada por el esponjamiento originado por la humedad.

Por las razones indicadas, cada vez que los áridos se encuentren húmedos, será necesario corregirlos para mantener las proporciones calculadas.

Para efectuar esta corrección es necesario conocer la absorción y la humedad total de los áridos. La absorción es una constante de cada árido, que se determina en laboratorio; la humedad total es variable y debe determinarse cada vez que se utilicen los áridos, con estos dos valores se puede determinar la humedad libre de cada árido (diferencia entre humedad total y la absorción).

Cuando se pesa cierta cantidad de árido húmedo, el peso real del árido es igual al peso registrado menos el peso del agua que contiene. Por lo tanto, para mantener el peso correcto del árido será necesario agregar una cantidad de árido igual al peso de agua que contiene. Al mismo tiempo, parte del agua contenida en el árido deberá descontarse del agua de amasado calculada, para mantener constante la razón agua/cemento; en realidad, una parte del agua que contienen los áridos se encuentra en los poros interiores de las partículas y no participará como agua de amasado, de manera que el agua a descontar será la correspondiente a la humedad libre.

Tabla 10: humedad total, absorción, humedad libre.

Árido	H. Total %	Absorción	H. Libre %
Arena	2,150	1,662	0,488
Grava 40mm	1,273	1,268	0,005
Grava 20mm	1,477	1,473	0,004
Grava 12,5mm	1,331	1,323	0,008

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.1.-Corrección Etapa I.

Corrección aplicada a cada mezcla (primera mezcla desarrollada, el mismo procedimiento se aplica a las mezclas siguientes).

Para la mezcla con dosis de cemento de 200 Kg/m³:

Cemento (Kg) = 6

Agua (Kg) = 4,95-0,160-0,001= 4,789

Grava (Kg) = 29,13 + 0,429= 29,559

Arena (Kg) = 32,82 + 0,706= 33,526

Corrección de áridos. (Agregar cantidad de áridos)

Humedad total * masa en estado seco.

1,473% de 29,13=0,429

2,150% de 32,82=0,706

Corrección por contenido de agua. (Disminuir contenido de agua)

Humedad libre * masa en estado seco.

0,004% de 29,13=0,001

0,488% de 32,82=0,160

Para la mezcla con dosis de cemento de 300 Kg/m³:

Cemento (Kg) = 9

Agua (Kg) = 5,46 – 0,139= 5,321

Grava (Kg) = 30,54 + 0,451= 30,991

Arena (Kg) = 28,2 + 0,606= 28,806

Para la mezcla con dosis de cemento de 400 Kg/m³:

Cemento (Kg) = 12

Agua (Kg) = 5,94 – 0,130= 5,81

Grava (Kg) = 28,74 + 0,424= 29,164

Arena (Kg) = 26,52 + 0,57= 27,09

Para la mezcla con dosis de cemento de 500 Kg/m³:

Cemento (Kg) = 15

Agua (Kg) = 6,48 – 0,112= 6,368

Grava (Kg) = 28,95 + 0,428= 29,378

Arena (Kg) = 22,77 + 0,490= 23,26

Tabla 11: dosificación de materiales corregidos Etapa I.

Cantidad m3	1	0,03	1	0,03	1	0,03	1	0,03
Cemento Kg	200	6	300	9	400	12	500	15
Agua Kg	165	4,789	182	5,321	198	5,81	216	6,368
Grava 20 mm, Kg	975	29,559	1018	30,991	958	29,164	965	29,378
Arena Kg	1100	33,526	940	28,806	884	27,09	759	23,26
Adit. 0,03% gr	60	1,8	90	2,7	120	3,6	150	4,5
Adit. 0,08% gr	160	4,8	240	7,2	320	9,6	400	12
Adit. 0,12% gr	240	7,2	360	10,8	480	14,4	600	18

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.2.-Corrección Etapa II.

Se muestra la corrección de una de las mezclas, se debe aplicar del mismo modo a las mezclas siguientes:

Para la mezcla con un tamaño máximo nominal de 12,5 mm:

Cemento (kg) = 9

Agua (kg) = $6 \cdot 0,152 = 0,912$

Grava (kg) = $27,36 + 0,364 = 27,724$

Arena (kg) = $30,84 + 0,663 = 31,503$

Para la mezcla con un tamaño máximo nominal de 20 mm:

Cemento (kg) = 9

Agua (kg) = $5,7 \cdot 0,144 = 0,819$

Grava (kg) = $29,25 + 0,432 = 29,682$

Arena (kg) = $29,25 + 0,629 = 29,879$

Para la mezcla con un tamaño máximo nominal de 40 mm:

Cemento (kg) = 9

Agua (kg) = $5,52 \cdot 0,133 = 0,733$

Grava (kg) = $31,68 + 0,403 = 32,083$

Arena (kg) = $27 + 0,581 = 27,581$

Tabla 12: dosificación de materiales corregidos Etapa II.

T.M.N.A. mm	40		20		12,5	
Cantidad m3	1	0,03	1	0,03	1	0,03
Cemento Kg	300	9	300	9	300	9
Agua Kg	184	5,387	190	5,556	200	5,848
Grava Kg	1056	32,083	975	29,682	912	27,724
Arena Kg	900	27,581	975	29,879	1028	31,503
Adit. 0,03% gr	90	2,7	90	2,7	90	2,7
Adit. 0,08% gr	240	7,2	240	7,2	240	7,2
Adit. 0,12% gr	360	10,8	360	10,8	360	10,8

Fuente: Elaboración propia.

5.-Ejecución de la experiencia.

5.1.-Fabricación del hormigón.

Los materiales fueron vaciados en la betonera de la siguiente manera: primero se colocaron y mezclaron la grava y la arena, luego se agrega el cemento el agua y el aditivo, verificando que la duración del mezclado no exceda los 120 segundos.

Lo primero que se realiza luego de mezclado del hormigón es la determinación de su docilidad, conseguida por el ensayo del cono de Abrams, si el valor de este no es adecuado se debe devolver la mezcla a la betonera e incorporar agua en medidas controladas para obtener el valor de cono necesario, el cual asegura un correcto desempeño del aditivo. A continuación se toma el contenido de aire de la muestra por medio del ensayo de diferencias de presión. Finalmente se llenan las probetas cúbicas de arista 15 cm. las cuáles serán utilizadas en el ensayo de resistencia mecánica, las probetas se dejan estáticas un mínimo de 24 horas para posteriormente colocarlas sumergidas en agua.

5.2.-Resultados obtenidos.

A continuación se muestra en una tabla, la medición de aire incorporado en cada una de las coladas de hormigón.

5.2.1.- Resultados obtenidos en Etapa I.

Tabla 13: resultados obtenidos Etapa I.

Dosis de aditivo %	Dosis de cemento kg/m3							
	200		300		400		500	
	A	Ai	A	Ai	A	Ai	A	Ai
0,03	6	2,7	6	2,5	7	2,3	6	2,1
0,08	7	3,5	7	3,3	8	3,1	7	2,9
0,12	7	4,4	7	4,2	8	4	7	3,8

A: asentamiento cm.

Ai: aire incorporado medido %.

Fuente: elaboración propia.

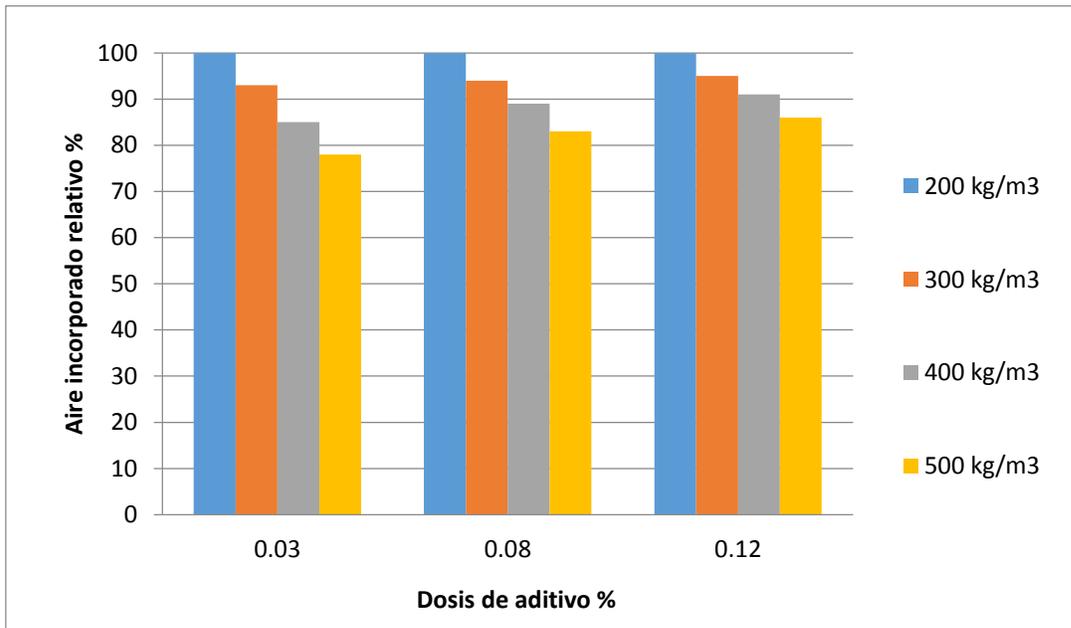
Tabla 14: relación aire incorporado según dosis de cemento.

Dosis de aditivo %	Dosis de cemento kg/m3							
	200		300		400		500	
	Ai	AR	Ai	AR	Ai	AR	Ai	AR
0,03	2,7	100	2,5	93	2,3	85	2,1	78
0,08	3,5	100	3,3	94	3,1	89	2,9	83
0,12	4,4	100	4,2	95	4	91	3,8	86

Ai: aire incorporado medido %

AR: aire incorporado relativo %

Fuente: elaboración propia.

Ilustración 5: relación aire incorporado según dosis de cemento.

Fuente: elaboración propia.

En este grafico es posible apreciar que para una dosis de aditivo, los porcentajes de aire incorporado relativo van disminuyendo a medida que aumenta el contenido de cemento de las mezclas.

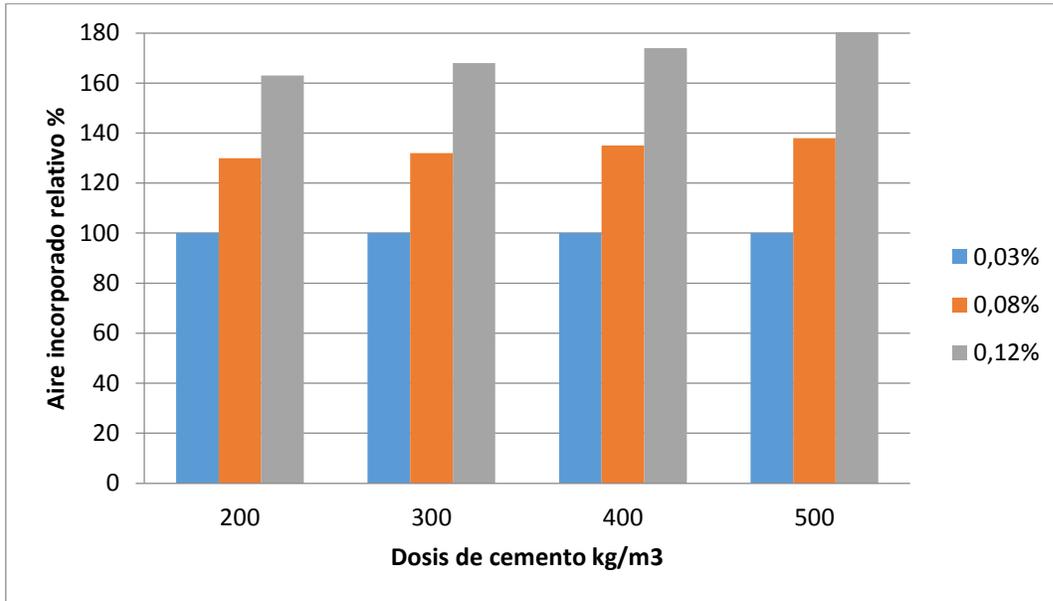
Tabla 15: relación de aire incorporado según dosis de aditivo.

Dosis de cemento Kg/m ³	Dosis de aditivo %					
	0,03		0,08		0,12	
	Ai	AR	Ai	AR	Ai	AR
200	2,7	100	3,5	130	4,4	163
300	2,5	100	3,3	132	4,2	168
400	2,3	100	3,1	135	4	174
500	2,1	100	2,9	138	3,8	181

Ai: aire incorporado medido %

AR: aire incorporado relativo %

Fuente: elaboración propia.

Ilustración 6: relación de aire incorporado según dosis de aditivo.

Fuente: elaboración propia.

Se aprecia el aumento en el aire relativo incorporado para tres coladas de hormigón que contienen una misma dosis de cemento, lo cual indica que cuando hay una mayor cantidad de aditivo el contenido de aire que se logra es mayor siempre que se compare con muestras con igual dosis de cemento.

5.2.2.- Resultados obtenidos en la Etapa II.

Tabla 16: resultados obtenidos en la Etapa II.

Dosis de aditivo %	Tamaño máximo nominal del árido mm					
	12,5		20		40	
	A	Ai	A	Ai	A	Ai
0,03	6	3,9	6	2,6	7	2,3
0,08	9	8,8	11	7,2	10	6,1
0,12	14	10,3	14	10	11	8,9

A: asentamiento cm

Ai: aire incorporado medido %

Fuente: elaboración propia .

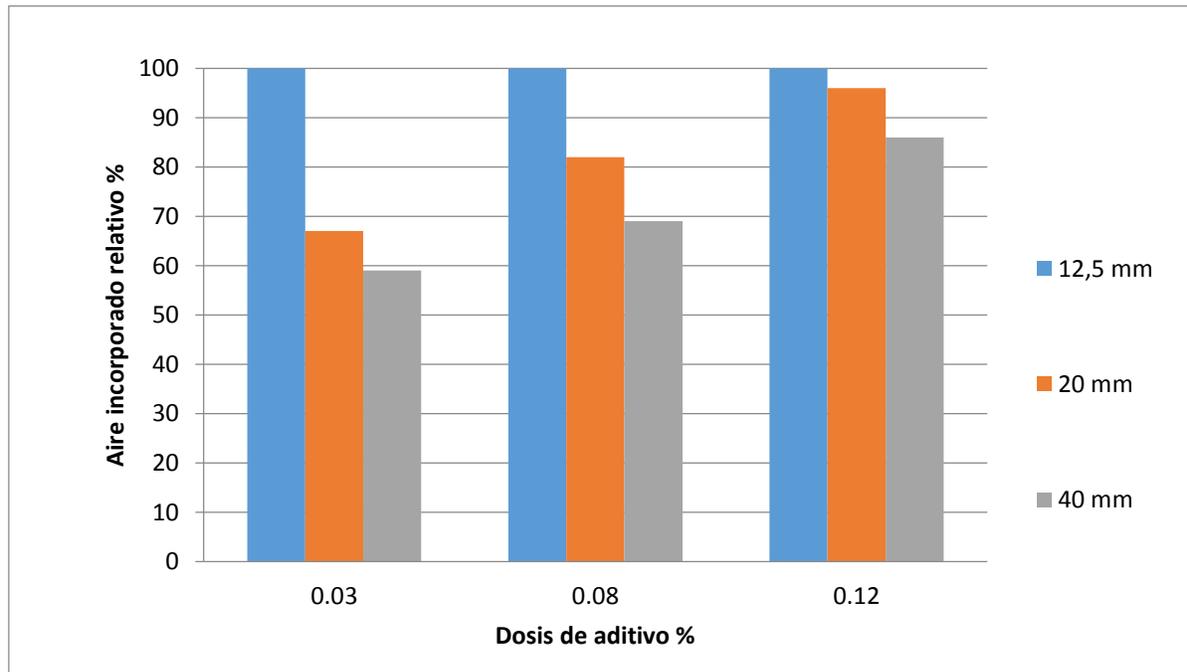
Tabla 17: relación de aire incorporado según tamaño máximo nominal del árido.

Dosis de aditivo %	Tamaño máximo nominal del árido mm					
	12,5		20		40	
	Ai	AR	Ai	AR	Ai	AR
0,03	3,9	100	2,6	67	2,3	59
0,08	8,8	100	7,2	82	6,1	69
0,12	10,3	100	10	96	8,9	86

Ai: aire incorporado medido %

AR: aire incorporado relativo %

Fuente: elaboración propia.

Ilustración 7: relación de aire incorporado según tamaño máximo nominal del árido.

Fuente: elaboración propia.

El porcentaje de aire relativo incorporado disminuye en relación con el aumento de tamaño máximo nominal de árido que se ha incorporado en cada colada.

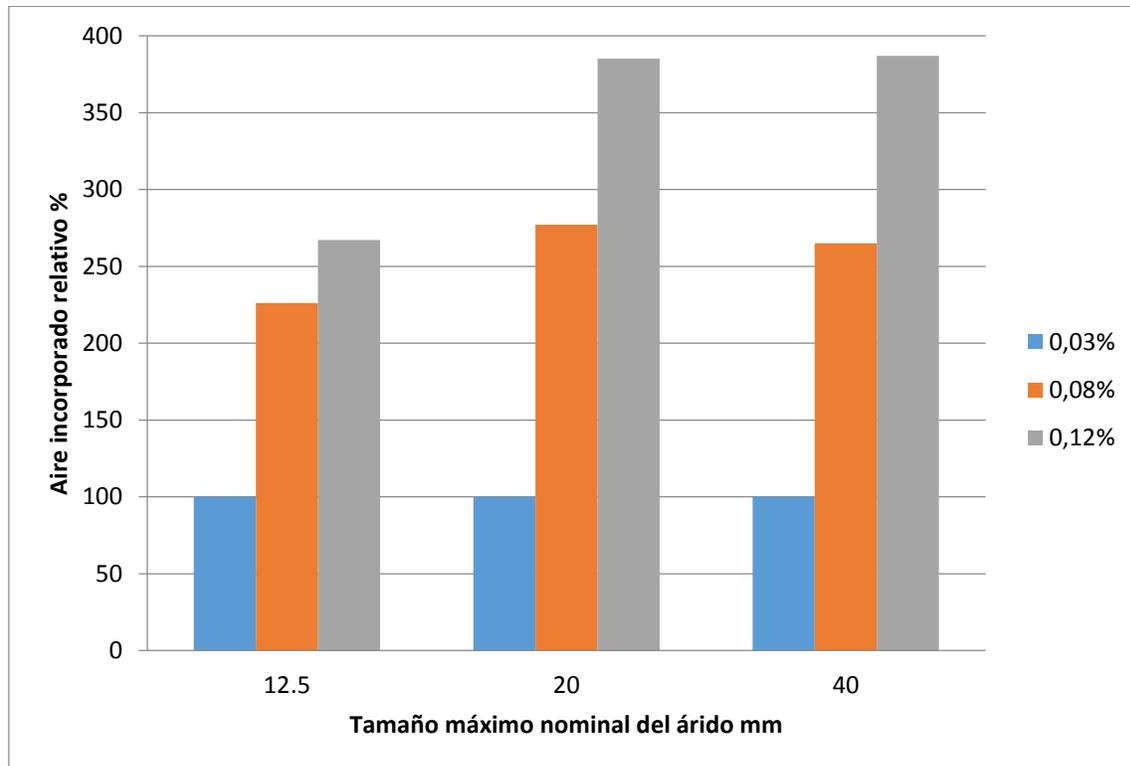
Tabla 18: relación de aire incorporado según dosis de aditivo.

T.M.N.A mm	Dosis de aditivo %					
	0,03		0,08		0,12	
	Ai	AR	Ai	AR	Ai	AR
12,5	3,9	100	8,8	226	10,4	267
20	2,6	100	7,2	277	10	385
40	2,3	100	6,1	265	8,9	387

Ai: aire incorporado medido %

AR: aire incorporado relativo %

Fuente: elaboración propia.

Ilustración 8: relación de aire incorporado según dosis de aditivo.

Fuente: elaboración propia.

El porcentaje de aire incorporado relativo es directamente proporcional a la dosis de aditivo que se utiliza, siempre que el tamaño máximo nominal del árido sea el mismo.

5.2.3.-Resultados resistencias a la compresión en Etapa I.

Tabla 19: resistencias Etapa I.

Dosis de aditivo %	Dosis de cemento kg/m3			
	200	300	400	500
0,03	144 *	165	189	229
0,08	133	206	133	229
0,12	111	190	130	207

* Resistencias a compresión en kgf/cm2

Fuente: Elaboración propia.

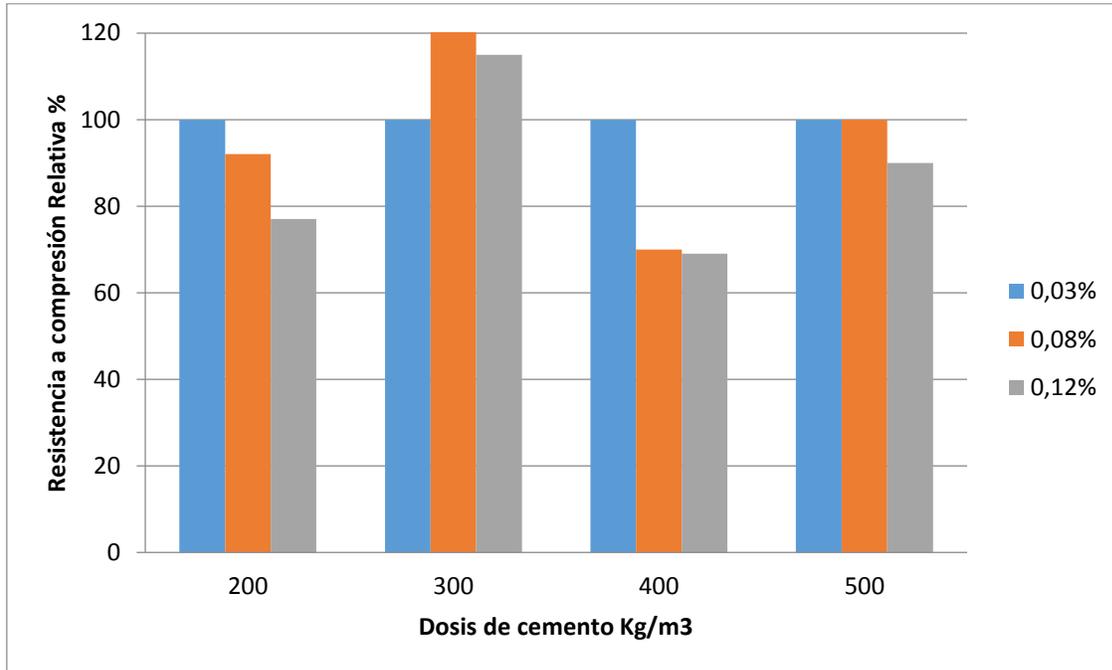
Tabla 20: efecto del aire incorporado sobre la resistencia a compresión.

Dosis de cemento Kg/m3	Dosis de aditivo %								
	0,03			0,08			0,12		
	Ai	R	RR	Ai	R	RR	Ai	R	RR
200	2,7	144	100	3,5	133	92	4,4	111	77
300	2,5	165	100	3,3	206	125	4,2	190	115
400	2,3	189	100	3,1	133	70	4	130	69
500	2,1	229	100	2,9	229	100	3,8	207	90

Ai: Aire incorporado medido %

R: Resistencia a compresión Kgf/cm2

RR: resistencia a compresión relativa %

Ilustración 9: relación del aire incorporado sobre la resistencia a compresión Etapa I.

Fuente: elaboración propia.

La mayor cantidad de los datos presentan una disminución de su resistencia a medida que la dosis de aditivo es mayor, se puede afirmar que el aditivo modifica las capacidades resistentes del hormigón.

5.2.4.-Resultados resistencia a la compresión en Etapa II.

Tabla 21: resistencias Etapa II.

Dosis de aditivo %	Tamaño máximo nominal del árido mm		
	12,5	20	40
0,03	88 *	113	123
0,08	65	82	80
0,12	49	58	77

* Resistencia a compresión en kgf/cm²

Fuente: elaboración propia.

Tabla 22: efecto del aire incorporado sobre la resistencia a compresión.

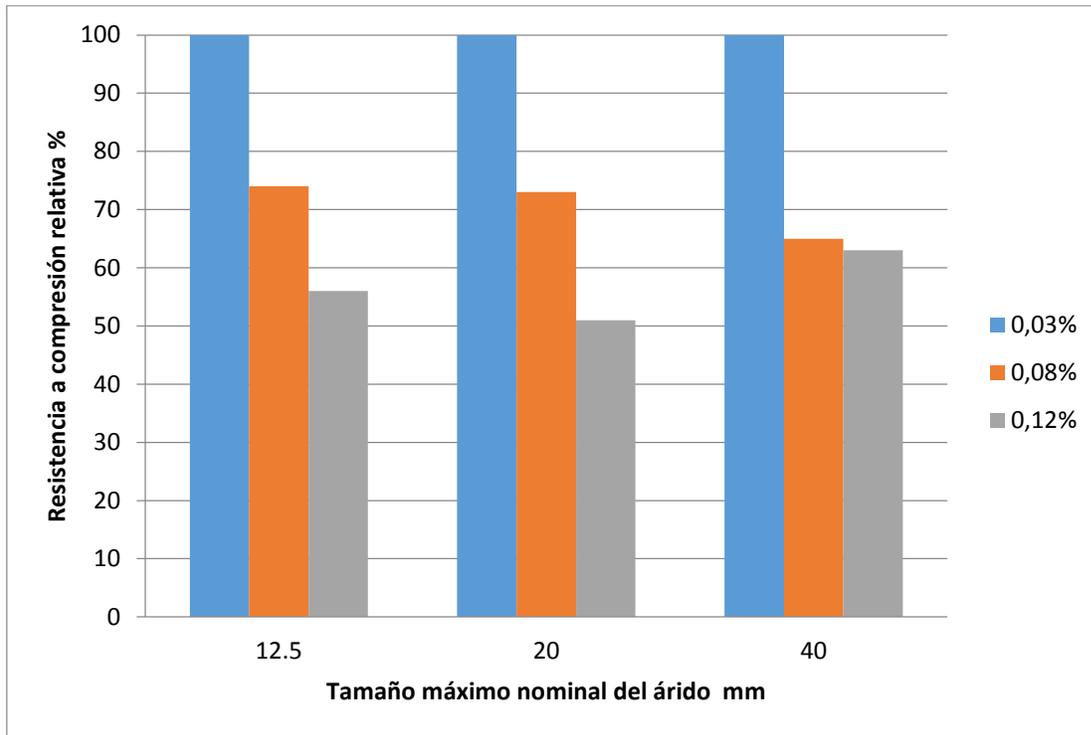
T.M.N.A. mm	Dosis de aditivo %								
	0,03			0,08			0,12		
	Ai	R	RR	Ai	R	RR	Ai	R	RR
12,5	3,9	88	100	8,8	65	74	10,3	49	56
20	2,6	113	100	7,2	82	73	10	58	51
40	2,3	123	100	6,1	80	65	8,9	77	63

Ai: Aire incorporado medido %

R: Resistencia a compresión Kgf/cm²

RR: resistencia a compresión relativa %

Fuente: elaboración propia.

Ilustración 10: relación del aire incorporado sobre la resistencia a compresión Etapa II.

Fuente: elaboración propia.

En la Etapa II se puede ver como las resistencias de cada muestra disminuyen claramente a medida que contienen una mayor dosis de aditivo.

6.- Conclusiones.

Al aumentar la dosis de cemento, para una misma dosis de aditivo incorporador de aire, se verifica una menor incorporación de aire. El efecto se observa influenciado por la dosis de aditivo: a mayor dosis el efecto es menor.

El comportamiento del aditivo incorporador de aire empleado puede considerarse satisfactorio; a medida que aumenta la dosis, se verifica un aumento del aire del aire incorporado, independientemente de la dosis de cemento incorporada.

El tamaño máximo nominal del árido influye en la incorporación de aire: a medida que aumenta, la incorporación de aire es menor, efecto observado para las tres dosis de aditivo empleadas. El efecto es mayor para las menores dosis de aditivo, disminuyendo a medida que aumenta la dosis.

Para todos los tamaños máximos nominales del árido, a medida que aumenta la dosis de aditivo, aumenta el contenido de aire incorporado.

En general se comprueba que a medida que aumenta el contenido de aire incorporado, se verifica una disminución de resistencias del hormigón.

Podemos decir entonces que para la anterior investigación la hipótesis propuesta fue comprobada, es decir, en mezclas de hormigón que contengan un aditivo incorporador de aire se da que:

Un mayor tamaño máximo nominal del árido determina un menor contenido de aire.

Un mayor contenido de cemento implica un menor contenido de aire.

Bibliografía.

Michel Venuat, Aditivos y tratamientos de morteros, Editores Técnicos asociados S.A., Barcelona España, 1972.

Juan Peralta, Comportamiento de un hormigón variando la dosis de aditivo, Valparaíso Chile.

Guía para el empleo de aditivos en el hormigón, instituto mexicano del cemento y del hormigón.

Sergio Ossandón, Influencia del aditivo incorporador de aire en los hormigones H-25 y H-30, Valparaíso Chile.

Carlos Caviates, Verificación del efecto del aire incorporado sobre la impermeabilidad y la resistencia a compresión del hormigón.

Carolina Monsalve, ajuste de la docilidad en hormigones con aditivo incorporador de aire disminuyendo la dosis de agua y determinar la influencia en la resistencia mecánica, Valdivia Chile, 2007.

Gonzalo Gálvez, prospección y caracterización de las escorias de cobre del depósito fundición ventanas. Estudio de factibilidad para su empleo en hormigones, Valparaíso Chile, marzo 2015.

Instituto nacional de normalización, áridos para morteros y hormigones- requisitos generales Nch 163OF2013, Santiago Chile.

Instituto nacional de normalización, áridos para morteros y hormigones- determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las gravas Nch 1117OF77, Santiago Chile.

Instituto nacional de normalización áridos para morteros y hormigones- tamizado y determinación de la granulometría Nch 165OF77, Santiago Chile.

Instituto nacional de normalización, áridos para morteros y hormigones- determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las arenas Nch 1239OF77, Santiago Chile.

Instituto nacional de normalización, hormigón- ensayo de compresión de probetas cubicas y cilíndricas, Nch 1037OF77, Santiago Chile.

Instituto nacional de normalización, hormigón requisitos generales Nch 170OF85, Santiago Chile.

Instituto nacional de normalización, hormigón agua de amasado requisitos Nch 1498OF82, Santiago de Chile.

Instituto nacional de normalización, hormigón y mortero, método de ensayo determinación del contenido de aire Nch 2184OF92, Santiago de Chile.

Instituto nacional de normalización, hormigón extracción de muestras del hormigón Nch 1710F75, Santiago de Chile.