



# Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

## **“HORMIGÓN CON VIDRIO”**

**Tesis para optar al título de:  
Ingeniero Constructor.**

**Profesor Guía:  
Sr. José Arrey Díaz.  
Constructor Civil.**

**MERARY RUBÉN FLORES VILLANUEVA.**

**VALDIVIA – CHILE**

**2005**

*Dedicada a mis padres, hermanos y esposa.*

## **AGRACECIMIENTOS**

Primero que todo quisiera expresar mi profunda gratitud al Dios Todopoderoso, ya que todo lo que en la vida he alcanzado, se lo debo a él.

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a las personas que han estado conmigo incondicionalmente a lo largo de esta carrera, me refiero a mis padres y hermanos, gracias por su incansable sacrificio y apoyo durante estos años de vida universitaria, los amo con todo mi corazón.

A mi amada esposa por su constante compañía y respaldo en el último tramo de mi carrera. Marcia sin tu apoyo este logró aún no se habría hecho realidad, gracias por todo.

Agradezco además a mi profesor guía don José Arrey, al personal del Laboratorio LEMCO y a la señora Tati por su paciencia y disposición.

A mis amigos por su ayuda y apoyo.

A todos ellos MUCHAS GRACIAS.

## INDICE

	Pág.
<b>Capítulo I</b>	
<b>Hormigón</b>	1
1.1. Antecedentes Generales de la Investigación	1
1.2. Materiales Empleados	1
1.2.1. Cemento	1
1.2.2. Agua	1
1.2.3. Aditivos	2
1.2.4. Áridos	2
1.2.4.1. Extracción y Preparación de Muestras	2
1.2.4.2. Tamizado y Determinación de la Granulometría	3
1.2.4.3. Determinación de la Densidad Aparente	9
1.2.4.4. Determinación de la Densidad Real y Neta de la Grava	10
1.2.4.5. Determinación de la Densidad Real de la Arena	11
1.2.4.6. Determinación del Contenido de Materia Orgánica	12
<b>Capítulo II</b>	
<b>Vidrio</b>	13
2.1. Composición del Vidrio	13
2.2. Tipos de Vidrio	14
2.3. Color	15
2.4. Ingredientes Diversos	15
2.5. Mezcla y Fusión	15
2.6. Propiedades Físicas	16

<b>Capitulo III</b>	
<b>Hormigón con Vidrio</b>	17
3.1. Hormigón Patrón	17
3.1.1. Dosificación	17
3.2. Hormigón con Vidrio	19
3.2.1. Clasificación y Limpieza del Vidrio Utilizado	19
3.2.2. Formas De Trituración Del Vidrio	19
3.2.3. Tamaño De Las Partículas	20
3.2.4. Densidades Del Vidrio	20
3.2.5. Dosificación Con Vidrio	22
3.2.6. Porcentajes De Árido A Reemplazar	23
<b>Capítulo IV</b>	
<b>Determinación de Resistencias</b>	28
4.1. Confección y Curado de Probetas para Ensayos de Compresión	28
4.2. Ensayos de Compresión	30
<b>Capitulo V</b>	
<b>Hormigón con Vidrio: Aplicaciones en Terminación de Muros</b>	42
5.1. Pulido Superficial con Escobilla de Acero.	42
5.2. Pulido Superficial con Disco de Lija para Metal	46
<b>Capitulo VI</b>	
<b>Conclusiones</b>	48
<b>Bibliografía</b>	52

## **RESUMEN**

El trabajo realizado en esta tesis es el estudio preliminar del reemplazo, por vidrio, de distintos porcentajes del árido constituyente del hormigón.

Para lograr estudiar el comportamiento del hormigón, se realizaron una serie de ensayos granulométricos, cálculo de densidades, ensayos de carga para determinar el comportamiento mecánico de la mezcla **cemento-árido-vidrio**.

Además se realizaron posibles aplicaciones en el área de terminación y acabado de muros.

## **SUMMARY**

The work in this thesis is a preliminary study on replacement, through glass, of various percentages of the dry that forms concrete.

In order to understand concrete`s behaviour, a series of granulemmetrical tests, density calculus and load tests for determining the mechanical behaviour of the mixture **cement-dry-glass**, were carried out.

Besides, some possible applications were carried out in the field of endings in walls.

## INTRODUCCION

Hoy en día la protección del medioambiente lleva implícita las palabras "recuperación" y/o "reciclado". Los países industrializados son grandes productores de desechos que no se pueden destruir de una manera sencilla y rápida. Los altos costos de eliminación de residuos obligan a los gobiernos a tomar medidas encaminadas a minimizar esos residuos y reducir su dependencia de las materias primas.

Los países europeos han emprendido una tarea de reciclaje. Los porcentajes de reciclaje de algunos de ellos son los siguientes: Alemania: 81%; Holanda: 84%; Francia: 55%; España: 41%. Hoy día, se puede considerar que en Europa un 60% del vidrio de una botella procede de otra botella.

En Chile no existe un dato real de la cantidad de vidrio que se recicla, y son generalmente las instituciones de beneficencia las que utilizan el reciclaje como un medio de reunir fondos. En nuestro país sólo se recicla el vidrio blanco, el verde y el ámbar (café) se acumulan en los vertederos.

El reciclaje del vidrio contribuye a la protección del medio ambiente de varios modos.

**La no extracción de materias primas**, pues por cada tonelada de envases de vidrio usado que se recicla se ahorran 1,2 toneladas de materias primas.

**El menor consumo de energía**, que se produce a través de dos conductos distintos: por la no extracción de materias primas y por la menor temperatura a que han de trabajar los hornos. Una tonelada de vidrio (frascos) cuando es reutilizada varias veces ahorra 117 barriles de petróleo.

**La disminución del volumen de residuos** que han de recoger y eliminar las municipalidades.

Para determinar y probar el uso del vidrio en relación con el hormigón, se realizarán varios ensayos, en los cuales se reemplazarán distintos porcentajes de vidrio, los que van desde un 25% hasta un 75% de vidrio, cuyos resultados darán cuenta de su aplicación como material constructivo, ya sea en adocretos ó muros, etc. mediante ensayos de granulometría, toma de densidades, ensayos destructivos de probetas de hormigón, etc. en un lapso aproximado de 60 días.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVOS GENERALES**

Realizar un estudio preliminar en el uso de hormigón reemplazando el árido por vidrio, en diversos porcentajes, incluidos en la mezcla.

Se espera que los resultados obtenidos en el hormigón con adición de vidrio y las características de éste, sean similares a las mínimas exigidas al hormigón tradicional o patrón.

Se realizarán todos los ensayos correspondientes para verificar comportamiento mecánico, así como también se estudiará su posible aplicación en terminación de muros.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Se reciclará el vidrio (botellas) y posterior a la recolección de éste se procederá a lavar y retirar todos los adhesivos, corchos u otros artículos que posea la botella

Se ideará una forma mecánica de triturar el vidrio, para así darle el tamaño deseado y/o necesario para el estudio.

Se tamizará para obtener deseablemente tamaños máximos similares a los exigidos por norma para los áridos utilizados en el Hormigón Patrón.

Se realizará una dosificación con vidrio, donde se reemplazarán árido por vidrio en un 25%, 50% y 75%.

## **CAPÍTULO I**

### **HORMIGÓN**

#### **1.1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN**

Es necesario, antes de realizar una dosificación, conocer las características de los materiales a utilizar, tales como el agua, áridos, cemento, para cerciorarse de que presentan los requisitos mínimos exigidos por norma. Es por ello que se trabajó guiándose estrictamente, en los procedimientos que dictan las normas.

#### **1.2. MATERIALES EMPLEADOS**

##### **1.2.1. CEMENTO**

El cemento usado en la investigación es marca Bío Bío especial, grado corriente.

##### **1.2.2. AGUA**

Para obtener un hormigón de buena calidad, este se confeccionó de acuerdo a lo exigido por norma, utilizando agua potable.

### 1.2.3. ADITIVOS

En el estudio realizado no se utilizó ningún tipo de aditivos en la fabricación del hormigón.

### 1.2.4. ÁRIDOS

La procedencia de este material es de la planta VALDICOR, ubicada en Valdivia.

#### 1.2.4.1. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS (NCH 164 E OF. 76)

La correcta extracción de una muestra de árido y una preparación adecuada permite obtener en los ensayos correspondientes, valores representativos de las condiciones generales que poseen dichos áridos.

La norma Nch 164 establece los procedimientos para extracción y preparación de muestras representativas que se someterán a ensayos de áridos finos, gruesos o totales de densidad real entre 2000 y 3000 Kg./m<sup>3</sup> que se emplean en la confección de morteros y hormigones.

El método puede resumirse de la siguiente forma:

- Identificar y estimar el tamaño del lote.
- Determinar el tamaño de la muestra simple.
- Extraer el árido.

- Homogeneizar la muestra.
- Cuartear la muestra.

### TAMAÑO DE LAS MUESTRAS

TIPO DE ARIDO	CANTIDAD MINIMA
Fino	30 Kg.
Grueso	Igual o superior a la cantidad que en Kg. del doble del tamaño máximo del árido expresado en mm.

#### 1.2.4.2. TAMIZADO Y DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA (NCH 165 OF. 77)

La granulometría es la determinación más corriente y una de las más importantes que se le realizan a un árido. La granulometría está directamente relacionada con la manejabilidad del hormigón fresco, la demanda de agua, la compacidad y la resistencia mecánica del hormigón endurecido.

La norma Nch 165 establece el procedimiento para efectuar el tamizado y determinar la granulometría de los áridos.

Para determinar la granulometría de un árido se considera la masa de una muestra de ensayo; se tamiza la muestra y se determina la masa de las

fracciones del árido retenidas en cada uno de los tamices. Se calculan los porcentajes parciales retenidos y se expresa la granulometría.

- Acondicionamiento y tamaño de la muestra de ensayo.

La muestra de laboratorio se homogeneiza cuidadosamente en estado húmedo, se reduce por cuarteo (de acuerdo con Nch 164) para obtener en estado seco su tamaño ligeramente superior a los valores que se indican. No se permite hacer reducción en estado seco ni tampoco reducir la masa exacta predeterminada. Luego la muestra se seca hasta masa constante en estufa a 110 +/- 5 C.

En las siguientes tablas se muestran los resultados de las granulometrías de la grava, gravilla y arena obtenidos en laboratorio.

<b>Granulometría de la Grava</b>				
Peso Total Muestra Seca (grs)				<b>5880</b>
<b>Tamiz</b>	<b>Peso Ret. Grs</b>	<b>% Retenidos</b>	<b>% Ret Acumul.</b>	<b>% que pasa</b>
<b>3"</b>	0	0%	0%	100%
<b>2 1/2"</b>	0	0%	0%	100%
<b>2"</b>	0	0%	0%	100%
<b>1 1/2"</b>	<b>103</b>	<b>1,75%</b>	<b>1,75%</b>	<b>98%</b>
<b>1"</b>	<b>3707</b>	<b>63%</b>	<b>64,8%</b>	<b>35%</b>
<b>3/4"</b>	<b>1746</b>	<b>29,7%</b>	<b>94,5%</b>	<b>6%</b>
<b>1/2"</b>	<b>295</b>	<b>5%</b>	<b>99,5%</b>	<b>1%</b>
<b>3/8"</b>	4	0,07%	99,6%	0,5%
<b>N°4</b>	3	0,05%	99,6%	0,4%
<b>N°8</b>	0	0%	99,6%	0%
<b>N°16</b>	0	0%	99,6%	0%
<b>N°30</b>	0	0%	99,6%	0%
<b>N°50</b>	0	0%	99,6%	0%
<b>N°100</b>	0	0%	99,6%	0%

<b>N°200</b>	8	0,14%	99,8%	0,29%
<b>Residuo</b>	14	0,24%	100,0%	0%
	<b>5880</b>	<b>100%</b>		

<b>Granulometría de la Gravilla</b>				
Peso Total Muestra Seca (grs)				<b>3028</b>
<b>Tamiz</b>	<b>Peso Ret. Grs</b>	<b>% Retenidos</b>	<b>% Ret Acumul.</b>	<b>% que pasa</b>
<b>3"</b>	0	0%	0%	100%
<b>2 ½"</b>	0	0%	0%	100%
<b>2"</b>	0	0%	0%	100%
<b>1 ½"</b>	0	0%	0,0%	100%
<b>1"</b>	0	0%	0,0%	100%
<b>¾"</b>	<b>36</b>	<b>1,2%</b>	<b>1,2%</b>	<b>99%</b>
<b>½"</b>	<b>2225</b>	<b>73,5%</b>	<b>74,7%</b>	<b>25%</b>
<b>⅜"</b>	<b>615</b>	<b>20,3%</b>	<b>95,0%</b>	<b>5%</b>
<b>N°4</b>	<b>139</b>	<b>4,6%</b>	<b>99,6%</b>	<b>0,4%</b>
<b>N°8</b>	0	0%	99,6%	0%
<b>N°16</b>	0	0%	99,6%	0%
<b>N°30</b>	0	0%	99,6%	0%
<b>N°50</b>	0	0%	99,6%	0%
<b>N°100</b>	0	0%	99,6%	0%
<b>N°200</b>	6	0,2%	99,8%	0,2%
<b>Residuo</b>	7	0,2%	100%	0%
	<b>3028</b>	<b>100%</b>		

<b>Granulometría de la Arena</b>				
Peso Total Muestra Seca (grs)				<b>726</b>
<b>Tamiz</b>	<b>Peso Ret. Grs</b>	<b>% Retenidos</b>	<b>% Ret Acumul.</b>	<b>% que pasa</b>
<b>3"</b>	0	0%	0%	100%
<b>2 ½"</b>	0	0%	0%	100%
<b>2"</b>	0	0%	0%	100%
<b>1 ½"</b>	0	0%	0,0%	100%
<b>1"</b>	0	0%	0,0%	100%
<b>¾"</b>	0	0,0%	0,0%	100%
<b>½"</b>	0	0,0%	0,0%	100%
<b>⅜"</b>	0	0,0%	0,0%	100%
<b>N°4</b>	<b>85</b>	<b>11,7%</b>	<b>11,7%</b>	<b>88%</b>
<b>N°8</b>	<b>75</b>	<b>10,3%</b>	<b>22,0%</b>	<b>78%</b>

<b>N°16</b>	<b>79</b>	<b>10,9%</b>	<b>32,9%</b>	<b>67%</b>
<b>N°30</b>	<b>213</b>	<b>29,3%</b>	<b>62,3%</b>	<b>38%</b>
<b>N°50</b>	<b>228</b>	<b>31,4%</b>	<b>93,7%</b>	<b>6%</b>
<b>N°100</b>	<b>32</b>	<b>4,4%</b>	<b>98,1%</b>	<b>2%</b>
<b>N°200</b>	<b>5</b>	<b>0,7%</b>	<b>98,8%</b>	<b>1,2%</b>
<b>Residuo</b>	<b>9</b>	<b>1,2%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>
	<b>726</b>	<b>100%</b>		

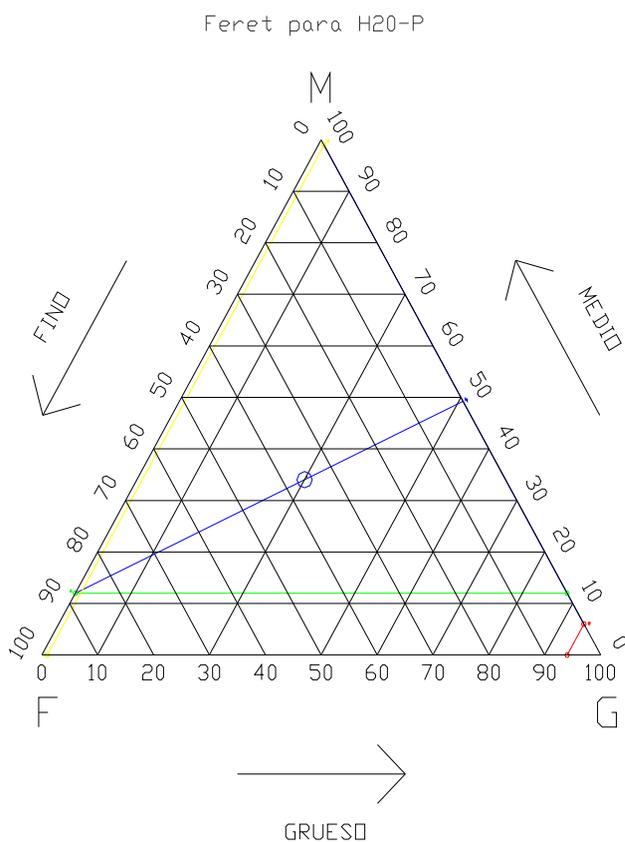
Resumen de resultados:

<b>Pesos Retenidos</b>			
<b>Tamiz</b>	<b>Grava</b>	<b>Gravilla</b>	<b>Arena</b>
<b>3"</b>	0	0	0
<b>2 ½"</b>	0	0	0
<b>2"</b>	0	0	0
<b>1 ½"</b>	<b>103</b>	0	0
<b>1"</b>	<b>3707</b>	0	0
<b>¾"</b>	<b>1746</b>	<b>36</b>	0
<b>½"</b>	<b>295</b>	<b>2225</b>	0
<b>3/8"</b>	4	<b>615</b>	0
<b>N°4</b>	3	<b>139</b>	<b>85</b>
<b>N°8</b>	0	0	<b>75</b>
<b>N°16</b>	0	0	<b>79</b>
<b>N°30</b>	0	0	<b>213</b>
<b>N°50</b>	0	0	<b>228</b>
<b>N°100</b>	0	0	<b>32</b>
<b>N°200</b>	8	6	<b>5</b>
<b>Residuo</b>	14	7	9
	<b>5880</b>	<b>3028</b>	<b>726</b>

<b>% Retenidos</b>			
<b>Tamiz</b>	<b>Grava</b>	<b>Gravilla</b>	<b>Arena</b>
<b>1 ½"</b>	98%	100%	100%
<b>1"</b>	35%	100%	100%
<b>¾"</b>	6%	99%	100%
<b>½"</b>	1%	25%	100%
<b>3/8"</b>	1%	5%	100%
<b>N°4</b>	0%	0%	88%
<b>N°8</b>	0%	0%	78%
<b>N°16</b>	0%	0%	67%

<b>N°30</b>	0%	0%	38%
<b>N°50</b>	0%	0%	6%
<b>N°100</b>	0%	0%	2%
<b>N°200</b>	0%	0%	1%
<b>Residuo</b>	0%	0%	0%

Para la determinación de las proporciones (%) entre los áridos se debe tener presente tanto las granulometrías de cada uno de ellos como los del árido combinado. Dichos porcentajes se obtienen mediante el Triángulo de Feret.



La granulometría del árido combinado se muestra en las siguientes tablas:

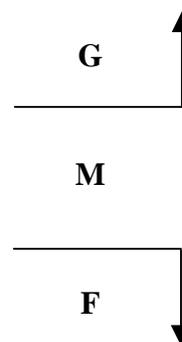
### Árido combinado

Método tres Fracciones Triángulo de Feret	Nomenclatura
Parte gruesa del material	<b>G</b>
Parte media del material	<b>M</b>
Parte fina del material	<b>F</b>
Grava	<b>R</b>
Gravilla	<b>g</b>
Arena	<b>A</b>

Fórmulas
$G + F + M = 100$
$A = ( m2 / ( n2+m2 ) ) * 100$
$g = ( n2 / ( n2+m2 ) ) * ( m1 / ( n1 + m1 ) ) * 100$
$R = ( n2 / ( n2+m2 ) ) * ( n1 / ( n1 + m1 ) ) * 100$

<b>n2</b>	grava + gravilla
<b>m2</b>	arena
<b>m1</b>	gravilla

% Retenidos			
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena
1 1/2"	98%	100%	100%
1"	35%	100%	100%
3/4"	6%	99%	100%
1/2"	1%	25%	100%
3/8"	0%	5%	100%
N°4	0%	0%	88%
N°8	0%	0%	78%
N°16	0%	0%	67%
N°30	0%	0%	38%
N°50	0%	0%	6%
N°100	0%	0%	2%
N°200	0%	0%	1%
Residuo	0%	0%	0%



	<b>R</b>	<b>g</b>	<b>A</b>
<b>G</b>	94%	1%	0%
<b>M</b>	6%	99%	12%
<b>F</b>	0%	0%	88%
	100%	100%	100%

<b>n1</b>	50
<b>n2</b>	45
<b>m1</b>	43
<b>m2</b>	31
<b>n1 + m1</b>	93
<b>n2 + m2</b>	76

<b>R</b>	32%
<b>G</b>	27%
<b>A</b>	41%
	<b>100%</b>

Malla	% que pasa			% de la Mezcla	Especificación
	Grava	Gravilla	Arena	32%R + 27%g + 41%A	
1 1/2 "	98%	100%	100%	<b>99%</b>	100 - 100
1"	35%	100%	100%	<b>79%</b>	----
3/4"	6%	99%	100%	<b>70%</b>	60 - 80
1/2"	1%	25%	100%	<b>48%</b>	----
3/8"	0%	5%	100%	<b>42%</b>	40 - 61
N°4	0%	0%	88%	<b>36%</b>	24 - 48
N°8	0%	0%	78%	<b>32%</b>	15 - 37
N°16	0%	0%	67%	<b>27%</b>	10 - 28
N°30	0%	0%	38%	<b>16%</b>	6 - 19
N°50	0%	0%	6%	<b>2%</b>	3 - 11
N°100	0%	0%	2%	<b>1%</b>	2 - 5

#### 1.2.4.3. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE (NCH 1116 OF. 77)

La norma Nch 1116 establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos, la cual puede ser suelta o compactada.

Para determinar la densidad aparente se vacía el árido seco en una medida de capacidad volumétrica especificada de acuerdo al tamaño máximo nominal del árido. Se determina 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.

- Densidad aparente suelta

Se aplica a los áridos de tamaño máximo nominal igual o inferior a 100 mm. El procedimiento también es aplicable a las arenas en estado húmedo; en este caso, se debe indicar el contenido de humedad del árido expresado como porcentaje de la masa del árido seco.

Resultados:

<b>Densidad Aparente (Nch 1116 E Of. 77)</b>			
	<b>Grava</b>	<b>Gravilla</b>	<b>Arena</b>
Peso Tacho + Material (grs)	11192	9187	5052
Peso Material (grs)	7653	4856	3149
Peso Tacho (grs)	3539	4331	1903
Volumen Tacho (Total) (cc.)	5050	3093	1980
Densidad Aparente Suelta (Kg/dm <sup>3</sup> )	<b>1,52</b>	<b>1,57</b>	<b>1,59</b>

#### 1.2.4.4. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL Y NETA DE LA GRAVA (NCH 1117 OF. 77)

La densidad real y neta de los áridos permite conocer los volúmenes compactados del árido con el fin de dosificar morteros y hormigones. Relacionada con la densidad aparente permite conocer la compacidad 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.

El procedimiento establecido por la norma Nch 1117 consiste en determinar la masa de la muestra pesándola al aire en estado seco, en estado

saturado superficialmente seco y sumergida. Luego se determina el volumen por diferencia entre la masa pesada al aire y la muestra sumergida en agua. Ya conocidas la masa y el volumen se calcula las densidades real y neta y la absorción de agua en función de los valores obtenidos para las diferentes condiciones.

1.2.4.5. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL DE LA ARENA (NCH 1239 OF. 77)

Los procedimientos para determinar las densidades real y neta y la absorción de agua de los finos o arenas los establece la norma Nch 1239. Éste consiste en determinar la masa de una muestra de ensayo en condiciones seca y saturada superficialmente seca. Posteriormente, se determina su volumen como la masa del agua que el árido sumergido desplaza 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 datos obtenidos en las diferentes condiciones.

Resultados:

<b>Densidad Real y Neta y Absorción (Nch 1117 Of. 77; Nch 1239)</b>
---

**Datos**

	<b>Peso</b>		
	<b>Sumergida</b>	<b>S. S. S</b>	<b>Seco</b>
<b>Grava</b>	1395	2264	2241
<b>Gravilla</b>	1141,5	1849	1825

<b>Arena</b>		
Peso Sat. Sup. Seco	(M <sub>ss</sub> )	68,01
Peso Matraz + Agua	(M <sub>a</sub> )	667,1
Peso Matraz + Agua + Material	(M <sub>m</sub> )	709,5
Peso Seco al Horno	(M <sub>s</sub> )	67,1

	<b>Grava</b>	<b>Gravilla</b>	<b>Arena</b>
Densidad Real Pétreo S. S. S ( $\rho_{RT}$ ) Kg/m <sup>3</sup>	2,61	2,61	2,66
Densidad Real Pétreo Seco ( $\rho_{RS}$ ) Kg/m <sup>3</sup>	2,58	2,58	2,62
Densidad Neta ( $\rho_N$ ) Kg/m <sup>3</sup>	2,65	2,67	2,72
Absorción de Agua ( $\alpha$ ) %	1,03	1,32	1,36

#### 1.2.4.6. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (NCH 166 Of. 1952)

Debido a que la materia orgánica afecta la adherencia del árido, la resistencia de la pasta de cemento y altera el proceso de fraguado de la pasta, es muy necesario realizarla.

Después de realizado el ensayo, se determinó la existencia de "Indicios de Materia Orgánica", por lo tanto la cantidad existente está dentro de los límites máximos aceptables.

## CAPITULO II

### VIDRIO

#### 2.1. COMPOSICIÓN DEL VIDRIO

Vidrio, cuerpo sólido, transparente y frágil que proviene de la fusión a 1.200 °C de una arena silíceo mezclada con potasa o sosa. A temperatura ordinaria constituye una masa amorfa, dura, frágil y sonora. Por lo general es transparente, aunque también puede ser incoloro u opaco, y su color varía según los ingredientes de la hornada.

El vidrio líquido es de gran plasticidad y se moldea mediante diferentes técnicas. Una vez frío, puede tallarse. A bajas temperaturas es frágil y presenta un tipo de fractura concoidea. Los vidrios naturales como la obsidiana y las tectitas (provenientes de meteoritos) presentan una composición y unas propiedades similares a las del vidrio sintético.

La fabricación del vidrio es anterior al año 2000 a.C. En esa época siempre se trabajaba a mano, usando moldes, y desde entonces el ser humano lo ha utilizado con diversos fines: para fabricar recipientes utilitarios y para objetos decorativos y ornamentales, entre los que se incluyen trabajos de joyería. También tiene aplicaciones en la arquitectura y la industria.

La materia prima de las composiciones vítreas es la sílice, presente en arenas, guijarros de río o cuarzo.

La sílice se funde a temperaturas muy altas para obtener una masa vítrea. Dado que este vidrio tiene un punto de fusión muy alto y no se contrae ni se dilata demasiado con el cambio de temperatura, es muy apropiado para aparatos de laboratorio y para los objetos que han de someterse a grandes variaciones térmicas, como los espejos de los telescopios. El vidrio es mal conductor tanto del calor como de la electricidad, por lo que suele utilizarse como aislante eléctrico y térmico. Para elaborar la mayor parte de los vidrios se combina la sílice con diferentes proporciones de otras materias primas. Los fundentes alcalinos, normalmente carbonato de sodio o de potasio, hacen que descienda la temperatura requerida para la fusión y la viscosidad de la sílice. La piedra caliza o la dolomita (carbonato de calcio y magnesio) actúan como estabilizantes en el horneado. Si se añaden otros ingredientes, como el plomo y el bórax, se confiere al vidrio propiedades físicas determinadas.

## 2.2. TIPOS DE VIDRIO

Entre los distintos tipos de vidrio existentes, podemos mencionar vidrio soluble, vidrio sodocálcico, vidrio al plomo y vidrio de borosilicato, de los cuales se definirá sólo el tipo de vidrio utilizado en este estudio.

- Vidrio Sodocálcico

El principal componente del vidrio es la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) pero las altas temperaturas necesarias para su fusión y las dificultades para darle formas hacen necesario usar fundentes. Para reducir la temperatura de fusión de la sílice, se utiliza óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), al que se le añade óxido de calcio

(CaO) que le da al vidrio la estabilidad química necesaria. Este vidrio se denomina soda-cal. El vidrio soda-cal, también denominado vidrio común, representa el 90% de todo el vidrio fabricado en el mundo y se utiliza para hacer botellas, vajillas, bombillas, focos, ventanas y lunas.

### 2.3. COLOR

Las impurezas en la materia prima afectan a la coloración del vidrio. Para obtener una sustancia transparente e incolora, los fabricantes le añaden manganeso, que contrarresta los efectos de las coloraciones verdosas o amarillentas producidas por los óxidos de hierro. El vidrio puede colorearse utilizando óxidos metálicos, sulfuros o seleniuros. Otros colorantes podrían dispersarse en partículas microscópicas.

### 2.4. INGREDIENTES DIVERSOS

La fórmula típica del vidrio incluye la reutilización de residuos de vidrio de la misma composición del que se fabrica (vidrio menudo o granalla de vidrio), que facilitan la fusión y homogeneización de la hornada. Por lo general se añaden elementos de afino, tales como el arsénico o el antimonio, destinados a eliminar las burbujas.

### 2.5. MEZCLA Y FUSIÓN

Después de una minuciosa preparación y medición se mezclan las materias primas y se someten a una fusión inicial antes de pasar a las altas temperaturas requeridas para la vitrificación. En el pasado, la fusión se

realizaba en vasijas de arcilla que se calentaban en hornos alimentados con madera o carbón. Todavía hoy se utilizan vasijas de arcilla refractaria, que contienen entre 0,5 y 1,5 toneladas de vidrio, cuando se requieren cantidades relativamente pequeñas para trabajarlas a mano. En las industrias modernas la mayor parte del vidrio se funde en grandes calderos, que se utilizaron por primera vez en 1872, con capacidad para más de 1.000 toneladas de vidrio y que se calientan mediante gas, fuel-oil o electricidad. El caldero se alimenta continuamente por una abertura que se encuentra en uno de los extremos, mientras el vidrio fusionado, afinado y templado va saliendo por el otro extremo. En esos grandes calderos o crisoles, el vidrio alcanza la temperatura a la que puede trabajarse y, a continuación, la masa vítrea pasa a las máquinas de moldeo.

## 2.6. PROPIEDADES FÍSICAS

Dependiendo de la composición, algunos vidrios funden a temperaturas muy bajas, como 500 °C, mientras que otros necesitan 1.650 °C. Presentan normalmente una resistencia a la tracción entre 3.000 y 5.500 N/cm<sup>2</sup>, aunque puede llegar a sobrepasar los 70.000 N/cm<sup>2</sup> si el vidrio ha sido especialmente tratado. La densidad relativa oscila entre 2 y 8, que equivale a decir que oscila entre una densidad menor que la del aluminio y una mayor que la del acero. Variaciones de igual amplitud se dan en las propiedades eléctricas y ópticas.

## CAPITULO III

### HORMIGÓN CON VIDRIO

Antes de realizar el estudio del hormigón con vidrio es necesario confeccionar un hormigón patrón con el cual realizar la comparación. Los detalles del estudio se detallarán a continuación.

#### 3.1. HORMIGÓN PATRÓN

Tomando los datos obtenidos en el Capítulo I se procede a dosificar el hormigón patrón, la que se muestra a continuación.

##### 3.1.1. DOSIFICACIÓN

El método de dosificación utilizado está basado en el método recomendado por la Nch 170 Of. 85.

Para dosificar, previamente se determinaron los requisitos mínimos que debería tener el hormigón que se utilizaría para el estudio.

Los dosificación patrón obtenida se resume a continuación:

<b>Dosificación H20-Patrón</b>	
<b>Datos</b>	
Hormigón H20 (kg/cm <sup>2</sup> )	200
Tipo de estructura	normales
Clima de servicio	normales
Tipo de cemento	corriente

T. máx. del árido (")	1 1/2"
Asentamiento cono (cm)	6 - 9
Desviación típica (s) (kg/cm <sup>2</sup> )	47,6
Aditivos	no hay
Nivel de confianza (NC)	80%

<b>NC</b>	<b>T</b>	<b>FDA</b>
80%	0,842	20%

<b>Antecedentes del árido</b>		
Densidad Ap. (kg/m <sup>3</sup> )	Grava	1,52
	Gravilla	1,57
	Arena	1,59
Densidad Real (kg/m <sup>3</sup> )	Grava	2,58
	Gravilla	2,58
	Arena	2,62
Absorción de Agua (%)	Grava	1,03%
	Gravilla	1,32%
	Arena	1,36%
Dist. Porcentual (%)	Grava	32%
	Gravilla	27%
	Arena	41%

<b>1) Resistencia Media de Dosificación</b>	$fm = fc + s * t$ (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>240</b>
---	---	------------

<b>2) Agua ( lt )</b>	<b>T. máx.</b> <b>Cono</b>	1 1/2" 6 - 9	<b>165</b>
-----------------------	-------------------------------	-----------------	------------

<b>3) Razón Agua Cemento ( A/C )</b>		<b>0,56</b>
--------------------------------------	--	-------------

<b>4) Cemento (kg)</b>	$C = \text{agua} / (A/C)$	<b>295</b>
------------------------	---------------------------	------------

<b>5) Vol. de los áridos ( lt.)</b>	$V = 1000 - (\text{agua} + (C/3) + \text{aire})$	<b>727</b>
-------------------------------------	--	------------

<b>6) Peso de los áridos ( Kg)</b>	$P = V(DrR * Drg * Dra) / (\%R * Drg * Dra + \%g * DrR * Dra + \%a * DrR * Drg)$	<b>1888</b>
Peso Grava	$PR = P * \%R$	604
Peso Gravilla	$Pg = P * \%g$	510
Peso Arena	$Pa = P * \%a$	774
Volumen Grava (lt)	$VR = PR / DapG$	397
Volumen Gravilla (lts)	$Vg = Pg / Dapg$	325
Volumen Arena (lts)	$Va = Pa / Dapa$	487

<b>7) Agua total</b>	$AT = Aamasd + Aabs$	<b>188,5</b>
	$Aamasd$	<b>165</b>
	$Aabs = PR * \%AbsG + Pg * \%Absg + Pa * \%Absa$	<b>23,5</b>

### 3.2. HORMIGÓN CON VIDRIO

Previo a realizar una dosificación con vidrio necesario realizar algunos procedimientos con el vidrio, tales como limpieza de éste, trituración, etc., los cuales detallaremos a continuación.

#### 3.2.1. CLASIFICACIÓN Y LIMPIEZA DEL VIDRIO UTILIZADO

El vidrio utilizado en este estudio se obtuvo de la recolección de botellas (reciclaje), las que posterior a su recolección, clasificación por color y almacenamiento, fueron debidamente lavadas para extraer cualquier residuo de líquido o materia orgánica contenido en ellas que pudiese haber quedado adherido y que, posteriormente alterase el resultado final del hormigón.

Se les retira además las etiquetas de papel y metálicas, corchos, tapas y cualquier adorno o accesorio que las botellas tuviesen adherido.

#### 3.2.2. FORMAS DE TRITURACIÓN DEL VIDRIO

Una vez limpias las botellas se procede a triturarlas, utilizando para ello maquinaria (Prensa Hidráulica) existente en el Laboratorio LEMCO.

Para ello se introduce las botellas debidamente ordenadas en forma horizontal en un cajón de madera de 50 x 25 x 100 cms. (Ancho – Alto – Largo) y se les aplica carga mediante la maquinaria antes mencionada, hasta que las botellas se quiebran.

Para lograr un tamaño adecuado y homogéneo de las partículas, se pasa el vidrio en el tamiz de 11/2 pulgada, esto porque el tamaño máximo del árido utilizado en el hormigón patrón es 11/2 pulgada. Todo el material con tamaño superior a la medida antes mencionada se devuelve al cajón y se repite el proceso de triturado, para así lograr el tamaño requerido para la investigación.

### 3.2.3. TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS

Una vez triturado el vidrio, se procede a tamizar el material. Es necesario separar éste cumpliendo las mismas normas que si se estuviese dosificando con árido, es decir:

- o Material Grueso : aquel que queda retenido en tamiz  $\frac{3}{4}$ ".
- o Material Medio : aquel que queda retenido en tamiz N° 4.
- o Material Fino : aquel que pasa el tamiz N° 4.

### 3.2.4. DENSIDADES DEL VIDRIO

Una vez obtenidos los tamaños del vidrio se procedió a obtener sus densidades. En este caso se sacaron la Densidad Aparente Suelta y la Densidad Real del vidrio.

La Densidad Aparente Suelta se obtuvo con el mismo procedimiento utilizado para el árido.

En el caso de la Densidad Real del vidrio se obtuvo por desplazamiento de volumen. El método consiste en llenar con agua el picnómetro hasta la abertura que éste posee, posterior a esto se vacía una cantidad de vidrio, cuyo peso es conocido, dentro del picnómetro, recibiendo en un recipiente graduado el agua desplazado por el vidrio. El peso del vidrio dividido por el volumen desplazado da como resultado la Densidad Real.

<b>Densidad Aparente del Vidrio</b>
-------------------------------------

	<b>Grueso</b>	<b>Medio</b>	<b>Fino</b>
Peso Tacho + Material (grs)	3691	4126	-
Peso Material (grs)	1787	2222	-
Peso Tacho (grs)	1904	1904	-
Volumen Tacho (Total) (cc.)	1980	1980	-
Densidad Aparente (Kg/dm <sup>3</sup> )	<b>0,90</b>	<b>1,12</b>	-

<b>Densidad Real del Vidrio</b>
---------------------------------

**Datos**

	<b>Grueso</b>	<b>Medio</b>
Peso Material (grs)	448	781
Volumen de agua desplazada (cc.)	170	310
Densidad Real (Kg/dm <sup>3</sup> )	<b>2,64</b>	<b>2,52</b>

### 3.2.5. DOSIFICACIÓN CON VIDRIO

Para realizar la dosificación, se utilizó como base la dosificación del Hormigón Patrón, reemplazando los porcentajes de árido por vidrio, en los porcentajes estimados.

Se utilizó este mismo criterio, ya que la Densidad Real del vidrio es similar a la del árido.

En las siguiente tabla se muestra la dosificación de hormigón con vidrio:

<b>Dosificación Vidrio</b>
----------------------------

<b>Datos</b>	
Hormigón H20 (kg/cm <sup>2</sup> )	200
Tipo de estructura	normales
Clima de servicio	normales
Tipo de cemento	corriente
T. máx. del árido (")	1 1/2"
T. máx. del vidrio (")	1"
Asentamiento cono (cm)	6 – 9
Desviación típica (s) (kg/cm <sup>2</sup> )	47,6
Aditivos	no hay
Nivel de confianza (NC)	80%

NC	T	FDA
80%	0,842	20%

<b>Antecedentes del árido</b>		
Densidad Real (kg/m <sup>3</sup> )	Arena	2,62
Absorción de Agua (%)	Arena	1,36%
Dist. Porcentual (%)	Grava	32%
	Gravilla	27%
	Arena	41%

<b>Antecedentes del vidrio</b>		
Densidad Real (kg/m <sup>3</sup> )	Grueso	2,64
	Medio	2,52

<b>1) Resistencia Media de</b>	<b><math>f_m = f_c + s * t</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>240</b>
--------------------------------	---	------------

<b>Dosificación</b>			
<b>2) Agua ( lt )</b>	<b>T. máx.</b> <b>Cono</b>	1 1/2" 6 -- 9	<b>165</b>
<b>3) Razón Agua Cemento ( A/C )</b>			<b>0,56</b>
<b>4) Cemento (kg)</b>	<b>C = agua / (A/C)</b>		<b>295</b>
<b>5) Volumen de los agregados (lt)</b>	<b>V = 1000- ( agua +(c/3)+aire)</b>		<b>727</b>
<b>6) Peso agregados</b>	<b><math>P=V(DrR*Dr_g*Dr_a)/(\%R*Dr_g*Dr_a+\%g*DrR*Dr_a+\%a*DrR*Dr_g)</math></b>		<b>1889</b>
<b>Peso Vidrio Grueso</b>	<b><math>PR = P * \%R</math></b>		<b>604</b>
<b>Peso Vidrio Medio</b>	<b><math>Pg = P * \%g</math></b>		<b>510</b>
<b>Peso Arena</b>	<b><math>Pa = P * \%a</math></b>		<b>774</b>
<b>7) Agua total</b>	<b>AT = Aamasd + Aabs</b>		<b>175,5</b>
	<b>Aamasd</b>		<b>165</b>
	<b>Aabs = Pa*%Absa</b>		<b>10,5</b>

Si tomamos en cuenta el peso de los agregados, tanto en el hormigón patrón como en el hormigón con vidrio, podemos ver que para un metro cúbico (1000 litros ) la cantidad de agregado aumenta solo en un kilo, por lo tanto la variación es mínima.

### 3.2.6. PORCENTAJES DE ÁRIDO A REEMPLAZAR

Los porcentajes a reemplazar se decidieron pensando en que éstos serían los más representativos para el estudio.

Para el estudio se decidió reemplazar un 25%, 50% y 75% del árido constituyente del hormigón, ya que con estos porcentajes se puede vislumbrar los cambios generados por el vidrio en el hormigón y trazar una curva que muestre la tendencia que éste llevaría si es que se continua con el estudio.

Sólo se reemplazó las partes gruesas del árido en la mezcla, la cantidad de arena se utilizó en su totalidad, lo que se muestra a continuación:

a) Hormigón con 25% de vidrio

<b>Dosificación 25% de vidrio</b>
-----------------------------------

Datos	
Hormigón H20 (kg/cm <sup>2</sup> )	200
Tipo de estructura	normales
Clima de servicio	normales
Tipo de cemento	corriente
T. máx. del árido (")	1 1/2"
Asentamiento cono (cm)	6 – 9
Desviación típica (s) (kg/cm <sup>2</sup> )	47,6
Aditivos	no hay
Nivel de confianza (NC)	80%

NC	T	FDA
80%	0,842	20%

Antecedentes del árido		
Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Grava	1,52
	Gravilla	1,57
	Arena	1,59
Densidad Real (kg/m <sup>3</sup> )	Grava	2,58
	Gravilla	2,58
	Arena	2,62
Absorción de Agua (%)	Grava	1,03%
	Gravilla	1,32%
	Arena	1,36%
Dist.Porcentual (%)	Grava	32%
	Gravilla	27%
	Arena	41%

Antecedentes del vidrio		
Densidad Real (kg/m <sup>3</sup> )	Grueso	2,64
	Medio	2,52

<b>1) Resistencia Media de Dosificación</b>	$f_m = f_c + s * t$ (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>240</b>
---	---	------------

<b>2) Agua ( lt )</b>	<b>T. máx.</b> <b>Cono</b>	1 1/2" 6 – 9	<b>165</b>
-----------------------	-------------------------------	-----------------	------------

<b>3) Razón Agua Cemento ( A/C )</b>	<b>0,56</b>
--------------------------------------	-------------

4) Cemento (kg)	$C = \text{agua} / (A/C)$	295
-----------------	---------------------------	-----

5) Volumen de los áridos	$V = 1000 - (\text{agua} + (c/3) + \text{aire})$	727 lt.
--------------------------	--	---------

6) Peso de los áridos	$P = V(DrR * Drg * Dra) / (\%R * Drg * Dra + \%g * DrR * Dra + \%a * DrR * Drg)$	1888
Peso Grava + Vidrio	$PR = 75\% * P * \%R + 25\% \text{ Vidrio}$	604
Peso Gravilla + Vidrio	$Pg = 75\% * P * \%g + 25\% \text{ Vidrio}$	510
Peso Arena	$Pa = P * \%a$	774

7) Agua total	$AT = A\text{amasad} + A\text{abs}$	185.2
	$A\text{amasad}$	165
	$A\text{abs} = 0,75 * PR * \%AbsG + 0,75 * Pg * \%Absg + Pa * \%Absa$	20.2

b) Hormigón con 50% de vidrio

<b>Dosificación 50% de vidrio</b>
-----------------------------------

Datos	
Hormigon H20 (kg/cm2)	200
Tipo de estructura	normales
Clima de servicio	normales
Tipo de cemento	corriente
T. max del arido (")	1 1/2"
Asentamiento cono (cm)	6 - 9
Desviación típica (s) (kg/cm2)	47.6
Aditivos	no hay
Nivel de confianza (NC)	80%

NC	t	FDA
80%	0.842	20%

Antecedentes del árido		
Densidad Aparente (kg/m3)	Grava	1.52
	Gravilla	1.57
	Arena	1.59
Densidad Real (kg/m3)	Grava	2.58
	Gravilla	2.58
	Arena	2.62
Absorción de Agua (%)	Grava	1.03%
	Gravilla	1.32%
	Arena	1.36%
Distribución Porcentual (%)	Grava	32%
	Gravilla	27%
	Arena	41%

Antecedentes del vidrio		
-------------------------	--	--

Densidad Real (kg/m3)	Grueso	2.64
	Medio	2.52

1) Resist. Media de Dosificación	$f_m = f_c + s * t$ (kg/cm2)	240
----------------------------------	------------------------------	-----

2) Agua (lt)	T. max Cono	1 1/2" 6 -- 9	165
--------------	----------------	------------------	-----

3) Razon Agua Cemento (A/C)		0.56
--------------------------------	--	------

4) Cemento (kg)	$C = \text{agua} / (A/C)$	295
-----------------	---------------------------	-----

5) Volumen de los aridos (lt)	$V = 1000 - (\text{agua} + (c/3) + \text{aire})$	727
-------------------------------	--	-----

6) Peso de los aridos (Kg)	$P = V(DrR * Drg * Dra) / (\%R * Drg * Dra + \%g * DrR * Dra + \%a * DrR * Drg)$	1888
Peso Grava + Vidrio	$PR = 50\% * P * \%R + 50\% \text{ Vidrio}$	604
Peso Gravilla + Vidrio	$Pg = 50\% * P * \%g + 50\% \text{ Vidrio}$	510
Peso Arena	$Pa = P * \%a$	774

7) Agua total	$AT = A_{amasad} + A_{abs}$	182.0
	$A_{amasad}$	165
	$A_{abs} = 0,5 * PR * \%AbsG + 0,5 * Pg * \%Absg + Pa * \%Absa$	17.0

c) Hormigón con 75% de vidrio

**Dosificación 75% de vidrio**

<b>Datos</b>	
Hormigon H20 (kg/cm2)	200
Tipo de estructura	normales
Clima de servicio	normales
Tipo de cemento	corriente
T. max del arido (")	1 1/2"
Asentamiento cono (cm)	6 - 9
Desviación típica (s) (kg/cm2)	47.6
Aditivos	no hay
Nivel de confianza (NC)	80%

NC	t	FDA
80%	0.842	20%

<b>Antecedentes del árido</b>	
Densidad Aparente (kg/m3)	Grava Gravilla Arena
	1.52 1.57 1.59

Densidad Real (kg/m <sup>3</sup> )	Grava	2.58
	Gravilla	2.58
	Arena	2.62
Absorción de Agua (%)	Grava	1.03%
	Gravilla	1.32%
	Arena	1.36%
Distribución Porcentual (%)	Grava	32%
	Gravilla	27%
	Arena	41%

Antecedentes del vidrio		
Densidad Real (kg/m <sup>3</sup> )	Grueso	2.64
	Medio	2.52

1) Resist. Media de Dosif.	$f_m = f_c + s * t$ (kg/cm <sup>2</sup> )	240
----------------------------	---	-----

2) Agua ( lt )	T. max Cono	1 1/2" 6 -- 9	165
----------------	----------------	------------------	-----

3) Razón Agua Cem. (A/C)		0.56
--------------------------	--	------

4) Cemento (kg)	$C = \text{agua} / (A/C)$	295
-----------------	---------------------------	-----

5) Volumen de los aridos (lt)	$V = 1000 - (\text{agua} + (c/3) + \text{aire})$	727
-------------------------------	--	-----

6) Peso de los aridos ( Kg)	$P = V(DrR * Drg * Dra) / (\%R * Drg * Dra + \%g * DrR * Dra + \%a * DrR * Drg)$	1888
Peso Grava + Vidrio	$PR = 25\% * P * \%R + 75\% \text{ Vidrio}$	604
Peso Gravilla + Vidrio	$Pg = 25\% * P * \%g + 75\% \text{ Vidrio}$	510
Peso Arena	$Pa = P * \%a$	774

7) Agua total	$AT = A_{\text{amasad}} + A_{\text{abs}}$	178.8
	$A_{\text{amasad}}$	165
	$A_{\text{abs}} = 0,25 * PR * \%AbsG + 0,25 * Pg * \%Absg + Pa * \%Absa$	13.8

Cabe destacar que el porcentaje de agua de absorción va disminuyendo a medida que el porcentaje de vidrio adicionado a la mezcla va aumentando, esto porque el vidrio no posee absorción.

## CAPITULO IV

### DETERMINACION DE RESISTENCIAS

Para determinar las resistencias, tanto del hormigón patrón, como del hormigón con adición de vidrio, se confeccionan muestras con las dosificaciones mencionadas anteriormente, las que posteriormente se ensayan, siguiendo las mismas normas para todas las dosificaciones.

#### 4.1. CONFECCIÓN Y CURADO DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN

La norma Nch 1018 establece los procedimientos para confeccionar y curar probetas de hormigón fresco que se destinan a ensayos de compresión, tracción por flexión o tracción por hendimiento en laboratorio.

En este caso se confeccionaron sólo probetas cúbicas de 20 x 20 en moldes metálicos, estancos, de superficie interior lisa, libres de saltaduras, hendiduras o resaltes, previamente lubricados con una mezcla de aceite mineral y petróleo.



El llenado de los moldes se realizó, posterior a la determinación del Cono de Abrams, en una capa. Para el vibrado se introdujo una sonda, cuya frecuencia de vibración es igual o superior a 6000 pulsaciones por minuto, en forma vertical en el punto central del molde y sin tocar los bordes. Posterior a esto se retira lentamente la sonda, manteniendo siempre el molde lleno y hasta que una delgada capa de lechada cubra la superficie y dándole una terminación superficial con llana.



El curado inicial se realizó en el mismo lugar de confección de las probetas, las que se desmoldaron transcurrido un lapso aproximado (no inferior) de 20 horas después de realizado el hormigonado.



Después de desmoldadas las probetas se sumergen en agua, a temperatura controlada y en espera a ser ensayadas.

#### 4.2. ENSAYOS DE COMPRESIÓN

La norma Nch 1037 Of. 77 establece el método para efectuar el ensayo a la rotura por compresión de probetas cúbicas de hormigón.

Para ensayar las probetas se procede a retirarlas de las piscina de curado, se registra la masa del cubo, se miden los anchos y las alturas de las cuatro caras laterales del cubo, registrándose las medidas en milímetros. Luego se limpian las superficies de las placas de carga y de las caras de ensayo de las probetas, se aplica la carga en forma continua a velocidad uniforme.



Las muestras tomadas se ensayaron a los 3, 7, 14 y dos probetas a los 28 días.

A continuación se detallan los resultados obtenidos para los distintos tipos de hormigón ensayados:

- **Hormigón Patrón H20:**

Esta tabla (Tabla N°1) muestra los valores obtenidos en los ensayos de compresión del hormigón con el cual se va a comparar el hormigón con los distintos porcentajes de vidrio.

**Tabla N°1**

Edad (días)	Cúbica 20 x 20			a x b (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg.)	Peso (kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Resist. Comp. (kg/cm <sup>2</sup> )
	a (cms.)	b(cms.)	h(cms.)					
0	-	-	-	-	-	-	-	-
3	20	20	20	400	36,000	19.66	2457.5	<b>90</b>
7	20.1	20.1	20	404	68,500	19.82	2452.9	<b>169.6</b>
14	20	20.2	20	404	83,500	19.59	2424.5	<b>206.7</b>
28	20.05	20.15	20	404	130,500	19.605	2426.4	<b>323.0</b>

El **Gráfico N°1** muestra los resultados obtenidos, en forma visual, el aumento de la resistencia del hormigón a medida que va aumentando su edad.

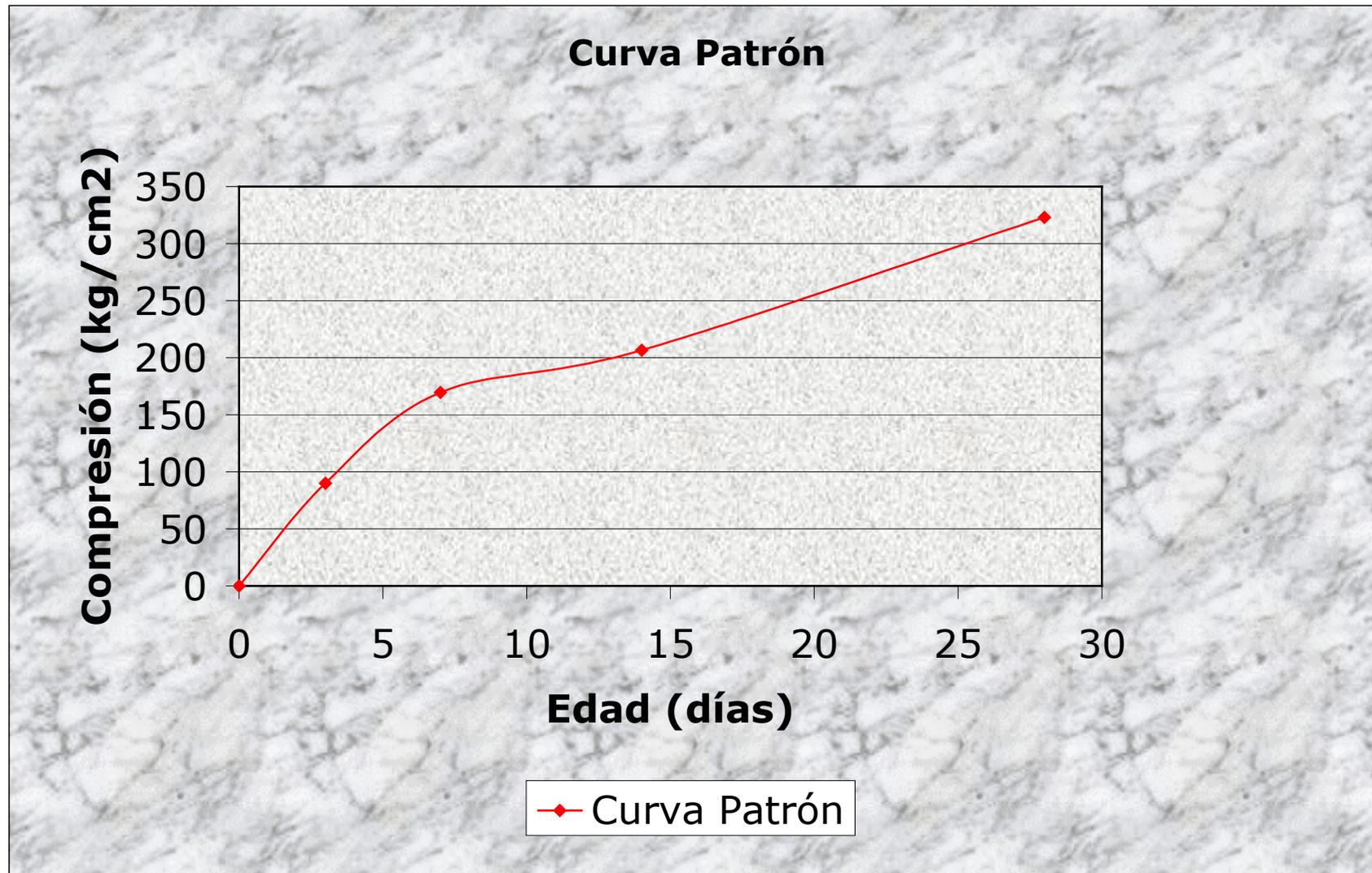


Gráfico N°1

- **Hormigón con 25% de Vidrio:**

La Tabla N°2 muestra los resultados obtenidos al ensayar las muestras de hormigón confeccionadas adicionando 25% de vidrio.

**Tabla N°2**

Edad (días)	Cúbica 20 x 20			a x b (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg.)	Peso (kg )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Resist. Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
	a (cms.)	b(cms.)	h(cms.)					
0	-	-	-	-	-	-	-	-
3	20	20	20	400	31,500	19.62	2452.5	78.75
7	19.9	20	20.1	398	64,500	19.69	2461.3	162.1
14	20.1	20	20	402	80,000	19.65	2444.0	199.0
28	20	20.15	20	403	117,500	19.66	2439.2	291.5

El **Gráfico N°2** muestra los resultados obtenidos, en forma visual, el aumento de la resistencia del hormigón a medida que va aumentando su edad.

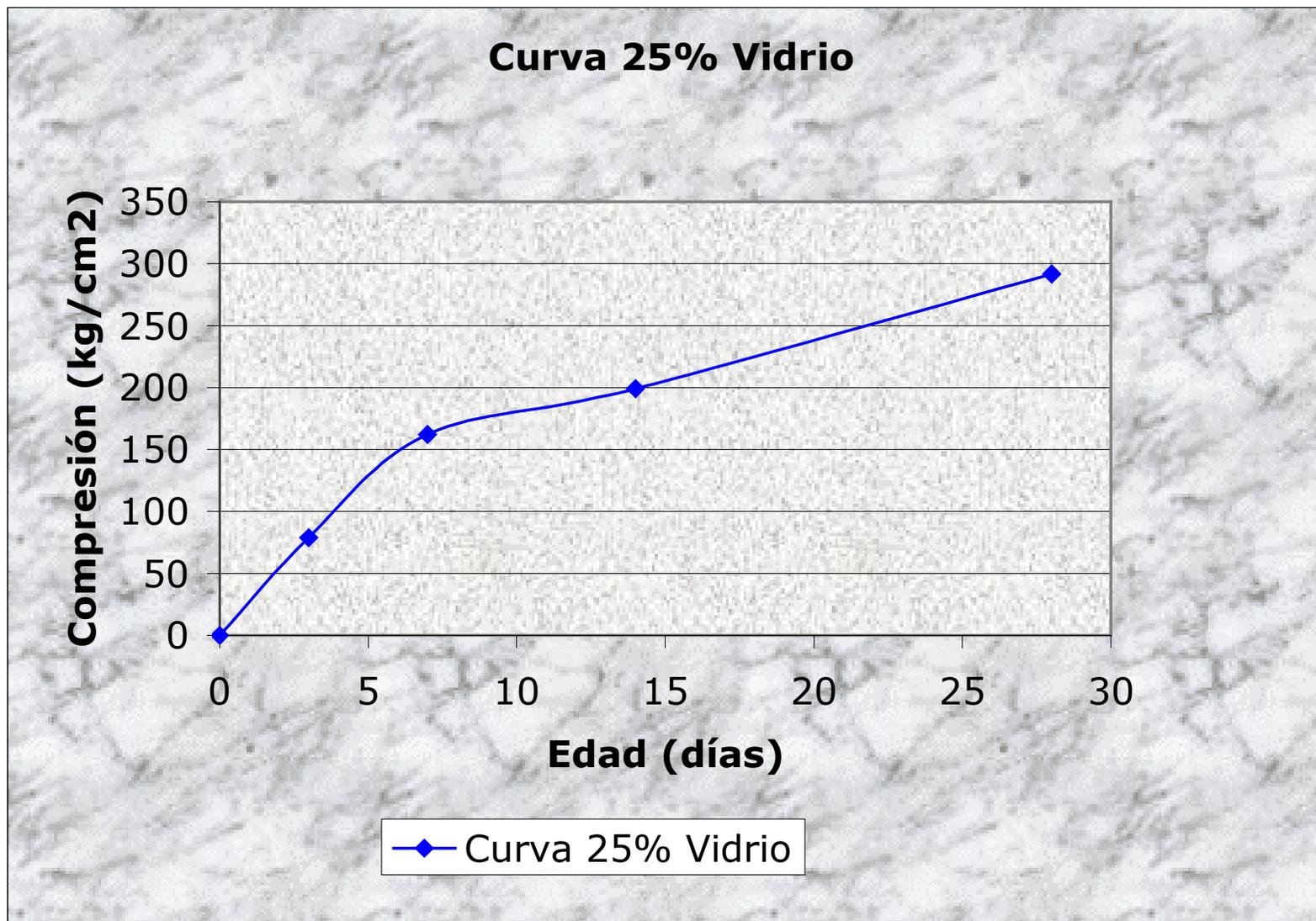


Gráfico N°2

- **Hormigón con 50% de Vidrio:**

La Tabla N°3 muestra los resultados obtenidos al ensayar las muestras de hormigón confeccionadas adicionando 50% de vidrio.

Edad (días)	Cúbica 20 x 20			a x b (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg.)	Peso (kg )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Resist. Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
	a (cms.)	b(cms.)	h(cms.)					
0	-	-	-	-	-	-	-	-
3	20	20	20	400	30,500	19.14	2392.5	<b>76.25</b>
7	20	20	20	400	59,000	19.19	2398.8	<b>147.5</b>
14	20	20	20.1	400	73,000	19.65	2444.0	<b>182.5</b>
28	20	19.95	20	399	111,500	19.225	2409.1	<b>279.4</b>

El **Gráfico N°3** muestra los resultados obtenidos, en forma visual, el aumento de la resistencia del hormigón a medida que va aumentando su edad.

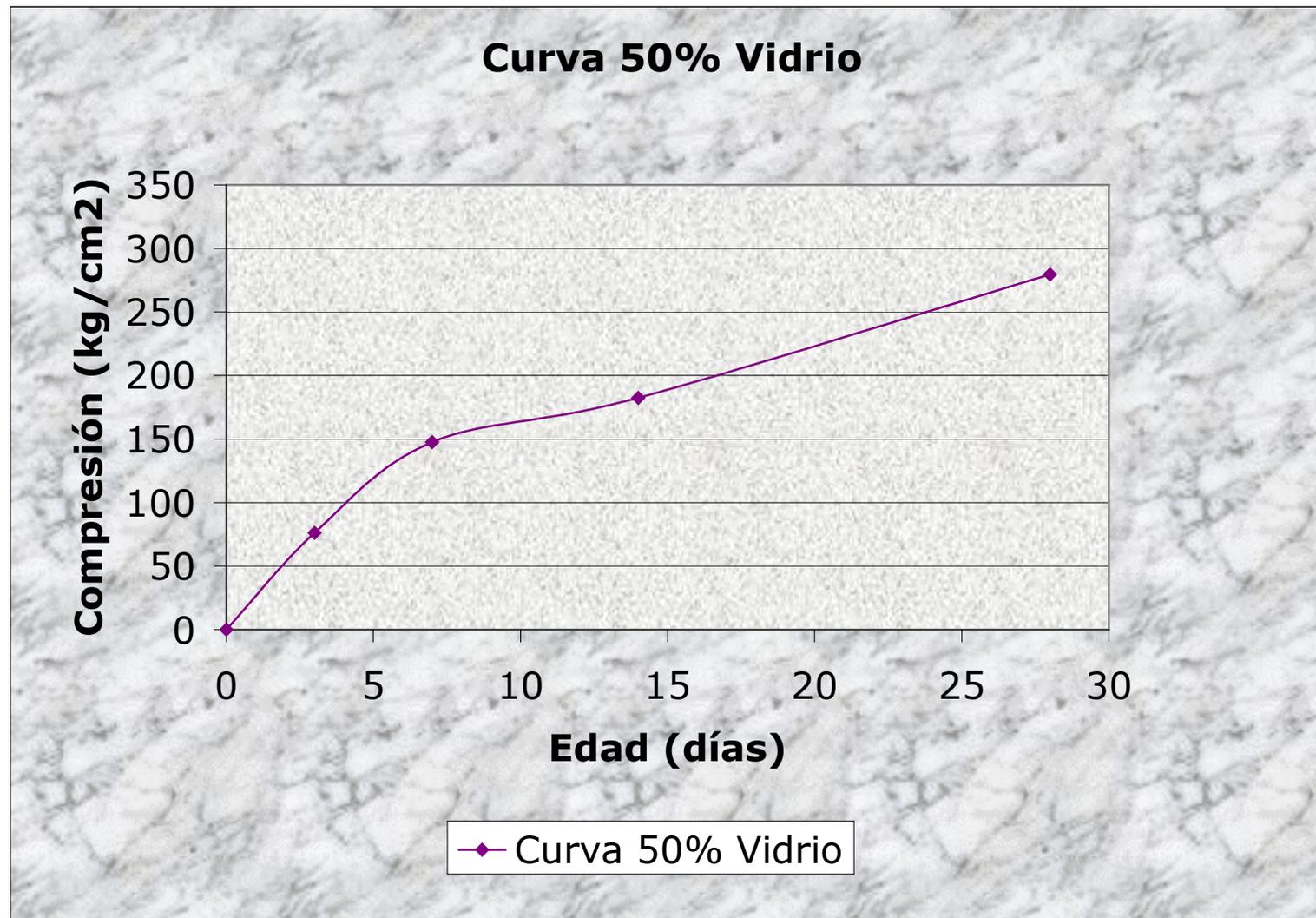


Gráfico N°3

- **Hormigón con 75% de Vidrio:**

La tabla N°4 muestra los resultados obtenidos al ensayar las muestras de hormigón confeccionadas adicionando 75% de vidrio.

Edad (días)	Cúbica 20 x 20			a x b (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg.)	Peso (kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Resist. Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
	a (cms.)	b(cms.)	h(cms.)					
0	-	-	-	-	-	-	-	-
3	20	20	20	400	26,000	18.86	2357.5	<b>65</b>
7	20	20.1	20	402	50,000	19.15	2381.8	<b>124.4</b>
14	20	20	20.1	400	69,000	19.12	2378.1	<b>172.5</b>
28	20	20.05	20	401	105,000	19.055	2375.9	<b>261.8</b>

El **Gráfico N°4** muestra los resultados obtenidos, en forma visual, el aumento de la resistencia del hormigón a medida que va aumentando su edad.

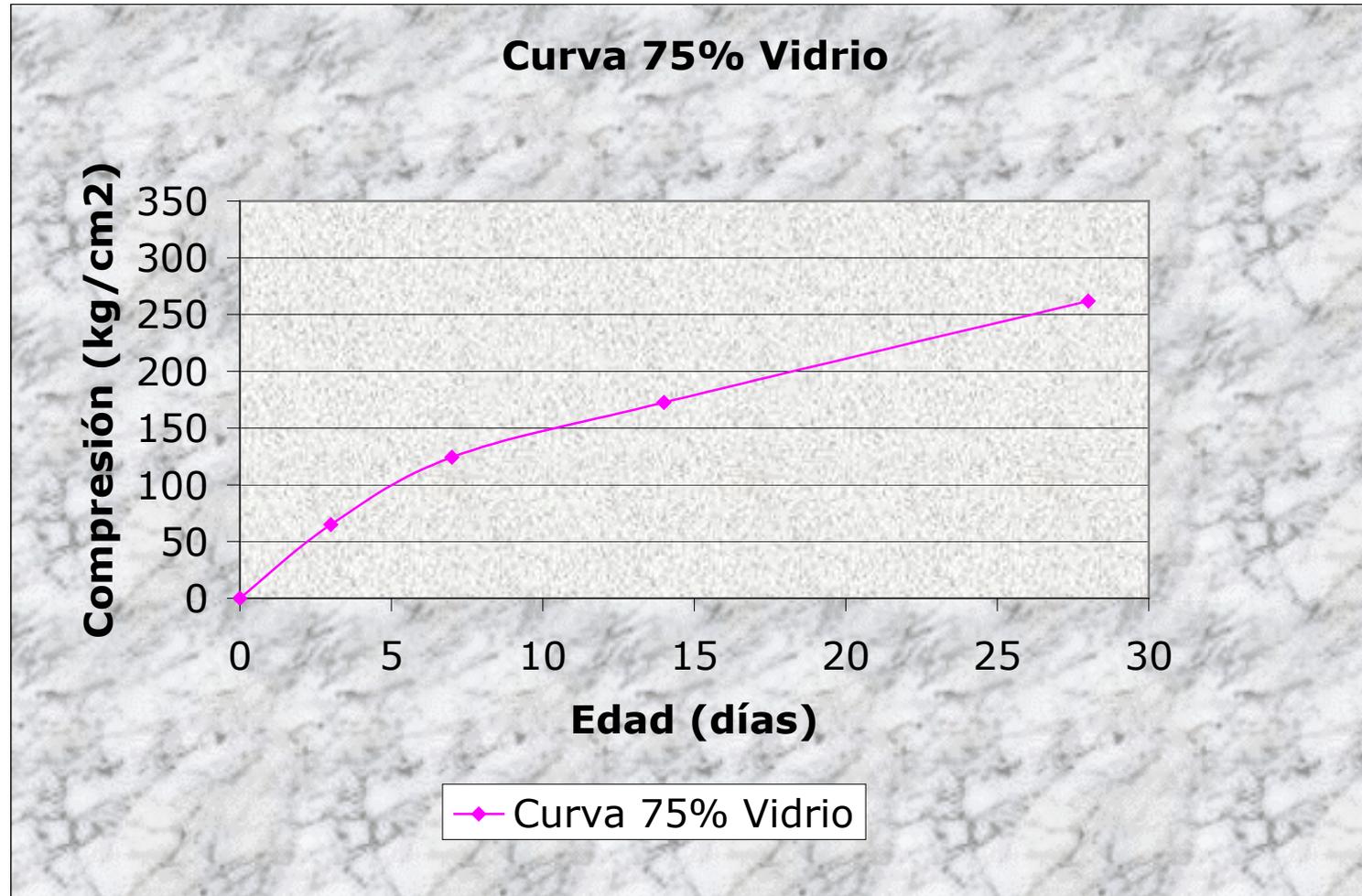
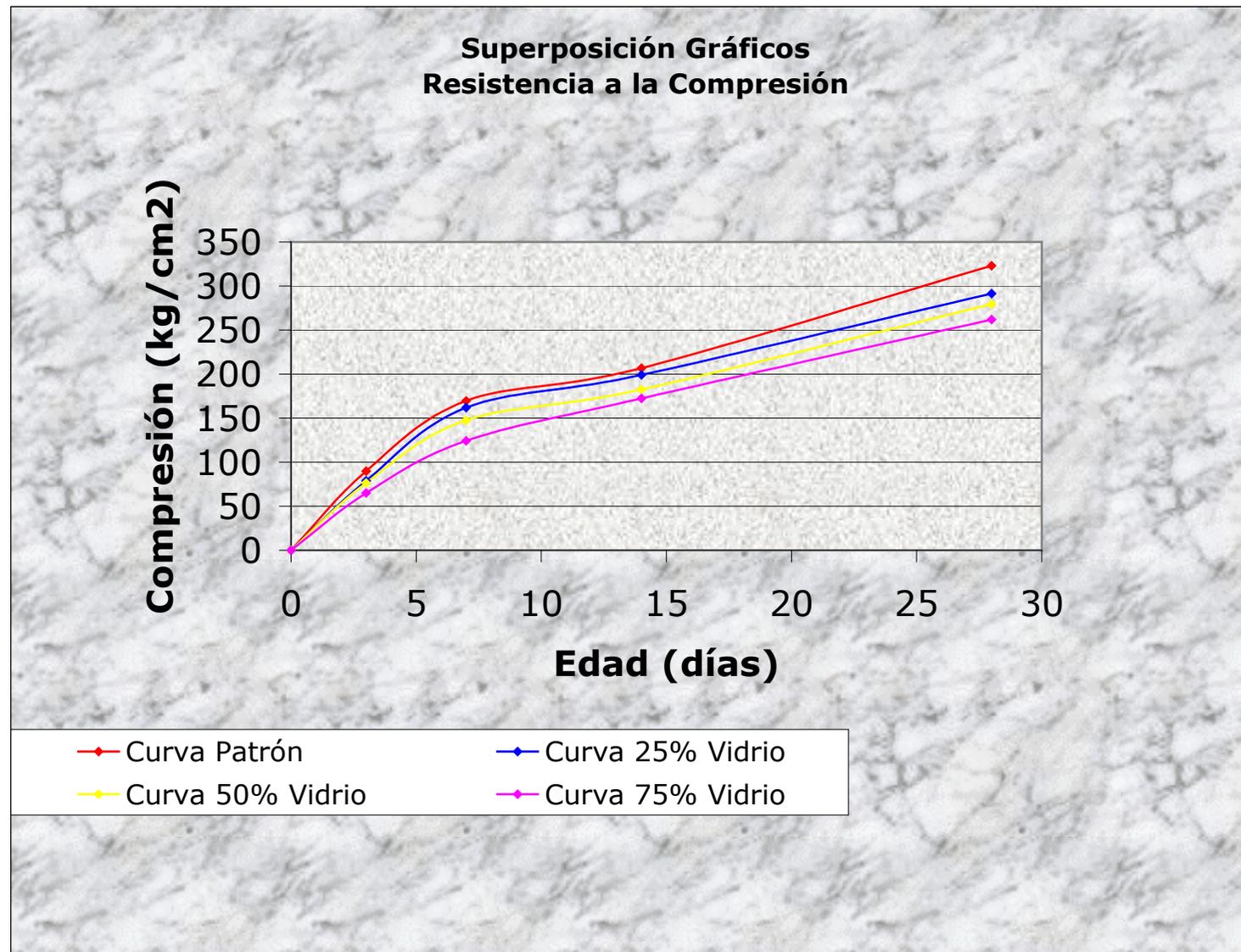


Gráfico N°4

CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS ENSAYOS HORMIGON

	<b>H-20</b>	<b>25% VIDRIO</b>	<b>50% VIDRIO</b>	<b>75% VIDRIO</b>
<b>Edad (días)</b>	<b>Resist. Compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resist. Compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resist. Compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resist. Compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>0</b>	-	-	-	-
<b>3</b>	<b>90</b>	<b>78.75</b>	<b>76.25</b>	<b>65</b>
<b>7</b>	<b>169.6</b>	<b>162.1</b>	<b>147.5</b>	<b>124.4</b>
<b>14</b>	<b>206.7</b>	<b>199.0</b>	<b>182.5</b>	<b>172.5</b>
<b>28</b>	<b>323</b>	<b>292</b>	<b>279</b>	<b>262</b>



## CAPITULO V

### HORMIGÓN CON VIDRIO: APLICACIONES EN TERMINACIÓN DE MUROS

La idea de realizar esta tesis, adicionando vidrio al hormigón es su posible aplicación en terminación de muros, no como un estuco, sino que la utilización del mismo hormigón de obra gruesa “enlucirlo” superficialmente. Es por ello que aquí se presentan 2 posibles formas, pudiendo existir otras, de pulido superficial del hormigón con vidrio.

Las metodologías antes mencionadas son las siguientes:

- 5.1. Pulido superficial con escobilla de acero.
- 5.2. Pulido superficial con disco de lija para metal.

#### 5.1. PULIDO SUPERFICIAL CON ESCOBILLA DE ACERO.

#### **Procedimiento:**

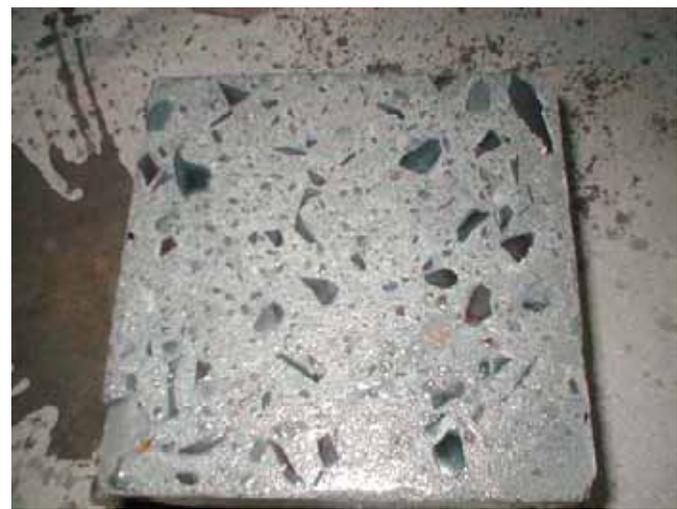
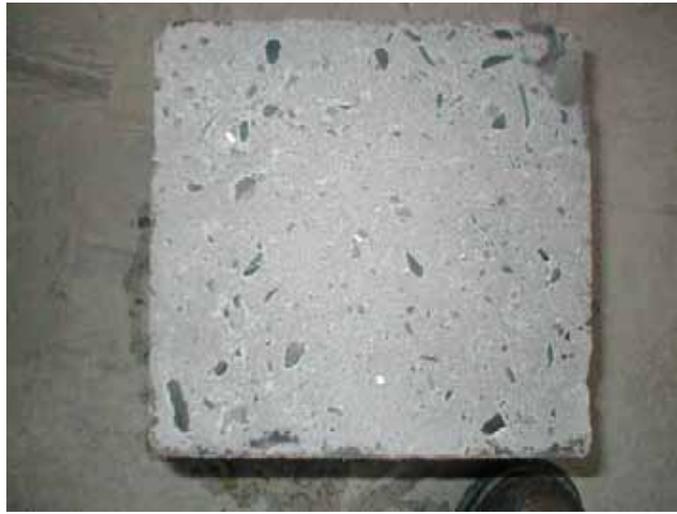
Para efectuar el pulido superficial del hormigón, se confeccionaron probetas con una dosificación similar a la utilizada en las pruebas de resistencia, y en las mismas condiciones de las muestras realizadas en el estudio preliminar.

El procedimiento consistió básicamente en:

- 1.- Se tomó el cubo de hormigón que estaba sumergido en la piscina de curado.
- 2.- Una vez acondicionada la muestra se procede a escobillar con escobilla de acero (escobilla de copa) la superficie del hormigón, hasta que el material constituyente (vidrio), aparezca en la superficie.



- 3.- A medida que se va raspando la superficie se va lavando con agua, para poder ver el tipo de terminación que se le quiere dar.





- **Herramientas y Equipos utilizados:**

El pulido mediante escobilla de acero se realizó utilizando herramientas y elementos de protección personal que se detallarán a continuación.

- Esmeril angular: utilizado para agilizar y apurar el pulido del hormigón con la escobilla de copa.



- Escobilla de acero (de copa) para alta revolución: es la herramienta que realiza el raspado de la superficie del hormigón.
- Guantes: para proteger las manos de los restos de hormigón que puedan saltar y de las esquirlas de acero que pueda arrojar la escobilla de copa.
- Antiparras: para protección de los ojos.
- Protectores auditivos: para disminuir la cantidad de ruido emitido por el esmeril angular.

## 5.2. PULIDO SUPERFICIAL CON DISCO DE LIJA PARA METAL.

El procedimiento es básicamente el mismo que se utilizó en la experiencia anterior, usando las mismas herramientas, elementos de protección personal y probetas, a diferencia de que, en vez de utilizar una escobilla de acero, se utilizó un disco de lija para metal sobre una base de plástico.



A continuación se muestra la terminación superficial que se le dio a la superficie del hormigón pulido.



## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES

En un primer término, podemos decir que, luego de realizada la investigación, el “Hormigón con Vidrio” cumple con la resistencia mínima requerida por dosificación, para un hormigón con una aplicación o adición de hasta un 75 % de árido reemplazado por vidrio, que fue la cantidad máxima reemplazada en el estudio realizado.

A continuación se mostrará un cuadro comparativo, en donde se dará cuenta que, a medida que se reemplaza en mayor cantidad el árido por vidrio la resistencia del hormigón disminuye.

#### Cuadro Comparativo de Resistencias y Porcentajes Respetivos

Edad	Tipo de H°	Resist. Comp. (kg/cm <sup>2</sup> )	%
28	H-20 Patrón	323.0	100%
28	25% Vidrio	291.5	90%
28	50% Vidrio	279.4	87%
28	75% Vidrio	261.8	81%

Si bien la resistencia es un aspecto positivo, no podemos ignorar que el proceso de elaboración del hormigón con vidrio considera las siguientes dificultades, tanto para su elaboración como para su terminación.

Un primer aspecto negativo sería la problemática de trituración del vidrio, para que éste cumpla los requerimientos utilizados en este estudio, tales como :

- Tamaño máximo del vidrio, para que cumpla los requisitos del árido utilizado.
- La dificultad de reproducir en terreno las mismas características vistas en laboratorio, lo que haría más distante la similitud entre el hormigón patrón y el hormigón con vidrio.

No obstante los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia, el hormigón con vidrio no sería recomendable usarlo como terminación en recintos con poca iluminación, muy por el contrario requiere de un entorno muy luminoso para que denote sus características y por lo mismo carece de gracia al utilizarlo en recintos oscuros.



Otro aspecto por el cual no es apto como terminación superficial es su riesgo y peligrosidad, ya que al ser pulido, ya sea con escobilla de acero o lija, quedan pequeñas aristas cortantes, pudiendo producir heridas a las personas que habitarían el recinto donde se aplicaría dicho hormigón, aunque esto se solucionaría aplicando un barniz o capa protectora que impida el contacto directo con el material (vidrio).

Un aspecto relevante es su alto trabajo de pulido, que en una superficie de 20 x 20 cm. se demora entre 4 y 5 minutos, además de las herramientas utilizadas (ver página N° 50), lo que hace pensar que en una superficie mayor el tiempo utilizado sería un factor digno de considerar.

En lo referente a la posibilidad de que el vidrio pudiese tener una reacción expansiva y destruir el hormigón, ésta reacción no fue estudiada ya que se requería de un tiempo prolongado para vislumbrar si es que se produce dicho fenómeno.

Finalmente, aunque el uso del vidrio reciclado para la elaboración del hormigón es una excelente idea, no podemos dejar de lado las conclusiones anteriores, por lo que se llega a pensar que el uso del hormigón con vidrio estaría supeditado al gusto estructural y estético de quien opte por usarlo.

**BIBLIOGRAFÍA**

- NCh. 163 Of. 1979. Áridos para morteros y hormigones – Requisitos generales.
- NCh. 164 Of. 1976. Áridos para morteros y hormigones – Extracción y preparación de muestras.
- NCh. 165 Of. 1977. Áridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de granulometría.
- NCh. 166 Of. 1952. Determinación calorimétrica de la presencia de impurezas orgánicas en las arenas para hormigones.
- NCh. 170 Of. 1985. Hormigón – Requisitos generales.
- NCh. 1018 Of. 1977. Preparación de mezclas de hormigón en laboratorio.
- NCh. 1019 Of. 1974. Determinación de la docilidad del hormigón mediante el cono de Abrams.
- NCh. 1037 Of. 1977. Hormigón – Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas.

- NCh. 1116 Of. 1977. Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente.
- NCh. 1239 Of. 1977. Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades real y neta y absorción de la arena.
- Ministerio de Obras Públicas. Especificaciones y métodos de ensayos de la dirección de Vialidad. Santiago de Chile Diciembre de 1986.
- <http://www.monografias.com/trabajos11/vidrio/vidrio.shtml>
- [http://www.bsnglasspack.com/html\\_es/le\\_verre/recyclage\\_cycle\\_es.htm](http://www.bsnglasspack.com/html_es/le_verre/recyclage_cycle_es.htm)