



Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

“Influencia de la forma de los áridos gruesos sobre la resistencia a tracción indirecta del hormigón”

Por

Marcelo López Arancibia

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

Profesor Guía

Sr. Juan Egaña Ramos

Junio 2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer principalmente a toda mi familia que me ha apoyado y acompañado en este proceso desde el primer día. También debo agradecer a mis profesores y compañeros que me ayudaron y acompañaron en este proceso.

Índice General

Agradecimientos	1
Índice de figuras.....	5
Índice de tablas	6
ABSTRACT	8
RESUMEN	9
Capítulo 1 ANTECEDENTES GENERALES.....	10
1.1- Planteamiento Del Problema	10
1.2.- Objetivos.....	11
1.2.1.- Objetivo General.....	11
1.2.2.- Objetivos Específicos	11
1.3.- Hipótesis	11
1.4.- Alcances	11
1.5.- Estructura de la investigación.....	12
Capítulo 2 MARCO TEÓRICO	13
2.1- Generalidades de los áridos	13
2.2.- Características y Propiedades	14
2.2.1.- Propiedades físicas de los áridos	14
2.3.- Influencia de los Áridos en el Hormigón	15
2.3.1.- Influencia de los áridos en las propiedades de él hormigón fresco.....	15
2.3.2.- Influencia de los áridos en las propiedades de él hormigón endurecido	15
2.4.- Forma del árido	16
2.5.- Producción de áridos	18
2.5.1.- Tipos de plantas de extracción de áridos	18
2.5.2.- Maquinarias y Equipos.....	19
2.6.- Elementos y técnicas de él chancado	20
2.6.1.- El Chancador Primario	20
2.6.2.- El Chancador Secundario	20
2.6.3.- El Chancador Terciario.....	20

2.7.- Ensayo para la determinación de él coeficiente volumétrico medio de las gravas	21
2.8. Propiedades del Hormigón -	23
2.9.- Resistencias mecánicas.....	23
2.9.1.- Ensayo de compresión mediante el método de él cubo modificado.....	23
2.9.2.- Ensayo de Resistencia a tracción por flexión	25
2.9.3.- Clasificaciones de hormigón según resistencias	28
2.9.4.- Ensayo Resistencia de flexión por compresión.....	29
2.9.5.- Ensayo de Asentamiento.....	31
Capítulo 3: Diseño experimental	34
3.1.- Generalidades	34
3.2.- Definición de variables.....	35
3.2.1.- Variable independiente.....	35
3.2.2.- Variables dependientes	35
Capítulo 4: Desarrollo experimental	37
4.1.- Generalidades	37
4.2.- Características de los materiales.....	37
4.3.- Caracterización de los áridos	38
4.3.1.- Granulometría árido rodado.....	39
4.3.2.- Granulometría planta A árido chancado	40
4.3.3.- Granulometría planta B	41
4.3.4.- Granulometría planta C	42
4.3.5.- Densidades real, neta y absorción.....	43
4.3.6.- Densidad aparente	45
4.3.7.- Granulometría Arena	47
4.3.8.- Densidad de la arena.....	48
4.4. - Determinación coeficiente volumétrico	49
4.5. – Método de dosificación.....	54
4.5.1. - Determinación de resistencia Media Requerida (fr)	54
4.5.2. - Nivel de confianza.....	54
4.5.3. - Dispersión estimada de resistencias.....	55

4.5.4. - Dispersión estimada de resistencias.....	55
4.5.5. - Determinación de la proporción entre áridos.....	57
Capítulo 5: Desarrollo de la experiencia	60
5.1. – Fabricación del hormigón	60
5.2. – Desmolde y Curado de vigas.....	62
5.3. – Asentamiento.....	63
5.4. – Resultados Flexotracción	65
5.5. – Resultados Compresión.....	67
5.6. – Resultados Hendimiento	69
Capítulo 6: Conclusiones.....	71
6.1. –Asentamiento.....	71
6.2. –Resistencia a flexotracción.....	71
6.3. –Resistencia a compresión	71
6.4. – Resistencia a Hendimiento	72
6.5. –Futuras Investigaciones.....	72
ANEXOS.....	73
Bibliografía.....	77

Índice de figuras

FIGURA N° 2.1.-: ESTRUCTURACIÓN DEL ÁRIDO.....	17
FIGURA N° 2.2.-: EXTRACCIÓN DESDE CAUCE DE RÍO.....	19
FIGURA N° 2.3.-: CHANCADOR PRIMARIO.....	20
FIGURA N° 2.4.-: COEFICIENTE VOLUMÉTRICO DEL ÁRIDO.....	21
FIGURA N° 2.5.-: DISPOSITIVO PARA ENSAYO CUBO MODIFICADO.....	24
FIGURA N° 2.6.-: ENSAYO DE FLEJO TRACCIÓN CON CARGAS A UN TERCIO.	26
FIGURA N° 2.7.-: FLEXOTRACCION CON CARGA A UN TERCIO.....	27
FIGURA N° 3.1.-: MOLDE PRISMÁTICO.....	35
FIGURA N° 3.2.-: CONO DE ABRAMS.....	36
FIGURA N° 3.3.-: ENSAYO DE HENDIMIENTO	36
FIGURA N° 4.1.-: CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA GRAVA 40MM ÁRIDO RODADO.....	39
FIGURA N° 4.2.-: CURVA GRANULOMÉTRICA GRAVA 40MM PLANTA A.....	40
FIGURA N° 4.3.-: CURVA GRANULOMÉTRICA GRAVA PLANTA B	41
FIGURA N° 4.4.-: CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA GRAVA PLANTA C.....	42
FIGURA N° 4.5.-: CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA.....	47
FIGURA N° 5.1.-: BETONERA EJE INCLINADO	61
FIGURA N° 5.2.-: ENSAYO DE DOCILIDAD.....	61
FIGURA N° 5.3.-: LLENADO DE PROBETAS	61
FIGURA N° 5.4.-: CÁMARA DE CURADO	62
FIGURA N° 5.5.-: GRÁFICA VARIACIÓN DEL ASENTAMIENTO	64
FIGURA N° 5.6.-: GRÁFICA RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN.....	66
FIGURA N° 5.7.-: GRÁFICA RESISTENCIA A COMPRESIÓN	68
FIGURA N° 5.8.-: GRÁFICA RESISTENCIA A HENDIMIENTO	70

Índice de tablas

TABLA N° 2.1.-: CLASIFICACIÓN DE GRAVAS SEGÚN TAMAÑOS LÍMITES.....	14
TABLA N° 2.2.-: CLASIFICACIÓN SEGÚN FORMA DE LAS PARTÍCULAS.....	17
TABLA N° 2.3.-: TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYO CVM.....	21
TABLA N° 2.4.-: CÁLCULO DE ESFUERZO DE ROTURA PARA LOS DIFERENTES CASOS	27
TABLA N° 2.5.-: CLASIFICACIÓN DE HORMIGONES POR RESISTENCIA A COMPRESIÓN	28
TABLA N° 2.6.-: CLASIFICACIÓN DE HORMIGONES POR RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN	29
TABLA N° 3.1.-: TIPOS DE GRAVAS PARA REALIZACIÓN DE ENSAYOS.....	34
TABLA N° 4.1.-: GRANULOMETRÍA GRAVA RODADA.	39
TABLA N° 4.2.-: GRANULOMETRÍA PLANTA A ÁRIDO CHANCADO.	40
TABLA N° 4.3.-: GRANULOMETRÍA PLANTA B	41
TABLA N° 4.4.-: GRANULOMETRÍA PLANTA C	42
TABLA N° 4.5.-: DENSIDADES REAL, NETA Y ABSORCIÓN ÁRIDO RODADO	43
TABLA N° 4.6.-: DENSIDADES REAL, NETA Y ABSORCIÓN PLANTA A	43
TABLA N° 4.7.-: DENSIDADES REAL, NETA Y ABSORCIÓN PLANTA B	44
TABLA N° 4.8.-: DENSIDADES REAL, NETA Y ABSORCIÓN PLANTA C	44
TABLA N° 4.9.-: DENSIDAD APARENTE ÁRIDO RODADO.....	45
TABLA N° 4.10.-: DENSIDAD APARENTE PLANTA A.....	45
TABLA N° 4.11.-: DENSIDAD APARENTE PLANTA B	46
TABLA N° 4.12.-: DENSIDAD APARENTE PLANTA C	46
TABLA N° 4.13.-: GRANULOMETRÍA ARENA 5MM.....	47
TABLA N° 4.14.-: DENSIDAD APARENTE SUELTA DE LA ARENA	48
TABLA N° 4.15.-: DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA ARENA.....	48
TABLA N° 4.16.-: DENSIDAD REAL, NETA Y ABSORCIÓN DE LA ARENA.....	48
TABLA N° 4.17.-: DETERMINACIÓN NI PARA ÁRIDO RODADO	49
TABLA N° 4.18.-: DETERMINACIÓN NI PARA PLANTA A.....	50
TABLA N° 4.19.-: DETERMINACIÓN NI PARA PLANTA B	51
TABLA N° 4.20.-: DETERMINACIÓN NI PARA PLANTA C.....	52
TABLA N° 4.21.-: COEFICIENTE VOLUMÉTRICO MEDIO DE GRAVAS UTILIZADAS	53
TABLA N° 4.22.-: DETERMINACIÓN DEL FACTOR ESTADÍSTICO T	54

TABLA N° 4.23.-: ESTIMACIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR, S	55
TABLA N° 4.24.-: RESISTENCIA REQUERIDA POR SERIES DE HORMIGÓN	55
TABLA N° 4.25.-: DOSIS DE CEMENTO ESTIMADA	57
TABLA N° 4.26.-: DOSIS DE AGUA ESTIMADA KG/M3	57
TABLA N° 4.27.-: PORCENTAJE EN PESO DE ARENA CON GRAVA DE TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL ENTRE 40 MM Y 50 MM.....	58
TABLA N° 4.28.-: DOSIFICACIÓN PARA CADA TIPO DE ÁRIDO.....	58
TABLA N° 4.29.-: DOSIFICACIÓN PARA CADA TIPO DE ÁRIDO	59
TABLA N° 5.1.-: ASENTAMIENTO NIVEL H30	63
TABLA N° 5.2.-: ASENTAMIENTO NIVEL H50.....	63
TABLA N° 5.3.- RESULTADOS ENSAYOS A FLEXOTRACCIÓN H30 KGF/CM2:	65
TABLA N° 5.4.- RESULTADOS ENSAYOS A FLEXOTRACCIÓN H50 KGF/CM2:	65
TABLA N° 5.5.- RESULTADOS A COMPRESIÓN H30 KGF/CM2:	67
TABLA N° 5.6.- RESULTADOS A COMPRESIÓN H50 KGF/CM2:	67
TABLA N° 5.7.- RESULTADOS A HENDIMIENTO H30 KGF/CM2:.....	69
TABLA N° 5.8.- RESULTADOS A HENDIMIENTO H50 KGF/CM2:.....	69

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, propone la problemática que se proyecta de la sobreexplotación de recursos naturales. De los recursos sobreexplotados de nuestro país encontramos el árido, que es principalmente importante para el desarrollo del país en cuanto a su infraestructura y se extraen millones de toneladas en un año lo que inevitablemente llevará a la escasez de éste.

Por tanto se hace significativo conocer en detalles las características de los áridos de tal manera de sacar el máximo de provecho a las propiedades de éstos para obtener las mayores ventajas mecánicas en el hormigón y así forzar una eficiencia del recurso.

En este estudio se examina la forma del árido a través del coeficiente volumétrico medio y como ésta influye en la resistencia al hendimiento.

Para el desarrollo de la investigación se analizaron 4 muestras de gravas con distintos coeficientes volumétricos que fueron utilizados para la fabricación de hormigón y que luego fueron ensayados a flexotracción, compresión por cubo modificado y hendimiento.

Para llevar a cabo esta investigación, se confeccionaron hormigones con niveles de resistencia H30 y H50.

Luego de analizar los datos y resultados obtenidos de los ensayos se determinó que sí influye la forma del árido en la resistencia tanto de flexotracción, compresión y hendimiento.

Se puede apreciar que en hormigones con niveles de resistencias mayores, la forma del árido los afecta en mayor magnitud obteniéndose diferencias de hasta un 30%, entre el árido de coeficiente volumétrico de 0,29 correspondiente al chancado, y el árido de coeficiente volumétrico de 0,41 correspondiente al rodado.

Por tanto se extrae del análisis de los distintos coeficientes volumétricos medios, que partículas con menor coeficiente volumétrico entregan una mayor resistencia, sin embargo obtenemos menor trabajabilidad y por otro lado, en áridos con coeficientes volumétricos mayores sus resistencias disminuyen pero a la vez se obtiene mayor trabajabilidad.

ABSTRACT

The present research work proposes the problematic that is projected on the overexploitation of natural resources. Of the overexploited resources of our country, which is important for the development of the country in terms of infrastructure and millions of tons are extracted in a year that inevitably leads to the shortage of this.

Therefore, it can be used to obtain the advantages of the parameters in such a way that the maximum advantage of the properties is obtained.

In this study, the shape of the aggregate is examined through the average volumetric coefficient and how this influence on compression tensile strength.

For the development of the investigation, 4 samples of gravels with different volumetric coefficients that were used for the manufacture of concrete were analyzed and then they were tested with flexotraction, compression by modified cube and traction by compression.

To carry out this research, concretes with levels of resistance H30 and H50 were made.

After analyzing the data and results obtained from the tests it is determined that it influences the shape of the aggregate in the resistance of both flexural, compression and traction compression.

It can be seen that it has resistance levels greater than 30%, between the volumetric coefficient of 0.29 for the avocado, and the aggregate volume coefficient of 0.41 corresponding to the rolling.

Therefore, it is extracted from the analysis of the different average volumetric coefficients, which is reduced with lower volumetric coefficient to give greater strength, however it is obtained by less workability and on the other hand, in aggregates with higher volumetric coefficients its resistances decrease but to the Once you get more workability.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1- Planteamiento Del Problema

El hormigón es un material pétreo artificial que se obtiene de la mezcla, en determinadas proporciones, de pasta y áridos minerales. La pasta se compone de cemento y agua, que al endurecerse une a los áridos formando un conglomerado semejante a una roca debido a la reacción química entre estos componentes. Para lograr las mejores propiedades mecánicas, el hormigón debe contar con un esqueleto pétreo empacado lo más densamente posible, y con la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar los huecos que éste deje (Palbol 1996).

La forma de los áridos triturados depende de la naturaleza de la roca de origen, del tipo de la trituradora, de su relación de reducción, siendo estos factores preponderantes para obtener la forma final de los áridos. Con los cantos rodados se obtienen hormigones trabajables y su mejor forma es cuando se aproxima la forma de ellos a la esfera. Con las trituradas se obtienen hormigones menos trabajables, lo que dificulta la compactación del hormigón y su efecto será tanto menor cuando más se aproximen a un cubo. Los agregados laminares y aciculares producen hormigones de peor calidad donde esas formas repercuten negativamente en las resistencias y en la durabilidad. (Skalny y Mindess, 1998)

La necesidad de contar con un hormigón de calidad hace indispensable conocer en detalle sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos, en consecuencia uno de los problemas que generalmente encuentran los ingenieros y los constructores al emplear el Hormigón, es la poca verificación de las características de los áridos que utilizan, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados.(Cerón et al. 1996).

Por tanto surge la necesidad de examinar e investigar con exactitud cuál es el dominio de la forma del árido en tracción por compresión y cómo estas características pueden jugar un papel positivo en materia económica de manera de ocupar la menor cantidad de cemento posible manteniendo propiedades deseadas.

1.2.- OBJETIVOS

1.2.1.- Objetivo General

Determinar la influencia de la forma de los áridos gruesos sobre la resistencia a tracción indirecta del hormigón

1.2.2.- Objetivos específicos

1.2.2.1.- Evaluar la forma de áridos gruesos en muestras obtenidas de distintas plantas.

1.2.2.2.- Análisis de distintas formas de áridos gruesos y su influencia en la resistencia a tracción indirecta del hormigón.

1.3.- Hipótesis

El empleo de áridos gruesos cuyas partículas son de formas diferentes, determina diferencias en la resistencia a tracción indirecta del hormigón.

1.4.- Alcances

Todos los hormigones serán fabricados y evaluados en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería en Construcción de la Universidad de Valparaíso

El árido a utilizar tiene un tamaño máximo absoluto de 40mm

El cemento a utilizar será portland puzolánico grado corriente

1.5.- Estructura de la investigación

A través de esta investigación se busca determinar la influencia de la forma del árido en la resistencia a tracción indirecta del hormigón la cual se llevará a cabo con la siguiente metodología:

Revisión bibliográfica y búsqueda de información relacionada con el procesamiento de los áridos y su extracción y cómo éstos influyen en su forma final, así como también el origen de ellos.

Para esto se aplicarán las normas pertinentes de hormigones y la norma específica para medir la forma de la partícula del árido la cual es la NCh 1511 –Determinación del coeficiente volumétrico medio de las gravas.

Para esto se extraerán áridos de 3 plantas distintas de tal manera de encontrar variaciones en su forma debido a su tratamiento previo, como el tipo de extracción o chancamiento etc.

Luego el árido extraído se caracterizará y se aplicará la norma para determinar los coeficientes volumétricos de las gravas.

Se calcularán dosificaciones que se mantendrán constantes durante toda la etapa experimental, en donde solo varía el coeficiente volumétrico de la grava y la arena es constante.

Luego se aplicarán los ensayos de flexotracción, compresión por cubo modificado, asentamiento y resistencia de hendimiento.

Los resultados obtenidos serán analizados y por consiguiente se extraerán las conclusiones referentes al tema expuesto.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1.- Generalidades de los áridos

Puesto que el árido ocupa, por lo menos, tres cuartas partes del volumen del hormigón, no es de sorprender que su calidad revista considerable importancia. El árido limita la resistencia del hormigón, ya que un árido débil no puede producir hormigón resistente y, además, afecta mucho la durabilidad y el comportamiento estructural del hormigón (Neville, 2010).

Tiempo atrás se decía que los áridos eran elementos inertes dentro del hormigón ya que éstos no intervenían directamente dentro de las reacciones químicas y físicas, en la actualidad se establece que siendo este material el que mayor porcentaje (aproximadamente el 60% -80% del volumen) de participación tiene dentro de la unidad cubica de hormigón, sus propiedades y características diversas influyen en todas las propiedades. La influencia de los áridos en las propiedades del hormigón tiene efectos importantes, no solo en el acabado y calidad final, sino, también sobre la forma de trabajo y consistencia en estado plástico, así como la durabilidad y resistencia del hormigón endurecido (Cuellar, 2014).

Sin embargo, conviene agregar que aun cuando es posible examinar por sí solas las diversas propiedades del árido, resulta difícil definir un buen árido en términos que no sean “un árido que produce buen hormigón”. Si bien los áridos cuyas propiedades son todas satisfactorias producen buen hormigón, lo opuesto no es necesariamente válido, y por esto es preciso aplicar el criterio de comportamiento del hormigón.

En particular se ha encontrado que el árido puede resultar insatisfactorio en alguna característica y, a pesar de ello, no causar dificultades cuando se usa para hormigón (Neville, 2010).

La forma y textura superficial de los áridos tiene una gran influencia en algunas propiedades del hormigón fresco y endurecido, como la trabajabilidad y las resistencias mecánicas. (Mehta and Monteiro, 1993). Las características de los áridos en cuanto a su forma, textura y gradación influyen en la trabajabilidad, en el acabado, en la exudación y en la segregación del hormigón fresco y afectan la resistencia, la rigidez, la retracción, la densidad, la permeabilidad y durabilidad del hormigón en estado sólido (Quiroga, 2003).

Los áridos son un componente dinámico dentro de la mezcla, aunque la variación en sus características puede ocurrir también durante los procesos de explotación, manejo y transporte. (Yam, 2003).

2.2.- Características y Propiedades

2.2.1.- Propiedades físicas de los áridos

Desde el punto de vista de su tamaño, los áridos se dividen en dos grupos: los áridos finos y los áridos gruesos. Los primeros consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que van desde 5 mm hasta mayores de 60 μm ; los segundos son aquellos cuyas partículas son mayores a 5 mm y hasta 125 mm (Neville, 1999).

Según explica la norma NCh163 las gravas se subclasifican según los tamaños límites de sus partículas en los grados que se establecen en la tabla 2.1:

Tabla 2.1: Clasificación de gravas según tamaños límites

Tamices, mm	% acumulado que pasa para los siguientes grados (definidos por tamaños límites en mm)								
	63-40	50-25	50-5	40-20	40-5	25-5	20-5	12,5-5	10-2,5
80	100	-	*)	-	*)	-	-	-	-
63	90-100	100	100	-	-	-	-	-	-
50	35-70	90-100	90-100	100	100	-	-	-	-
40	0 -15	33- 70	-	90-100	90-100	100	-	-	-
25	-	0 -15	35- 70	20- 55	-	90-100	100	-	-
20	0 - 5	-	-	0- 15	35- 70	-	90-100	100	-
12,5	-	0- 5	10- 30	-	-	25- 60	-	90-100	100
10	-	-	-	0- 5	10- 30	-	20- 55	40- 70	90-100
5	-	-	0- 5	-	0- 5	0- 10	0- 10	0- 15	10- 30
2,5	-	-	-	-	-	0- 5	0- 5	0- 5	0- 10
1,25	-	-	-	-	-	-	-	-	0- 5

Fuente: NCh 163 of 2013

De acuerdo a su peso específico, los áridos se dividen en ligero, normal y pesado; estas diferencias los hacen aptos para producir hormigón con cierta variedad en el peso unitario, el cual es una característica básica del material (Alatorre y Uribe, 1998).

La resistencia del árido no es usualmente el principal factor que afecte la resistencia del hormigón normal, porque la partícula del árido suele ser mucho más fuerte que la matriz y la zona de transición. Otras características del árido, distintas a la resistencia, tales como tamaño, forma, textura de superficie y mineralogía también pueden afectar la resistencia del hormigón en grados distintos (Ezeldin y Aitcin, 1991).

2.3.- Influencia de los Áridos en el Hormigón

Las características de los áridos tienen un efecto significativo en el comportamiento del hormigón en estado fresco y endurecido. Las principales características de los áridos que afectan las propiedades del hormigón son forma y textura, gradación, absorción, mineralogía, resistencia y módulo de elasticidad, tamaño máximo, gravedad específica, resistencia al ataque de sulfatos y dureza. (Andersen y Johansen, 1991).

En la medida en que se determine la influencia de cada una de estas propiedades en el comportamiento del hormigón, será posible realizar diseños de mezclas más satisfactorios.

2.3.1.- Influencia de los áridos en las propiedades del hormigón fresco

La absorción es quizás la propiedad del árido que más influye en la consistencia del hormigón, puesto que las partículas absorben agua directamente en la mezcladora, disminuyendo la manejabilidad de la mezcla.

Si dos tipos de áridos tienen absorción similar, otros factores secundarios serán de importancia en la consistencia de la mezcla, tales como forma, tamaño y graduación; ya que mientras mayor superficie del árido sea necesario cubrir con pasta, se tendrá menos fluidez. Una buena consistencia y manejabilidad de la mezcla se obtiene con la combinación de índices bajos de absorción y un coeficiente bueno de forma, en donde las partículas son aproximadamente redondas (Alaejos y Fernández 1996).

Por otro lado, la granulometría y el Tamaño Máximo del Árido (TMA) para las gravas, afectan las porciones relativas de los áridos, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, la economía y la durabilidad del hormigón.

Cuando los áridos son muy gruesos, pueden producir mezclas rígidas; mientras que aquellos áridos que no poseen una gran deficiencia o exceso de algún tamaño y tienen una curva granulométrica suave, producirán resultados más satisfactorios en las propiedades del hormigón fresco (Kosmatka y Panarese 1992).

2.3.2.-Influencia de los áridos en las propiedades del hormigón endurecido

Recientes investigaciones sobre la influencia del tamaño máximo del árido en la resistencia del hormigón concluyen lo siguiente:

Para hormigones de alta resistencia, mientras mayor sea la resistencia requerida, menor debe ser el tamaño del árido para que la eficiencia del cemento sea mayor.

Para hormigones de resistencia intermedia y baja, mientras mayor sea el tamaño del árido, mayor es la eficiencia del cemento.

En términos de relación agua-cemento, cuando esta es más baja, la diferencia en resistencia del hormigón con tamaños máximos, menores o mayores es más pronunciada (Osorio. 2000).

Una propiedad de los áridos que resulta ser de vital importancia es la densidad, ya que si se emplea un material con una buena densidad (≥ 2.25) el hormigón resultante podría ser mayor o igualmente denso, lo cual tendrá una influencia directa sobre el peso volumétrico y la resistencia a la compresión del mismo.

El volumen que ocupa un árido según su peso es un indicador de las características del mismo en cuanto a ligereza, porosidad y permeabilidad, propiedades que pueden afectar al hormigón en un mayor requerimiento de cemento para una resistencia específica y con esto una influencia directa sobre la economía de la mezcla.

Por otro lado, es conocido que a mayor porosidad mayor fuerza de adhesión, de manera que los áridos gruesos con una mayor densidad y resistencia al desgaste presentan una menor porosidad, y como consecuencia menor adherencia. (Cerón et al. 1996).

La demanda de agua de los áridos determina el contenido de cemento y pasta para una determinada resistencia del hormigón. Debido a que la pasta es la principal fuente de acortamiento y alargamiento en el hormigón, áridos con bajas demandas de agua producirían hormigones menos propensos a la deformación (acortamiento y alargamiento).

Por esto, los áridos que mejor se acomodan en una mezcla producen hormigón con menor inestabilidad volumétrica (Alexander 1996).

2.4.- Forma del árido

La forma afecta la movilidad del árido, que se entiende como la facilidad con que las partículas se mueven unas sobre las otras cuando son manipuladas.

La movilidad del árido afecta la trabajabilidad del hormigón fresco, observándose que, cuando son empleados áridos de baja movilidad, es exigida mayor energía para alcanzar el mismo grado de compactación o hay necesidad de aumentar el porcentaje de árido fino en la mezcla para garantizar adecuada trabajabilidad. (Skalny 1998).

Los áridos se pueden calificar por su forma, en base a su grado de redondez y esfericidad, obteniéndose una medida relativa de carácter comparativo y descriptivo.

La manera como esta característica puede influir en el hormigón fresco es variable, logrando producir, por ejemplo, a mayor grado de redondeamiento menor relación de vacíos; pero por otra parte un menor valor de este parámetro reduce la capacidad de compactación.(Neville 2010) en base a esto se puede encontrar la siguiente clasificación descriptiva en primera instancia.

Tabla 2.2: Clasificación según forma de las partículas

Clasificación	Descripción	Ejemplos
Redondeadas	Totalmente desgastada por el agua o completamente limada por frotamiento	Grava de río o playa; arena del desierto, playa y acarreada por el viento.
Irregular	Irregularidad natural o parcialmente limada por frotamiento y con orillas redondeadas	Otras gravas pedernales del suelo o de excavación.
Escamosa	Material en el cual el espesor es pequeño en relación a las otras dos dimensiones.	Roca laminada
Angular	Posee orillas bien definidas que se forman en la intersección de caras más o menos planas.	Rocas trituradas de todos los tipos; taludes detríticos, escorias trituradas.
Elongadas	Material normalmente angular en el cual la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones.	-----
Escamosa y elongada	Material cuya longitud es considerablemente mayor que el ancho y este considerablemente mayor que el espesor.	-----

Fuente: Norma B.S. 812:1967

Sin embargo estas características (forma y textura) varían dependiendo del lugar de origen y a su vez propiedades como tenacidad o dureza, durabilidad y materiales deletéreos lo hacen también. Por tanto se requiere una clasificación de origen para la zona central de Chile ya que no se encuentran debidamente especificadas.

Otro aspecto de la forma de áridos gruesos es la “esfericidad”, que se define como función de la relación del área superficial de una partícula a su volumen. La esfericidad se relaciona con la estratificación y con el clivaje de la roca original y está influida también por la clase de equipo de trituración, cuando se ha reducido artificialmente el tamaño de las partículas (DeLarrard 1999).

A continuación se presenta de manera gráfica la representación de la forma de los áridos:

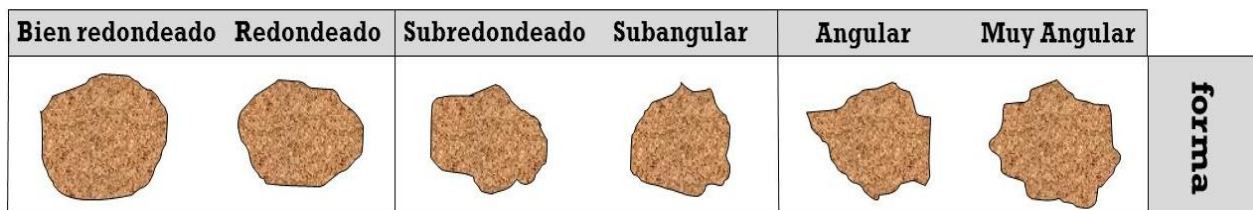


Figura 2.1: Estructuración del árido

Fuente: Elaboración propia

2.5.- Producción de áridos

Los áridos son materiales indispensables para el sector de la construcción. La producción de áridos consiste básicamente en triturar y clasificar piedras según su tamaño. Sin embargo, en la práctica, el proceso es mucho más complejo, pues se deben obtener áridos homogéneos y de tamaños normalizados.

El proceso de tratamiento de los áridos permite obtener productos terminados aptos para el consumo. Se trata de un proceso muy automatizado y tecnológicamente complejo. Sin embargo, en cuanto a su principio básico, puede decirse que es sencillo, pues consiste en triturar el todo-uno procedente de la explotación para obtener tamaños menores y clasificarlos con el fin de almacenar por separado cada granulometría. En todos los casos es necesario lavar el material para mejorar sus características (Yepes, 2013).

2.5.1.- Tipos de plantas de extracción de áridos

El diseño de una planta de extracción de áridos depende del tipo de yacimiento, incidiendo principalmente los parámetros geométricos que lo definen, las características del material a extraer y las distancias involucradas a los puntos de acopio o procesamiento

Los proyectos de extracción presentan diversos matices, de acuerdo a las condiciones geomorfológicas en que se encuentra el yacimiento o reservas de material pétreo y a los niveles tecnológicos empleados para su explotación. Para analizar la extracción de estos materiales, el Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2001) clasifica los proyectos de extracción en tres grupos.

2.5.1.1.- Extracción de áridos desde bancos de sedimentación

En los bancos de sedimentación, también llamados bancos areneros, se extrae el material fino desde un río aprovechando la fuerza de arrastre de este, para esto se construye un banco o canalón donde se hace pasar un flujo de agua, mediante la pérdida de velocidad de las aguas dentro de él se produce la decantación o sedimentación de las partículas de arena. Después de este proceso, se desvía el brazo de agua y con cargador frontal o a mano, se retira la arena que se encuentra decantada en su interior.

2.5.1.2.-Extracción de áridos desde cauce de río

Corresponde a la explotación del material desde cauces y lechos de ríos donde se depositan los áridos debido al arrastre que ocasiona el escurrimiento de agua.

La forma de extracción en cauces es muy similar a la extracción en pozos, pero la gran diferencia radica en que la altura de extracción del material no está limitada por el estrato, sino por las condiciones que puedan provocar procesos erosivos tanto de avance como de retroceso en el río, los cuales pueden poner en peligro la estabilidad de las obras civiles que existan en las cercanías de la extracción.

En la imagen se observa la extracción de árido desde un cauce de río:



Figura 2.2: extracción desde cauce de río
Fuente: Elaboración propia

2.5.1.3.- Extracción de áridos desde pozos secos

La extracción de áridos desde pozos secos o lastreros es la que se realiza en sectores fuera de los cauces, en donde los áridos se encuentran en forma natural, como producto de un relleno aluvial en el valle (material sedimentario).

2.5.2.- Maquinarias y Equipos

Dentro de la maquinaria o equipos a utilizar en la producción de áridos, los más importantes son las chancadoras y las seleccionadoras, además de los equipos y camiones que se utilizarán para la extracción, acopio, alimentación de la planta y traslado de material. A continuación la Cámara Chilena de la Construcción (CChC, 2000) describe algunas características de estos equipos:

2.5.2.1.- Chancadoras

Las chancadoras son máquinas trituradoras. Este tipo de maquinaria se utiliza en plantas de material para moler triturar rocas de gran tamaño, reduciéndolas a la dimensión deseada. Las chancadoras más utilizadas en explotaciones son: la chancadora de mandíbula, chancadora de cono, chancadora de impacto y la chancadora giratoria.

2.5.2.2.-Seleccionadoras

Estos son los equipos utilizados para separar los áridos en sus distintos tamaños. Existen diferentes métodos de selección, dependiendo si son áridos finos o áridos gruesos. Las más utilizadas son: la seleccionadora vibratoria inclinada, la seleccionadora horizontal inclinada y la seleccionadora giratoria.

2.6.- Elementos y técnicas del chancado

El chancado es aquella operación unitaria o grupo de operaciones concernientes a reducir trozos grandes de rocas hasta fragmentos de alrededor de 25 mm. Tapia en 2007 divide distintos tipos de chancadoras:

2.6.1.-El Chancador Primario fractura la alimentación proveniente de la cantera, hasta lograr un producto menor de 8". El equipo puede ser Chancador Giratorio, de Mandíbula o de Rodillo.

2.6.2.-El Chancador Secundario toma el producto del chancador primario y lo reduce, en una pasada hasta 3" o 2" de producto. El equipo puede ser Chancador de Cono, de Rodillo, de Martillo o de Impacto.

2.6.3.-El Chancador Terciario toma el producto del chancador secundario o chancadores intermedios reduciendo el material bajo $\frac{1}{2}$ " o $\frac{3}{8}$ ". El equipo necesario es el mismo utilizado como secundario.

Un proceso de chancado determinado puede realizarse en varias etapas. Por ejemplo, una disminución de 20cm a 1cm puede realizarse en 3 o 5 etapas de chancado. En la figura 2.3 se aprecia la estructura de un chancador primario:

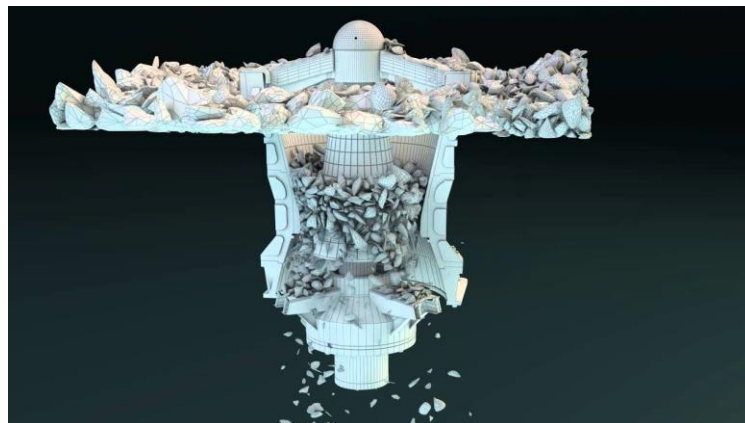
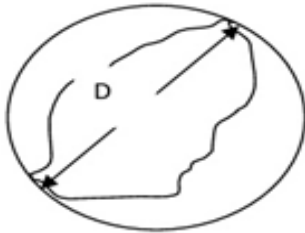


Figura 2.3: Chancador primario
Fuente: Elaboración propia

2.7.-Ensayo para la determinación del coeficiente volumétrico medio de las gravas NCh 1511.Of 80

El coeficiente volumétrico medio proporciona una idea de la regularidad de las partículas. Es una relación entre el volumen de la partícula y el volumen de la esfera circunscrita. El coeficiente volumétrico medio para gravas de densidad real normal consiste en calcular la suma de volúmenes reales de las partículas que constituyen un árido y la suma de los volúmenes de las esferas que inscriben las partículas del árido. Éstas se relacionan y se determina el CVM.



Ecuación 2.1

$$V = \frac{\pi \cdot D^3}{6} \quad (\text{Volumen de una esfera})$$

Figura 2.4: Coeficiente volumétrico del árido
Fuente: Elaboración propia

Procedimiento:

- Se determina y registra el tamaño máximo absoluto del árido (T_a).
- Se reduce por cuarteo el material retenido en N° 4 a las cantidades que especifica la norma como se muestra en la Tabla 2.4:

Tabla 2.3: Tamaño mínimo de la muestra de ensayo CVM

Tamaño máximo absoluto del árido, D_a mm	Tamaño mínimo de la muestra g
80 (\approx ASTM 3")	1 500
40 (\approx ASTM 1 1/2")	500
20 (\approx ASTM 3/4")	250

NOTA - Para tamaños máximos intermedios, los tamaños de muestra pueden interpolarse. Por ejemplo, para $D_a = 50$ mm corresponden 750 g de muestra, y para $D_a = 25$ mm corresponden 300 g.

Fuente: NCh 1511 Of80

Luego proseguir con los siguientes pasos:

- Se acondiciona la muestra al estado SSS de acuerdo a la norma NCh 1117.
- Se coloca en una probeta graduada un volumen de agua que deje la muestra totalmente sumergida.
- Se registra el volumen como V1.
- Se sumerge la muestra en el agua de la probeta, se agita para eliminar burbujas de aire. Se registra este volumen como V2.
- Se determina el volumen de agua desplazada V
 $V = V2 - V1$
- Se miden con el pie de metro la mayor dimensión de cada partícula (N_i) y se registra.
- Se calcula y se registra la sumatoria del cubo de N_i :
 $(\sum N_i^3 = N_1^3 + N_2^3 + N_3^3 + \dots + N_n^3)$.
- Se calcula el CVM de acuerdo a:

$$C = \frac{1,91 V}{\sum N_i^3}$$

en que:

- C = coeficiente volumétrico medio;
- 1,91 = factor correspondiente al valor inverso de $\pi/6$;
- V = suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra, cm^3 ;
- N_i = mayor dimensión de cada partícula de la muestra, cm.

2.8.-Propiedades del Hormigón

El hormigón se define de manera general como una masa de construcción producto de la mezcla de un conglomerante (cemento) con un material pétreo inerte (áridos), mediante la utilización de agua.

El cemento es el componente activo de la mezcla de hormigón; tiene como función principal la de conglomerar los áridos, para formar una pasta homogénea y cohesiva. Proporciona la resistencia mecánica de la pasta de hormigón endurecida.

Si bien los áridos para hormigón de diferentes orígenes, pueden tener una composición granulométrica semejante, muchas veces se comportan de manera bastante diferente debido a la forma de las partículas (Scanduzzi 1986). Es por esto que es prudente analizar este aspecto.

Según Quiroga (2003) las características de los áridos en cuanto a su forma, textura y gradación influyen en la trabajabilidad, en el acabado, en la exudación y en la segregación del hormigón fresco y afectan la resistencia, la rigidez, la retracción, la densidad, la permeabilidad y durabilidad del hormigón en estado sólido.

2.9.-Resistencias mecánicas

La principal característica estructural del hormigón es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las solicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas. Para determinar la resistencia se preparan ensayos mecánicos (ensayos de rotura) sobre probetas de hormigón.

2.9.1.-Ensayo de compresión mediante el método del cubo modificado

Este ensayo se rige por la norma ASTM C 116-90 en la cual se puede extraer un método de prueba para la determinación de la resistencia a compresión del hormigón usando como probetas los trozos de una viga ensayada a flexotracción.

El método se conoce como “Método del cubo modificado”, y fue creado para usarlo en laboratorios como herramienta de estudio, permitiendo determinar valores de resistencia a la compresión en variadas mezclas de hormigón.

Los trozos a utilizar deben cumplir ciertas condiciones para realizar el ensayo tanto sus dimensiones como defectos que pueda tener en las superficies de las caras de las probetas.

2.9.1.1.- Equipos necesarios

Para el ensayo se debe utilizar cualquier tipo de aparato que tenga la capacidad suficiente para suministrar la carga indicada.

Se ajustará a los requerimientos del anexo de la norma MTC E709 “Flexión método de la viga simple cargada en los tercios de la luz” el aparato a utilizar debe estar completamente equipado con dos bloques de carga de acero con superficies endurecidas, el primero se apoyará sobre una rótula que estará en contacto con el plato superior de carga y el segundo un bloque rígido y plano que soportará el plato de carga inferior.

El diámetro del bloque con apoyo esférico tendrá al menos el 75% del ancho de la muestra.

La superficie de apoyo no se debe desviar del plano en más de 0,025 mm por cada 152 mm para un bloque de 152 mm de diámetro o mayores ni más de 0,025 mm en el diámetro de cualquier bloque más pequeño.

Se deben montar sobre las superficies de carga platos de carga maquinados o pulidos con un espesor mayor o igual a 19 mm, que se rigen por los requerimientos de aplanamiento de las superficies de carga de las muestras y los requerimientos de dureza para los bloques de carga de las muestras.

Las caras de contacto deben ser cuadradas y deben tener las mismas dimensiones que el ancho nominal de la viga ensayada. El plato de carga superior debe colocarse directamente sobre el plato inferior.

En la siguiente figura se puede apreciar el dispositivo de ensayo para la realización del ensayo cubo modificado (ASTM C 116-90):

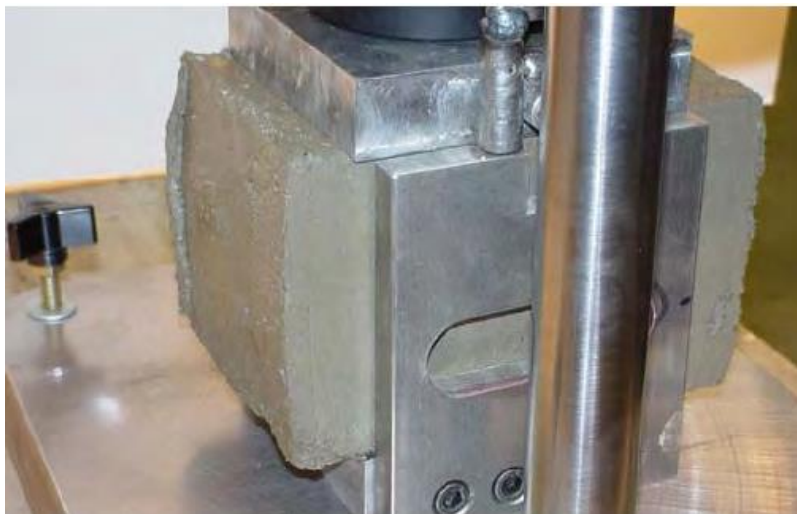


Figura 2.5: Dispositivo para ensayo cubo modificado

Fuente: Elaboración propia

2.9.1.2.- Muestreo

La longitud de la porción rota de las vigas seleccionadas para el ensayo a la compresión debe ser al menos 50 mm más larga que el ancho. Las muestras seleccionadas para el ensayo deben estar libres de grietas, superficies imperfectas u otros defectos.

2.9.1.3.- Procedimiento

La orientación de las muestras debe ser tal que el ancho debe ser igual o menor que la altura. Si la viga tiene una sección transversal cuadrada, las superficies de carga pueden ser los lados de la viga, como originalmente se fundió.

Los platos de carga se centran en el aparato de ensayo de tal forma que el punto de apoyo del bloque con rótula esté alineado con el centro de los platos de carga, luego se aplica la carga a los platos por medio de una cabeza ajustable

La velocidad de carga se aplica de manera continua sin impactos o interrupciones.

El ensayo termina cuando se produzca la falla, luego se registra la carga total señalada por la máquina en el momento de la falla de la muestra ensayada

2.9.1.4.- Calculo

Se determina el área de la sección transversal de la muestra como el promedio de al menos dos medidas de la dimensión B, tanto del plato de carga superior como de la inferior, se determinan con una precisión de 0,25 mm.

Para luego calcular la resistencia a la compresión unitaria, con una precisión de 69 kPa.

2.9.2.-Ensayo de Resistencia a tracción por flexión

Consiste en someter una vigueta de hormigón a un ensayo de flexión mediante dos cargas concentradas (Módulo de Ruptura), según la NCh1038 Of 77.

La resistencia a la tracción se calcula con la expresión de Navier, usando el momento de flexión máximo, excepto si la fractura es fuera del tercio central, en cuyo caso se considera como brazo a la distancia desde la fractura hasta el apoyo más cercano. En los cálculos se considera la tensión máxima en la sección de rotura y no la tensión máxima sobre la vigueta.

2.9.2.1.- Aparatos necesarios

Prensa de ensayo

Debe tener la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de resultados.

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

La exactitud de la prensa debe tener una tolerancia de $\pm 1\%$ de la carga dentro del intervalo utilizable de la escala de lectura

Dispositivos de tracción por flexión

Este dispositivo tiene piezas para apoyo de la probeta y piezas para aplicar la carga

Regla rectificadora

Tendrá una longitud igual o mayor a 500 mm.

Regla graduada

Estará graduada en milímetros y tendrá una longitud igual o mayor a 1 m

2.9.2.2.- Procedimiento

El procedimiento se realiza aplicando dos cargas $P/2$ en los límites del tercio central de la viga. Primero se miden las dimensiones y peso de la probeta, y se deja la superficie de llenado mirando hacia arriba, con pequeñas marcas en las caras de los lugares donde se aplicará la carga y donde se ubicarán los apoyos.

A continuación se puede apreciar de manera gráfica la distribución de fuerzas y luz de ensayo:

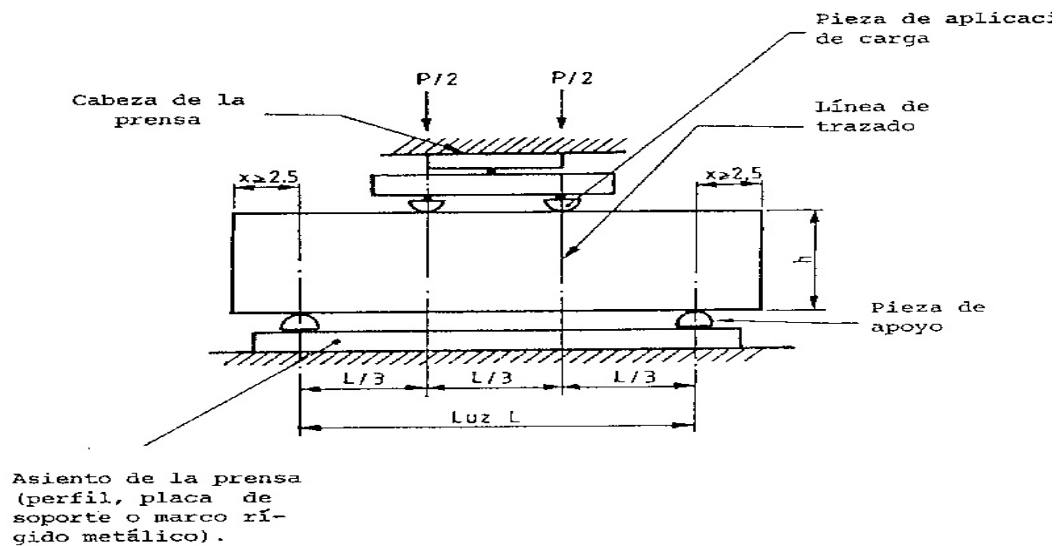


Figura 2.6: Ensayo de flexo tracción con cargas a un tercio
Fuente: Elaboración propia

2.9.2.2.-Ensayo

Luego de aplicar el 5% de la carga prevista para la rotura, se verifica que calce con las marcas realizadas, y que no exista separación entre las piezas de carga y la probeta.

Seguido de ésto, se vuelve a cargar, esta vez de forma continua, sin choques y a velocidad constante. Se debe tener en cuenta que la rotura no debe producirse antes de 300 segundos.

Se registra la carga máxima en N o en kg/f y se miden ancho (b) y alto (h) de la probeta en la región de quiebre. Si la rotura se produce fuera del tercio central de la luz de la probeta, en la zona comprendida entre la línea de aplicación de carga y a una distancia de 0,05 L de esa línea de la probeta entonces se mide la distancia al apoyo más cercano (a). Ver figura 2.7.

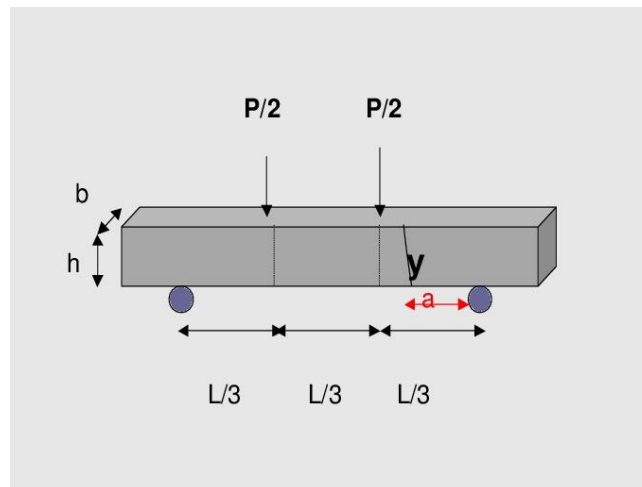


Figura 2.7: Flexo tracción con carga a un tercio
Fuente: Elaboración propia

2.9.2.3.-Resultados

El resultado se expresa mediante fórmulas para el esfuerzo de rotura, que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.4: Cálculo de esfuerzo de rotura para los diferentes casos, según norma.

Carga	Fractura	Tensión de rotura
Dos cargas P/2	En el tercio central	$\frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$
	Fuera del tercio central	$\frac{3 \cdot P \cdot a}{b \cdot h^2}$

Fuente: Elaboración propia

En que:

P = carga máxima aplicada, N (kgf/cm²)

L = luz de ensayo de la probeta, mm (cm)

b = ancho promedio de la probeta en la sección de rotura, mm (cm)

h = altura promedio de la probeta en la sección de rotura, mm (cm)

a = distancia entre la sección de rotura y el apoyo más próximo, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la probeta, cm.

Los resultados se expresan según norma en N/mm² (kg/cm²) aproximando a 0,05 N/mm²

2.9.3.- Clasificaciones de hormigón según resistencias

2.9.3.1.-Clasificación por resistencia a compresión

El hormigón se clasifica con respecto a su resistencia especificada a compresión f_c , medida en probetas cúbicas de 200mm de arista, de acuerdo con las normas NCh1017 y NCh1037, a la edad de 28 días, como se indica en la Tabla 2.6:

Tabla 2.5: Clasificación de hormigones por resistencia a compresión

Grado	Resistencia especificada, f_c	
	MPa	(kgf/cm ²)
H5	5	(50)
H10	10	(100)
H15	15	(150)
H20	20	(200)
H25	25	(250)
H30	30	(300)
H35	35	(350)
H40	40	(400)
H45	45	(450)
H50	50	(500)

Fuente: NCh 170 Of 85

2.9.3.2.-Clasificación por resistencia a flexo tracción

El hormigón se clasifica con respecto a su resistencia especificada a flexo tracción medida en probetas de $d = 150$ mm de acuerdo con NCh1017, y ensayadas de acuerdo con la norma NCh1038, a la edad de 28 días, como se indica en la Tabla 2.7:

Tabla 2.6: Clasificación de hormigones por resistencia a flexo tracción

Grados de flexotracción	Resistencia especificada, f_t	
	MPa	(kgf/cm ²)
HF 3	3,0	(30)
HF 3,5	3,5	(35)
HF 4	4,0	(40)
HF 4,5	4,5	(45)
HF 5	5,0	(50)
HF 5,5	5,5	(55)
HF 6	6,0	(60)

Fuente: NCh 170 Of 85

La exigencia de la resistencia a compresión o de la resistencia a flexo tracción se puede complementar con otros requisitos, tales como al hendimiento, dosis de cemento, docilidad, tamaño máximo nominal del árido, tipo de aditivo, durabilidad, permeabilidad, resistencia a edad distinta a 28 días, etc.

2.9.4 Ensayo Resistencia de tracción por compresión

El ensayo de tracción directa conlleva una gran dificultad en cuanto a su ejecución para caracterizar la resistencia a tracción del hormigón, es por esto que en la actualidad se utilizan ensayos que permiten determinar esa propiedad en forma indirecta.

De estos ensayos se puede encontrar el de tracción por hendimiento que se utiliza ampliamente por su sencilla ejecución debido a que se puede determinar sobre probetas cúbicas o cilíndricas moldeadas con hormigón fresco y de la misma manera se pueden ensayar testigos de hormigón endurecido.

2.9.4.1.-Aparatos necesarios

Prensa de ensayo

La cual debe tener una rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga, y la lectura de resultados.

Placa suplementaria

Si el diámetro o la mayor dimensión de las piezas de carga o de apoyo de la prensa de ensayo es inferior a la longitud del cilindro que es ensayado, se debe emplear una placa suplementaria de acero, de ancho igual o superior a 50mm, largo igual o superior a la longitud del cilindro y espesor igual o superior a 50mm.

Sus superficies serán rectificadas de modo de obtener la planeidad con una tolerancia de +/- 0,25 mm

- Tablillas de apoyo
- Regla graduada
- Balanza

2.9.4.2.-Procedimiento

El ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, aplicando la carga de manera uniforme a lo largo de una línea o generatriz hasta alcanzar la rotura.

En la práctica, la línea sobre la que se aplica la carga tiene un ancho finito que se materializa a través de una lámina de cartón compacto o madera de 3 mm de espesor.

El objetivo de esta lámina es distribuir la carga y evitar efectos locales de concentración de tensiones en posibles puntos de irregularidad geométrica de la probeta y evitando aplastamiento o fisuración múltiple en las zonas de carga.

El ancho de esta lámina, que se conoce como ancho de apoyo o ancho de reparto de la carga, depende de la norma de referencia.

Se aplica aproximadamente un 5% de la carga de rotura prevista y verificar que las líneas de trazado diametral se mantienen verticales y centradas respecto de las tablillas y piezas de apoyo y carga.

Realizada la verificación se debe seguir aplicando la carga en forma continua y sin choques a una velocidad uniforme de 0,05 +/- 0,2 kgf/cm²/seg.

2.9.4.2.-Resultados

Por lo general, el ensayo se realiza bajo control de carga y termina cuando se alcanza la carga máxima de rotura, la que se utiliza para calcular la resistencia a tracción máxima, suponiendo que el esfuerzo de tracción se distribuye uniforme, de esta manera se tiene:

-Ecuación 2.2-

$$T = \frac{2P}{\pi ld}$$

En que:

T = resistencia a tracción por hendimiento, N/mm²;

P = carga máxima aplicada por la máquina de ensayo, N;

l = longitud de la probeta, mm;

d = diámetro de la probeta, mm.

2.9.5.- Ensayo de Asentamiento

La docilidad del hormigón es la facilidad con que una mezcla de áridos, cemento y agua se transforman en hormigón, y la facilidad de ser manejado, transportado, colocado y compactado en los moldes o encofrados con la mínima pérdida de homogeneidad.

La docilidad de un hormigón es función del tipo de árido empleado siendo mayor con áridos rodados que con chancados, a igualdad de otras condiciones.

La docilidad del hormigón se mide con el siguiente método que se lleva a cabo con la norma NCh1019 – Método del asentamiento de cono de Abrams. Este método no determina la docilidad del hormigón fresco cuyo asentamiento sea inferior a 2 cm o mayor que 18 cm.

2.9.5.1.-Aparatos necesarios

Molde

Será un tronco de cono recto abierto por ambos extremos que será metálico de espesor igual o superior a 1,6 mm, con su superficie interna lisa y libre de rebordes y abolladuras. Las dimensiones deben ser las siguientes:

- a) Base superior, será de 100 mm de diámetro; la tolerancia será +/- 1,5 mm.
- b) Base inferior, será de 200 mm de diámetro; la tolerancia será +/- 1,5 mm.
- c) Altura, será de 300 mm; la tolerancia será +/- 1,5 mm.

Pisaderas

Tendrá dos pisaderas en su parte inferior para que el operador pueda afianzar el cono durante el llenado

Asas

Tendrá las asas en el tercio superior de la altura para levantar el molde, después de llenado

Varilla-pisón

Será una barra cilíndrica de acero lisa de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos semiesféricos de 16 mm de diámetro.

Plancha de acero

Será rígida, no absorbente y por lo menos de 400mm – 600 mm.

2.9.5.2.-Procedimiento

Se sostiene firmemente el molde contra la superficie y se llena en tres capas de aproximadamente el mismo volumen (la primera capa se hace de unos 7,5 cm de altura, la segunda se lleva hasta los 15 cm y la tercera hasta la altura total) Cada capa se compacta dando 25 golpes con la varilla con su extremo de compactación.

Capa inferior

Se debe apisonar la capa inferior en toda su profundidad; la mitad de los golpes se deben dar alrededor del perímetro con la varilla ligeramente inclinada; seguir con el resto de los golpes con la varilla en posición vertical

Capas media o superior

Apisonar penetrando hasta la capa subyacente. Durante el apisonado de la última capa, mantener permanentemente un exceso de hormigón sobre el borde superior del molde. Terminada la compactación de la capa superior, enrasar la superficie haciendo rotar sobre ella la varilla-pisón.

Levantamiento del molde

Efectuar la operación inmediatamente después de terminar el llenado del molde. Levantar el molde suavemente en dirección vertical sin perturbar el hormigón en un lapso de 5 s a 10 s.

2.9.5.3.-Resultados

Una vez levantado el molde, medir inmediatamente la disminución de altura del hormigón moldeado respecto al molde, con aproximación de 0,5 cm.

Capítulo 3: Diseño experimental

3.1 Generalidades

El desarrollo experimental se basa en poder determinar cómo influye la forma de los áridos en determinadas propiedades del hormigón, para lo cual en base a distintas combinaciones según su forma serán aplicadas en los ensayos pertinentes para hormigones. A continuación para efectos de esta experiencia se definirán las siguientes formas para gravas:

Tabla 3.1: Tipos de gravas para realización de ensayos

Referencia	Tipo de árido	Procedencia
1	Grava rodada	Deposito fluvial
2	Grava chancada	Planta A
3	Grava chancada	Planta B
4	Grava chancada	Planta C

Fuente: Elaboración propia

A estos distintos tipos de gravas se les calculará el CVM (Coeficiente Volumétrico Medio) y se mezclarán con una arena de planta la cual será constante para los 4 tipos de grava.

El tipo de cemento que se utilizará en este estudio es un portland puzolánico de grado corriente con sus propiedades definidas en la norma NCh148 of 68

Para comenzar la etapa experimental se procederá a la caracterización en cuanto a granulometría y densidades de los áridos según normativa chilena (NCh 165 of 77)

Para realizar esta granulometría se ocuparán tres muestras representativas de arena con un tamaño adecuado para realizar este ensayo, ya que los datos entregados por éste, son muy relevantes para determinar la docilidad, consumo de agua y la resistencia del hormigón endurecido.

Para la dosificación de hormigones se empleará el procedimiento por el método IDIEM, considerando las granulometrías de los áridos.

Se procederá luego a ensayar los hormigones en estado fresco según norma NCh 1019 Of 74- Docilidad, hormigón- Método del asentamiento de cono de Abrams.

Finalmente se procederá a aplicar los siguientes ensayos:

Resistencia a tracción por compresión NCh 1170

Resistencia a flexo tracción NCh 1038

Resistencia a compresión según cubo modificado ASTM C116

3.2.- Definición de variables

3.2.1.- Variable independiente

La variable independiente consistirá entonces en 4 tipos distintos de gravas (distintos tipo de CVM) previamente caracterizadas y con dosificaciones constantes que se evaluarán en hormigones H30 y H50 con un asentamiento de 8 ± 2 cm.

3.2.2.- Variables dependientes

- Asentamiento: es la facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse y consiguientemente para ocupar todos los huecos del molde. Se utilizará el cono de Abrams para medir el asentamiento que deja el cono al retirar el molde con el fin de estudiar la docilidad del hormigón.

- Resistencia a flexotracción: se determina el esfuerzo máximo que las probetas prismáticas (viga) pueden soportar

El molde a utilizar se muestra en la siguiente figura:

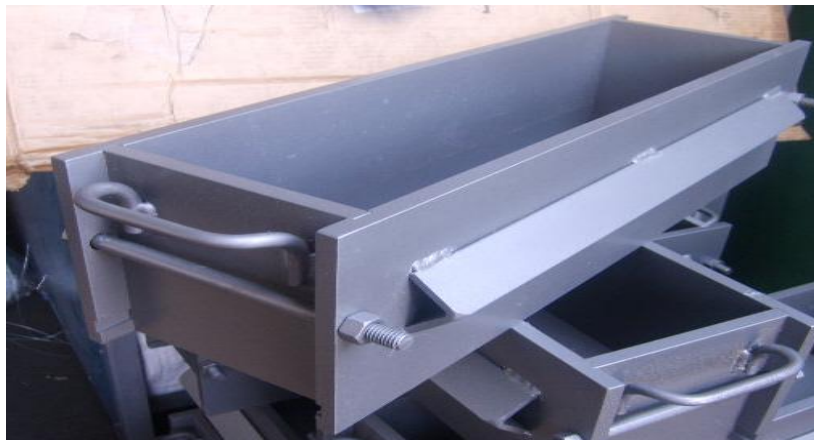


Figura 3.1: Molde prismático

Fuente: Elaboración propia

- Resistencia a compresión: esfuerzo máximo que pueden soportar los trozos de vigas a través del método del cubo modificado que es igual a una carga de aplastamiento. En este ensayo se utilizarán los trozos restantes luego de realizar el ensayo de flexo tracción.

En la siguiente figura se aprecia los elementos a utilizar para el ensayo de asentamiento:

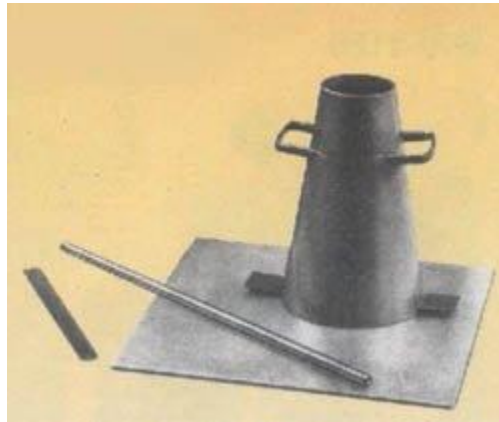


Figura 3.2: Cono de Abrams
Fuente: Elaboración propia

- Resistencia a hendimiento: se determina el esfuerzo máximo tras someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, aplicando la carga de manera uniforme a lo largo de una línea o generatriz hasta alcanzar la rotura.

La siguiente figura muestra el dispositivo que se utiliza para el ensayo de hendimiento:



Figura 3.3: Ensayo de hendimiento
Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4: Desarrollo experimental

4.1.- Generalidades

En esta etapa se basa en el proceso de dosificaciones de cada una de las mezclas de hormigón requeridos en el estudio y todo procedimiento para alcanzar tal objetivo, entre los cuales encontramos:

Caracterización de los materiales: en este proceso se identifican los materiales a emplear para la confección de los hormigones, determinación de los requerimientos exigidos por la norma para cemento y agua y caracterización de los áridos (composición granulométrica, densidad y absorción)

Método de dosificación: determinación de un método de dosificación para realizar el cálculo de proporción de cada material (cemento, agua y áridos) para una cantidad de hormigón a mezclar.

4.2.- Características de los materiales

- a) **Cemento:** el cemento utilizado en este estudio, es portland puzolánico de grado corriente en donde sus requerimientos se encuentran especificados en la norma NCh 148 of 68.
- b) **Agua:** se empleará agua potable de la red de abastecimiento para la población. El agua está normalizada según norma NCh 1498 of 82 de donde se puede desprender los siguientes requerimientos:

Se puede utilizar agua potable siempre y cuando ésta no se contamine antes de su uso

No se puede utilizar agua que contenga azúcares, tales como sacarosa, glucosa o similares

El agua de mar se puede emplear sólo en la confección de hormigones simples de resistencia inferior a 150kg/cm²

- c) **Áridos:** Los áridos utilizados para la fabricación del hormigón fueron adquiridos de 3 plantas distintas las cuales fueron:
 - **Áridos Maggi:** ubicada en Fundo Colmito, Camino Internacional s/n, Concón, V Región de Valparaíso. (árido planta A)
 - **Áridos Bocco:** ubicada en la ruta 60 Ch km 29,335 Tabolango, Limache V Región. (árido planta B y rodado)
 - **Áridos Conovia:** Diego Portales N° 111, Sector, Tabolango, Limache, Región de Valparaíso (árido planta C)

4.3.- Caracterización de los áridos

En el estudio se contempla para la grava un tamaño máximo nominal de 40mm. Para ello se procedió a realizar la correspondiente granulometría según norma NCh 163.

Para realizar esta granulometría se ocuparán tres muestras representativas de árido para realizar el ensayo.

A continuación se pueden apreciar los resultados obtenidos de la granulometría de los áridos extraídos de las 3 plantas antes mencionadas en donde se analizan 4 gravas distintas.

En los resultados a continuación podemos apreciar que todos los puntos se encuentran dentro de las bandas especificadas por la norma NCh 163 y por tanto cumplen con los requerimientos para efectos de la investigación que se lleva a cabo.

4.3.1.- Granulometría árido rodado

Tabla 4.1: Granulometría grava rodada

Tamices	Tamices					Requisito
		Pasa M1	Pasa M2	Pasa M3	Promedio	NCH163Of79
ASTM	Abertura					
	mm	%	%	%	%	% pasa
	50	100	100	100	100	100
1 ½"	40	95	94	96	95	90 - 100
1"	25	20	19	19	19	20 - 55
¾"	20	1	1	1	1	0 - 15
½"	12.5	0	1	0	0	-
3/8"	10	0	0	0	0	0 - 5
N 4	5	0	0	0	0	-

Fuente: Elaboración propia

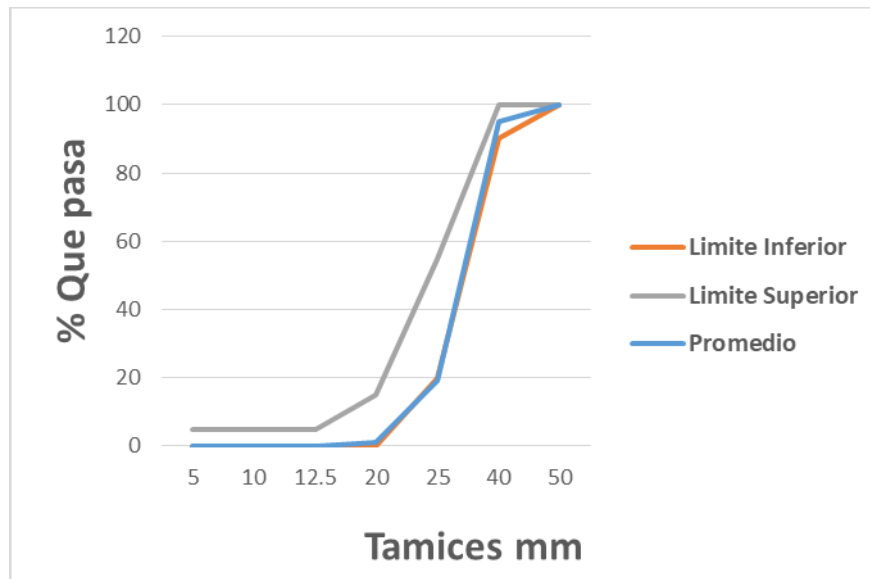


Figura 4.1: Curva granulométrica de la grava 40mm árido rodado

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.- Granulometría planta A árido chancado

Tabla 4.2: Granulometría planta A árido chancado

Tamices	Tamices	Pasa M1	Pasa M2	Pasa M3	Promedio	Requisito
						NCH1630f79
ASTM	Abertura					
	mm	%	%	%	%	% pasa
	50	100	100	100	100	100
1 ½"	40	98	97	98	98	90 - 100
1"	25	54	54	52	53	20 - 55
¾"	20	11	11	10	11	0 - 15
½"	12.5	0	0	0	0	-
3/8"	10	0	0	0	0	0 - 5
N 4	5	0	0	0	0	-

Fuente: Elaboración propia

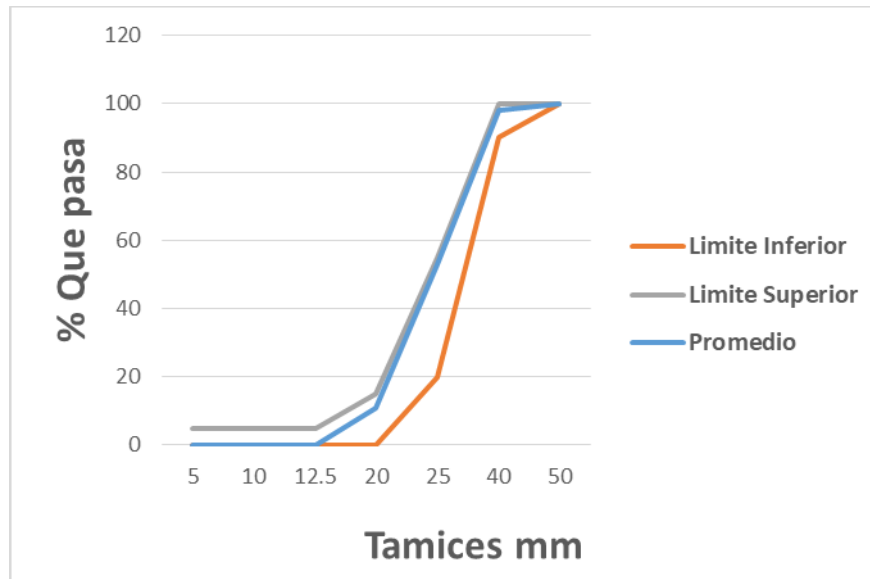


Figura 4.2: Curva Granulométrica Grava 40mm Planta A

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.- Granulometría planta B

Tabla 4.3: Granulometría planta B

Tamices	Tamices	Pasa M1	Pasa M2	Pasa M3	Promedio	Requisito NCH163Of79
ASTM	Abertura					
	mm	%	%	%	%	% pasa
	50	100	100	100	100	100
1 ½"	40	98	98	98	98	90 - 100
1"	25	54	53	54	54	20 - 55
¾"	20	13	11	13	12	0 - 15
½"	12.5	3	3	3	3	-
3/8"	10	2	2	2	2	0 - 5
N 4	5	0	0	0	0	-

Fuente: Elaboración propia

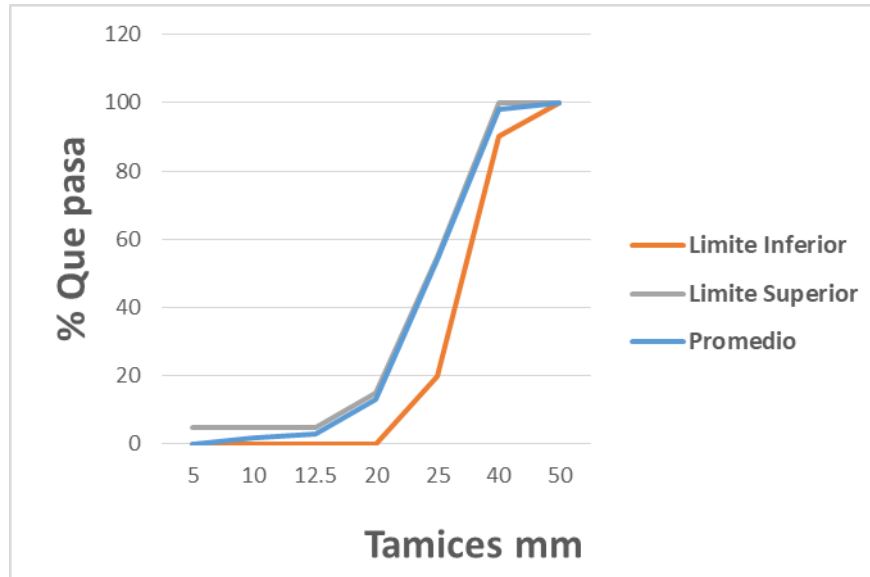


Figura 4.3: Curva Granulométrica Grava planta B

Fuente: Elaboración propia

4.3.4.-Granulometria planta C

Tabla 4.4: Granulometría planta C

Tamices	Tamices					Requisito
		Pasa M1	Pasa M2	Pasa M3	Promedio	NCH163Of79
ASTM	Abertura					
	mm	%	%	%	%	% pasa
	50	100	100	100	100	100
1 ½"	40	97	98	96	97	90 - 100
1"	25	52	55	54	53	20 - 55
¾"	20	14	10	10	11	0 - 15
½"	12.5	0	1	0	0	-
3/8"	10	0	0	0	0	0 - 5
N 4	5	0	0	0	0	-

Fuente: Elaboración propia

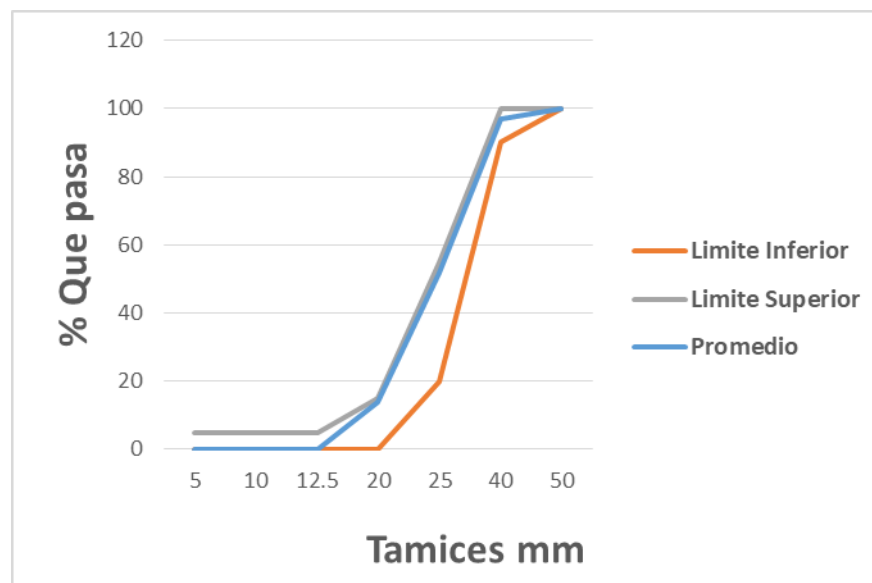


Figura 4.4: Curva granulométrica de la grava planta C

Fuente: Elaboración propia

4.3.5.- Densidades real, neta y absorción

Los ensayo de densidad y absorción de la grava fuerón realizado bajo los parámetros de NCh 1117 of.77; y a continuación se muestran los resultados.

Árido Rodado

Tabla 4.5: Densidades real, neta y absorción árido rodado

GRAVA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
MASA SUMERGIDA (gr) - A	795	790	793
MASA Mss (gr) - B	1330	1331	1330
Ms (gr) - C	1328	1330	1328
ρ NETA (Kg/m ³)	2492	2463	2482
ρ REAL SECA (Kg/m ³)	2482	2458	2473
ρ REAL SSS (Kg/m ³)	2486	2460	2477
% ABSORCIÓN	0,2	0,1	0,2

Fuente: Elaboración propia

Planta A

Tabla 4.6: Densidades real, neta y absorción Planta A

GRAVA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
MASA SUMERGIDA (gr) - A	847	848	847
MASA Mss (gr) - B	1330	1331	1331
Ms (gr) - C	1328	1330	1329
ρ NETA (Kg/m ³)	2761	2759	2757
ρ REAL SECA (Kg/m ³)	2749	2754	2746
ρ REAL SSS (Kg/m ³)	2754	2756	2750
% ABSORCIÓN	0,2	0,1	0,2

Fuente: Elaboración propia

Planta B**Tabla 4.7: Densidades real, neta y absorción Planta B**

GRAVA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
MASA SUMERGIDA (gr) - A	853	850	852
MASA Mss (gr) - B	1330	1331	1331
Ms (gr) - C	1328	1330	1329
ρ NETA (Kg/m ³)	2796	2771	2786
ρ REAL SECA (Kg/m ³)	2784	2765	2775
ρ REAL SSS (Kg/m ³)	2788	2767	2779
% ABSORCIÓN	0,2	0,1	0,2

Fuente: Elaboración propia

Planta C**Tabla 4.8: Densidades real, neta y absorción Planta C**

GRAVA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
MASA SUMERGIDA (gr) - A	795	790	793
MASA Mss (gr) - B	1330	1331	1331
Ms (gr) - C	1328	1330	1329
ρ NETA (Kg/m ³)	2492	2463	2479
ρ REAL SECA (Kg/m ³)	2482	2458	2470
ρ REAL SSS (Kg/m ³)	2486	2460	2474
% ABSORCIÓN	0,2	0,1	0,2

Fuente: Elaboración propia

4.3.6.-Densidad aparente

El ensayo de densidad aparente de la grava fue realizado de acuerdo a lo indicado en NCh 1117 of.77 y a continuación se muestran los resultados.

Árido Rodado

Tabla 4.9: Densidad aparente árido rodado

GRAVA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	12520	12500	12510
D. AP SUELTA (gr/cm ³)	1,709	1,705	1,707
D. AP SUELTA (Kg/m ³)	1709	1705	1707

GRAVA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	12760	12750	12755
D. AP COMPACTADA (gr/cm ³)	1,755	1,753	1,754
D. AP COMPACTADA (Kg/m ³)	1755	1753	1754

Fuente: Elaboración propia

Planta A

Tabla 4.10: Densidad aparente Planta A

GRAVA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	11360	11370	11365
D. AP SUELTA (gr/cm ³)	1,485	1,487	1,486
D. AP SUELTA (Kg/m ³)	1485	1487	1486

GRAVA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	11850	11890	11870
D. AP COMPACTADA (gr/cm ³)	1,579	1,587	1,583
D. AP COMPACTADA (Kg/m ³)	1579	1587	1583

Fuente: Elaboración propia

Planta B**Tabla 4.11: Densidad aparente Planta B**

GRAVA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	11226	11203	11214,5
D. AP SUELTA (gr/cm ³)	1,459	1,454	1,457
D. AP SUELTA (Kg/m ³)	1459	1454	1457

GRAVA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	12285	12182	12233,5
D. AP COMPACTADA (gr/cm ³)	1,663	1,644	1,653
D. AP COMPACTADA (Kg/m ³)	1663	1644	1653

Fuente: Elaboración propia

Planta C**Tabla 4.12: Densidad aparente Planta C**

GRAVA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	11230	11235	11232,5
D. AP SUELTA (gr/cm ³)	1,460	1,460	1,460
D. AP SUELTA (Kg/m ³)	1460	1460	1460

GRAVA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	12314	12340	12327
D. AP COMPACTADA (gr/cm ³)	1,669	1,674	1,672
D. AP COMPACTADA (Kg/m ³)	1669	1674	1672

Fuente: Elaboración propia

4.3.7.- Granulometría arena

La granulometría es la característica más corriente y más relevante de los áridos según la normativa Chilena (NCh 165 of.77), que la define como la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido.

Para realizar esta granulometría se ocuparán tres muestras representativas de arena con un tamaño adecuado para realizar este ensayo.

Tabla 4.13: Granulometría Arena 5mm

TAMIZ		PESO RETENIDO				% RETENIDO		%	%	BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF2013	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	MUESTRA 1 (gr)	MUESTRA 2 (gr)	MUESTRA 3 (gr)	(gramos)	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
3/8	9,5	0	0	0	0	0	0	100		100	100
4	4,75	183	153	193	176	15	15	85	100	95	100
8	2,36	161	163	151	158	14	29	71	80	80	100
16	1,18	186	187	196	190	16	45	55	62	50	85
30	0,6	77	80	67	75	6	51	49	55	25	60
50	0,3	259	269	269	266	23	74	26	29	5	30
100	0,15	292	290	282	288	25	99	1	1	0	10
BAJO 100		15	15	10	13	1	100	0			
								Modulos de finura	3,13	2,57	

Fuente: Elaboración propia

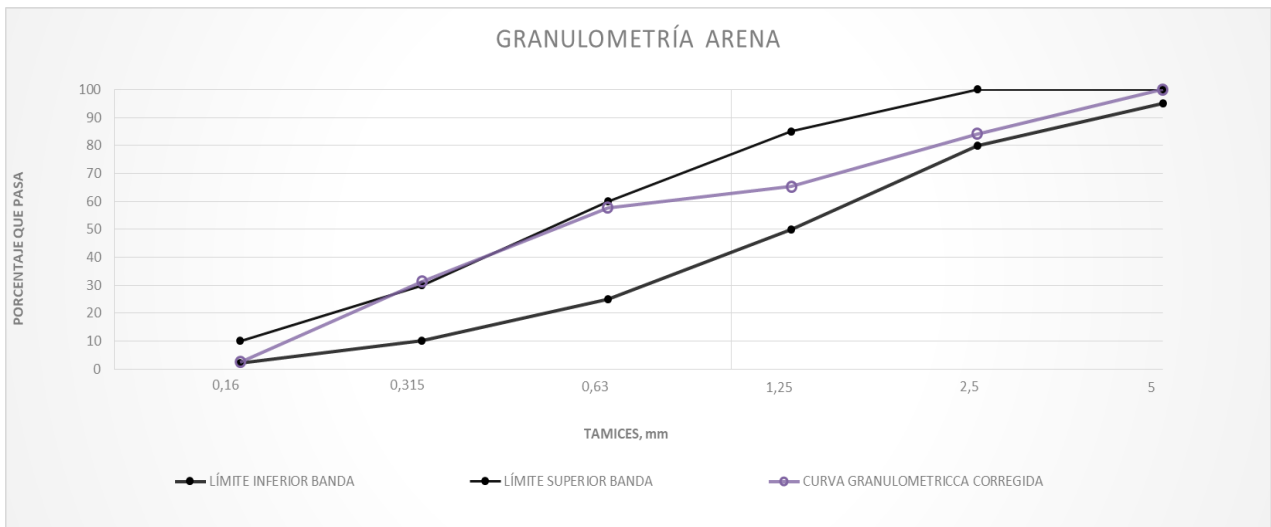


Figura 4.5: Curva granulométrica de la arena

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de arena corregida, tenemos que todos los puntos están dentro de la banda granulométrica lo que es satisfactorio para una posterior dosificación.

De acuerdo al módulo de finura que se obtuvo, se trata de una arena media normal según señala la norma NCh163 of.79.

4.3.8.-Densidades de la arena

Densidades real y neta se calculan según norma NCh 1239 Of 77 “Determinación de las densidades real y neta y de la absorción de agua de las arenas”

Densidad aparente según norma NCh 1116 Of 77 “Determinación densidad aparente”

Tabla 4.14: Densidad aparente suelta de la arena

ARENA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	3090	3078	3084
D. AP SUELTA (gr/cm ³)	1,577	1,565	1,571
D. AP SUELTA (Kg/m ³)	1577	1565	1571

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.15: Densidad aparente compactada de la arena

ARENA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	3200	3227	3213,5
D. AP COMPACTADA (gr/cm ³)	1,687	1,714	1,700
D. AP COMPACTADA (Kg/m ³)	1687	1714	1700

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.16: Densidad real, neta y absorción de la arena

ARENA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
MATRAZ CON AGUA (gr) - Ma	654,8	660	657,4
MATRAZ CON MUESTRA (gr) - Mm	716,3	721	718,65
M _{sss} (gr)	100	100	100
M _s (gr)	98	98	98
ρ NETA (Kg/m ³)	2685	2649	2667
ρ REAL SECA (Kg/m ³)	2545	2513	2529
ρ REAL SSS (Kg/m ³)	2597	2564	2581
% ABSORCIÓN	2,0	2,0	2,0

Fuente: Elaboración propia

4.4.- Determinación Coeficiente volumétrico

El ensayo para la determinación del coeficiente volumétrico medio de las gravas fue realizado de acuerdo a lo indicado en NCh 1511 of. 80 y a continuación se muestran los resultados.

Muestra Ni para árido rodado

Cantidad mínima de ensayo = 1500 gr

Tamaño real de la muestra = 2700 gr

Tabla 4.17: Determinación Ni para árido rodado

Ni (cm)	Ni3 (cm3)	Ni (cm)	Ni3 (cm3)
4,4	85,184	4,7	103,823
5,5	166,375	4,2	74,088
5,6	175,616	5	125
5,1	132,651	3,5	42,875
5,7	185,193	5,1	132,651
4,4	85,184	3,8	54,872
4,1	68,921	3,1	29,791
4,3	79,507	3,2	32,768
5,4	157,464	4,5	91,125
5,6	175,616	3,9	59,319
5,6	175,616	4,3	79,507
5,8	195,112	3,4	39,304
4,9	117,649	3,4	39,304
4,8	110,592	3,7	50,653
4,5	91,125	3	27
5,6	175,616	3	27
4,1	68,921	3,4	39,304
4,9	117,649	3,6	46,656
5	125	3,7	50,653
5,1	132,651	5,2	140,608
4,6	97,336	3,2	32,768
5,6	175,616	3,2	32,768
6	216	4,3	79,507
4,5	91,125	4,5	91,125
4,2	74,088	3,4	39,304
5,1	132,651	3,5	42,875
4,7	103,823	3,4	39,304
4,2	74,088	3,8	54,872
4,3	79,507		1698,824
	3665,876	∑ Ni3 =	5364,7

Fuente: Elaboración propia

Muestra Ni para árido planta A

Cantidad mínima de ensayo: 1500 gr

Tamaño real muestra: 1600 gr

Tabla 4.18: Determinación Ni para planta A

Ni (cm)	Ni3 (cm3)	Ni (cm)	Ni3 (cm3)
3,8	54,872	4,8	110,592
2,8	21,952	3,2	32,768
3,9	59,319	3	27
5,2	140,608	3,3	35,937
4,1	68,921	3,2	32,768
3,8	54,872	2,9	24,389
4,1	68,921	3,8	54,872
3,2	32,768	3,6	46,656
5,5	166,375	2,8	21,952
3,3	35,937	3,3	35,937
3,6	46,656	2,8	21,952
3,4	39,304	4	64
3,3	35,937	4,3	79,507
4,4	85,184	3,6	46,656
5	125	4,1	68,921
5,1	132,651	2,8	21,952
4,3	79,507	2,9	24,389
4,4	85,184	3,5	42,875
4	64	5,6	175,616
3,3	35,937	2,8	21,952
5	125	3,6	46,656
3,7	50,653	4,6	97,336
4	64	3,8	54,872
2,9	24,389	3,4	39,304
4,5	91,125	2,7	19,683
3,7	50,653	3,1	29,791
3,8	54,872	3,3	35,937
4	64	3	27
5,9	205,379	2,4	13,824
5	125	4,2	74,088
4,6	97,336	4,4	85,184
4,1	68,921	3,3	35,937
3	27	2	8
2,2	10,648	3,9	59,319
	2492,881	4	64
			1681,622
		Σ Ni3 =	4174,5

Fuente: Elaboración propia

Muestra Ni para planta B

Cantidad mínima de ensayo = 1500 gr

Tamaño real muestra = 1500 gr

Tabla 4.19: Determinación Ni para planta B

Ni (cm)	Ni3 (cm3)	Ni (cm)	Ni3 (cm3)	Ni (cm)	Ni3 (cm3)	Ni (cm)	Ni3 (cm3)	Ni (cm)	Ni3 (cm3)
4,4	85,18	3,5	42,88	6	216,00	2,8	21,95	3	27,00
5,8	195,11	3,5	42,88	4,2	74,09	2,5	15,63	2	8,00
2,8	21,95	3,3	35,94	2,3	12,17	4,2	74,09	2,2	10,65
3,1	29,79	3,3	35,94	4	64,00	2,7	19,68	2,6	17,58
4	64,00	3,6	46,66	3,5	42,88	3,2	32,77	2,1	9,26
3,7	50,65	3,4	39,30	2,7	19,68	2,7	19,68	2,4	13,82
2,8	21,95	4,3	79,51	4,7	103,82	2,8	21,95	2,3	12,17
3	27,00	2,1	9,26	3,7	50,65	3,8	54,87	2,1	9,26
2	8,00	3,9	59,32	2,5	15,63	2,4	13,82	1,6	4,10
2,5	15,63	5	125,00	2,4	13,82	2,7	19,68	1,7	4,91
4	64,00	4,3	79,51	3,1	29,79	3,3	35,94	1,6	4,10
2,9	24,39	4,2	74,09	3,3	35,94	2,9	24,39	1,7	4,91
3,4	39,30	3,2	32,77	2,8	21,95	3,2	32,77		125,76
2,5	15,63	2,3	12,17	3,5	42,88	2,2	10,65	$\sum Ni3 = 3875,7$	
3,4	39,30	3,4	39,30	4,7	103,82	2,6	17,58		
3,2	32,77	2,5	15,63	2,9	24,39	2,6	17,58		
2,8	21,95	3,9	59,32	2,3	12,17	1,6	4,10		
4,3	79,51	4,3	79,51	3,9	59,32	2,1	9,26		
3,7	50,65	4,2	74,09	3,8	54,87	2,8	21,95		
3	27,00	3,8	54,87	4,5	91,13	2,5	15,63		
3,5	42,88	3,1	29,79	3,3	35,94	1,9	6,86		
3,5	42,88	3	27,00	2,5	15,63	2,9	24,39		
	999,521		1094,707		1140,55		515,21		

Fuente: Elaboración propia

Muestra Ni para planta C

Cantidad mínima de ensayo = 1500 gr

Tamaño real muestra = 1500 gr

Tabla 4.2: Determinación Ni para planta C

Ni (cm)	Ni3 (cm3)	Ni (cm)	Ni3 (cm3)	Ni (cm)	Ni3 (cm3)
5,1	132,651	2,8	21,95	4,10	68,92
4,4	85,184	2,7	19,68	4,90	117,65
4	64	3,3	35,94	5,10	132,65
3,6	46,656	3,9	59,32	4,70	103,82
5,4	157,464	3,6	46,66	3,20	32,77
2,3	12,167	3,4	39,30	4,20	74,09
4,1	68,921	2,9	24,39	3,20	32,77
2,9	24,389	3,4	39,30	3,40	39,30
5,7	185,193	6,7	300,76	4,20	74,09
3,5	42,875	3,7	50,65	2,50	15,63
3,7	50,653	4,8	110,59	3,90	59,32
3,4	39,304	3,6	46,66	3,10	29,79
4,3	79,507	3,1	29,79	3,50	42,88
4,3	79,507	4,4	85,18	2,70	19,68
4,8	110,592	3,7	50,65	2,90	24,39
4,3	79,507	3,9	59,32	2,60	17,58
4,1	68,921	3,5	42,88	2,70	19,68
4	64	3,9	59,32	3,70	50,65
3,7	50,653	4,1	68,92	2,40	13,82
3	27	2,8	21,95		
4,6	97,336	4,4	85,18		
4,2	74,088	4,5	91,13		
	1640,57		1389,53		969,48
				Σ Ni3 =	3999,5

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.-Expresión de resultados

$$C = \frac{1,91 V}{\Sigma N_i^3}$$

en que:

- C = coeficiente volumétrico medio;
- 1,91 = factor correspondiente al valor inverso de $\pi/6$;
- V = suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra, cm^3 ;
- N_i = mayor dimensión de cada partícula de la muestra, cm .

Tabla 4.21: Coeficiente volumétrico medio de gravas utilizadas en ensayo

Tipo de Árido	V	ΣN_i^3	C
Árido rodado	1150	5365	0,41
Planta A	600	4174	0,27
Planta B	600	3876	0,3
Planta C	600	3999,58	0,29

Fuente: Elaboración propia

4.5.- Método de dosificación

La dosificación de hormigones se realizará empleando el procedimiento establecido por el método IDIEM, considerando las granulometrías de los áridos.

En las dosificaciones utilizadas se mantuvieron constantes todos los volúmenes de los materiales utilizados, de manera de obtener hormigones semejantes en cuanto a sus composiciones granulométricas, cantidad de agua y cantidad de cemento, pudiéndose de esa manera poner en evidencia la influencia de la forma del árido grueso, ya que el árido fino se mantuvo constante para todos los casos estudiados.

4.5.1.-Determinación de la resistencia Media Requerida (fr)

Para la obtención de una determinada resistencia específica (fc), se deben considerar ciertos factores estadísticos como otros que se determinan por la experiencia al realizar la dosificación, lo anterior corresponde al nivel de confianza y dispersión estimada (s)

Por tanto considerando estos factores, la resistencia requerida (fr) de dosificación queda en función de la relación:

$$Fr = fc + t * s, \text{ en kg/cm}^2 \quad \text{- ecuación 4.1-}$$

4.5.2.-Nivel de confianza

Se define en términos porcentuales como la probabilidad de tener resultados iguales o mayores a un valor de resistencia especificada.

Tabla 4.22: Determinación del factor estadístico t.

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

Fuente: Método de dosificación IDIEM

4.5.3.-Dispersión estimada de resistencias

La dispersión estimada se obtiene en base a la experiencia previendo las condiciones en las que se fabricará el hormigón en obra.

Tabla 4.23: Estimación de la desviación estándar, S.

Condiciones previstas para ejecución en obra	S estimada, MPa $F_c \leq h15$	S estimada MPa $f_c > H15$
Regulares	8.0	----
Medias	6.0	7.0
Buenas	4.0	5.0
Muy Buenas	3.0	4.0

Fuente: Método de dosificación IDIEM

4.5.4.-Resistencia requerida por series de hormigón

Las series para los niveles de resistencia H30 y H50 están especificadas por su resistencia (f_c), tomando en consideración las tablas anteriores, las resistencias medias requeridas se describen en la siguiente tabla.

Tabla 4.24: Resistencia requerida por series de hormigón

Hormigones Series	F_c Kg/cm ²	Nivel de confianza	t	Condiciones previstas	S Mpa	Fr Kg/cm ²
H30	300	90%	1,282	Muy Buenas	4.0	351
H50	500	90%	1,282	Muy Buenas	4.0	551

Fuente: Método de dosificación IDIEM

Ya obtenido el resultado de f_r para cada nivel de resistencia de hormigón a diseñarse prosigue a determinar la dosis de cemento (kg/m^3) y la cantidad de agua de amasado (kg/m^3).

a) Dosis de cemento y de agua estimadas para cada serie

La dosis de cemento a emplear en el diseño del hormigón está en función de la resistencia media requerida y depende además del grado de cemento utilizado, la determinación de la dosis de cemento se especifica en la siguiente tabla.

Tabla 4.25: Dosis de cemento estimada, en función de la resistencia media requerida f_r

Fr (kgf/cm^2)	Dosis de cemento estimada, kgf/cm^2	
	Corriente	Alta resistencia
80	170	140
100	190	155
120	210	175
140	235	195
160	260	215
180	285	235
200	305	250
220	325	270
240	345	285
260	355	295
280	370	305
300	380	315
320	395	325
340	405	335
360	415	345
380	430	355
400	440	365
420	450	370
440	455	375
460	460	380
480	465	385
500	470	390
520	480	400

Fuente: Método de dosificación IDIEM

La dosis de agua se determina una vez ya establecida la cantidad de cemento a emplear y se registra en la siguiente tabla.

Tabla 4.26: Dosis de agua estimada kg/m³

Dosis de cemento Kg/m ³	Agua de amasado, kg/m ³	
	Dn 40 mm	Dn 20 mm
170	154	160
200	160	165
230	167	175
260	176	184
290	182	190
310	186	192
340	182	190
370	180	188
400	174	184
430	170	178
460	160	168
490	152	160
520	145	152
550	140	145

Fuente: Método de dosificación IDIEM

Aplicando por medio de interpolación en las tablas y utilizando cemento grado corriente y considerando los siguientes aspectos:

La arena se disminuye en un 2% para dosis de cemento entre 300 y 400 kg/m³

La arena se disminuye en un 4% para dosis de cemento entre 400 y 500 kg/m³

Para dosis de cemento mayores que 500 kg/m³, disminuir arena en 6 %.

4.5.5.-Determinación de la proporción entre áridos

Para conseguir un hormigón de docilidad adecuada debe emplearse una proporción equilibrada de arena: si ésta es escasa, resultarán mezclas de aspecto pedregoso y faltas de cohesión; con exceso de arena podrá aumentar la docilidad pero la demanda de agua será mayor. Para esto consideramos las siguientes tablas:

Tabla 4.27: Porcentaje en peso de arena para hormigones confeccionados con grava de tamaño máximo nominal entre 40 mm y 50 mm.

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

Para fabricar los hormigones se optó por emplear 35% de arena (bajo 5 mm).

Puesto que la arena aporta 85% bajo 5 mm y las gravas aportan 0% por ese tamiz, se calcula:

$$85A + 0G = 35 (A + G)$$

$$50A - 35G = 0$$

$$A = 35/(50 + 35) = 0,41; G = 0,59$$

Aplicando las tablas correspondientes del método IDIEM, se tiene:

Tabla 4.28: Dosificación para cada tipo de árido

Material	Dosificación en kg/m ³ de Hormigón en estado seco H30			
	Canto Rodado	Planta A	Planta B	Planta C
Cemento	411	411	411	411
Árido grueso (59%)	1097	1097	1097	1097
Arena (41%)	762	762	762	762
Agua	181	181	181	181
Densidad hormigón kg/m³	2450	2450	2450	2450

Fuente: Elaboración propia

Luego ocupando el mismo procedimiento se obtiene la dosificación para un nivel de resistencia H50

Tabla 4.29: Dosificación para cada tipo de árido

Material	Dosificación en kg/m³ de Hormigón en estado seco H50			
	Canto Rodado	Planta A	Planta B	Planta C
Cemento	496	496	496	496
Árido grueso (66%)	1190	1190	1190	1190
Arena (34%)	613	613	613	613
Agua	151	151	151	151
Densidad hormigón kg/m³	2450	2450	2450	2450

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5: DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

En este capítulo, se detallan los procedimientos y ensayos a realizar en el laboratorio. Los cuales nos darán la base para el posterior análisis de éstos. En esta experiencia, se describirán los materiales a utilizar, los procedimientos y el manejo de implementos necesarios, para llevar a cabo los distintos ensayos.

Los moldes a utilizar para las vigas son probetas prismáticas de 15 x 15 x 55 cm y para los cilindros sus dimensiones son de 15 x 30 cm, estos últimos deben quedar estáticos y se utiliza desmoldante para un descimbre óptimo.

5.1.- Fabricación del hormigón

Con los materiales ya medidos se someten a un proceso de mezcla y homogeneidad, el cual se efectúa por amasado en una betonera, debiendo ser uniforme y dócil. En este caso se utilizó una betonera con eje inclinado como se muestra en la siguiente figura:



Figura 5.1: Betonera eje inclinado

Fuente: elaboración propia

Cuando los áridos se encuentran húmedos, deberán corregirse. Se debe conocer la humedad de los áridos y el esponjamiento de la arena.

-Orden de carguío en hormigonera:

NCh 170:

- Mitad grava y 1/3 agua
- Gravilla, arena y cemento
- Mitad grava resto del agua.

Una vez incorporados todos los materiales se debe revolver como mínimo durante 1 ½ min.

Transcurrido este tiempo, se vierte a la carretilla y se comienza el desarrollo de los ensayos de docilidad (Asentamiento del cono de Abrams) como se muestra en la siguiente figura:



Figura 5.2: Ensayo de docilidad

Fuente: Elaboración propia

Luego de la realización del ensayo de docilidad se comienza con el llenado de las probetas y el posterior vibrado como se muestra en la siguiente figura:



Figura 5.3: Llenado de probetas

Fuente: Elaboración propia

5.2.- Desmolde y Curado de vigas

Luego de 24 horas de haber realizado la colada es posible desmoldar con las herramientas adecuadas para ser llevadas al proceso de curado en las piscinas hasta los 28 días.



Figura 5.4: Cámara de Curado

Fuente: Elaboración Propia

5.3.- Asentamiento

La tabla muestra el registro de las mediciones de los asentamientos con respecto a cada tipo de hormigón efectuado.

Este proceso puntualmente se realizó buscando un asentamiento de nivel 8+/-2.

Asentamiento H30

Tabla 5.1: Asentamiento nivel H30

Tipo de árido	CVM	Asentamiento (cm)
Rodado	0,41	14
Planta A	0,27	5
Planta B	0,30	8
Planta C	0,29	7

Fuente: Elaboración Propia

Asentamiento H50

Tabla 5.2: Asentamiento nivel H50

Tipo de árido	CVM	Resultado Asentamiento de Cono (cm)
Rodado	0,41	12
Planta A	0,27	4
Planta B	0,30	6
Planta C	0,29	6

Fuente: Elaboración Propia

Los datos de las Tablas 5.1 y 5.2, CV (Coeficiente Volumétrico Medio) y promedios de Asentamiento se presentan en el siguiente gráfico para niveles de resistencia H30 y H50:

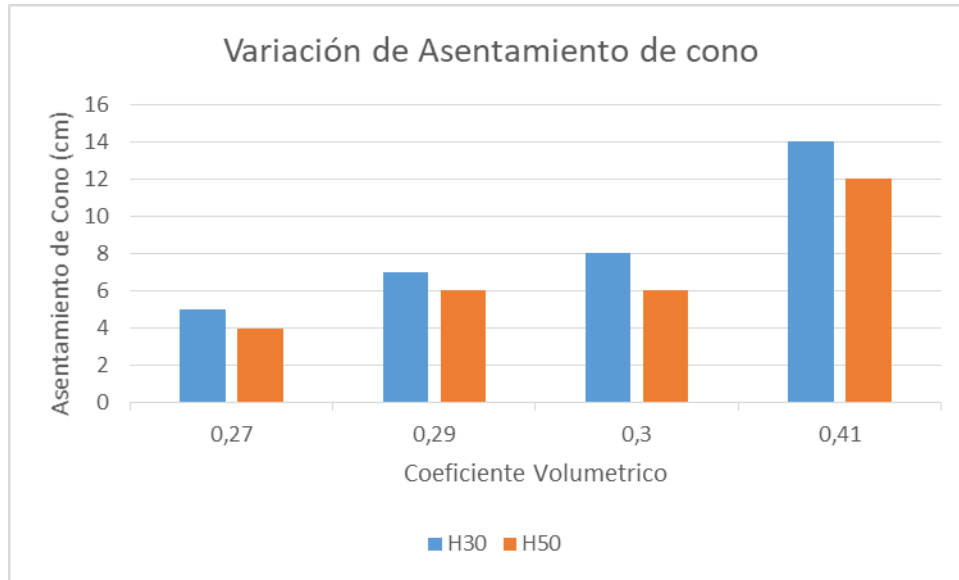


Figura 5.5: Gráfica Variación del Asentamiento

Fuente: Elaboración propia

Este proceso se llevó a cabo buscando un asentamiento de nivel 8 ± 2 cm, sin embargo al ser constante la dosificación para todos los tipos de forma de árido, con el objetivo de dejar en evidencia la influencia de la forma del árido, los resultados de asentamientos obtenidos son coherentes con lo estudiado previamente en la recopilación de información.

Esta información, es que un árido chancado se vuelve menos trabajable debido a su forma debido en gran medida a la manera en que la pasta de cemento cubre el árido ya que un árido con mayores caras tendrá mayor área de superficie que cubrir y por tanto se tiene un asentamiento de cono menor, y por otro lado un árido rodado se vuelve más trabajable con un asentamiento de cono mayor (5 cm y 14 cm respectivamente para nivel H30).

En los áridos con coeficientes volumétricos intermedios obtenemos por consiguiente un asentamiento de cono más cercano a lo buscado (8 cm en planta B y 7 cm en planta C para nivel H30). Esto ocurre de igual manera para el hormigón fabricado para un nivel de resistencia H50.

5.4.- Resultados Flexotracción

Todas las probetas ensayadas se rompieron en el tercio central de la viga los datos obtenidos con el cálculo de los ensayos a flexotracción son los siguientes:

Tabla 5.3: Resultados ensayos a flexotracción H30 Kgf/cm2

Tipo de Árido	CVM	Promedios Flexotracción Kgf/cm2	Resistencia Relativas %	Dispersión V,%
Árido rodado	0,41	34,2	100	5,9
Planta A	0,27	41,6	122	6,5
Planta B	0,3	45,0	131	7,2
Planta C	0,29	38,5	112	7,5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.4: Resultados ensayos a flexotracción H50 Kfg/cm2

Tipo de Árido	CVM	Promedios Flexotracción Kgf/cm2	Resistencia Relativas %	Dispersión V,%
Árido rodado	0,41	51,8	100	1,1
Planta A	0,27	67,7	131	0,6
Planta B	0,3	62,2	120	1,2
Planta C	0,29	61,2	119	1,4

Fuente: Elaboración Propia

Los datos de las Tablas 5.3 y 5.4, CV (Coeficiente Volumétrico Medio) vs Promedios a Flexotracción se presentan en el siguiente gráfico para niveles de resistencia H30 y H50:

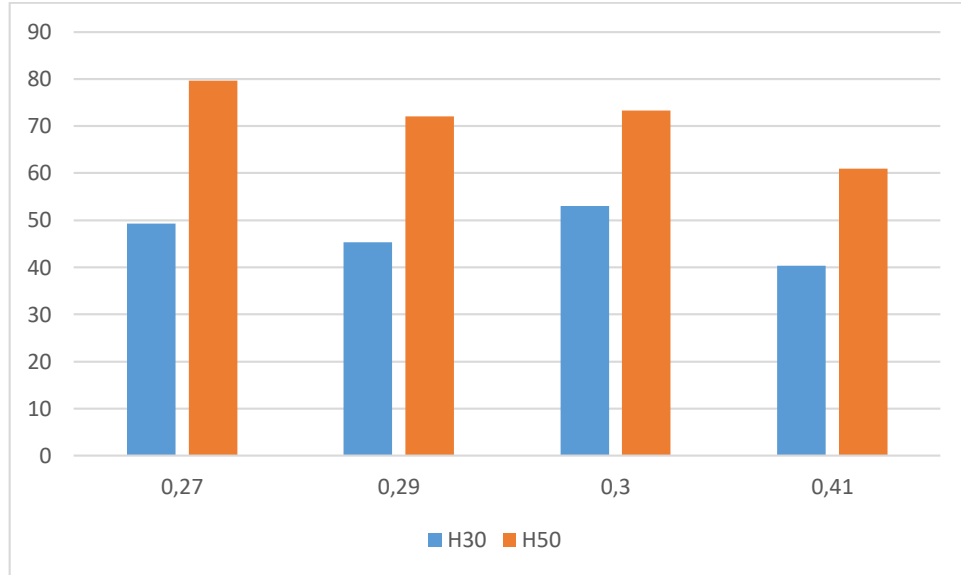


Figura 5.6: Resistencia a Flexotracción

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica nos muestra que para el nivel de resistencia H30 no se ve una tendencia clara, en cuanto tenemos que los coeficientes volumétricos medios que van de 0,29 a 0,30 se ve un aumento de la resistencia (38,5 y 45,0 Kg/cm² respectivamente), y lo que se esperaría debido a la cercanía entre coeficientes sería que la resistencia se mantuviera prácticamente igual.

En tanto al coeficiente volumétrico de 0,27 correspondiente al árido chancado, no presenta grandes diferencias, salvo con el árido rodado el cual frente a todos sus pares, su resistencia fue notoriamente más baja (41,6 Kg/cm²) esto podría esperarse debido a que en flexotracción la adherencia de la pasta con el árido es particularmente importante, pero también su enganche mecánico y por tanto un árido chancado que tiene sus caras más angulosas tendría una mejor trabazón entre partículas.

En cuanto al nivel de resistencia H50 la gráfica nos entrega una tendencia más clara ya que el árido chancado con un coeficiente volumétrico de 0,27 nos entrega la resistencia más alta entre todos los áridos (67,7 Kg/cm²) luego los áridos con coeficientes de 0,29 y 0,3 nos entregan según lo esperado resistencias muy parecidas (61,2 y 62,2 Kg/cm² respectivamente) y finalmente el árido rodado con un coeficiente de 0,41 nos da la menor resistencia (51,8 Kg/cm²).

5.5.- Resultados Compresión

Se ensayaron los trozos resultantes de las vigas ensayadas a flexotracción a través del método del cubo modificado, en la siguiente tabla se presentan los promedios obtenidos de los ensayos.

Tabla 5.5: Resultados a Compresión H30

Tipo de Árido	CVM	Promedios Compresión Kgf/cm2	Resistencia Relativas %	Dispersión V, %
Árido rodado	0,41	282	100	2,7
Planta A	0,27	233	83	6,5
Planta B	0,3	298	106	7,7
Planta C	0,29	284	101	5,5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.6: Resultados a Compresión H50

Tipo de Árido	CVM	Promedios Compresión Kgf/cm2	Resistencia Relativas %	Dispersión V, %
Árido rodado	0,41	364	100	15,2
Planta A	0,27	476	130	2,5
Planta B	0,3	415	114	4,8
Planta C	0,29	403	111	10

Fuente: Elaboración Propia

A medida que aumenta el nivel de resistencia, el efecto de la forma sobre la resistencia es mayor.

Los datos de las Tablas 5.5 y 5.6, CV (Coeficiente Volumétrico Medio) vs Promedios a compresión, se presentan en el siguiente gráfico para niveles de resistencia H30 y H50

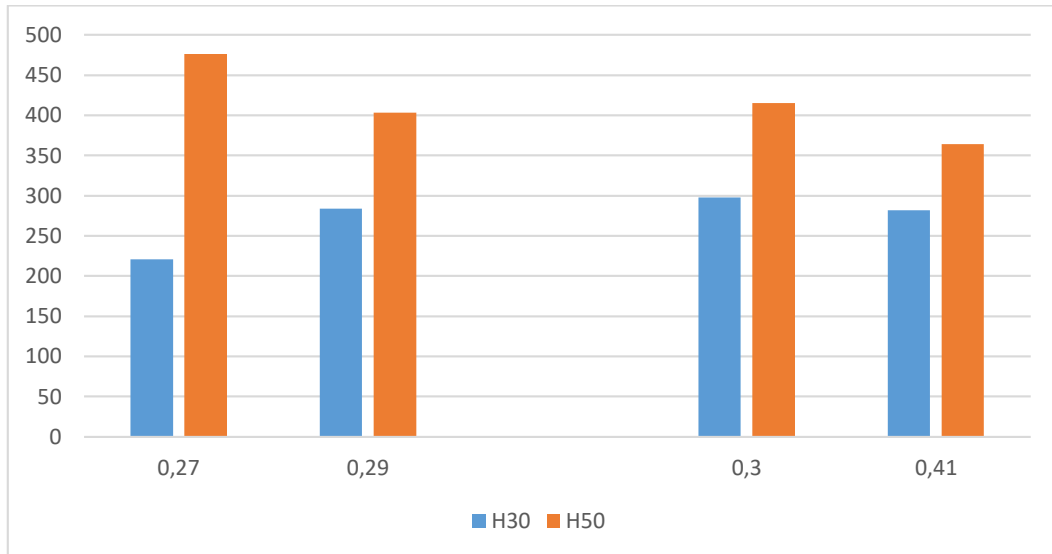


Figura 5.7: Resistencia a Compresión

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica nos muestra que en general para ambos niveles de resistencia (H30 y H50), se encontraron los niveles más bajos en el árido rodado por tanto se puede interpretar que la adherencia cumple un papel importante dentro del desarrollo de la resistencia a compresión.

Sin embargo donde podemos notar una diferencia notoria es en el árido chancado para nivel H50 donde se obtiene una resistencia mucho más elevada que con cualquier otro árido con coeficiente volumétrico mayor.

La gráfica muestra una disminución 74 kg/cm² entre coeficientes de 0,27 a 0,29, en tanto continúa disminuyendo entre coeficientes 0,29 y 0,41 en 39 Kgf/cm².

Por tanto según esta tendencia podemos señalar que a mayor coeficiente volumétrico de los áridos podemos ver que sus resistencias disminuyen.

5.6.-Resultados a Hendimiento

Se ensayaron las probetas cilíndricas según norma NCh 1170.Of 77 a los 28 días de curado, para proceder a los cálculos de resistencia, además se integra el cálculo de desviación (V).

Tabla 5.7: Resultados a Hendimiento H30

Tipo de Árido	CVM	Densidad Aparente Kg/m ³	Promedios Hendimiento Kg/cm ²	Resistencias Relativas %	Dispersión V, %
Árido rodado	0,41	2488	25,8	100	6,7
Planta A	0,27	2394	29,0	112	2,9
Planta B	0,3	2401	35,3	137	8,4
Planta C	0,29	2485	33,4	129	18,3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.8: Resultados a Hendimiento H50

Tipo de Árido	CVM	Densidad Aparente Kg/cm ²	Promedios Hendimiento Kg/cm ²	Resistencias Relativas %	Dispersión V, %
Árido rodado	0,41	2565	43,2	101	10,5
Planta A	0,27	2513	53,5	124	4,1
Planta B	0,3	2383	45,2	105	6,8
Planta C	0,29	2427	43,4	100	0,7

Fuente: Elaboración Propia

Los datos de las Tablas 5.7 y 5.8, CV (Coeficiente Volumétrico Medio) vs Promedios a Hendimiento, se presentan en el siguiente gráfico para niveles de resistencia H30 y H50

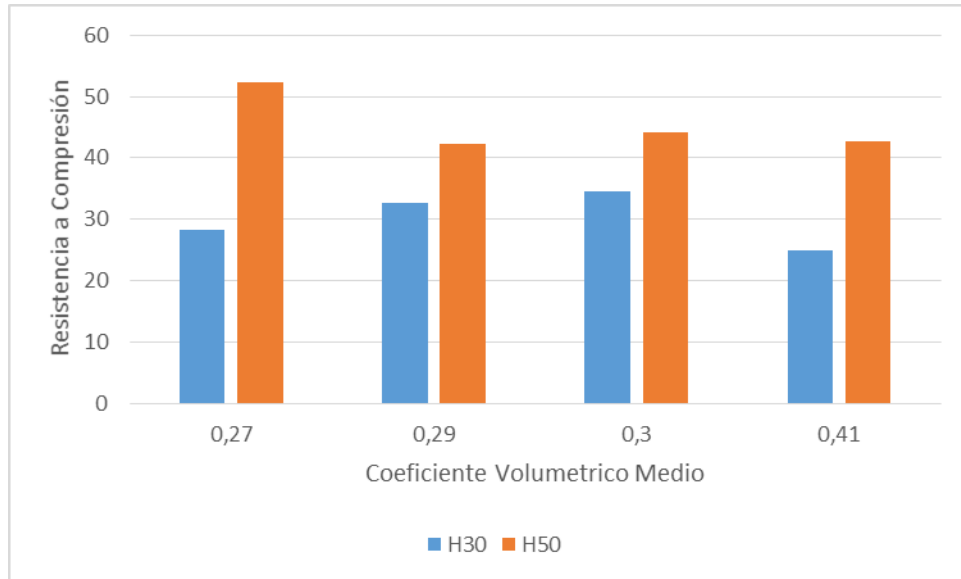


Figura 5.8: Resistencia a Hendimiento

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica nos muestra que para el nivel de resistencia H50 el punto más alto obtenido en cuanto a resistencia se obtiene con el coeficiente volumétrico más bajo (0,27) correspondiente al árido chancado, obteniéndose una resistencia al hendimiento de 53,5 Kgf/cm². Luego el árido proveniente de la planta C, Planta B y árido rodado nos entrega al hendimiento resistencias similares, por tanto se puede desprender que en cuanto al hendimiento la forma del árido no es tan preponderante.

En nivel de resistencia H30 podemos ver que no existe una relación notoria entre el coeficiente volumétrico del árido y la resistencia al hendimiento, por tanto podemos desprender que en cuanto a flexión por tracción la forma del árido no influiría de gran manera. Por de pronto podemos observar que con el árido chancado (0,27) se obtiene una resistencia 29 kgf/cm² para luego aumentar en coeficientes de 0.29 y 0,30 en resistencias de 33,4 y 35,3 kgf/cm² respectivamente, y finalmente un descenso en la resistencia con el árido rodado (0,41), lo que nos confirma que el ensayo no es sensible al tipo de árido utilizado y que no muestra una tendencia clara.

Capítulo 6: Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones de acuerdo a los objetivos planteados en la presente investigación y respecto de las propiedades estudiadas.

6.1.-Asentamiento

Sin lugar a dudas y tomando en cuenta los resultados e información previamente estudiada, la forma del árido influye en el asentamiento del hormigón, esto es, que a mayor coeficiente de forma, el hormigón tiene mayor asentamiento ya que el rodado tiene mayor facilidad de adaptación en una determinada forma específica que un árido chancado. Pero además este último será menos trabajable porque su forma y textura originan una mayor fricción interna, que dificulta su movilidad y compactación. Los resultados mostraron que a igual dosificación con un árido chancado se obtiene una consistencia plástica, mientras que con un canto rodado se obtiene una consistencia fluida.

6.2.- Resistencia a flexotracción

Se puede concluir que es la propiedad más sensible a la forma del árido observándose que a menor coeficiente volumétrico obtenemos una mayor resistencia y el papel del árido en cuanto a su forma se hace aún más importante cuando mayor resistencia se requiere, encontrándose diferencias para el nivel de resistencia H50, de hasta 31% entre la grava rodada respecto de la chancada.

6.3.- Resistencia a compresión

En cuanto a compresión los resultados entregan un comportamiento similar a los resultados de flexotracción a pesar de que estos últimos se manifiestan con mayor intensidad.

Se puede observar que para el nivel de resistencia H30 los resultados no muestran una tendencia clara y no manifestaría una influencia clara de la forma sobre esta propiedad, sin embargo para niveles de resistencia H50, la forma del árido toma un papel importante observándose que el árido chancado obtiene un 30% más de resistencia que el árido de canto rodado.

6.4.- Resistencia a Hendidamiento

La resistencia de tracción por compresión no muestra diferencias significativas entre un tipo de árido u otro y por tanto parece ser la propiedad menos sensible en cuanto a forma del árido. De esto se puede concluir que de los dos ensayos de tracción aplicados, uno de flexión y otro por compresión, en donde mayormente la forma del árido cumple un papel importante es en el esfuerzo de tracción.

6.5.- Futuras Investigaciones

Ampliar el estudio empleando un mayor intervalo de CVM.

Estudiar, de ser posible, el efecto de la forma de partículas de la arena.

ANEXOS

Resultados cubo modificado

RESULTADOS CUBO MODIFICADO				Nota: en azul los promedios		
H30	Identificacion de la probeta	CVM	Resultado carga de compresion MP	Largo	Ancho	Resistencia Kgf/cm2
	Planta C arido mixto 26/9		68	15	15	302
			64	15	15	284
			59	15	15	262
			62	15	15	276
			68	15	15	302
			63	15	15	280
						284
H30	Identificacion de la probeta	CVM	Resultado carga de compresion	Largo	Ancho	Resistencia Kgf/cm2
	Planta A arido chancado 29/9		54	15	15	240
			53	15	15	236
			55	15	15	244
			55	15	15	244
			46	15	15	204
			52	15	15	231
						233
H30	Identificacion de la probeta	CVM	Resultado carga de compresion	Largo	Ancho	Resistencia Kgf/cm2
	Planta B arido mixto 2/10		66	15	15	293
			64	15	15	284
			60	15	15	267
			66	15	15	293
			72	15	15	320
			74	15	15	329
						298
H30	Identificacion de la probeta	CVM	Resultado carga de compresion	Largo	Ancho	Resistencia Kgf/cm2
	Planta arido rodado mixto 2/10		61	15	15	271
			65	15	15	289
			64	15	15	284
			62	15	15	276
			64	15	15	284
			65	15	15	289
						282
H50	Identificacion de la probeta	CVM	Resultado carga de compresion	Largo	Ancho	Resistencia Kgf/cm2
	Planta C arido mixto 4/10	112	98	15	15	436
			95	15	15	422
			78	15	15	347
			98	15	15	436
			95	15	15	422
			80	15	15	356
						403

H50	Identificacion de la probeta	CVM	Resultado carga de compresion	Largo	Ancho	Resistencia Kgf/cm2
	Planta B arido mixto 5/10		102	15	15	453
			94	15	15	418
			92	15	15	409
			90	15	15	400
			90	15	15	400
			92	15	15	409
						415
H50	Identificacion de la probeta	CVM	Resultado carga de compresion	Largo	Ancho	Resistencia Kgf/cm2
	Planta arido rodado 10/10		98	15	15	436
			96	15	15	427
			78	15	15	347
			78	15	15	347
			66	15	15	293
			76	15	15	338
						364
H50	Identificacion de la probeta	CVM	Resultado carga de compresion	Largo	Ancho	Resistencia Kgf/cm2
	Planta arido chancado PA 17/10		106	15	15	471
			110	15	15	489
			104	15	15	462
			110	15	15	489
			108	15	15	480
			104	15	15	462
						476

REFERENCIAS

Alexander, M. G. 1996. Agregados y propiedades de deformación del hormigón. ACI Materials Journal, 93, 569-577.

Cerón. 1996. Propiedades físicas de los agregados pétreos de la ciudad de Mérida. Boletín Académico de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, 27-29.

Cuellar, F. 2014. Caracterización física de agregados pétreos para concretos caso: Vista Hermosa (Mosquera) y mina Cemex (Apulo).

DeLarrard. 1999. " Proporción de mezcla de hormigón: un enfoque científico".

Fernandez Canovas, M. 2005. Hormigón. Madrid: Colegio de ingenieros de Caminos.

Mehta & Monteiro. 1993. Hormigón: estructura, propiedades y materiales. Englewood: Prentice-Hall.

Neville. 2010. Tecnología del concreto. Trillas.

Palbol. 1996. Optimización de los agregados para concreto. Construcción y tecnología, 9 (100), p 30.

Quiroga. 2003. El efecto de las características de agregados sobre el rendimiento del hormigón de cemento portland. Austin: The university of Texas.

Scandiuzzi. 1986. Hormigón y sus propiedades: propiedades y ensayos. Pini.

Skalny, J. y. M., S. 1998. Ciencia de los Materiales del Hormigón V. The American Ceramic Society, 578.

Chan J., Carcaño R., Moreno E. "Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto" Revista Ingeniería 7-2, Argentina 2003.

Alatorre J., Uribe R. 1998. Agregados para concreto: cada cual por su nombre. "Construcción y tecnología," (México), 10 (121), pp. 13-14.

Ezeldin A.S., Aitcin P.C. 1991. Efecto del agregado grueso sobre el comportamiento de hormigones normales y de alta resistencia. "Cemento y agregados de concreto" (U.S.A.), 13 (2), pp. 121-124.

Andersen P.J y Johansen V. (1991), "Manual de empaque, una guía para determinar la gradación óptima de los agregados de hormigón" Informe al Programa de investigación estratégica de carreteras, SHRP C-206, EE. UU., GMIC No. 901001

Alaejos P., Fernández M. (1996). Hormigón de alto rendimiento: requisitos para materiales constituyentes y mezcla dosificando "ACI Materials journal" (U.S.A.), 93 (3), p. 236.

Kosmatka S., Panarese W. (1992). "Diseño y control de mezclas de concreto," IMCYC, México, 1992, pp. 32-34.

NCh163 of. 79: Árido para mortero y hormigón.

NCh165 of. 77: Árido para mortero y hormigón – Tamizado y determinación de la granulometría.

NCh170 of 85: Hormigón – Requisitos generales.

NCh1511.Of80: Áridos para morteros y hormigones - Determinación del coeficiente volumétrico medio de las gravas.

NCh1170.Of77: Hormigón - Ensayo de tracción por hendimiento.

NCh1019.EOf74: Construcción - Hormigón - Determinación de la docilidad -. Método del asentamiento del cono de Abrams.

NCh1038.Of77: Hormigón - Ensayo de tracción por flexión.

ASTM C116-90: Ensayo de compresión a través del cubo modificado.

Norma B.S. 812:1967.