

**udp** FACULTAD  
DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN OBRAS CIVILES**

**CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS DE LA REGIÓN  
METROPOLITANA EN BASE A SUS PROPIEDADES FÍSICAS  
Y SU IMPLICANCIA EN LA TRABAJABILIDAD DEL  
HORMIGÓN**

**FELIPE ANDRÉS BARRAZA CHÁVEZ**

Profesor Supervisor: **YURI TOMICIC CALVO**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN CONSTRUCCIÓN  
SANTIAGO - CHILE  
AGOSTO, 2013

**udp** FACULTAD  
DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN OBRAS CIVILES**

**CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS DE LA REGIÓN  
METROPOLITANA EN BASE A SUS PROPIEDADES FÍSICAS  
Y SU IMPLICANCIA EN LA TRABAJABILIDAD DEL  
HORMIGÓN**

**FELIPE ANDRÉS BARRAZA CHÁVEZ**

**PROFESOR GUÍA: YURI TOMICIC**  
**PROFESOR EXAMINADOR: PABLO GONZÁLEZ**  
**PROFESOR DECOMISIÓN: MARIO RODRÍGUEZ**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN CONSTRUCCIÓN  
SANTIAGO - CHILE  
AGOSTO, 2013

*A mis padres y a Nicole, por todo el apoyo en estos años.*

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT .....	ix
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Título del tema.....	1
1.2. Motivación.....	1
1.3. Introducción.....	2
1.4. Meta de la memoria .....	3
1.5. Objetivos específicos de la memoria .....	3
<b>2. PANORAMA ACTUAL DE LA REGIÓN METROPOLITANA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Industria del árido .....	4
2.2. Medio geográfico natural de la región.....	4
<b>3. ZONAS DE EXTRACCIÓN ACTUALES .....</b>	<b>5</b>
3.1. Tipologías de extracción.....	5
3.2. Extracción de áridos desde cause de ríos.....	8
3.3. Extracción de áridos desde pozos secos.....	9
3.3.1 Sector Vicuña Mackena, Puente Alto .....	9
3.3.2 Sector Lonquén, Calera de Tango.....	9
3.3.3 Sector Rinconada de Maipú .....	10

3.3.4	Sector Lepanto, San Bernardo .....	10
3.4.	Extracción de áridos desde canteras .....	10
<b>4.</b>	<b>PLANTAS SELECCIONADAS.....</b>	<b>11</b>
4.1.	Empresas de extracción de áridos .....	11
<b>5.</b>	<b>ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS SEGÚN NCh 163. Of 79.....</b>	<b>13</b>
5.1.	Densidad aparente .....	13
5.2.	Densidad real, neta y absorción de agua en Gravas .....	13
5.3.	Densidad real, neta y absorción de agua en Arenas .....	14
5.4.	Determinación del coeficiente volumétrico medio de las gravas .....	14
5.5.	Determinación del coeficiente volumétrico medio de las arenas .....	15
5.6.	Determinación del desgaste de las gravas (Método de Los Ángeles).....	17
5.7.	Determinación del índice de lajas y agujas.....	17
5.8.	Determinación de la desintegración por el método de los sulfatos.....	18
<b>6.</b>	<b>ENSAYOS A LOS HORMIGONES DE PRUEBA.....</b>	<b>19</b>
6.1.	Diseño de mezclas .....	19
6.2.	Ensayos complementarios de trabajabilidad a hormigón en estado fresco.....	21
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS .....</b>	<b>22</b>
7.1.	Determinación de la densidad aparente en gravas .....	23
7.1.1.	Determinación de la densidad aparente compactada en gravas .....	24
7.1.2.	Determinación de la densidad aparente suelta en gravas.....	24

7.2.	Determinación de la densidad aparente en arenas .....	25
7.1.1.	Determinación de la densidad aparente compactada en arenas .....	26
7.1.2.	Determinación de la densidad aparente suelta en arenas .....	26
7.3.	Determinación de la densidad real y neta, y la absorción de agua en gravas .....	28
7.4.	Determinación de la densidad real y neta, y la absorción de agua en arenas .....	30
7.5.	Determinación del coeficiente de forma de las gravas .....	34
7.6.	Determinación del coeficiente de forma de las arenas.....	35
<b>8.</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS EN LA DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES.....</b>	<b>37</b>
8.1.	Determinación de la proporción de áridos por muestra de hormigón.....	37
8.2.	Determinación de la dosificación de hormigón .....	38
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>10.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>45</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>47</b>
	Anexo 1: Planificación inicial de la memoria.....	47
	Anexo 2: Ajustes de curva y proporciones de áridos.....	48
	Anexo 3: Dosificaciones de hormigones .....	58

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.3.1 “Normas que regulan la calidad de los áridos” .....	11
Tabla 3.2.1 “Producción anual de plantas de extracción del río Maipo” .....	18
Tabla 4.1.1 “Plantas de áridos seleccionadas para obtener muestras” .....	21
Tabla 6.6.2 “Granulometrias recomendadas para dosificación” .....	30
Tabla 6.6.3 “Razón Agua-Cemento para resistencias requeridas” .....	30
Tabla 7.1.1 “Capacidad volumétrica de la medida” .....	32
Tabla 7.1.2 “Resultados obtenidos por plantas de áridos para densidad aparente suelta y compactada en gravas” .....	34
Tabla 7.2.1 “Resultados obtenidos por plantas de áridos para densidad aparente suelta y compactada en arenas” .....	37
Tabla 7.3.1 “Expresiones para la densidad real en Gravas” .....	39
Tabla 7.3.2 “Resultados para la densidad real en Gravas” .....	39
Tabla 7.4.1 “Expresiones para la densidad real en Arenas” .....	42
Tabla 7.4.2 “Resultados para la densidad real en Arenas” .....	43
Tabla 7.5.1 “Resultados del coeficiente de forma en gravas” .....	45
Tabla 7.6.1 “Resultados del coeficiente de forma en arenas” .....	46
Tabla 7.7.1 “Resultados de la dosificación de áridos” .....	48
Tabla 8.2.1 “Resultados de la dosificación de hormigones” .....	49
Tabla 8.2.2 “Resultados de la dosificación de hormigones” .....	49
Tabla 8.2.3 “Resultados de la dosificación de hormigones para cono 8” .....	49
Tabla 8.2.4 “Resultados de la dosificación de hormigones para cono 12” .....	50
Tabla 8.2.5 “Resultados de cono y mesa de flujo” .....	50

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.2.1 “Zonas de arrastre de la Hoya hidrográfica del Maipo” .....	14
Figura 3.1.1 “Distribución porcentual de producción de áridos en base a su extracción” ....	16
Figura 3.1.2 “Localización de plantas de áridos en la región metropolitana” .....	17
Figura 4.1.1 “Planta Pétreos Polpaico-río Maipo” .....	22
Figura 4.1.2 “Planta Minera Santa Laura” .....	22
Figura 5.4.1 “Determinación del coeficiente volumétrico medio de las gravas” .....	24
Figura 5.5.1 “Ecuaciones para determinar la esfericidad de las arenas” .....	25
Figura 5.5.2 “Esfericidad de las partículas de arena” .....	25
Figura 5.5.3 “Ensayo de velocidad de escurrimiento de las arenas” .....	25
Figura 6.1.1 “Granulometría recomendada para dosificación” .....	29
Figura 6.2.1 “Ensayo Flow Table Test” .....	31
Figura 7.1.1 “Determinación de la densidad aparente compactada” .....	33
Figura 7.2.2 “Gráfico de densidad aparente en gravas” .....	35
Figura 7.2.3 “Gráfico de densidad aparente en arenas” .....	37
Figura 7.3.1 “Determinación de la pesada del árido saturado superficialmente seco” .....	38
Figura 7.3.2 “Resultados para la densidad real en gravas” .....	40
Figura 7.4.1 “Secado de la muestra de arena” .....	41
Figura 7.4.2 “Condición saturada superficialmente seca de la muestra de arena” .....	41
Figura 7.4.3 “Muestra sumergida en el matraz” .....	42
Figura 7.4.4 “Resultados para la densidad real en arenas” .....	43
Figura 7.5.1 “Coeficiente de forma en gravas” .....	44
Figura 7.6.1 “Ensayo de factor de forma” .....	46
Figura 7.7.1 “Bandas granulométricas para dosificaciones de hormigones” .....	47



## RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de la presente memoria, se enmarca dentro de la necesidad de establecer parámetros comparativos entre las plantas de obtención y procesamiento de áridos para confección de hormigón, en la Región Metropolitana. Esta memoria pretende contribuir al sector de la construcción, al realizar un catastro lo más representativo posible, y de paso actualizar las bases de datos que se manejan en la actualidad. Para poder construir el catastro, se visitaron cinco plantas de extracción y procesamiento de áridos, ubicadas en la Región Metropolitana, las cuales son: Pétreos Polpaico (representada como Maipo 1), Áridos Semot (Maipo 2), Minera Santa Laura (Lo espejo), Áridos Pétreos (Maipú) y una planta de producción artesanal (Mapocho).

Este catastro tiene como factores comparativos, las principales propiedades físicas de los áridos (densidades, absorciones y coeficientes de forma) y su consiguiente efecto en el grado de manejabilidad y fluidez (trabajabilidad) en el hormigón. Para determinar el coeficiente de forma (o la implicancia de la forma geométrica) de las arenas en la trabajabilidad del hormigón, se utilizó el ensayo establecido en la norma ASTM C 1252, el cual determina la velocidad de escurrimiento de las partículas a través de un embudo normalizado. Con todos estos ensayos se busca determinar la incidencia de los áridos en la trabajabilidad del hormigón.

La trabajabilidad en el hormigón, fue medida y comparada a través de dos métodos, el primero y más utilizado en el sector construcción corresponde al método de cono de Abrams (disminución del asentamiento de la masa de hormigón), el cual se encuentra normado en la NCh 1019. El segundo método corresponde al ensayo de mesa de flujo ("*Flow Table test*") el cual considera la medida de la dispersión diametral de una masa de hormigón al ser golpeada por 25 golpes de levantamiento, este ensayo se encuentra establecido en la norma ASTM C230.

Para establecer la real incidencia de los áridos, se dosificaron dos muestras de ensayo, apuntando a hormigones plásticos (fijando el asentamiento en 8 cm) y hormigones fluidos, (considerando un asentamiento de 12 cm). Cabe señalar que en base a las granulometrías y a las propiedades físicas de los áridos estudiados, las dosificaciones variaron de manera que las relaciones de agua/cemento de cada "dosificación teórica" fueron ajustadas hasta obtener los conos de asentamiento fijos (8 y 12 respectivamente). Este trabajo establece una aproximación a la real incidencia de la forma de las partículas en la relación agua cemento y por ende en la trabajabilidad del hormigón.

## **ABSTRACT**

The purpose of this report, is part of the need to establish benchmarks between collection and processing plants of aggregates for concrete production, in the Metropolitan Region. This report aims to contribute to the construction sector, to carry out a survey as representative as possible, and incidentally update the databases are used these days. In order to build the cadaster, five aggregates extracting and processing plants were visited, located in the Metropolitan Region, which are: Stony Polpaico (represented as Maipo 1) Aggregates Semot (Maipo 2) Minera Santa Laura (Lo Espejo) , Stony Aggregates (Maipú) and craft production plant (Mapocho).

This cadaster has as comparative factors, the main physical properties of aggregates (densities, absorptions and form coefficients) and their subsequent effect on the level of ease of use and fluidity (workability) of concrete. To determinate the form coefficient (or the geometric form implication) of sands in concrete workabilit, the tests stablished on the norm ASTM C 1252 was used, wich determines the flow rate of the particles through a standardized funnel. With all of these tests is to determine the incidence of aggregates in concrete workability.

Workability in the concrete was measured and compared by two methods, the first and most widely used in the construction sector corresponds to the slump test method (decreased settling concrete mass), which is regulated in the NCh 1019. The second method corresponds to the Flow Table test which considers the diametrical dispersion measure of a mass of concrete to be hit by 25 lifting strokes, this trial is established in ASTM C230 .

For establishing the real impact of the aggregate, two sample tests were dosed, pointing to plastic concretes (fixing in 8 cm) and fluid concretes (considering settlement of 12 cm). Note that based on the grain size and physical properties of studied aggregates dosages varied so that the relationship of water / cement of each " theoretical dosing " were adjusted to obtain fixed settlement cone (8 and 12 respectively) . This report establishes an approximation to the actual incidence of the shape of the particles in the water-cement ratio and so in the workability of the concrete.

## **CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO**

### **1. DEFINICIÓN DEL TEMA DE LA MEMORIA**

#### **1.1. Título del Tema**

“Caracterización de áridos de la región metropolitana en base a sus propiedades físicas y su implicancia en la trabajabilidad del hormigón”.

#### **1.2. Motivación**

La Región Metropolitana de Santiago, en los últimos años ha mantenido un crecimiento sostenido a todo nivel, que por cierto es reflejado en el rubro de la construcción y por ende en la demanda de insumos para efectuar la gran cantidad de proyectos que día a día surgen en la región. El rubro de los áridos presenta diferentes regulaciones bajo distintos organismos (gubernamentales, regionales, municipales, etc.) y un ordenamiento territorial que muchas veces interfiere en el área urbana, lo que ha producido un escenario bastante confuso para el sector, sin embargo el Decreto Supremo 47/92 “Mitigación del impacto ambiental de las emisiones de polvo” parece ser el marco regulador para la instalación y explotación de áridos a nivel nacional. Paralelamente debido a la gran explotación y demanda de áridos para la construcción que ha tenido la región, muchas plantas situadas en la cuenca hidrográfica del río Maipo, han tenido que encontrar nuevos causes para poder explotar, o alterar su tipología de extracción, teniendo que asumir el desconocimiento de las propiedades que estos “nuevos” áridos les ofrecen. Por esta razón este trabajo busca crear un registro actualizado y representativo en la región metropolitana que señale las principales características físicas de los áridos y su influencia en el comportamiento del hormigón.

### 1.3. Introducción

Los áridos son definidos como partículas granulares de material pétreo de forma y tamaño variable. Son originados por la fragmentación de las distintas rocas de la corteza terrestre, ya sea de manera natural o por procesamiento industrial de chancado en las plantas de extracción de áridos. Por lo general, los áridos finos (arenas) y áridos gruesos (gravas), se extraen de manera directa de los causes y riveras de los ríos, caracterizándose por poseer una geometría redondeada, en tanto que para rocas de mayor tamaño deben ser chancadas para obtener de ellas, áridos de menor tamaño. [1]

Con respecto a su aplicación en el hormigón, los áridos deben conformar una estructura base (80 % del volumen total del hormigón), la cual debe ser robusta e inerte, es decir, en cada unidad volumétrica de hormigón debe existir la mayor cantidad posible de áridos y con el mayor tamaño compatible con los demás requisitos que deba cumplir la mezcla, con lo que se garantiza un hormigón estable y económico. En general, los áridos utilizados en la fabricación de hormigón deben cumplir con la norma chilena NCh 163 “Áridos para morteros y hormigones – Requisitos generales”, la cual especifica los requerimientos básicos para áridos de procedencia conocida y que han demostrado buen comportamiento en hormigones. En la tabla 1.3.1 se detallan las principales normas que regulan el control de calidad de los áridos.

*Tabla 1.3.1: “Normas que regulan la calidad de los áridos”*

Determinación de la densidad aparente (NCh 1116 Of.77)
Determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las gravas (NCh 1117 Of. 77).
Determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las arenas (NCh 1239 Of. 77).
Determinación del coeficiente volumétrico medio de las gravas (NCh 1511 Of.80).

*Fuente: “Elaboración propia”*

#### **1.4 Objetivo General**

Realizar un catastro representativo y actualizado de las zonas de extracción y procesamiento de áridos para hormigón en la Región Metropolitana, caracterizando sus propiedades físicas y la influencia de estas propiedades en la trabajabilidad del hormigón y estimar su resistencia a la compresión.

#### **1.5 Objetivos específicos**

- Mediante ensayos de laboratorio, obtener una caracterización de los áridos en base a sus propiedades físicas, según norma chilena NCh 163.Of1979.
- Determinar un método práctico y de fácil aplicación para determinar el coeficiente de forma para arenas.
- Cuantificar la incidencia de los áridos en la trabajabilidad del hormigón, a través de dos ensayos: el método de cono de Abrams y el método “Flow Table Test”

## CAPÍTULO II

### PANORAMA ACTUAL EN LA REGIÓN METROPOLITANA

#### 2.1 Industria del árido

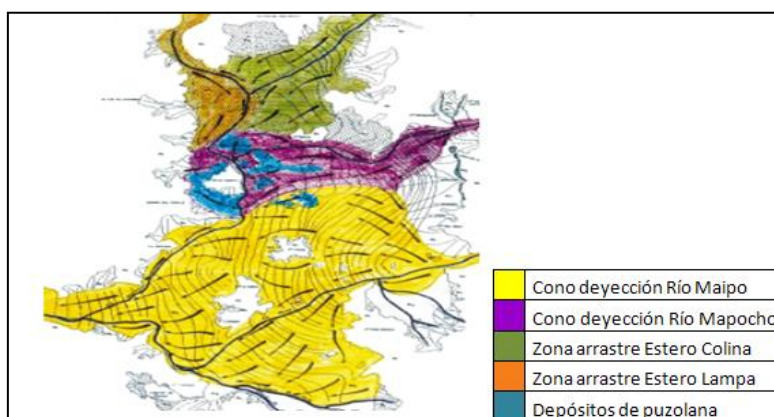
Se estima que en la Región Metropolitana de Santiago la demanda anual de áridos variará en los próximos años de 8,8 millones de m<sup>3</sup> a 12,2 millones m<sup>3</sup>, lo que traerá consigo una mayor demanda y explotación de áridos, sin embargo en la actualidad las zonas metropolitanas donde se encuentran concentradas algunas plantas de extracción y procesamiento de áridos han tenido que emigrar de sus locaciones debido al gran desarrollo urbano que ha tenido la región, tal es el caso de las plantas situadas en comunas como Puente Alto y Cerrillos, las cuales concentraban el 31 % de la producción total regional y que debido al desarrollo demográfico e inmobiliario han debido trasladar sus plantas de extracción a las zonas cercanas al río Maipo, lo que ha llevado a sobreexplotar esta zona, sumado a proyectos de captación para riego, agua potable y generación de energía eléctrica han producido una disminución del 62 % con respecto al arrastre sedimentario del cauce fluvial, lo que encrudece aun más la crisis de los áridos en la región. [2]

#### 2.2 Medio Geográfico Natural de la Región.

Resulta clave conocer la geología y la geomorfología de la región, puesto que los áridos utilizados en la construcción, provienen de la acción de fenómenos naturales sobre formaciones rocosas, fenómenos de erosión, transporte y sedimentación de material, además de fenómenos como la lluvia, el viento y el clima, entre otros. Las unidades geomorfológicas presentes en la región metropolitana son la cordillera de Los Andes (caracterizada por estratos de roca sedimentarias y volcánicas, y por poseer acumulaciones sedimentarias originadas por la acción combinada de la gravedad y de las lluvias), la depresión intermedia (correspondiente a una fosa tectónica rellena por materiales sedimentarios, los que se presentan como un plano inclinado, tanto Este-Oeste y Norte-Sur), y la cordillera de La Costa (correspondiente a un verdadero muro para la cuenca de Santiago).

Otro factor geográfico importante dentro de la región, lo representa la hoya hidrográfica del río Maipo, la cual se extiende desde la cordillera de Los Andes hasta el océano Pacífico, esta conformada por tres redes fluviales, el estero Colina, el río Mapocho y el río Maipo, a estas redes se deben sumar los esteros Lampa (por el Norte), Paine y Angostura (por el sur) y Puangue (por el poniente). La hoya hidrográfica ha sido rellenada por sedimentos fluviales y fluvio-glaciales, provenientes principalmente del río Maipo, los cuales corresponden a ripios grueso, grava y arena con cantidades variables de limo y arcilla. Sus características físicas corresponden a material redondeado y sus tamaños varían desde bolones hasta arcilla. En la figura 2.2.1 se aprecian las zonas de arrastre de las redes fluviales que conforman la hoya hidrográfica del río Maipo, las líneas representan la dirección de escurrimiento de las aguas subterráneas. [2]

*Figura 2.2.1: “Zonas de arrastre de la Hoya hidrográfica del Maipo”*



*Fuente: “Industria del Árido, tomo I”*

Las características climáticas influyen fundamentalmente en los caudales de los ríos, pudiendo caracterizar la zona del alto y del bajo Maipo, siendo la primera alimentada por afluentes como el río Colorado, El Yeso y El Volcán; marcada por un régimen nivoglacial (ciclos de hielo y deshielo), con un aumento en su caudal en los meses de primavera y verano.

## CAPÍTULO III

### ZONAS DE EXTRACCIÓN ACTUALES

#### 3.1 Tipologías de Extracción

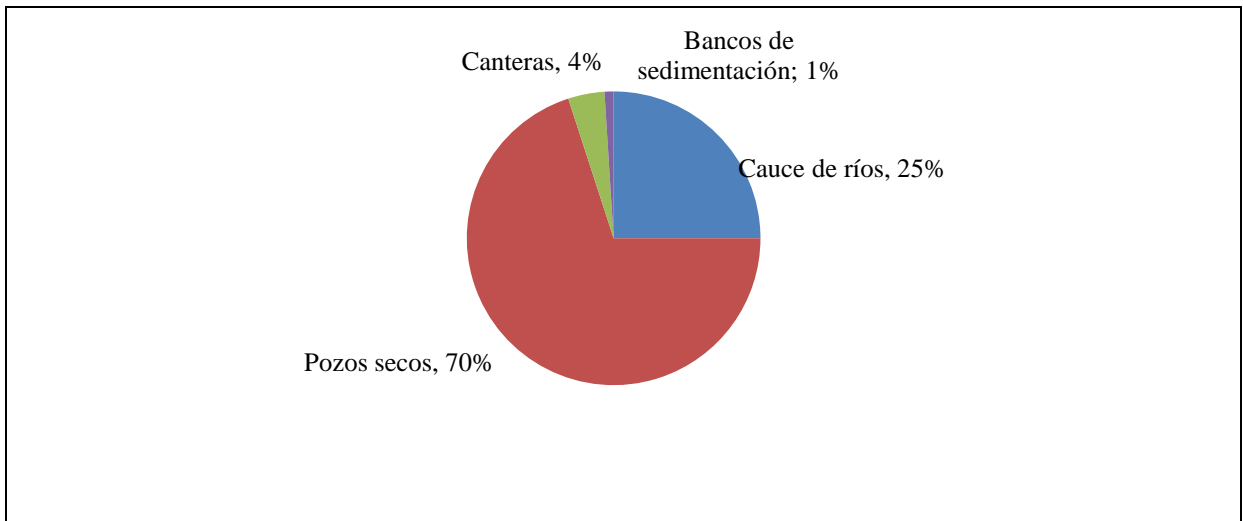
Debido a la gran extensión de la cuenca del río Maipo (16 mil kilómetros cuadrado), es posible encontrar plantas de extracción tanto dentro de la zona urbana como en la periferia, las plantas de carácter urbano se encuentran principalmente en comunas como Puente Alto, Cerrillos, Lo Espejo, Quilicura, Lonquén y San Bernardo. En las áreas periféricas de la región se sitúan donde el plan regulador metropolitano permita su localización, principalmente en las riberas y causes de los ríos Maipo y Mapocho [3]. Con respecto a las tipologías de extracción de áridos, la cuenca hidrográfica del río Maipo, permite variadas maneras de obtención según el tipo de faena realizada:

- Extracción de arena desde bancos de sedimentación areneros.
- Extracción de material integral desde cauce de ríos.
- Extracción de material integral de pozos.
- Extracción de roca desde canteras.

En la imagen 3.1 se aprecian los porcentajes de acuerdo a la producción de áridos para cada tipo de extracción, cabe señalar que la producción desde el cause de los ríos es variable durante el transcurso de un año, puesto que en la época de deshielos (de Octubre hasta Febrero), la producción aumenta significativamente, mientras que desde Marzo hasta Septiembre, la producción se ve disminuida. Para efectos de la información mostrada en la imagen 3.1.1 se utilizó una producción promedio anual.



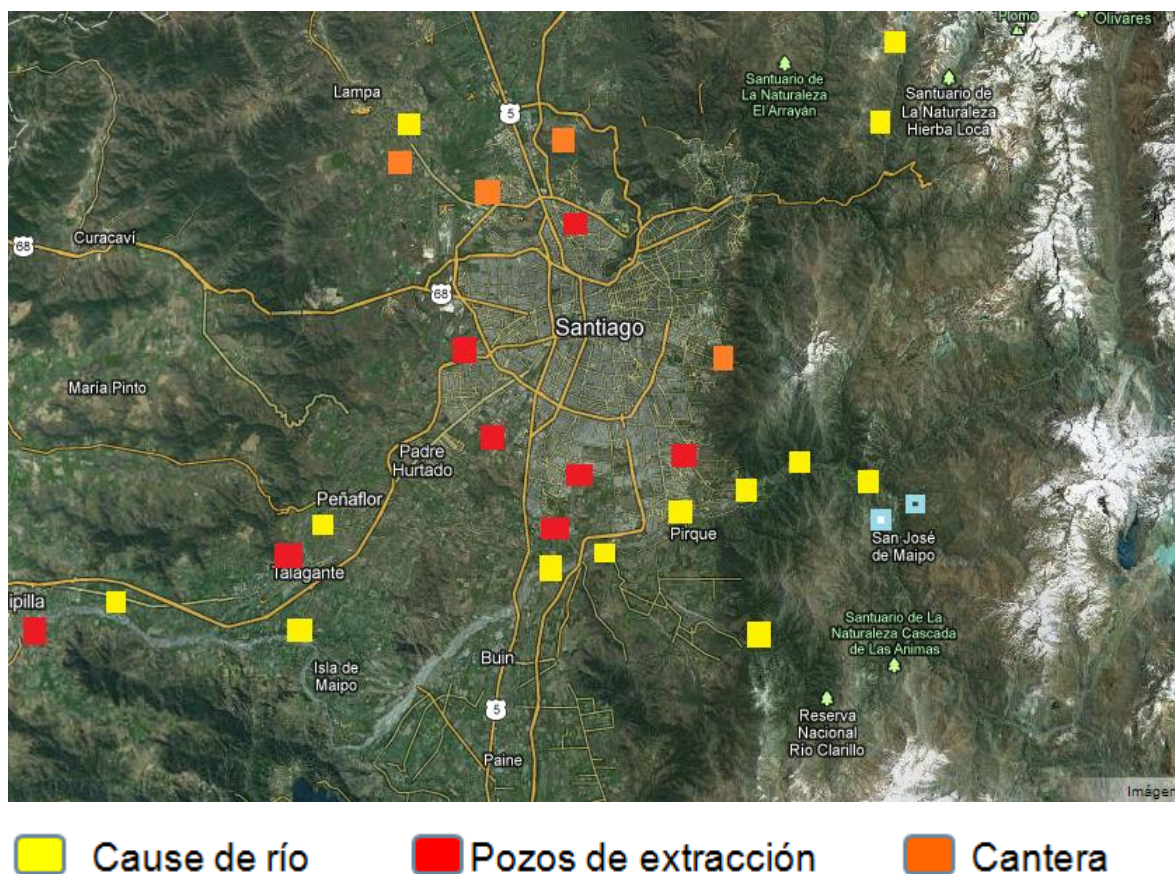
*Imagen 3.1.1: “Distribución porcentual de producción de áridos en base a su tipología de extracción”*



*Fuente: modificado de “Industria del Árido, tomo II”*

Con respecto a su ubicación, las plantas de tipología de extracción en base a cauce de ríos se localizan principalmente a lo largo del río Maipo y en menor medida en el río Mapocho y en los esteros Lampa y Colina. Las plantas de extracción de pozos no tienen una concentración sectorial, sino que se ubican abarcando casi toda la Región Metropolitana, en la figura 3.1.2 se pueden apreciar plantas de pozos secos en comunas como Puente Alto, Maipú y San Bernardo. [3].

*Figura 3.1.2: “Localización de plantas de extracción de áridos en la Región Metropolitana”*



*Fuente: “Modificado de Industria del Árido, tomo I”*

### 3.2 Extracción de áridos desde cauce de ríos

La mayor concentración de operaciones de este tipo de extracción es efectuada en el río Maipo, fundamentalmente porque su cauce es el que genera un mayor arrastre de sedimentos, lo que a su vez lo hace ir renovándose con mayor rapidez. En esta tipología de extracción resulta necesario poder diferenciar entre dos procesos de utilización, en primer lugar se encuentra la extracción de material ubicado en las riberas del cauce, lo que conlleva a obtener una menor cantidad de áridos. En segundo lugar se encuentra la extracción del material que es embancado en pozos construidos para que durante las crecidas, se pueda depositar el material ahí, lo que lo hace un tanto arriesgado puesto que es necesario asegurar que río llene efectivamente el pozo. En cualquiera de los dos casos, el volumen de extracción no debe

superar la reposición natural del cauce intervenido, lo cual es regulado por la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas (MOP). [4]

La ubicación de las plantas situadas en el cauce del río Maipo, se detallan en la imagen 3.1.2. Las plantas señaladas se encuentran fundamentalmente localizadas a lo largo del río Maipo, desde el Sector de La Obra (cercana a San José de Maipo) hasta el Puente Maipo Oriente y Poniente (Buin). En la tabla 3.2.1 se da a conocer la cantidad extraída en el año 2004 en las comunas que cuentan con plantas de áridos provenientes del río Maipo.

*Tabla 3.2.1: “Producción anual de plantas de extracción del río Maipo, diferenciados por comuna”*

<b>Comuna</b>	<b>Extracción ( m<sup>3</sup>/año)</b>
San José de Maipo	271.285
Puente Alto	339.150
Pirque	106.500
Buin	1.096.863
San Bernardo	1.162.236
Total	2.976.034

*Fuente: modificado de “Industria del Árido, tomo II”*

Paralelamente tres plantas se sitúan en el cauce del río Clarillo, y tres en el cauce del río Mapocho (localizadas entre el sector de Puntilla del Viento y El Monte de Talagante. Finalmente en la zona norte de la región, se sitúan plantas en los esteros Colina y Lampa. [2]

### **3.3 Extracción de áridos desde pozos secos**

Los pozos secos corresponden a zonas de extracción fuera de los cauces de ríos, en donde los áridos se encuentran de forma natural en profundidades variables, como producto de un relleno aluvial o depositaciones fluviales pasadas. La extracción puede realizarse tanto de manera artesanal como mecánica, dependiendo de los volúmenes a extraer. Las faenas de producción para esta categoría de extracción, deben cumplir con una serie de regulaciones de

carácter local y estatal, como son las regulaciones por parte de la Corporación Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), el Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente (SESMA), y el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS). En la Región Metropolitana existe un total de 139 pozos de extracción, donde solo 9 de ellos cumplen con las normativas ambientales generales establecidas, lo que corresponde a un 6,5%. [4]

En la actualidad, las zonas de extracción por pozos secos, se pueden agrupar en cuatro sectores (los cuales concentran a las empresas con mayores niveles de producción). [2]

### **3.3.1 Sector Vicuña Mackenna, Puente Alto.**

Según el plan regulador de Santiago, los pozos ubicados en este sector corresponden a “pozos mal emplazados”, sin embargo debido a que se acogen a las normativas ambientales continúan en ejecución. Las empresas que se ubican en este sector son Sominca, Ingex, Tecnoáridos y San Gloria, sus producciones anuales alcanzan los 3.000.000 de m<sup>3</sup>. [4]

### **3.3.2 Sector Lonquén, Calera de Tango.**

Al igual que las plantas situadas en la comuna de Puente Alto, los pozos de Lonquén y Lo Espejo son considerados “mal emplazados”, sin embargo se acogen a las concesiones mineras anteriores a la nueva Ley de Minería, por lo que siguen operando. Las empresas ubicadas en este sector son: Santa Laura, Minera Antuco, Melón Áridos, Minera Aries y Clamaní, con producciones anuales que rondan los 2.000.000 de m<sup>3</sup>. [4]

### **3.3.3 Sector Rinconada de Maipú.**

El sector Norte de Maipú cuenta con estratos de 2 a 3 metros de profundidad bajo a una pequeña capa vegetal, lo cual ha hecho posible la producción de arena de varias plantas de carácter artesanal. Por otra parte, en el sector Sur de Maipú, se sitúa una zona de depositación del río Maipo, por lo cual se cuenta con un material de muy buena calidad. Las plantas que se ubican en este sector son Pétreos y Áridos Maipú. Cuentan con una producción anual cercana a los 500.000 m<sup>3</sup>. [4]

### **3.3.4 Sector Lepanto, San Bernardo.**

Favorecido por la cuenca del río Maipo, los áridos provenientes de los pozos de esta zona presentan muy buenas condiciones. Santa Gloria, Ready Mix y Minera Rosario, son las empresas ubicadas en esta zona. Este sector tiene una producción de 500.000 m<sup>3</sup> al año. [4]

### **3.4 Extracción de áridos desde Canteras**

Los proyectos de extracción desde canteras se basan en la explotación de rocas donde los materiales se extraen desde cerros mediante tronaduras y perfilajes. En la región metropolitana, la extracción de canteras no es algo común, y la posterior utilización de áridos con este origen es bastante específica. Las mayores concentraciones de canteras en la región se ubican en los siguientes sectores. [4]

- Quilicura, donde se ubica la planta Rivavel.
- Lampa y Batuco.
- Punta del Viento.

## CAPÍTULO IV

### PLANTAS SELECCIONADAS

#### 4.1 Empresas de extracción de áridos

Como se mencionó anteriormente, el registro de áridos pretende ser lo más representativo y actualizado posible, por lo tanto para realizar el catastro se utilizó como criterio la dispersión territorial y que además estuvieran presentes los tres tipos de extracción de áridos más utilizados en la Región Metropolitana. En la tabla 4.1.1, se dan a conocer las plantas de donde se procederá a extraer las muestras de áridos para realizar la caracterización posterior, cabe señalar que las plantas que acá se mencionan, han aceptado la visita y la obtención de muestras, en el caso de que por algún motivo, alguna de estas plantas se negara a participar del catastro, se tiene presente otras plantas para realizar los ensayos. En las figuras 4.1.1 y 4.1.2 se muestran las plantas de Pétreos Polpaico y de la minera Santa Laura.

*Tabla 4.1.1: “Plantas de Áridos seleccionadas para obtener muestras”*

<b>EMPRESA DE ÁRIDOS</b>	<b>UBICACIÓN DE LA PLANTA</b>	<b>TIPOLOGÍA DE EXTRACCIÓN</b>
<b>Minera Santa Laura</b>	<b>Lo espejo</b>	<b>Pozo seco</b>
<b>Semot Limitada</b>	<b>Río Maipo</b>	<b>Pozo seco</b>
<b>Pétreos Polpaico</b>	<b>Puente Maipo (Buin)</b>	<b>Cauce de río</b>
<b>Pétreos</b>	<b>El Trebal (Rinconada de Maipú)</b>	<b>Cauce de río</b>
<b>Proveedor Artesanal</b>	<b>Rio Mapocho</b>	<b>Cauce de río</b>

*Fuente: “Elaboración propia”*

*Figura 4.1.1: “Planta Pétreos Polpaico-Río Maipo”*



*Fuente: Elaboración Propia*

*Figura 4.1.2: Minera Santa Laura*



*Fuente: Elaboración Propia*

## CAPÍTULO V

### ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS SEGÚN NCh 163.OF79

#### 5.1 Densidad aparente para gravas y arenas

La densidad aparente en determinado estado de compactación permite transformar peso a volumen o viceversa. Relacionado con la densidad real permite conocer el grado de compactación o huecos que posee el árido. La norma NCh1116.n2008 establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos, la cual puede ser suelta o compactada. La densidad aparente compactada puede obtenerse por apisonado o por percusión; en estos casos suelen llamarse densidad aparente apisonada y densidad aparente asentada, respectivamente. El árido es vaciado en una medida de capacidad volumétrica especificada de acuerdo al tamaño máximo nominal del árido y se determina la masa del árido que llena la medida. Se obtiene la densidad aparente dividiendo la masa del árido por la capacidad volumétrica de la medida para dos muestras gemelas, expresando el resultado como el promedio aritmético de los dos ensayos. [5]

#### 5.2 Densidad real, neta y absorción de agua en Gravas

La densidad real y neta de las gravas permite conocer los volúmenes compactados del árido con el fin de dosificar morteros u hormigones. Relacionada con la densidad aparente permite conocer la compactación del árido. La absorción está íntimamente relacionada con la porosidad interna de los granos de árido y con la permeabilidad de los morteros y hormigones. La norma NCh1117Of2010, establece los procedimientos para determinar las densidades real y neta, y la absorción de agua de los áridos gruesos o gravas de densidad real normal. El procedimiento consiste en determinar la masa de una muestra (4kg. mínimo para un tamaño máximo nominal de 40 mm.) pesándola al aire, en estado seco y en estado saturado superficialmente seco. Luego se determina su volumen por diferencia entre las pesadas al aire ambiente y sumergido en agua. Conocida la masa y su volumen se calculan las densidades real y neta y la absorción de agua, en función de los valores obtenidos para las diferentes condiciones de pesada. [6]



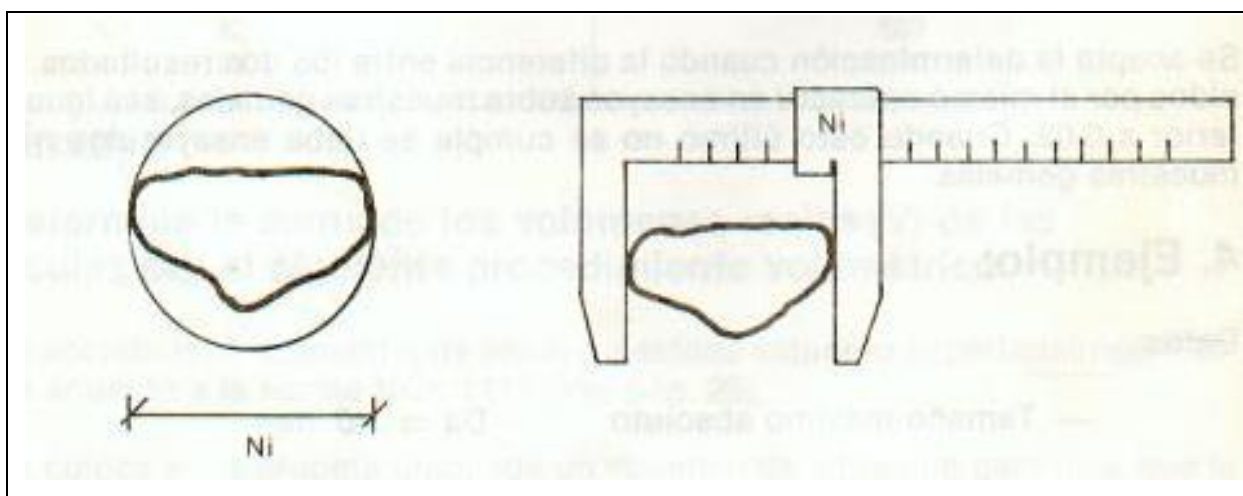
### 5.3 Densidad real, neta y absorción de agua en Arenas

La norma NCh 1239.n2009, establece los procedimientos para determinar las densidades real y neta, y la absorción de agua de los áridos finos o arenas de densidad real normal. El procedimiento consiste en determinar la masa de una muestra de ensayos en condiciones seca y saturada superficialmente seca. Luego, se determina su volumen como la masa del agua desplazada por el árido sumergido en un matraz aforado. Conocidas las masas y su volumen se calculan las densidades real y neta, y la absorción de agua en función de los valores obtenidos en las diferentes condiciones. [7]

### 5.4 Determinación del coeficiente volumétrico medio de las gravas

El coeficiente volumétrico medio de las gravas es un índice que muestra cuantitativamente la forma de las partículas en comparación a una esfera. Un árido posee un coeficiente volumétrico mayor cuanto más redondeado sea, lo que influye principalmente en la trabajabilidad del hormigón fresco. La norma NCh3240.n2010, establece el procedimiento para determinar el coeficiente volumétrico medio de las gravas (ver figura 5.4.1), el cual 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. Estas se relacionan y se determina el coeficiente volumétrico medio. [8]

*Figura 5.4.1: “Determinación del coeficiente volumétrico medio de las gravas”*



*Fuente: NCh1511.Of 1980*

## 5.5 Determinación del coeficiente volumétrico medio de las arenas

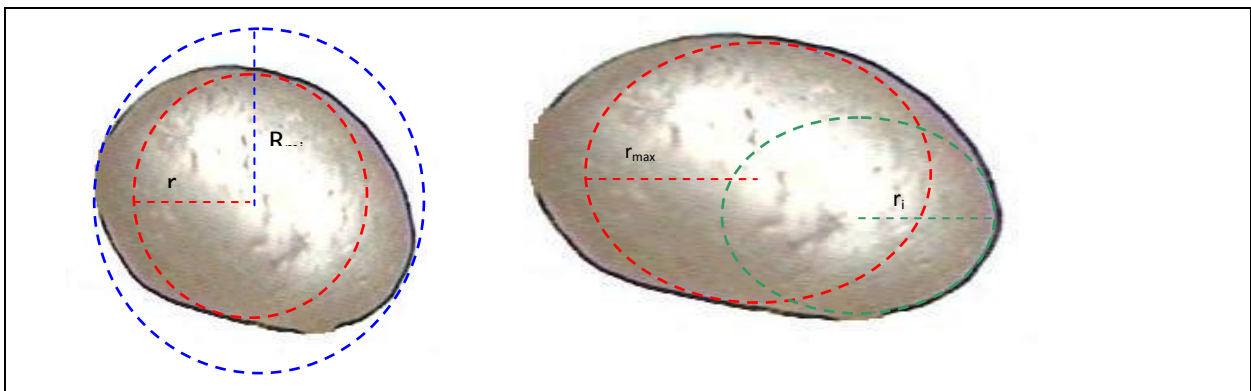
A pesar de que no se ha normalizado en Chile la determinación del coeficiente volumétrico medio en arenas, existe el método propuesto por Youd (1973), Shimobe y Moroto (1995), y Santamarina y Cho (2004), el cual establece un análisis a partir de una imagen en dos dimensiones ampliada por microscopio de los granos individualizados de una muestra. En la figura 5.5.1 se muestran las ecuaciones para determinar la esfericidad de las partículas. Se debe tener presente que al calcular el valor medio de una muestra, es importante conocer el intervalo de confianza y el error de muestreo para indicar la exactitud de la media de la muestra como una estimación de la media real de la arena. El tamaño establecido para la muestra, según (Moore y McCabe, 2003), corresponde a un número de elementos igual a 30 o más. [9]

Figura 5.5.1: “Ecuaciones para determinar la esfericidad de las arenas”

$$S = \frac{r_{\max}}{R_{\min}} \quad \text{and} \quad R = \frac{\sum r_i}{r_{\max}}$$

Los valores de  $R_{\min}$  y  $r_{\max}$  son valores que se obtienen al medir los granos como indica la figura 5.5.2.

Figura 5.5.2: “Esfericidad de las partículas de arena”



Fuente: Rouse, P. 2005. *Characterisation and modelling of a uniformly graded, well-rounded coarse sand.*

Sin embargo, uno de los objetivos de esta memoria es determinar un método simple y rápido de realizar en obra, el cual permita discriminar entre arenas con una buena forma y otras con una geometría desfavorable. El método que cumple con estos requerimientos es el establecido en la norma ASTM C1252 “*Standard Test Methods for Uncompacted Void Content of Fine Aggregate (as Influenced by Particle Shape, Surface Texture, and Grading)*”, el cual corresponde a determinar la velocidad de escurrimiento de las arenas a través de un embudo normalizado, y de como estas llenan un recipiente en la base del instrumento (ver figura 5.5.3). Este ensayo fue construido y utilizado para la determinación del ensayo.

*figura 5.5.3: “Ensayo de velocidad de escurrimiento de las arenas”*



*Fuente: ASTM C1252*

## **5.6 Determinación del desgaste de las gravas, método de la máquina de Los Ángeles**

El índice de desgaste de un árido está relacionado con su resistencia a la abrasión por medios mecánicos y también con la capacidad resistente de los hormigones fabricados. La norma NCh1369.n2010 establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de las gravas de densidad normal. El método consiste en analizar granulométricamente un árido grueso, preparar una muestra de ensayo que se somete a abrasión en la máquina de Los Ángeles y expresar la pérdida de material o desgaste como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra con respecto a su masa inicial [10].

## **5.7 Determinación del índice de lajas y agujas**

La forma geométrica de las partículas de los agregados gruesos, afecta la trabazón y cohesión del hormigón. Sus formas pueden ser redondeadas, cúbicas, lajas o agujas, siendo estas dos últimas peligrosas, porque durante el proceso de compactación o por las tensiones del tráfico, se pueden romper y eso varía su contenido en la granulometría. Se definen los índices de lajas y agujas como los porcentajes en peso, respecto a la muestra total, de las partículas que son, respectivamente, lajas o agujas. Los métodos utilizados para la determinación de dichos índices de forma se basan generalmente en la medida directa de las dimensiones de las partículas. [11]

## **5.8 Determinación de la desintegración por el método de los sulfatos**

Para determinar el grado de desintegración de los áridos, la muestra es sometida a ciclos sucesivos de inmersión en soluciones sulfatadas y luego es secada en estufa, el valor de desintegración es obtenido como la pérdida de masa debida a fenómenos físico-químicos resultantes de la cristalización del sulfato. Este ensayo emula cambios drásticos de temperatura (hielo y deshielo) de áridos utilizados en la confección de morteros y hormigones. En este caso, se recogerán los datos entregados por los fabricantes de las plantas seleccionadas. [12]

## **5.9 Número de Ensayos a realizar**

El número total de ensayos a realizar será de dos set de muestras por cada planta con una repetición para cada ensayo. Es decir, cuatro ensayos por planta, y el valor del ensayo realizado, corresponderá al promedio de los cuatro ensayos.

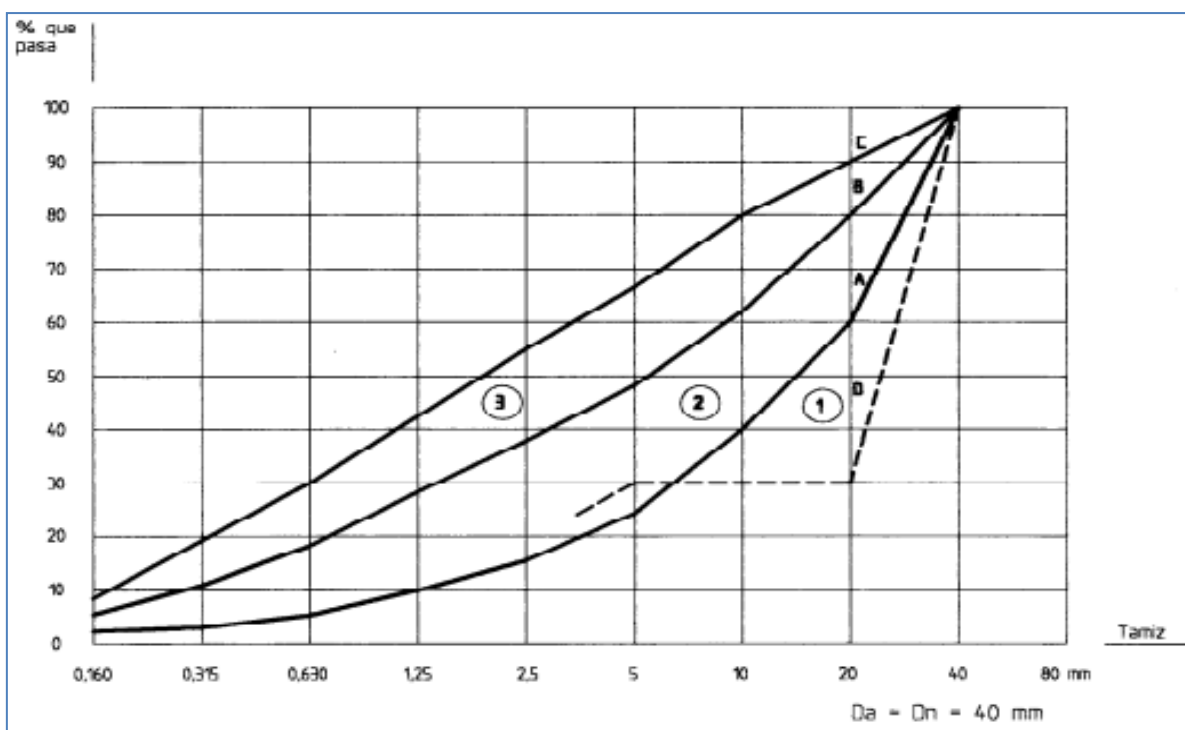
## CAPÍTULO VI

### ENSAYOS A LOS HORMIGONES DE PRUEBA

#### 6.1 Diseño de mezclas

Debido a que el tamaño máximo de los áridos para realizar los ensayos es de 40 mm, según la norma NCh163.Of1979 la banda granulométrica que corresponde utilizar es la que se muestra en la figura 6.1.1 y en la tabla 6.6.2, la curva B es para hormigones con una trabajabilidad (disminución del cono) de 6 a 8 centímetros, mientras que para la curva C, va para un rango entre los 12 y 14 centímetros. La curva A está asociada a hormigones con demasiados áridos gruesos, logrando mezclas poco trabajables, por tanto para efectos de esta memoria no será utilizada. [13]

Figura 6.1.1: “Granulometrías recomendadas para dosificación”



Fuente: NCh163.Of1979

Tabla 6.6.2: “Granulometrías recomendadas para dosificación (% acumulado que pasa)”

Tamaño máximo 40 mm	Curva B	Curva C
80		
40	100	100
20	80	90
10	61	80
5	48	66
2.5	37	55
1.25	28	42
0.630	19	30
0.315	11	19
0.160	5	8

Fuente: NCh163.Of1979

Con respecto a la relación agua-cemento para hormigón, según la norma NCh170.Of1985 existen dos maneras de determinarla, en primer lugar el método a través de la resistencia que se desea lograr y el segundo método es por condiciones de durabilidad del hormigón. Para efectos de esta memoria, se determinará la relación agua-cemento por el método de las resistencias, el cual se basa en una información tabulada, para distintas resistencias y su correspondiente relación agua-cemento (ver tabla 6.6.3). Para determinar la implicancia de los áridos, se deberá tener fija la relación agua-cemento y se escogió arbitrariamente la razón 0.5

Tabla 6.6.3: “Razón agua-cemento para resistencias requeridas”

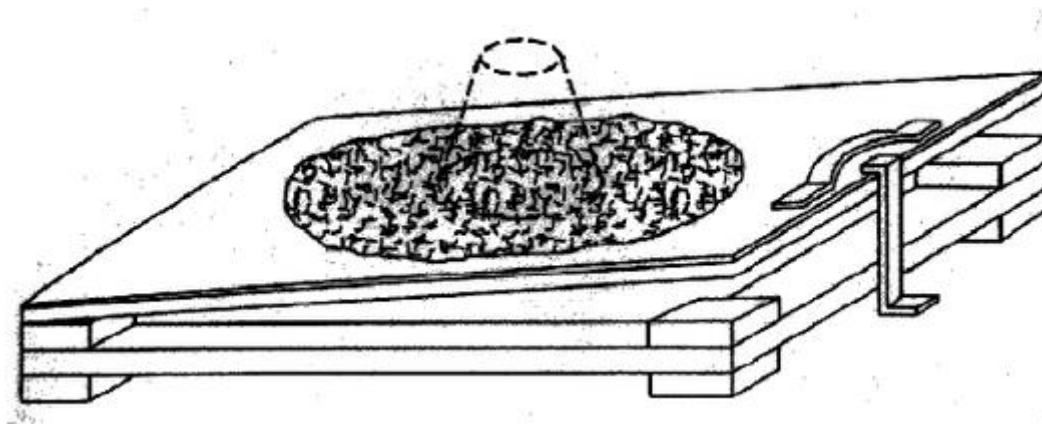
Resistencia Requerida (Mpa)	
Razón Agua-cemento	Cemento corriente
0,45	34
0,5	29
0,55	25
0,6	21
0,65	18
0,7	16
0,75	14
0,8	12
0,85	10

Fuente: modificado de NCh170.Of1985

## 6.2 Ensayos complementarios de trabajabilidad del hormigón en estado fresco.

Con el motivo de obtener una información más precisa de la trabajabilidad del hormigón confeccionado, se efectuarán dos mediciones. En primer lugar se realizará el ensayo de cono de Abrams, el cual permite medir la docilidad del hormigón fresco por la disminución de la altura que sufre un tronco de geometría cónica moldeado con hormigón fresco y apisonado con 25 golpes en cada capa de llenado del cono (3 en total), este último punto marca una de las mayores diferencias con el segundo método de medición, la mesa de dispersión diametral o “*Flow table test*”, normado por ASTM C230 este ensayo difiere del anterior, puesto que en la muestra de hormigón se coloca sin ningún tipo de compactación, solo se levanta la cubierta articulada de uno de los extremos (4 cm), y se deja caer 25 veces. Además, en este caso la altura del asentamiento no constituye una medida representativa, siendo el diámetro final de extensión la medida fundamental que se obtiene como resultado. Adicionalmente, también suele medirse el tiempo que tarda la muestra desde el inicio del levantamiento del cono hasta alcanzar un diámetro de 500 mm, como también el tiempo final de extensión de flujo hasta que la muestra deja de moverse. En la figura 6.2.1 se muestra la tabla articulada y el cono de molde para la mezcla de hormigón fresco.

Figura 6.2.1: “Ensayo Flow Table Test”



Fuente: “Videla, Tecnología del Hormigón, PUC”



## CAPÍTULO VII

### RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS

#### 7.1 Determinación de la densidad aparente en Gravas

Para realizar este ensayo, se debió realizar la determinación de la capacidad volumétrica real del cilindro, cuyo volumen está relacionado directamente con el tamaño máximo del árido (para este caso 40 mm). Considerando que la norma chilena 1116 (Determinación de la densidad aparente), establece como parámetros tamaños máximos de 16, 25, 50 y 100 milímetros; para este ensayo se utilizó el cilindro determinado para un tamaño máximo de 50 mm. Con capacidad volumétrica estándar de 0.015 m<sup>3</sup> (15 litros). Para determinar la capacidad volumétrica real, la norma establece la masa de agua que llena el cilindro a temperatura ambiente y su correspondiente densidad (a la misma temperatura). Tal como se aprecia en la tabla 7.1.1. El volumen obtenido se detalla en la ecuación 7.1:

*Tabla 7.1.1: “Capacidad volumétrica de la medida”*

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Capacidad volumétrica (m <sup>3</sup> )	Temperatura del agua (°C)	Densidad del agua (Kg/m <sup>3</sup> )
50	0.015	16	999.09

*Fuente: Modificado de NCh 1116*

$$\text{Volumen} = \frac{M_{\text{agua}}}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{14.913(\text{kg})}{999.09(\text{kg}/\text{m}^3)} = 0.01492(\text{m}^3)$$

*Ecuación 7.1: “Capacidad volumétrica de la medida”*

### 7.1.1 Determinación de la densidad aparente compactada en Gravas

Para realizar este ensayo, se llenó la muestra (cilindro) con tres capas de espesores iguales, siendo cada capa compactada con 25 golpes, la última capa es enrasada con la varilla pisón para el exceso de áridos. Finalmente se registra la masa (kg) de áridos que llena la medida, tal como se aprecia en la figura 7.1.1. La densidad aparente compactada es determinada con la ecuación 7.1.1.

*Figura 7.1.1: Determinación de la densidad aparente compactada”*



*Fuente: Elaboración propia*

$$\rho_{ac} = \frac{Mc}{v} (\text{kg} / \text{m}^3)$$

*Ecuación 7.1.1: “Determinación de la densidad aparente compactada”*

Siendo

Mc = masa del árido compactado que llena la medida (kg).

v = capacidad volumétrica de la medida (m<sup>3</sup>).

### 7.1.2 Determinación de la densidad aparente suelta en Gravas

La única diferencia existente entre la determinación de la densidad aparente suelta y la compacta, es que la medida es llenada con una poruña descargada desde una altura de 5 cm. aproximadamente sobre el borde superior de la medida cilíndrica. El exceso de áridos es eliminado de la misma forma en que se explico en el punto 7.1.1. La densidad aparente suelta es determinada con la ecuación 7.1.2

*Ecuación 7.1.2: “Determinación de la densidad aparente suelta”*

$$\rho_{as} = \frac{Ms}{v} (\text{kg} / \text{m}^3)$$

Siendo

Ms = masa del árido suelto que llena la medida (kg).

v = capacidad volumétrica de la medida (m<sup>3</sup>).

Los resultados obtenidos para las determinaciones de los ensayos de densidad aparente suelta y compactada en gravas se muestran en la tabla 7.1.2.

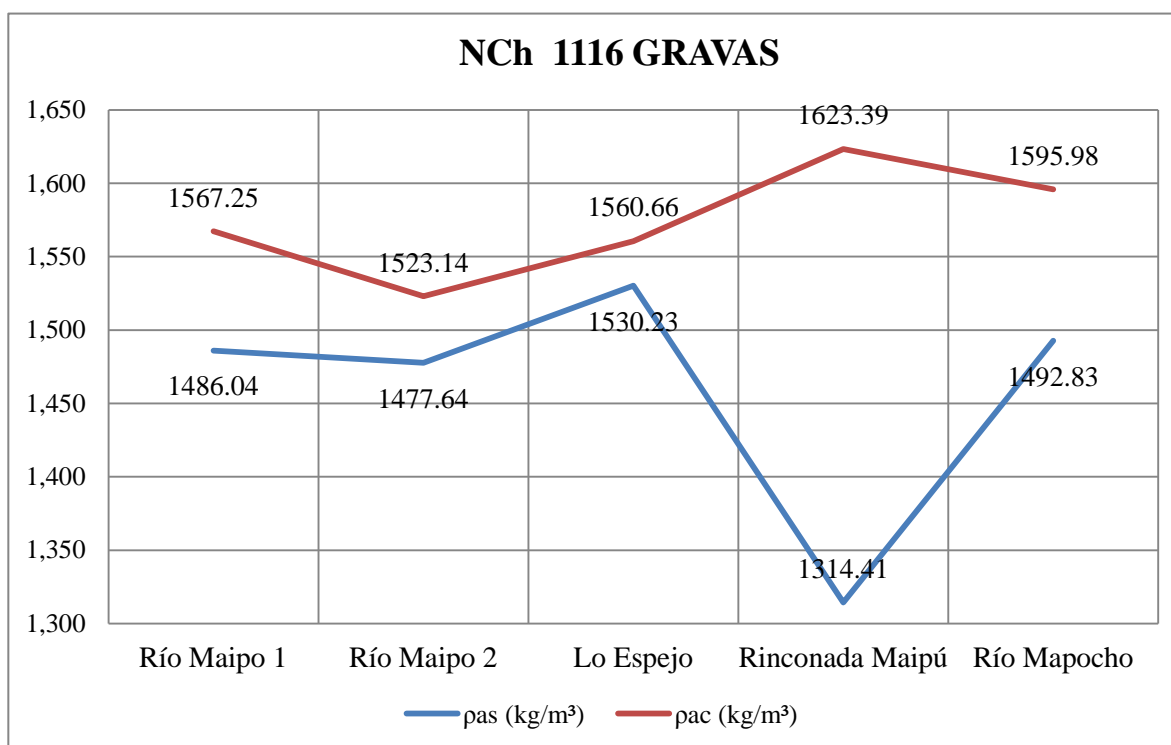
*Tabla 7.1.2: “Resultados obtenidos por plantas de áridos para densidad aparente suelta y compactada en gravas”*

NCh 1116 ARIDO GRUESO			
PLANTA	EXTRACCIÓN	$\rho_{as}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{ac}$ (kg/m <sup>3</sup> )
Río Maipo 1	Cauce de río	1486,04	1567,25
Río Maipo 2	Cauce de río	1477,64	1523,14
Lo espejo	Pozo	1530,23	1560,66
Rinconada Maipú	Pozo	1314,41	1623,39
Río Mapocho	Cauce de río	1492,83	1595,98

*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 7.1.2 se detalla mediante un gráfico los resultados obtenidos por plantas para densidad aparente suelta y compactada. Cabe señalar que los resultados obtenidos para las plantas poseen un comportamiento relativamente lineal, salvo en el caso particular de la planta de Rinconada de Maipú.

Figura 7.1.2: “Gráfico de densidad aparente en gravas”



Fuente: Elaboración propia.

## 7.2 Determinación de la densidad aparente en Arenas (pac).

De igual manera que en el caso del árido grueso, para desarrollar este ensayo, se debió comenzar con la determinación de la capacidad volumétrica real del cilindro de medida, cuyo volumen está relacionado directamente con el tamaño máximo del árido, (para este caso 5 mm). Para este ensayo se utilizó el cilindro determinado para un tamaño máximo de 16 mm. con capacidad volumétrica estándar de 0.003 m<sup>3</sup> (3 litros). Para determinar la capacidad

volumétrica real, se procedió de la misma forma en que se determinó la capacidad volumétrica para la medida de 15 litros. El volumen obtenido se detalla en la ecuación 7.2.

$$\text{Volumen} = \frac{M_{\text{agua}}}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{2.939(\text{kg})}{999.09(\text{kg}/\text{m}^3)} = 0.002942(\text{m}^3)$$

*Ecuación 7.2: “Capacidad volumétrica de la medida”*

### **7.2.1 Determinación de la densidad aparente compactada en arenas ( $\rho_{ac}$ ).**

De la misma forma, se llenó la muestra cilíndrica con tres capas de espesores iguales, siendo cada capa compactada con 25 golpes, la última capa fue enrasada con la varilla pisón para el exceso de áridos. Finalmente, se registró la masa (kg) de áridos que llena la medida, y se calculó la densidad aparente de acuerdo a la ecuación 7.1.1.

### **7.2.2 Determinación de la densidad aparente suelta en arenas ( $\rho_{as}$ ).**

Para desarrollar la determinación de la densidad aparente suelta se utilizó el mismo procedimiento que en gravas, es decir la medida fue llenada con una poruña descargada desde una altura de 5 cm. aproximadamente sobre el borde superior de la medida cilíndrica (5 litros). El exceso de áridos fue eliminado de la misma forma en que se realizó en todos los ensayos. La densidad aparente suelta es determinada con la ecuación 7.1.2

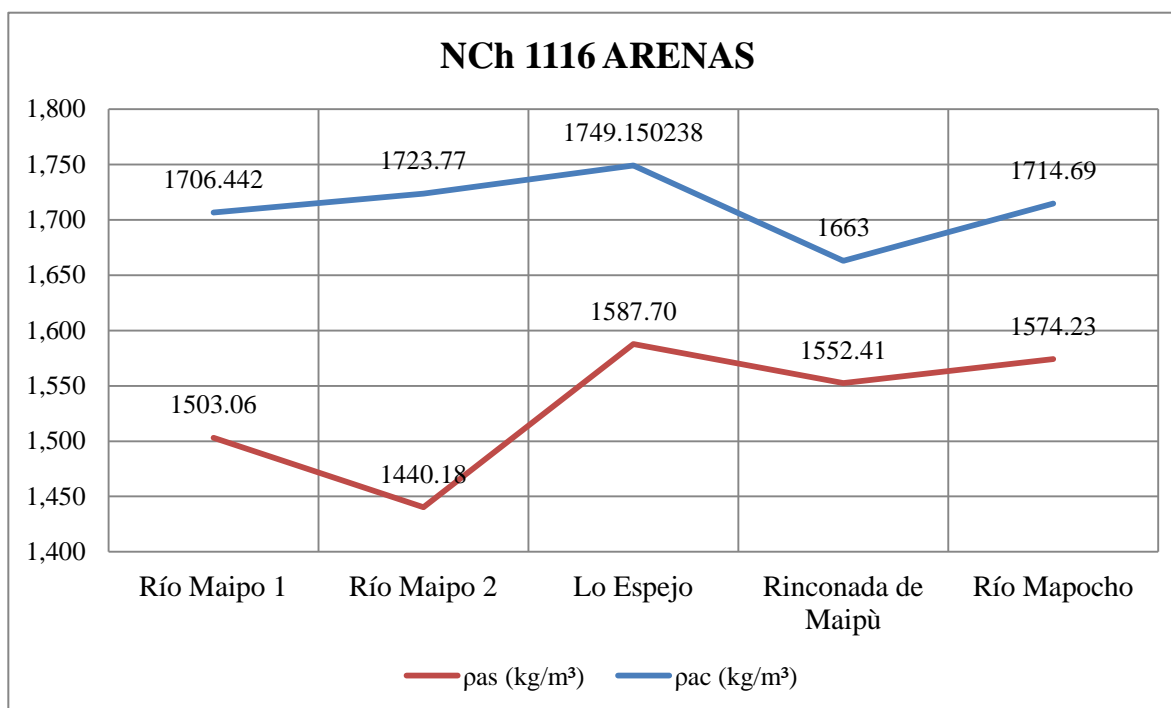
Los resultados obtenidos para las determinaciones de los ensayos de densidad aparente suelta y compactada en arenas se muestran en la tabla 7.2.1 y en la figura 7.2.1.

Tabla 7.2.1: “Resultados obtenidos por plantas de áridos para densidad aparente suelta y compactada en arenas”

NCh 1116 ÁRIDO FINO			
PLANTA	EXTRACCIÓN	$\rho_{pas}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{pac}$ (kg/m <sup>3</sup> )
Río Maipo 1	Cauce de río	1503.06	1706.44
Río Maipo 2	Cauce de río	1440.18	1723.77
Lo Espejo	Pozo	1587.70	1749.15
Rinconada Maipú	Pozo	1552.41	1663.00
Río Mapocho	Cauce de río	1574.23	1714.69

Fuente: Elaboración Propia

Figura 7.1.2: “Gráfico de densidad aparente en arenas”



Fuente: Elaboración Propia

A raíz de los resultados obtenidos, las densidades presentan un comportamiento relativamente lineal, lo que era de esperar ya que solo entregan información sobre las propiedades de la roca de donde fueron obtenidos

### 7.3 Determinación de las densidades real y neta, y la absorción de agua en gravas.

La NCh 1117 establece el procedimiento para determinar la densidad real seca (la cual considera el volumen de las partículas del árido, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas), la densidad real del árido saturado superficialmente seco (la cual considera la masa de partículas secas de la muestra de áridos, más la masa de agua que llena los poros accesibles) y la densidad neta (la cual considera la masa de partículas más el volumen de los poros inaccesibles). [15]

La norma establece un tamaño muestral de 4 kg. para áridos con un tamaño máximo igual o inferior a 40 mm. La cual deberá ser lavada y removida hasta eliminar el polvo superficial o cualquier sustancia extraña que se encuentre adherida a las partículas de la muestra. Posteriormente, se seca hasta masa constante y a continuación la muestra es enfriada por un periodo de 24 horas a temperatura ambiente. El procedimiento continua con la inmersión de la muestra en agua a una temperatura ambiente durante un lapso de aproximadamente 24 horas, luego de este tiempo la muestra es retirada y colocada inmediatamente en un canastillo sumergido, con lo cual se obtiene la masa por pesada sumergida (identificada como A). Posteriormente la muestra es secada superficialmente con un paño absorbente tal como muestra la figura 7.3.1 y pesada registrándola como B.

*Figura 7.3.1: “Determinación de la pesada del árido saturado superficialmente seco”*



*Fuente: Elaboración propia*

Finalmente la muestra es secada hasta masa constante posteriormente es pesada registrándola como C. En las tablas 7.3.1 y 7.3.2 se detallan las expresiones de cada una de las densidades mencionadas anteriormente y los resultados obtenidos de las muestras ensayadas.

Tabla 7.3.1: “Expresiones para la densidad real en Gravas”

<b>Densidad real del árido saturado superficialmente seco</b>	$\rho_{RT} = \frac{B}{B - A} \cdot 1000 (kg / m^3)$
<b>Densidad real del árido seco</b>	$\rho_{RS} = \frac{C}{B - A} \cdot 1000 (kg / m^3)$
<b>Densidad neta</b>	$\rho_N = \frac{C}{C - A} \cdot 1000 (kg / m^3)$
<b>Absorción de agua (<math>\alpha</math>)</b>	$\alpha = \frac{B - C}{C} \cdot 100$

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7.3.2: “Resultados para la densidad real en Gravas”

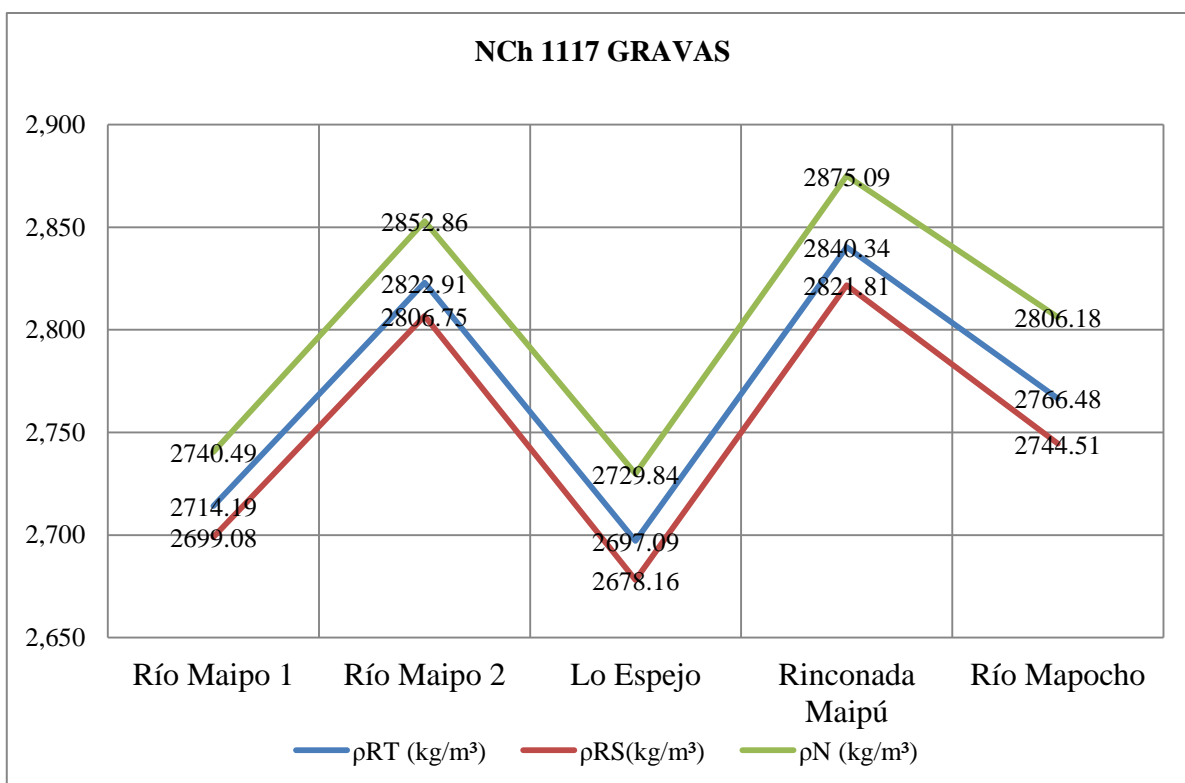
NCh 1117				$\rho_{RT} \text{ kg/m}^3$	$\rho_{RS} \text{ kg/m}^3$	$\rho_N \text{ kg/m}^3$	Absorción (%)
<b>PLANTA</b>	<b>EXTRACCIÓN</b>	A	2,61	2714,19	2699,08	2740,49	0,6
<b>Río Maipo 1</b>	Cauce de río	B	4,13				
		C	4,11				
		A	2,59	2822,91	2806,75	2852,86	0,6
<b>Río Maipo 2</b>	Cauce de río	B	4,02				
		C	3,99				
		A	2,51	2697,09	2678,16	2729,84	0,7
<b>Lo Espejo</b>	Pozo	B	3,99				
		C	3,96				
		A	2,58	2840,34	2821,81	2875,09	0,7
<b>Rinconada Maipú</b>	Pozo	B	3,99				
		C	3,96				
		A	2,57	2766,48	2744,51	2806,18	0,8
<b>Río Mapocho</b>	Cauce de río	B	4,03				
		C	4,00				

Fuente: Elaboración Propia



En la figura 7.3.2 se resume la información por plantas.

Figura 7.3.2: ““Resultados para la densidad Real en Gravas””



*Fuente: Elaboración Propia*

Al igual que en los resultados anteriores, los valores obtenidos son bastante lineales lo que reafirma las condiciones el supuesto de que la propiedad de la roca obtenida es relativamente homogénea.

#### 7.4 Determinación de las densidades real y neta, y la absorción de agua en arenas.

Para realizar este ensayo, basado en la norma NCh 1239, las muestras de arenas fueron lavadas y secadas en el horno hasta masa constante. Posteriormente fueron sumergidas en agua (a temperatura ambiente) durante 24 horas, terminada la inmersión fueron secadas mediante una corriente suave de aire caliente (proveniente de un secador de pelo) hasta que el árido alcanzara una condición suelta (ver figura 7.4.1), utilizando el molde cónico, cuando la

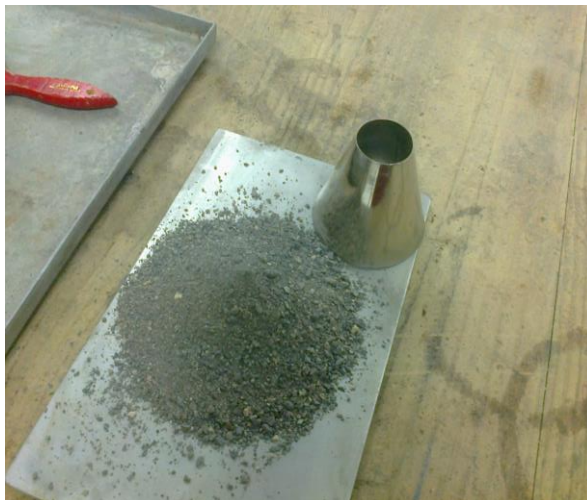
arena luego de ser apisonada por 25 golpes se asentaba según su talud natural, tal como se aprecia en la figura 7.4.2. Finalmente, se debe medir y registrar la masa de la muestra como  $M_{ss}$  (100 gr).

*Figura 7.4.1: “Secado de la muestra de arena”*



*Fuente: Elaboración Propia*

*Figura 7.4.2: “Condición saturada superficialmente seca de la muestra de arena”*



*Fuente: Elaboración Propia*

El ensayo continúa colocando la muestra en un matraz y llenado con agua hasta el nivel de calibración (ver figura 7.4.3) se deben eliminar las burbujas atrapadas en el interior, se mide la masa total del matraz, la muestra y el agua, y se registra como  $M_m$ . El matraz solamente con agua es registrado como  $M_a$ . La muestra de ensayo es secada hasta masa constante y es registrada como  $M_s$ . La absorción ( $\alpha$ ) de las arenas fue obtenida como la razón entre la diferencia entre la masa saturada superficialmente seca y la masa de la muestra seca, y masa de la muestra seca. En las tablas 7.4.1 y 7.4.2 se detallan las expresiones de cada una de las densidades mencionadas anteriormente y los resultados obtenidos de las muestras ensayadas respectivamente. En la figura 7.4.4 se resume la información entregada.

*Figura 7.4.3: "Muestra sumergida en el Matraz"*



*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 7.4.1: "Expresiones para la densidad real en Arenas"*

<b>Densidad real del árido saturado superficialmente seco</b>	$\rho_{Rss} = \frac{M_{sss}}{M_a + M_{sss} - M_m} \cdot 1000 (\text{kg} / \text{m}^3)$
<b>Densidad real del árido seco</b>	$\rho_{RS} = \frac{M_s}{M_a + M_{sss} - M_m} \cdot 1000 (\text{kg} / \text{m}^3)$
<b>Densidad neta</b>	$\rho_N = \frac{M_n}{M_a + M_s - M_n} \cdot 1000 (\text{kg} / \text{m}^3)$
<b>Absorción de agua (<math>\alpha</math>)</b>	$\alpha = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \cdot 100$

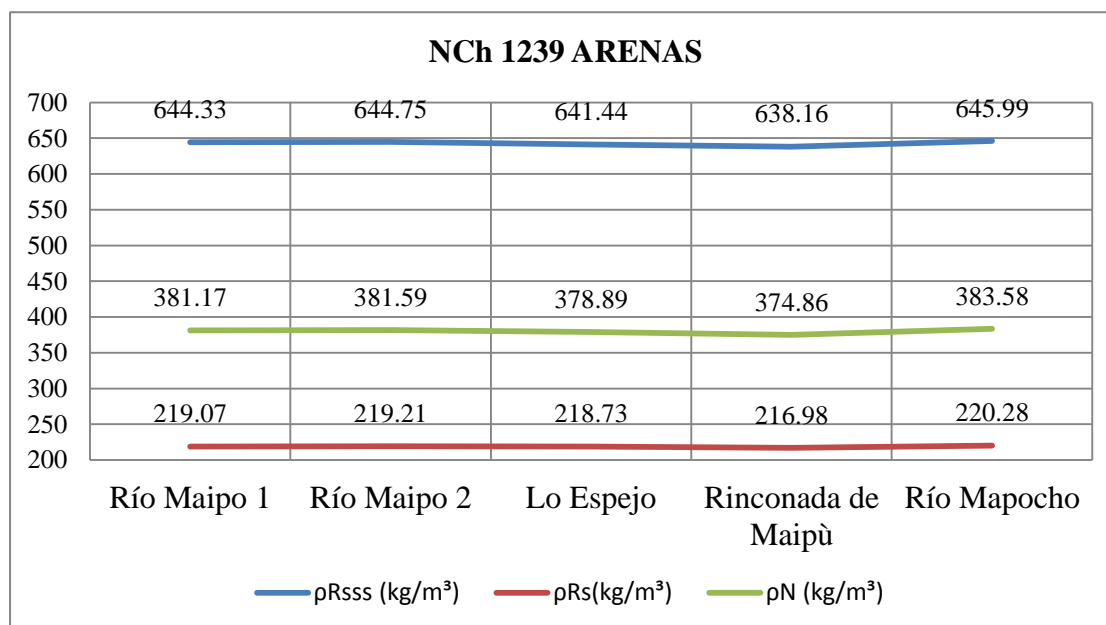
*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 7.4.2: “Resultados para la densidad real en Arenas”

NCh 1239				$\rho_{Rsss}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{Rs}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_N$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\alpha$ (%)
<b>PLANTA</b>	<b>EXTRACCIÓN</b>	Mm	0,04	644,33	219,07	381,17	1.94
<b>Río Maipo 1</b>	Cauce de río	Ms	0,03				
		Ma	0,1				
<b>Río Maipo 2</b>	Cauce de río	Mm	0,04	644,75	219,21	381,59	1.93
		Ms	0,03				
		Ma	0,1				
<b>Lo Espejo</b>	Pozo	Mm	0,04	641,44	218,73	378,89	1.94
		Ms	0,03				
		Ma	0,1				
<b>Rinconada Maipú</b>	Pozo	Mm	0,04	638,16	216,98	374,86	1.95
		Ms	0,03				
		Ma	0,1				
<b>Río Mapocho</b>	Cauce de río	Mm	0,04	645,99	220,28	383,58	1.93
		Ms	0,03				
		Ma	0,1				

Fuente: Elaboración propia

Figura 7.4.4: “Resultados para la densidad real en Arenas”



*Fuente: Elaboración propia*

## 7.5 Determinación del coeficiente de forma de las gravas

Para determinar el coeficiente de forma de las muestras de ensayo, se procedió a tomar una muestra de ensayo de 10 kg. (establecida para muestras con tamaño máximo de 40 mm). El coeficiente de forma (CF), es definido como la masa seca de partículas cuya relación  $\frac{\ell}{e}$  es mayor que 3, referido porcentualmente sobre la masa seca total de la muestra, donde  $\ell$  corresponde al largo de la partícula y  $e$  el espesor (ver figura 7.5.1). Cabe señalar que el resultado de este ensayo, corresponde a la fracción defectuosa. Las partículas que no cumplan con esta condición deberán ser apartadas y consideradas como partículas desfavorables. El cálculo del coeficiente de forma (CF) se ilustra en la ecuación 7.5.1. Los resultados promedios para la determinación del coeficiente de forma de las muestras seleccionadas se detallan en la tabla 7.5.1.

*Figura 7.5.1: “Coeficiente de forma en gravas”*



*Fuente: Elaboración propia”*

*Ecuación 7.5.1 “Determinación del coeficiente de forma en gravas”*

$$CF = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100$$

Donde:

M<sub>2</sub>: masa de partículas desfavorables, expresada en gramos

$M_1$ : masa de muestra, expresada en gramos

*Tabla 7.5.1: “Resultados del coeficiente de forma en gravas”*

PLANTA	EXTRACCIÓN	NCh 3240
		Coef. De forma (%)
Río Maipo 1	Cauce de río	0.9
Río Maipo 2	Cauce de río	0
Lo Espejo	Pozo	0
Rinconada Maipú	Pozo	1.30
Río Mapocho	Cauce de río	1.70

*Fuente: Elaboración Propia*

A partir de los resultados de la tabla 7.5.1, se puede desprender que los coeficientes de forma tienen relación con los controles establecidos en las plantas de origen, por tanto no resulta extraño encontrar el mayor porcentaje, en la planta de río Mapocho, ya que al ser de carácter artesanal, no existe un control exhaustivo de la producción de áridos. Sin embargo todos los valores obtenidos se encuentran bajo el límite establecido en la NCh 3240, la cual establece como tope un máximo de 20 % de fracción desfavorable.

## **7.6 Determinación del coeficiente de forma de las Arenas.**

Como se mencionó anteriormente en el punto 5.5, para determinar la implicancia de la forma de las partículas de arena, se procedió a determinar el tiempo que demora en escurrir la arena y llenar un recipiente de 100 ml estandarizado bajo la norma ASTM C 1252, la cual es

conocida como el método de angularidad de los finos (ver figura 7.6). Los tiempos de escurrimiento por plantas se detallan en la tabla 7.6.

*Tabla 7.6 “Resultados del coeficiente de forma en arenas”*

<b>PLANTA</b>	<b>Tiempo de escurrimiento (segundos)</b>
<b>Maipo 1</b>	1.75
<b>Maipo 2</b>	0.84
<b>Lo Espejo</b>	0.98
<b>Maipú</b>	1.47
<b>Mapocho</b>	1.31

*Fuente Elaboración Propia*

*Imagen 7.6 “Ensayo de factor de forma de arenas”*



*Fuente Elaboración Propia*

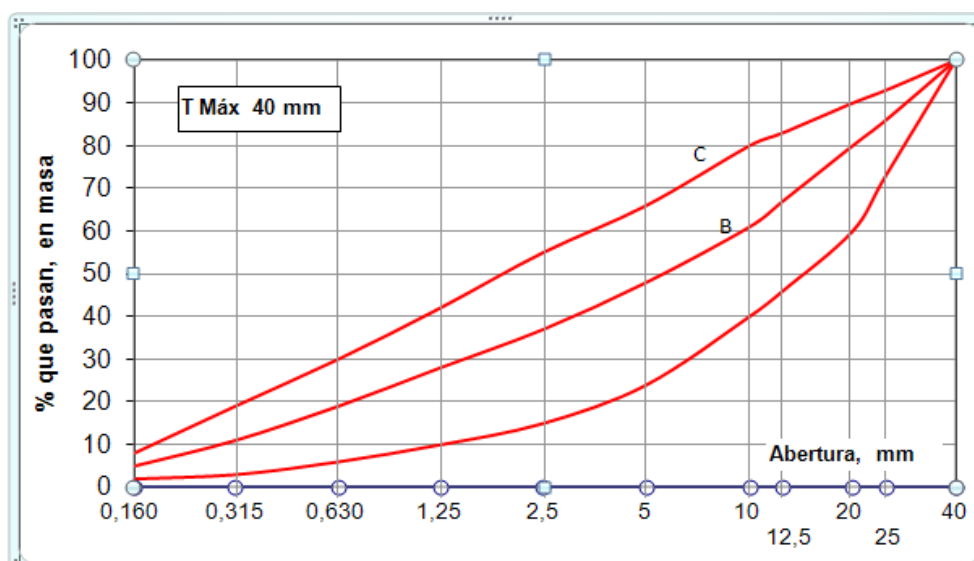
## CAPÍTULO VIII

### RESULTADOS OBTENIDOS EN LA DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

#### 8.1 Determinación de la proporción de áridos por muestra de hormigón

Tal como se mencionó en el punto 6.1, para determinar las dosificaciones en los hormigones de prueba, se procedió a utilizar el gráfico con granulometrías recomendadas de la norma chilena 163. Para lo cual se ajustó a las curvas C y B (ver figura 8.1.1). El primer caso corresponde a hormigones con trabajabilidades entre los 12 y 14 centímetros de cono de Abrams, es decir a hormigones más fluidos. Para el caso de la curva B, corresponden hormigones con una menor trabajabilidad con disminución de cono de 6 a 8 centímetros (hormigones plásticos). El procedimiento consiste en realizar la granulometría de gravas, gravillas y arenas, y determinar una proporción de estos de manera que se ajusten lo máximo posible a las curvas estandarizadas C y B (la curva A no es considerada en esta memoria). Esta proporción de áridos será la utilizada a la hora de confeccionar el hormigón para las diferentes plantas, como se mencionó en el punto 6.1 la relación agua/cemento inicial será de 0.5.

Figura 8.1.1: “Bandas granulométricas para dosificaciones de hormigones”



Fuente: Modificado de NCh 163



Los resultados obtenidos, de los ajustes de las bandas granulométricas (anexo 2), se detallan a continuación en la tabla 8.1.2.

*Tabla 8.1.2: “Resultados de la dosificación de áridos”*

	Cono 12-14 (cm)			Cono 6-8 (cm)		
<b>PLANTA</b>	<b>GRAVA</b>	<b>GRAVILLA</b>	<b>ARENA</b>	<b>GRAVA</b>	<b>GRAVILLA</b>	<b>ARENA</b>
<b>Maipo 1</b>	25	0	75	30	20	50
<b>Maipo 2</b>	10	10	80	30	20	50
<b>Lo Espejo</b>	20	5	75	35	15	50
<b>Maipú</b>	25	0	75	35	15	50
<b>Mapocho</b>	15	5	80	25	20	50

*Fuente: Elaboración propia*

## **8.2 Determinación de la dosificación de hormigones.**

Para determinar la proporción de componentes del hormigón, se procedió a utilizar una planilla Excel que utiliza como parámetro de entrada los litros de agua en base al tamaño máximo de los áridos (en este caso 40 mm y por ende 170 litros sugeridos para la fabricación de un metro cúbico) y de esta manera obtener un cono entre 7 y 9 cm, (ver tabla 8.2.1). Posteriormente, se deberá ajustar la relación agua/cemento, la cual como se estableció anteriormente es de 0.5, automáticamente la planilla arroja la cantidad de cemento a utilizar (ver tabla 8.2.2), en base a la razón agua/cemento y a la proporción de los áridos descrita en el punto 8.1, el programa establece los kilos de grava, gravilla y arena a utilizar en la mezcla, la cual se debe multiplicar por los litros que realmente se utilizarán para realizar los ensayos de trabajabilidad (50 litros). En el anexo 3, se detallan las dosificaciones (para cono 8 y 12) para las plantas seleccionadas. De igual manera, para dosificar la razón agua/cemento para cono 12, se ingresa a la planilla el nuevo valor de cono deseado (12) y los litros de agua para obtenerlo (en este caso el valor corresponde a 175 litros). En la tabla 8.2.3, y 8.2.4, se resumen las dosificaciones para los hormigones de las plantas seleccionadas.

Tabla 8.2.1: “Resultados de la dosificación de hormigones”

	Agua, litros/m <sup>3</sup>					Aire atrapado, lt/m <sup>3</sup>
	Asentamiento de cono, cm					
	0 - 2	3 - 5	6 - 9	10 - 15	16	
<b>40</b>	150	160	170	180	185	10
<b>25</b>	170	180	190	200	205	15
<b>20</b>	175	185	195	205	210	20
<b>12</b>	185	200	210	220	230	25
<b>10</b>	190	205	215	230	240	30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.2.2: “Resultados de la dosificación de hormigones”

<b>Agua (sugerido 170), litros</b>	170	litros
<b>Aire (Máx.)</b>	10	litros
<b>Razón agua/cemento</b>	0,50	-
<b>Cemento = 170/0,5</b>	340	kilos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.2.3: “Resultados de la dosificación de hormigones para cono 8”

PLANTA	AGUA (lt)	CEMENTO (kg)	GRAVA (kg)	GRAVILLA (kg)	ARENA (kg)
<b>Maipo 1</b>	8	17	17.25	11.6	28.75
<b>Maipo 2</b>	8	17	27	18	44
<b>Lo Espejo</b>	8	17	30	13	43
<b>Maipú</b>	7	17	31	13	44
<b>Mapocho</b>	9	17	24	16	40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.2.4: “Resultados de la dosificación de hormigones para cono 12”

PLANTA	AGUA (lt)	CEMENTO (kg)	GRAVA (kg)	GRAVILLA (kg)	ARENA (kg)
Maipo 1	8	17,5	10,5	0	30
Maipo 2	9	18	9	8	65
Lo Espejo	8	17	16	13	61
Maipú	9	17,5	16	13	64
Mapocho	10	18	12	16	61

Fuente: Elaboración propia

En base a las dosificaciones establecidas anteriormente, los ensayos de trabajabilidad de cono de Abrams y mesa de flujo, (tanto para cono 8 y cono 12) y sus correspondientes modificaciones de la relación agua/cemento, son expresados en la tabla 8.2.4. La razón a/c teórica (0,5) corresponde a la razón establecida como parámetro base (fue corregida para cada caso dependiendo del contenido de humedad de los áridos). La razón agua/cemento real corresponde a la razón en la cual se logra un cono de 8 centímetros de asentamiento. La columna de mesa de flujo corresponde a la dispersión diametral de la muestra de hormigón. Para el caso del cono fluido, la razón teórica es la misma, sin embargo la razón agua cemento real es para obtener un cono 12.

Tabla 8.2.5: “Resultados de cono y mesa de flujo”

PLANTA	Cono Plástico				Cono Fluido			
	Razón a/c Teórica	Razón a/c real	Cono de Abrams	Mesa de Flujo	Razón a/c Teórica	Razón a/c real	Cono de Abrams	Mesa de Flujo
Maipo 1	0.5	0,55	8	38	0,5	0,61	12	62
Maipo 2	0.5	0.54	8	40	0,5	0,60	12	63
Lo Espejo	0.5	0.53	8	42	0,5	0,60	12	64
Maipú	0.5	0.56	8	40	0,5	0,6 2	12	60
Mapocho	0.5	0.58	8	38	0,5	0, 64	12	59

Fuente: Elaboración propia

*.Figura 8.2.1 “Determinación del ensayo de mesa de flujo”*



*Fuente: Elaboración propia*

## CAPÍTULO IX

### CONCLUSIONES

En relación a la caracterización de áridos, se puede apreciar que todas las plantas presentan rangos bastante similares en cuanto a densidades aparentes en áridos gruesos, se puede determinar un comportamiento “lineal” en la mayoría de las plantas, salvo en el caso de la ubicada en Rinconada de Maipú, donde se ubican los valores extremos (mayor densidad aparente compactada y menor densidad aparente suelta). En el caso de los áridos finos, no se observan diferencias sustanciales, lo que implicaría que no tendría mayor influencia en los resultados de trabajabilidad. Las densidades reales (saturada superficialmente seca y seca) y netas presentan un comportamiento lineal donde, las plantas río Maipo 2 y Rinconada de Maipú presentan los mayores valores obtenidos. La linealidad en los resultados obtenidos de densidades era esperable, ya que solo confirma las propiedades de la roca, y al tratarse de una misma región no se deberían encontrar diferencias tan significativas.

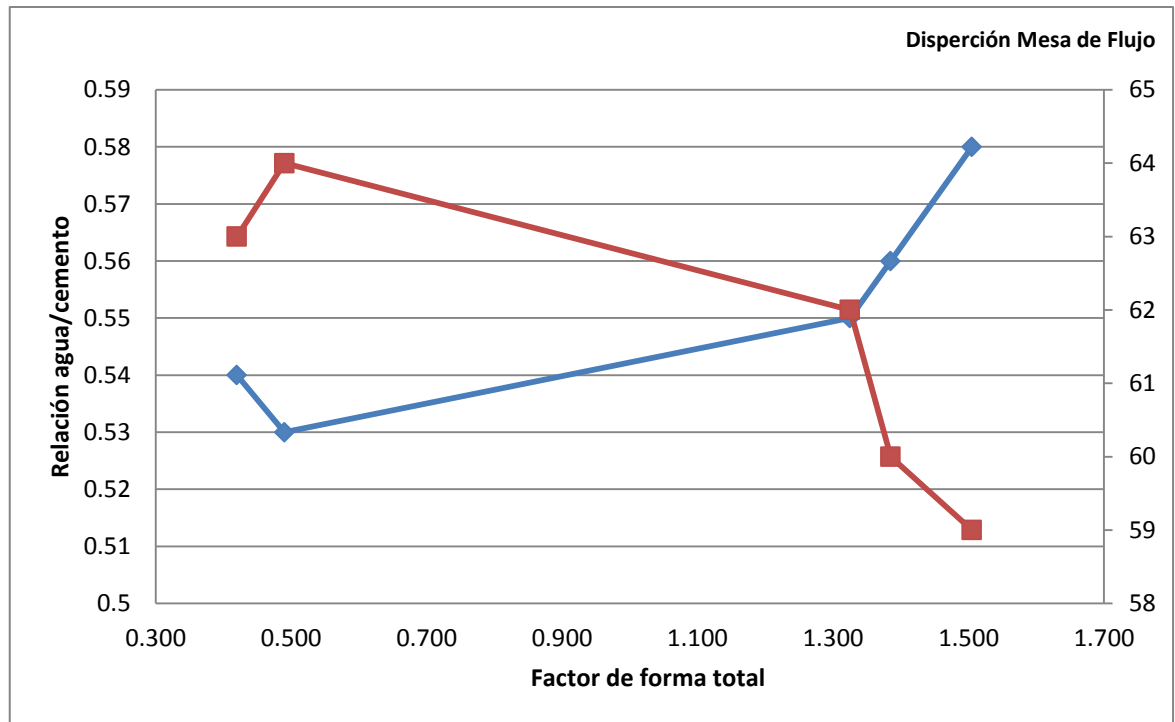
En cuanto a los valores de absorciones, tanto en las gravas como las arenas, no se presentan diferencias significativas, en el caso de las primeras, los valores fluctúan entre los 0,6 y 0,8 %. Mientras que en el caso de las arenas, los valores son levemente superiores y oscilan entre los 1,7 y los 2,2 % (valor obtenido de la planta Mapocho). Lo que ciertamente influiría en los resultados de trabajabilidad, fundamentalmente en el cono fluido, donde el contenido de arena en las dosificaciones es considerablemente mayor y por ende, la cantidad necesaria de agua para cubrir y lubricar las partículas también es mayor. Para ejemplificar esta afirmación se considerará el caso de la planta artesanal del río Mapocho (donde se alcanza el mayor nivel de absorción), la cual posee el mayor índice de absorción y un tiempo de escurrimiento considerable (tercer mayor tiempo), por lo que era de esperarse una relación de agua/cemento significativamente mas elevada, sobretudo en el caso del cono fluido, donde se presenta una mayor cantidad de arena.

Para los ensayos de coeficientes de forma, las gravas no presentan mayores diferencias, mas aún todas están muy por debajo de la tolerancia establecida (20 % de fracción defectuosa), por lo que se podría desprender que no tienen una influencia sustantiva en las trabajabilidades de los hormigones. El mayor porcentaje de fracción defectuosa se observa en la planta Mapocho, con un 1,7 %, lo cual implicaría que al tratarse de una planta artesanal, no cuenta con los controles que si presentan las demás plantas, sin embargo su porcentaje de fracción defectuosa es muy pequeño y no afecta en ningún caso la trabajabilidad del hormigón. En el caso de los coeficientes de forma de los finos (tiempo de escurrimiento), se observan diferencias principalmente en el caso de la planta Maipo 1 (mayor tiempo de escurrimiento) y la planta de Lo Espejo (menor tiempo), lo que se puede apreciar en los resultados de trabajabilidad, donde cabe señalar que la planta Lo Espejo presenta la mejor relación agua cemento tanto en el caso del cono plástico (8) y cono fluido (12).

Por lo tanto se podría concluir que en base a la tipología de extracción, son los áridos provenientes de pozos secos ( Maipú y Lo Espejo), quienes presentan mejores propiedades para obtener trabajabilidades confiables y con una relación agua/cemento menor, lo cual tiene su implicancia fundamentalmente en la resistencia mecánica del hormigón.

En base a los resultados obtenidos de los ensayos de trabajabilidad para la mesa de de flujo y el cono de Abrams establecido, se fijará un parámetro por planta, que considera el coeficiente de forma (tanto de gravas como de arenas) y su proporción en la dosificación. En la figura 9.1. se da a conocer esta relación.

Figura 9.1 “Relación mesa de flujo v/s Factor total de coeficiente de forma”



A partir de la imagen anterior, se puede desprender que el ensayo de mesa de flujo, no presenta un comportamiento lineal, lo cual era de esperarse ya que involucra muchas variables en su resultado (relación a/c, absorción y factores de forma) los cuales al mezclarse en distintas proporciones, generan una gran diversidad en los resultados. Lo que si queda claro es que el ensayo de mesa de flujo a diferencia de cono de Abrams, entrega una mayor exactitud de fluidez y consistencia, ya que como se aprecia en los resultados, para un mismo cono de Abrams, existen diferentes dispersiones diametrales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ZABALETA, Hernán, (2003). Tecnología de la construcción en Hormigón. p. 27.
- [2] COMISIÓN DE ÁRIDOS, CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO. 2001. Industria del árido en Chile. Vol. I
- [3] COMISIÓN DE ÁRIDOS, CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO. 2001. Industria del árido en Chile. Vol. II
- [4] COMISIÓN DE ÁRIDOS, CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO. 2001. Industria del árido en Chile. Vol. II
- [5] NCh1116.n2008. Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la densidad aparente. Santiago. Chile: Instituto Nacional de Normalización. 2008.
- [6] NCh1117.n2010. Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las gravas. Santiago. Chile: Instituto Nacional de Normalización. 2010.
- [7] NCh1239.n2009. Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las arenas. Santiago. Chile: Instituto Nacional de Normalización. 2009.
- [8] NCh3240.n2010. Áridos para morteros y hormigones - Determinación del coeficiente de forma de las gravas. Santiago. Chile: Instituto Nacional de Normalización. 2010.
- [9] ROUSE, P. 2005. Characterisation and modelling of uniformly graded, well-rounded coarse sand. M.A.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, The University of British Columbia, Vancouver, B.C.
- [10] NCh1369.n2010. Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto - Método de la máquina de Los Ángeles. Santiago. Chile: Instituto Nacional de Normalización. 2010.
- [11] BAÑÓN, P. 2002. Propiedades y caracterización de los áridos.
- [12] NCh1328.Of 1977. Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la desintegración. Método de los Sulfatos Santiago. Chile: Instituto Nacional de Normalización. 1977.
- [13] NCh163.Of 1979. Áridos para morteros y hormigones – Requisitos Generales. Santiago. Chile: Instituto Nacional de Normalización. 1979.

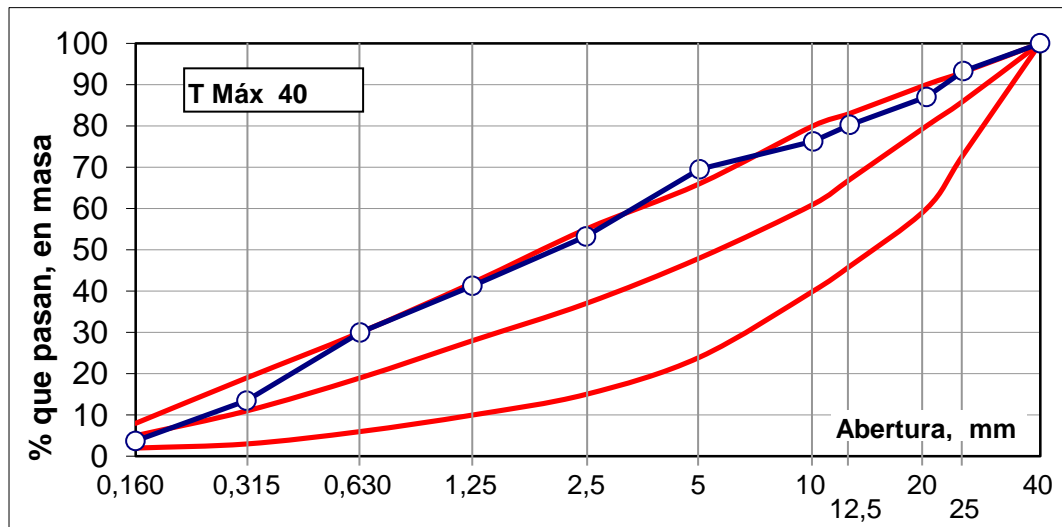


- [14] NCh1037.n2009. Hormigón – Ensayo de probetas cubicas y cilíndricas. Santiago. Chile: Instituto Nacional de Normalización. 2010.
- [15] NCh1117.n2010. Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las gravas. Santiago. Chile: Instituto Nacional de Normalización. 2010.



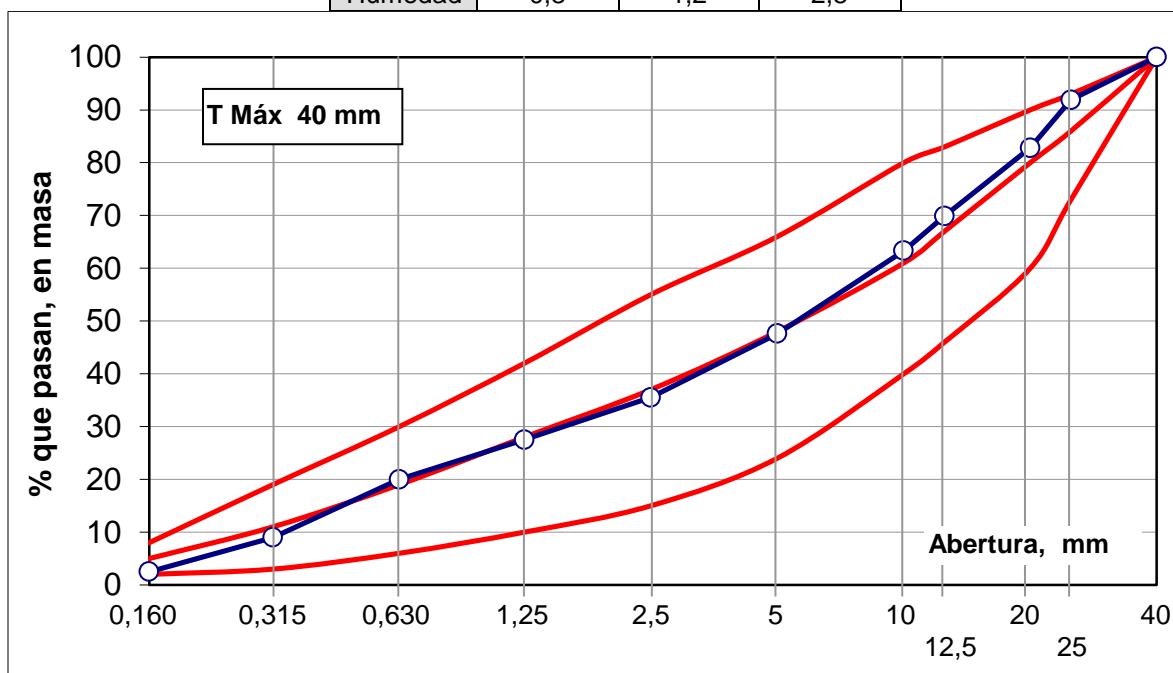
**ANEXO 2 Determinación de las dosificaciones para Planta Río Maipo 1: Cono 12-14.**

Proporción	25	0	75
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena
40	100	100	100
25	73	100	100
20	48	92	100
12,5	21	68	100
10	5	59	100
5,0	2	5	92
2,5			71
1,25			55
0,63			40
0,32			18
0,16			5
MF	7,45	6,44	3,19
Dns Ap seca	1,56	1,46	1,50
Dns real sss	2,70	2,48	0,64
Absorción	0,6	0,7	1,9
Humedad	0,8	1.2	2,8



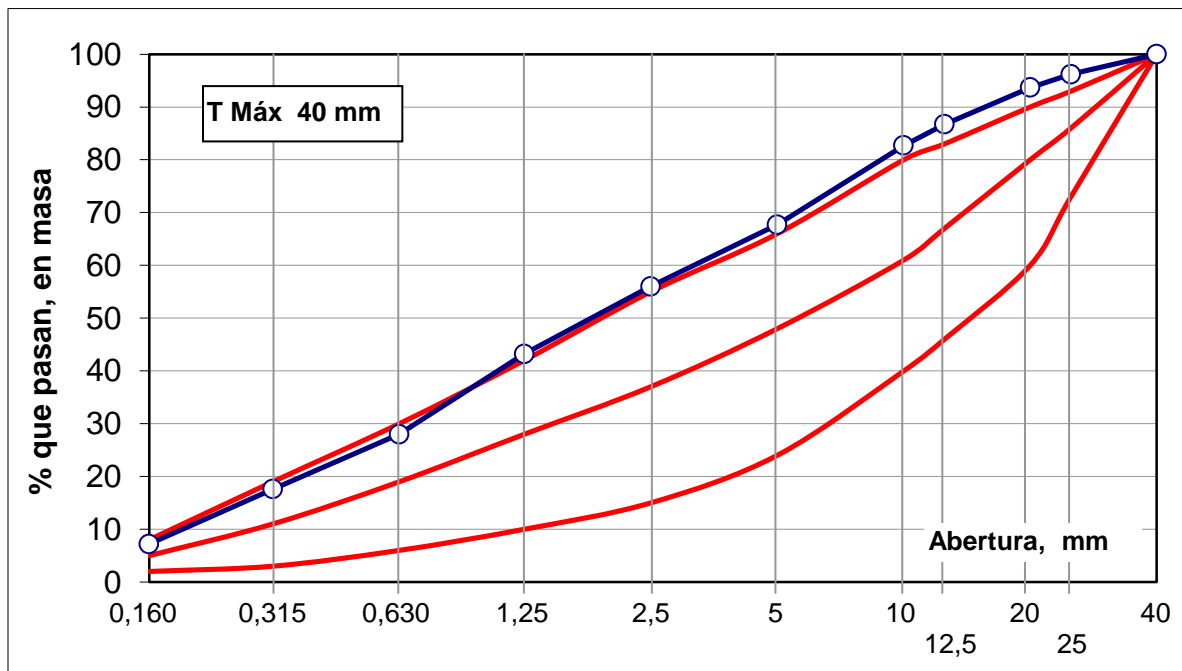
### Determinación de las dosificaciones para Planta Río Maipo 1: Cono 6-8.

Proporción	30	20	50
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena
40	100	100	100
25	73	100	100
20	48	92	100
12,5	21	68	100
10	5	59	100
5,0	2	5	92
2,5			71
1,25			55
0,63			40
0,32			18
0,16			5
MF	7,45	6,44	3,19
Dns Ap seca	1,56	1,46	1,50
Dns real sss	2,70	2,48	0,64
Absorción	0,6	0,7	1,9
Humedad	0,8	1,2	2,8



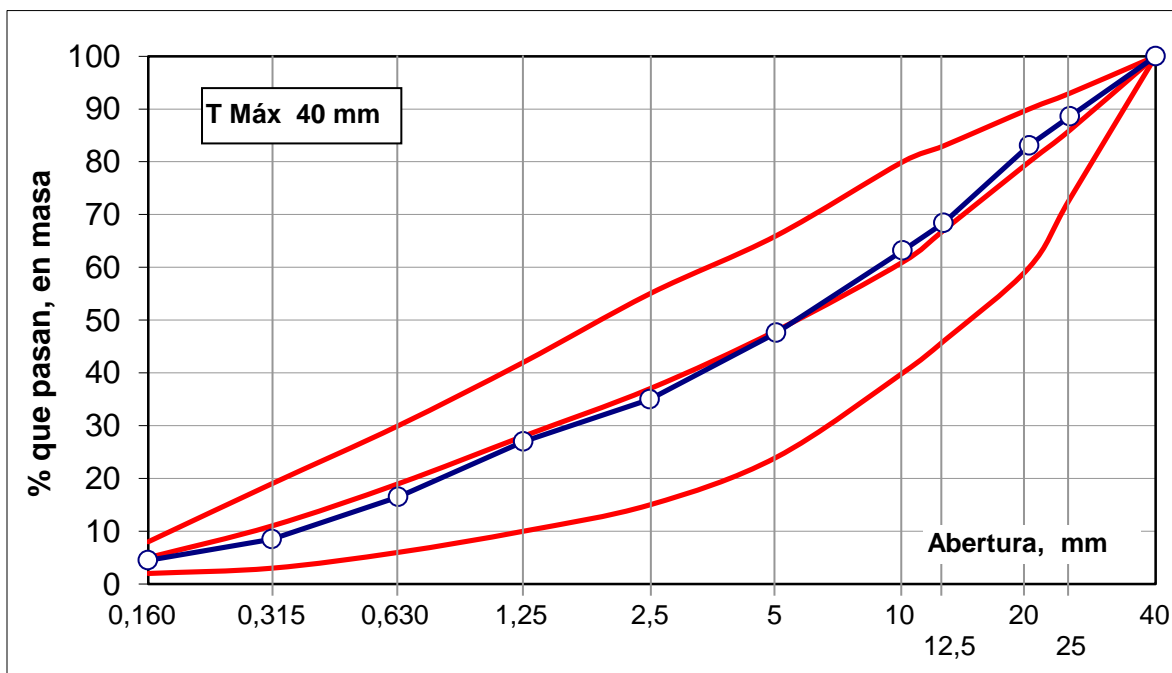
### Determinación de las dosificaciones para Planta Río Maipo 2: Cono 12-14.

Proporción	10	10	80
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena
40	100	100	100
25	62	100	100
20	49	88	100
12,5	12	55	100
10	10	33	98
5,0	2	3	84
2,5			70
1,25			54
0,63			35
0,32			22
0,16			9
MF	7,39	6,76	3,28
Dns Ap seca	1,52	1,46	1,70
Dns real sss	2,80	2,96	2,19
Absorción	0,6	0,6	1,9
Humedad	1,2	0,9	1,8



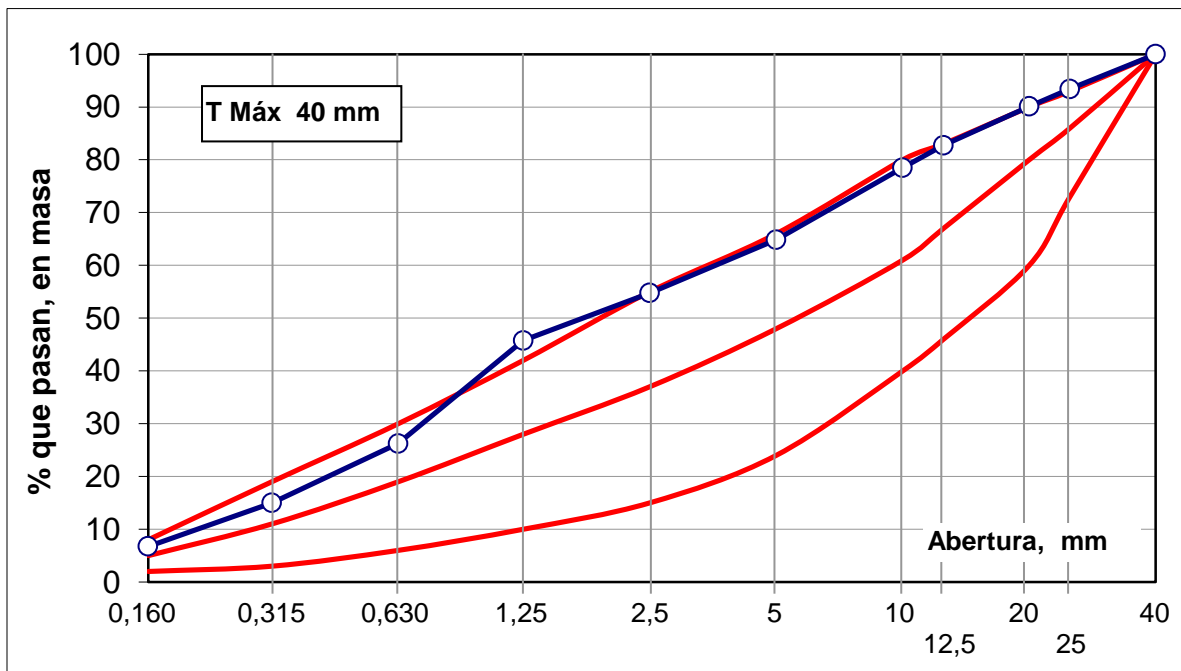
### Determinación de las dosificaciones para Planta Río Maipo 2: Cono 6-8

Proporción	30	20	50
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena
40	100	100	100
25	62	100	100
20	49	92	100
12,5	12	74	100
10	10	51	100
5,0	4	2	92
2,5			70
1,25			54
0,63			33
0,32			17
0,16			9
MF	7,37	6,55	3,25
Dns Ap seca	1,52	1,46	1,70
Dns real sss	2,80	2,96	2,19
Absorción	0,6	0,6	1,9
Humedad	1,2	0,9	1,8



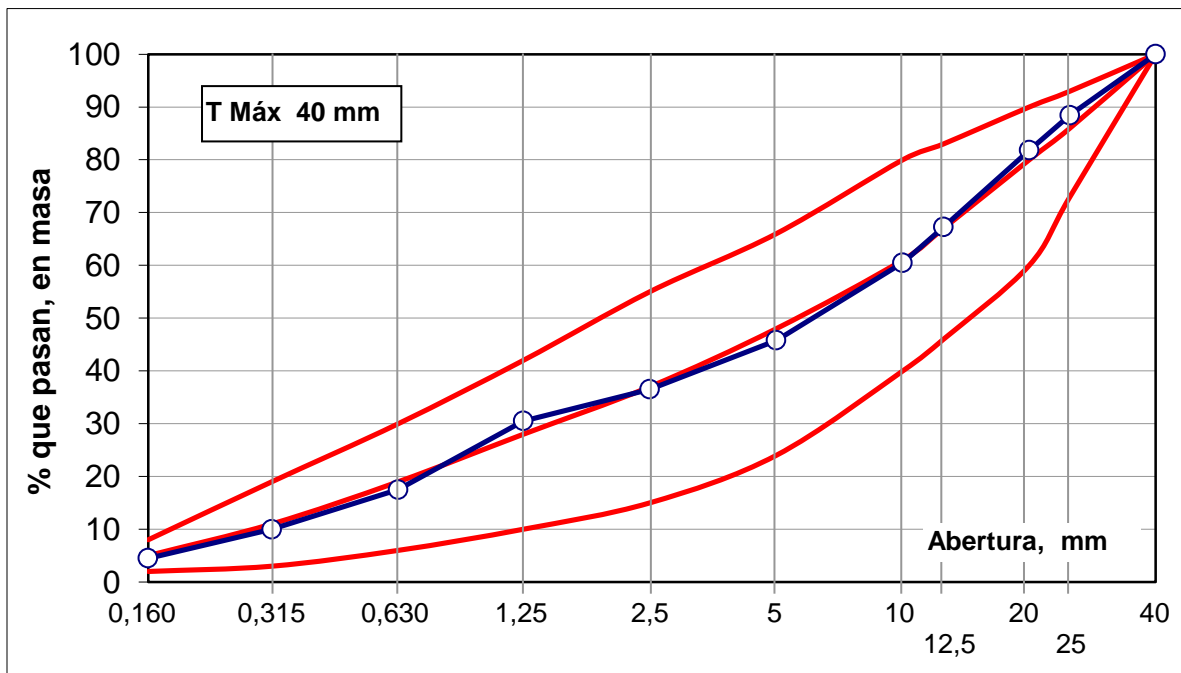
### Determinación de las dosificaciones para Planta Lo Espejo: Cono 12-14

Proporción	20	5	75
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena
40	100	100	100
25	67	100	100
20	54	86	100
12,5	24	59	100
10	14	44	98
5,0	7	9	84
2,5			73
1,25			61
0,63			35
0,32			20
0,16			9
MF	7,25	6,61	3,20
Dns Ap seca	1,56	1,67	1,70
Dns real sss	2,81	2,55	2,18
Absorción	0,7	0,9	1,7
Humedad	1,9	2,4	2,4



### Determinación de las dosificaciones para Planta Lo Espejo: Cono 6-8

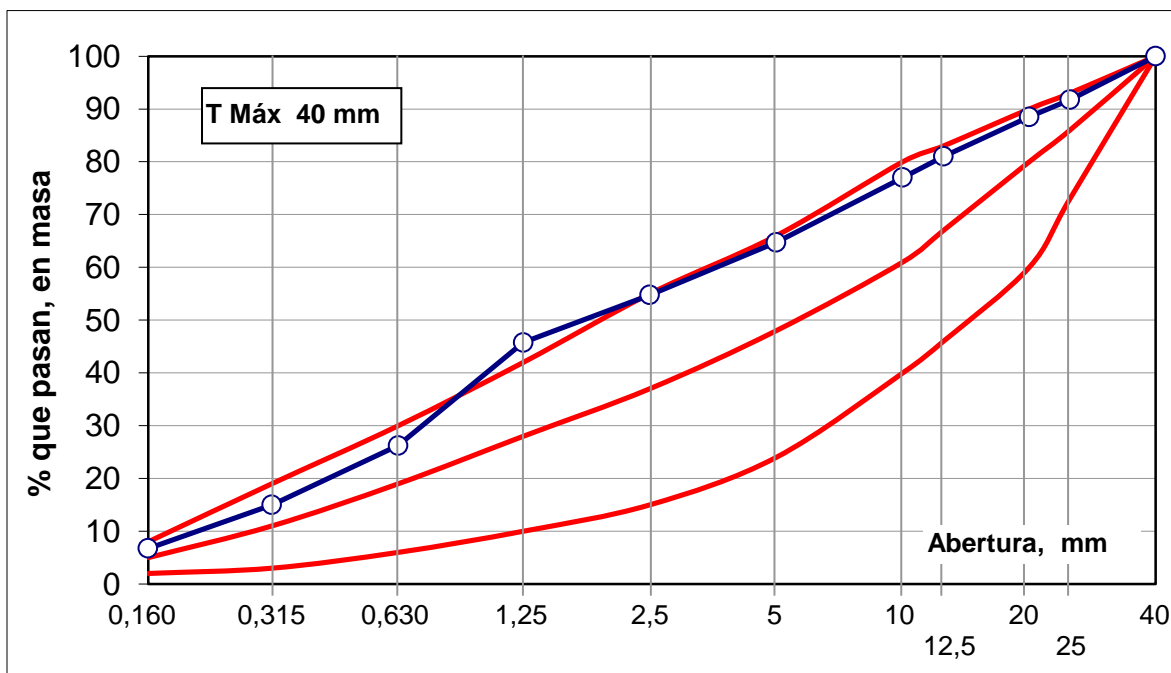
Proporción	35	15	50
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena
40	100	100	100
25	67	100	100
20	54	86	100
12,5	24	59	100
10	14	44	98
5,0	7	9	84
2,5			73
1,25			61
0,63			35
0,32			20
0,16			9
MF	7,25	6,61	3,20
Dns Ap seca	1,56	1,67	1,70
Dns real sss	2,81	2,55	2,18
Absorción	0,7	0,9	1,7
Humedad	1,9	2,4	2,4





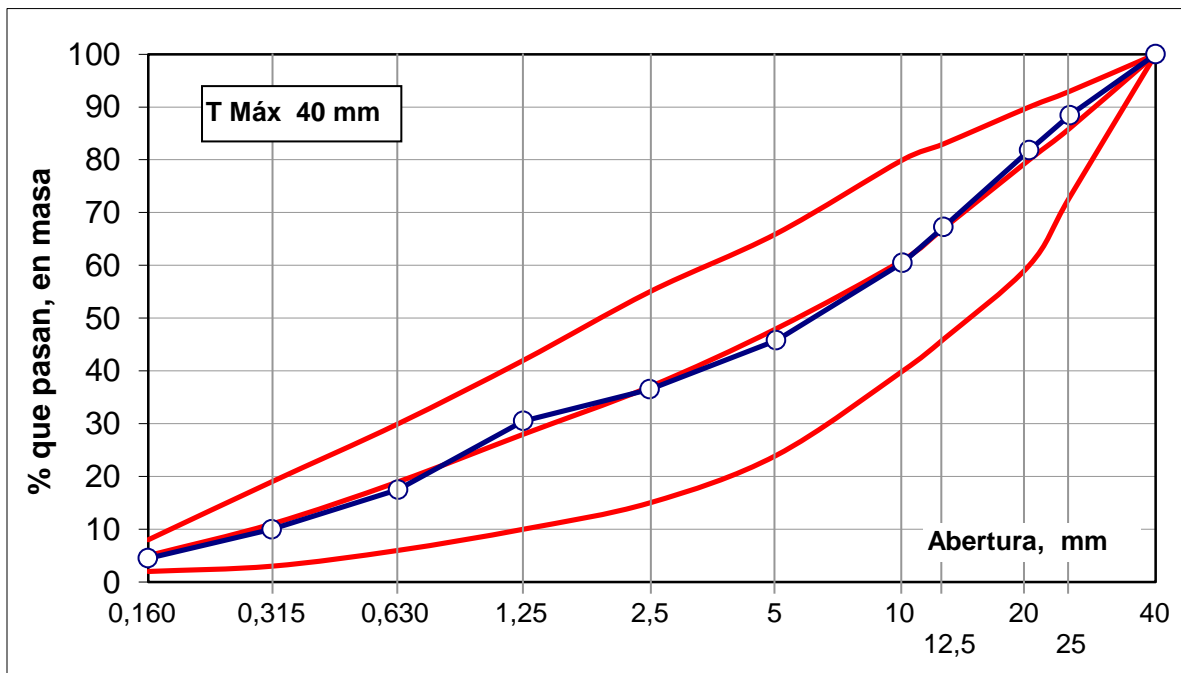
### Determinación de las dosificaciones para Planta Maipú: Cono 12-14

Proporción	25	0	75
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena
40	100	100	100
25	67	100	100
20	54	86	100
12,5	24	59	100
10	14	44	98
5,0	7	9	84
2,5			73
1,25			61
0,63			35
0,32			20
0,16			9
MF	7,25	6,61	3,20
Dns Ap seca	1,62	1,55	1,66
Dns real sss	2,82	2,69	2,16
Absorción	0,7	0,8	1,9
Humedad	0,8	0,7	1,5



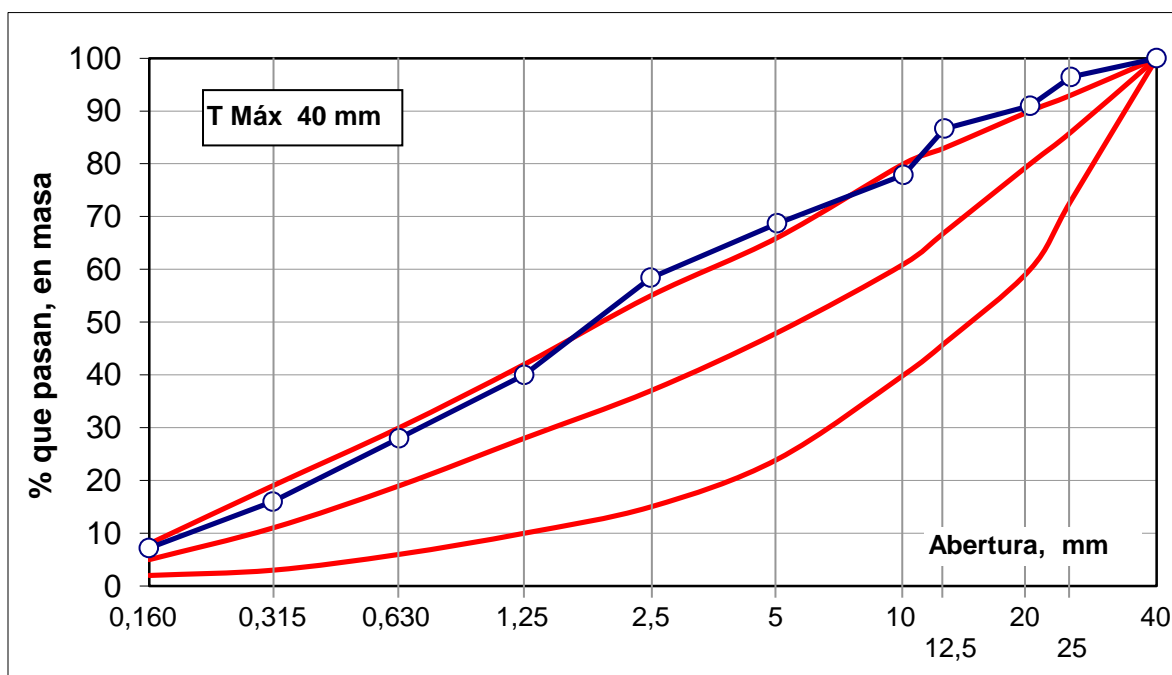
### Determinación de las dosificaciones para Planta Maipú: Cono 6-8

Proporción	35	15	50
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena
40	100	100	100
25	67	100	100
20	54	86	100
12,5	24	59	100
10	14	44	98
5,0	7	9	84
2,5			73
1,25			61
0,63			35
0,32			20
0,16			9
MF	7,25	6,61	3,20
Dns Ap seca	1,62	1,55	1,66
Dns real sss	2,82	2,69	2,16
Absorción	0,7	0,8	1,9
Humedad	0,8	0,7	1,5



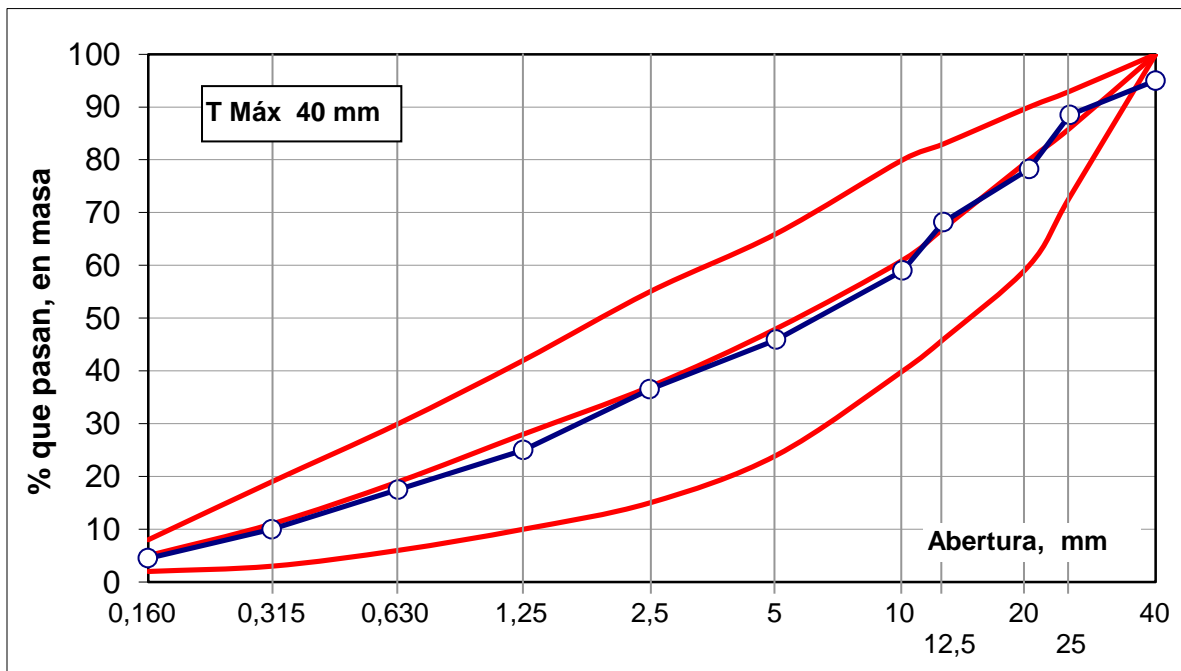
### Determinación de las dosificaciones para Planta Mapocho: Cono 12-14

Proporción	15	5	80
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena
40	100	100	100
25	78	95	100
20	45	85	100
12,5	24	61	100
10	12	50	92
5,0	6	12	84
2,5			73
1,25			50
0,63			35
0,32			20
0,16			9
MF	7,37	6,53	3,37
Dns Ap seca	1,59	1,69	1,71
Dns real sss	2,82	1,78	2,16
Absorción	0,8	0,8	2,2
Humedad	1.2	0,8	3.5



### Determinación de las dosificaciones para Planta Mapocho: Cono 6-8

Proporción	30	20	50
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena
40	100	100	100
25	78	95	100
20	45	85	100
12,5	24	61	100
10	12	50	92
5,0	6	12	84
2,5			73
1,25			50
0,63			35
0,32			20
0,16			9
MF	7,37	6,53	3,37
Dns Ap seca	1,59	1,69	1,71
Dns real sss	2,82	1,78	2,16
Absorción	0,8	0,8	2,2
Humedad	1.2	0,8	3,5



## ANEXO 3: DOSIFICACIONES DE HORMIGONES: CONO 8

## Maipo 1

<b>Dosificación para áridos húmedos</b>		
Cemento	17	kilos
Grava = $*(1+/100)$	17,25	kilos
Gravilla = $*(1+/100)$	11,6	kilos
Arena = $*(1+/100)$	28,75	kilos
Agua = $+(Ar\ secos-Ar\ húmedos)$	8,1	litros

## Maipo 2

<b>Dosificación para áridos húmedos</b>		
Cemento	17	kilos
Grava = $*(1+/100)$	27	kilos
Gravilla = $*(1+/100)$	18	kilos
Arena = $*(1+/100)$	44	kilos
Agua = $+(Ar\ secos-Ar\ húmedos)$	8	litros

## Lo Espejo

<b>Dosificación para áridos húmedos</b>		
Cemento	17	kilos
Grava = $*(1+/100)$	30	kilos
Gravilla = $*(1+/100)$	13	kilos
Arena = $*(1+/100)$	43	kilos
Agua = $+(Ar\ secos-Ar\ húmedos)$	8	litros

## Maipú

<b>Dosificación para áridos húmedos</b>		
Cemento	18	kilos
Grava = $*(1+/100)$	21	kilos
Gravilla = $*(1+/100)$	0	kilos
Arena = $*(1+/100)$	61	kilos
Agua = $+(Ar\ secos-Ar\ húmedos)$	8	litros

## Mapocho

<b>Dosificación para áridos húmedos</b>		
Cemento	17	kilos
Grava = $*(1+/100)$	24	kilos
Gravilla = $*(1+/100)$	16	kilos
Arena = $*(1+/100)$	40	kilos
Agua = $+(Ar\ secos-Ar\ húmedos)$	9	litros

## DOSIFICACIONES DE HORMIGONES: CONO 12

## Maipo 1

<b>Dosificación para áridos húmedos</b>		
Cemento	17,5	kilos
Grava = $*(1+/100)$	10,5	kilos
Gravilla = $*(1+/100)$	0	kilos
Arena = $*(1+/100)$	33	kilos
Agua = $+(Ar\ secos-Ar\ húmedos)$	8,5	litros

## Maipo 2

<b>Dosificación para áridos húmedos</b>		
Cemento	18	kilos
Grava = $*(1+/100)$	9	kilos
Gravilla = $*(1+/100)$	8	kilos
Arena = $*(1+/100)$	65	kilos
Agua = $+(Ar\ secos-Ar\ húmedos)$	9	litros



## Lo Espejo

<b>Dosificación para áridos húmedos</b>		
Cemento	17	kilos
Grava = $*(1+/100)$	16	kilos
Gravilla = $*(1+/100)$	4	kilos
Arena = $*(1+/100)$	61	kilos
Agua = $+(Ar\ secos-Ar\ húmedos)$	8	litros

## Maipú

<b>Dosificación para áridos húmedos</b>		
Cemento	17,5	kilos
Grava = $*(1+/100)$	16	kilos
Gravilla = $*(1+/100)$	0	kilos
Arena = $*(1+/100)$	64	kilos
Agua = $+(Ar\ secos-Ar\ húmedos)$	9	litros

## Mapocho

<b>Dosificación para áridos húmedos</b>		
Cemento	18	kilos
Grava = $*(1+/100)$	12	kilos
Gravilla = $*(1+/100)$	4	kilos
Arena = $*(1+/100)$	61	kilos
Agua = $+(Ar\ secos-Ar\ húmedos)$	10	litros