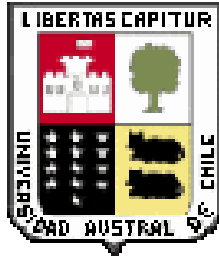


# Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias De La Ingeniería  
Escuela De Construcción Civil.



## Hormigón Pesado en Base a Trozos de Acero Redondo

TESIS PARA OPTAR AL TITULO  
INGENIERO CONSTRUCTOR

Profesor guía : JOSÉ ARREY DÍAZ  
CONSTRUCTOR CIVIL

**SERGIO ESTEBAN PÉREZ CHÁVEZ**

VALDIVIA - 2004

## DEDICATORIA.

El presente trabajo de tesis es dedicado para las personas más importantes en mi vida, ***mis padres y hermanos.***

Esto no es un logro individual, sino colectivo con los que creyeron en mi.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Muchas gracias a todas las personas que de alguna u otra forma aportaron su granito de arena en este proyecto. Gracias a mis padres y hermanos por su comprensión y apoyo, a mis amigos y personas cercanas a mi, por esa fuerza que siempre me transmitieron; a los funcionarios del laboratorio por compartir su experiencia durante el tiempo de investigación del presente proyecto.

***GRACIAS....***

# ÍNDICE DE MATERIAS

## CAPITULO I

1. Usos y generalidades del Hormigón Pesado.	1
1.1 Antecedentes Generales.	1
1.2 Clasificaciones del Hormigón.	1
1.3 Características y Propiedades del Hormigón Pesado.	4
1.4 Clasificación del Hormigón Pesado.	6
1.5 Usos del Hormigón Pesado.	7
1.6 Resistencia v/s Densidad.	9
1.7 Efecto de Protección.	10
1.8 Peligrosidad de las Radiaciones.	11

## CAPITULO II

2. Componente Característico de los Hormigones Pesados.	12
2.1 Áridos Mineralizados.	13
2.1.1 Magnetita.	14
2.1.2 Ilmenita.	15
2.1.3 Barita.	16
2.1.4 Limonita.	17
2.1.5 Ferro Fósforo.	17
2.2 Obtención de Áridos Mineralizados.	18
2.3 Áridos Provenientes del Acero.	21
2.3.1 ¿Qué es Acero?	21
2.3.2 Fabricación del Acero.	21
2.3.3 Descripción del Acero.	23
2.4 Factibilidades de Utilización.	24

2.4.1 Áridos provenientes de rocas mineralizadas.	24
2.4.2 Áridos constituidos por granalla o trozos metálicos.	25

### **CAPITULO III**

3 Leyes Vigentes que rigen el empleo de un hormigón pesado al...	26
3.1 Referentes a su generación, uso y transmisión.	26
3.2 Referente a las Competencias Resolutivas.	27
3.3 Respecto a la Planificación y Programación.	29
3.4 Respecto a las competencias de ejecución.	29
3.5 Respecto a las competencias de Fiscalización y Control.	30

### **CAPITULO IV**

4 Desarrollo de la Experiencia.	33
4.1 Diseño del Hormigón.	33
4.1.1 Planteamiento de Trabajo.	33
4.1.2 Desarrollo del Planteamiento.	34
4.1.2.1 ¿Por qué un mayor volumen de áridos?	29
4.1.2.2 Identificación de variables en el estudio.	38
4.1.2.3 Alternativas de variación.	40
4.1.3 Dosificación con Aceros.	42
4.1.3.1 Caso N° 1.	42
4.1.3.2 Caso N° 2.	44
4.2. Preparación de Probetas con Agregado Metálico Redondo.	47
4.2.1 Acondicionamiento de los Materiales.	48
4.2.1.1 Agregado Grueso.	48
4.2.1.2 Agregado Fino.	50
4.2.1.3 Cemento.	50

4.2.1.4 Agua.	50
4.2.2 Confección de Probetas.	50
4.2.2.1 Mezclado de Componentes.	50
4.2.3 Ensayos de Probetas.	54
4.2.3.1 Procedimientos.	54
4.2.4 Resumen de Ensayos.	56
4.2.5 Gráficos.	58
Conclusiones	59
Bibliografía	61

## **ÍNDICE DE CUADROS**

<b>Cuadro N°1</b> Diferencias Generales entre un Hormigón Corriente y Pesado.	5
<b>Cuadro N°2</b> Aplicaciones del Hormigón Pesado.	8
<b>Cuadro N°3</b> Resumen de Áridos Mineralizados.	18
<b>Cuadro N°4</b> Distribución del Mineral Hierro en Chile.	19
<b>Cuadro N°5</b> Clasificación del Acero.	22
<b>Cuadro N°6</b> Resumen de Áridos Metálicos.	23
<b>Cuadro N°7</b> Sugerencia de Autores sobre Características...	34
<b>Cuadro N°8</b> Detalle de Contextos que abarcan a los Áridos.	67
<b>Cuadro N°9</b> Resultados de Ensayos Aplicados a Trozos de Barras...	40
<b>Cuadro N°10</b> Porcentajes de Trozos de Barras de Acero en la Mezcla.	41
<b>Cuadro N°11</b> Porcentajes de Mezcla – Caso N° 1.	42
<b>Cuadro N°12</b> Datos de Trozos de Barra de Acero - Caso N° 1.	43
<b>Cuadro N°13</b> Resumen Dosificación - Caso N° 1.	43
<b>Cuadro N°14</b> Porcentajes de Mezcla – Caso N° 2	44

<b>Cuadro N°15</b> Datos de Trozos de Barra de Acero - Caso N° 2.	44
<b>Cuadro N°16</b> Resumen Dosificación - Caso N° 2.	45
<b>Cuadro N°17</b> Porcentajes de Mezcla – Caso N° 3.	45
<b>Cuadro N°18</b> Datos de Trozos de Barra de Acero - Caso N° 3.	46
<b>Cuadro N°19</b> Resumen Dosificación - Caso N° 3.	46
<b>Cuadro N°20</b> Compactación de Probetas.	53
<b>Cuadro N°21</b> Apisonado, Número de Golpes Por Capa.	53
<b>Cuadro N°22</b> Resumen De Ensayos Del Hormigón Patrón (H28 – P).	56
<b>Cuadro N°23</b> Resumen De Ensayos Del Hormigón Pesado (H28 – Caso 1).	57
<b>Cuadro N°24</b> Resumen De Ensayos Del Hormigón Pesado (H28 – Caso 2).	57
<b>Cuadro N°25</b> Resumen De Ensayos Del Hormigón Pesado (H28 – Caso 3).	57

## **ÍNDICE DE GRÁFICOS**

<b>Gráfico N° 1</b> Bandas de Porcentajes de aceros en la Mezcla.	41
<b>Gráfico N° 2</b> Variación de Carga en los Días de Ensayo.	58
<b>Gráfico N° 3</b> Variación de Compresión según Carga.	58
<b>Gráfico N° 4</b> Densidad del Hormigón Pesado según porcentajes de Mezcla.	59

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura N° 1:</b> Enfoque Macro de la Clasificación de los Hormigones...	3
<b>Figura N° 2:</b> Relación Resistencia / Razón Agua Cemento para Horm....	6
<b>Figura N° 3:</b> Razón de Densidad v/s Razón de Resistencia de un Horm...	9
<b>Figura N° 4:</b> Peligrosidad de las Radiaciones.	11

## **ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS**

<b>Fotografía N° 1:</b> Magnetita.	15
<b>Fotografía N° 2:</b> Ilmenita.	15
<b>Fotografía N° 3:</b> Barita.	16
<b>Fotografía N° 4:</b> Limonita.	17
<b>Fotografía N° 5:</b> Ferro Fósforo.	17
<b>Fotografía N° 6:</b> Corte de Trozos de Barras de Acero Redondo.	48
<b>Fotografía N° 7:</b> Fe 12, L = 3 cm.	49
<b>Fotografía N° 8:</b> Fe 10, L = 2 cm.	49
<b>Fotografía N° 9:</b> Fe 8, L = 1 cm.	49
<b>Fotografía N° 10:</b> Grado de Oxidación de Aceros.	49
<b>Fotografía N° 11:</b> Mezcladora.	51
<b>Fotografía N° 12:</b> Cono de Abrams.	52
<b>Fotografía N° 13:</b> Aceitado de Probetas.	53
<b>Fotografía N° 14:</b> Espesores de muros de obra Oncología en ...	61



## **RESUMEN.**

Un Hormigón pesado tiene como función principal ser un blindaje frente a ondas radiactivas, está compuesto por áridos de alto peso específico provenientes de los materiales o metales.

El resultado de la inclusión de áridos de alta densidad se refleja en hormigones de densidades superiores a los 4,0 gr. /dm<sup>3</sup> según el árido utilizado.

Para el diseño de cualquier estructura de blindaje, se deben realizar los correspondientes ensayos de laboratorio para determinar su propio coeficiente de absorción.

## **SUMMARY.**

A reinforced concrete has like principal function is plating opposite to radioactive wave, is composed of arid the high specific gravity derive from materials or metals.

The results of the placing of arid the high density is reflected in concrete of densities more than  $4,0 \text{ gr/dm}^3$  it depends of utilized arid.

For the sketch anyone structure of plating, should to make the test of laboratory respective for determines its suitable coefficient of absorption.

## INTRODUCCION.

El Hormigón es uno de los pocos materiales de construcción que ha prevalecido en el tiempo, por ejemplo, fue utilizado por los egipcios hace más de 3600 años atrás en grandes columnas que sostenían los templos.

La diferencia del hormigón que se utilizaba en la antigüedad y el que se maneja en la actualidad radica en los usos. Remotamente el hormigón era universal, servía prácticamente para todo lo que se quisiera construir.; actualmente el adelanto de la ciencia ha facilitado la innovación de una gran variedad de soluciones afines a la necesidad real.

Toda solución nace para salvar una dificultad; es por ello que se han creado una gran variedad de hormigones con finalidades bien específicas acordes a problemas puntuales, por ejemplo, hormigones livianos, de alta resistencia, permeables, autocompactable, pesados, etc.

Desde que se descubrió la radiactividad entre los años 1852 – 1908 por Antoine Henri Becquerel (Origen de la Radiactividad – Feria de Madrid por la Ciencia) el hombre sorprendió a la humanidad con la gama de posibilidades que esta fuente de energía podía proveer. No nos olvidemos de Chernobyl (perdida del refrigerante del núcleo dejó escapar radiación a la atmósfera. Consecuencias, 31 muertos y alteraciones de la descendencia de la mayoría de la población restante).

Son muchos los ejemplos que han dado la alerta a la humanidad de los peligros que esta fuente de energía puede traer si no se controla de una manera efectiva.

Las medidas de protección usadas a nivel mundial son blindajes gruesos de material pesado como hierro, plomo u hormigón.

El hormigón pesado no es un material nuevo, se ha empleado durante muchos años como contrapeso en puentes levadizos. Hoy se utiliza como protección biológica de personas y material frente a los rayos X y rayos gamma en radiografía industrial y en instalaciones de terapia médica, así como en reactores nucleares, entre otros.

El hormigón, tanto tradicional como pesado, es un material muy adecuado para las instalaciones de protección debido a sus buenas propiedades de absorción, frenado de neutrones rápidos, siendo de bajo costo en comparación con otros materiales de protección.

## **OBJETIVO GENERAL.**

Elaborar un hormigón de alta densidad (conocido como “Hormigón Pesado”) en base a trozos de aceros redondos como material granular grueso, mediante un proceso de dosificación para alcanzar una máxima densidad.

El análisis de cada componente que interviene en el proceso de diseño define la estructura de trabajo que encaminará la confección del hormigón pesado.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Para el éxito de esta Tesis se consideran algunos objetivos específicos indispensables para el correcto desarrollo de la investigación.

- Evaluar los componentes principales que influyen en la confección de un hormigón pesado y establecer sus factibilidades en cuanto a su utilización.
- Analizar el procedimiento general de dosificación desde un hormigón normal a uno pesado, basándose principalmente en sus componentes y características.
- Realizar metodologías de trabajo con fierros en base a parámetros fijos y variables.

Una vez acordado los parámetros de trabajo, se dispondrá de los elementos adecuados para concluir satisfactoriamente el presente estudio.

## MARCO TEÓRICO.

En el ámbito de la ingeniería es indispensable hacer mención a tópicos que tienen relevancia si se habla de hormigones. Cabe señalar que el concepto “hormigón”, se establece como base general para el presente estudio, según la Norma Chilena 170 Of. 85, se define como: “Material que resulta de la mezcla de agua, arena, grava, cemento, eventualmente aditivos y adiciones, en proporciones adecuadas que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia”.

Dentro de un ámbito particular que permite identificar a un hormigón con un problema puntual, se debe hacer mención a aquellos que tienen características exclusivas que los diferencian unos de otros, estos se denominan, *hormigones especiales*. De acuerdo a la Norma Chilena 170 Of. 85, se hace mención a este tipo de hormigones como un “Material fabricado con algún componente diferente de los usados en hormigón, en conjunto con ó en reemplazo de aquellos; y los hormigones de tecnologías especiales, como el preempacado, el proyectado, etc. “.

Actualmente Chile no consta de ninguna Norma que establezca una definición específica con respecto al concepto de *hormigón pesado*, pero los profesionales del área de la ingeniería concuerdan en que la finalidad de esta acepción es sin duda la “densidad aparente del hormigón”.

En la búsqueda de una definición precisa con relación al concepto de *hormigón pesado*, se encontraron autores quiénes plantean lo siguiente:

- “Hormigón cuya masa por unidad de volumen, es mayor que 2.800 Kg. /m<sup>3</sup>”.  
(CIRSO, España).

- “Son hormigones con densidades superiores a 2.800 Kg. /m<sup>3</sup>, diseñados para ejercer de barrera de protección frente a radiaciones de varios tipos (rayos X, rayos gamma, etc.).” (CEMEX, España).
- “Es el hormigón con una densidad superior a 2,8 t/m<sup>3</sup>.” (HORMISUR, Chile).

Aplicando este concepto fundamental de densidad aparente es posible establecer la base de este estudio, obtener un hormigón cuya densidad aparente sea superior a 2800 Kg. / m<sup>3</sup>, aunque la idea no es quedar solo ahí, sino, que el hormigón logre una densidad máxima.

# CAPÍTULO I

## 1. USOS Y GENERALIDADES DEL HORMIGÓN PESADO.

### 1.1 ANTECEDENTES GENERALES.

Hoy en día, para hablar de algún tema usando el término hormigón, ya es necesario colocarle apellido, situarlos dentro de un contexto específico puesto que las exigencias actuales así lo han estipulado. Para situarnos en este marco específico mostraremos en su generalidad a los hormigones y a su especialidad, los hormigones pesados.

### 1.2 CLASIFICACIONES DEL HORMIGON.

La norma Nch 170 clasifica a los hormigones únicamente por su resistencia, ya sea a la compresión o a la flexotracción. Actualmente, considerar sólo ese tipo de tipificaciones enmarca el concepto dentro de parámetros generales. En la actualidad, aunque las normas no lo establezcan textualmente, se pueden constituir varias formas de clasificación de un hormigón. Investigadores coinciden en que hay a lo menos 5 maneras de distinguir este elemento, entre ellos cabe mencionar:

- Según su resistencia a la compresión.
  - H15, Resistencia a la compresión  $R_c = 150 \text{ Kg. /cm}^2$ .
  - H20, Resistencia a la compresión  $R_c = 200 \text{ Kg. /cm}^2$ .
  - etc.



- Según su resistencia a la flexotracción.
  - HF3, Resistencia a la flexotracción  $R_f = 30 \text{ Kg. /cm}^2$ .
  - HF4 Resistencia a la flexotracción  $R_f = 40 \text{ Kg. /cm}^2$ .
  - etc. (NCH 170).
  
- Según presencia de armaduras:
  - Hormigón Simple.
  - Hormigón armado. (NCH 170).
  
- Según su densidad aparente (objetivo de la presente investigación).
  - Hormigón Liviano: 300 a 1800 Kg. / $\text{mt}^3$ .
  - Hormigón Corriente: 2000 a 2800 Kg. / $\text{mt}^3$ .
  - Hormigón pesado: 3000 a 4500 Kg. / $\text{mt}^3$ .

Hay otras clasificaciones que se pueden añadir a las ya mencionadas, estas son la de hormigones que poseen características particulares, se denominan “Hormigones Especiales”, el hormigón liviano y pesado caen dentro de esta categoría. Ejemplos de estos son: Hormigón Bombeado, Hormigón Premezclado, Hormigón Proyectado, Hormigón Bajo agua, etc. (ver figura N° 1).

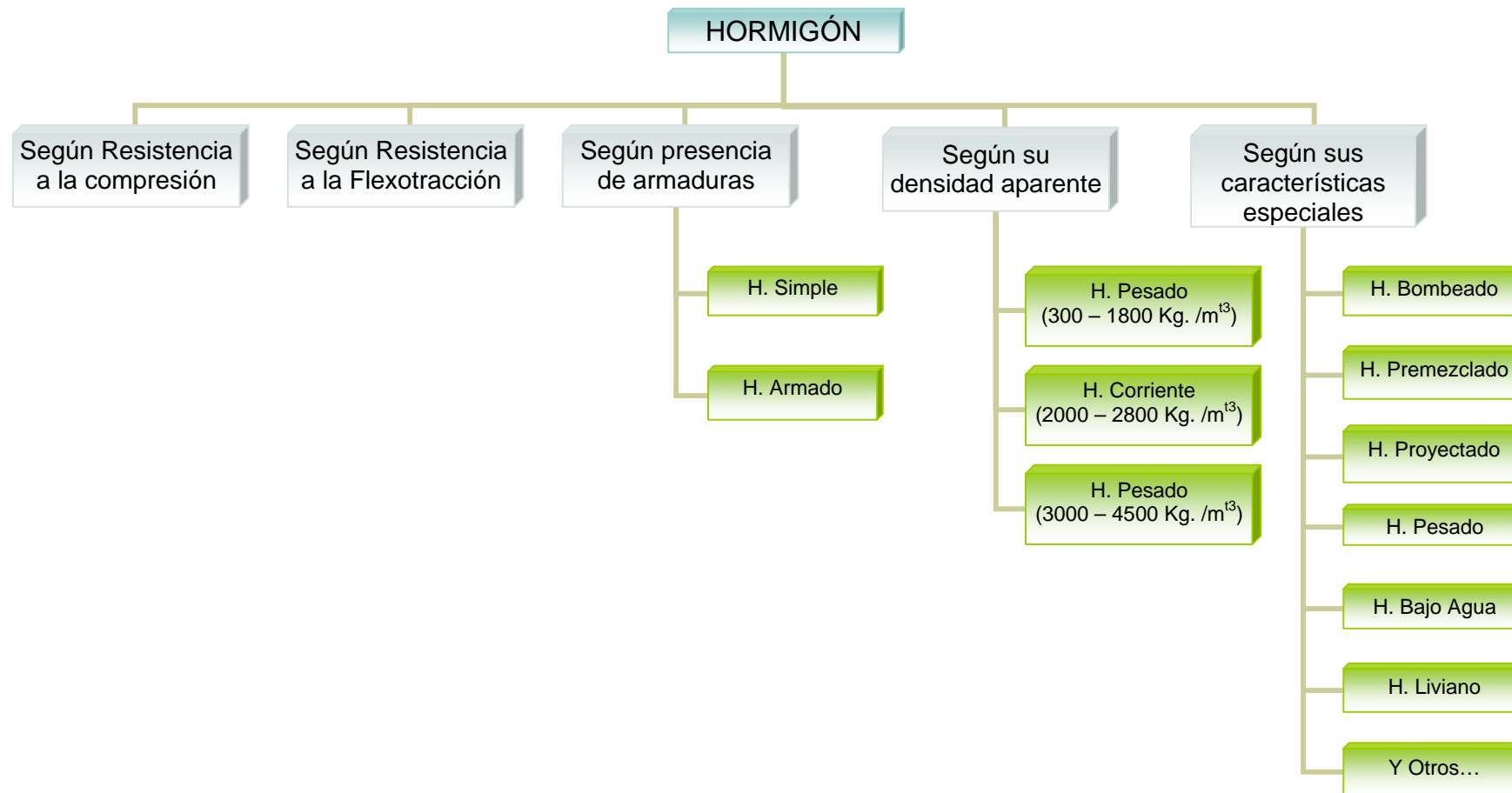


Fig. 1. Enfoque macro de la clasificación de los hormigones visualizando la serie al cual pertenecen los hormigones pesados.

### **1.3 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL HORMIGÓN PESADO.**

Los hormigones pesados no difieren de los corrientes, tan solo en la densidad aparente, de hasta aproximadamente 6400 Kg. /m<sup>3</sup>.

A excepción de la densidad, las propiedades físicas del concreto de gran peso son similares a las del concreto normal.

La resistencia es función de la relación agua/cemento; por lo tanto, para cualquier conjunto de materiales en particular, se pueden lograr resistencias comparables a las de los concretos de peso normal.

El cuadro N° 1, ilustra las diferencias generales entre un hormigón corriente y uno pesado.

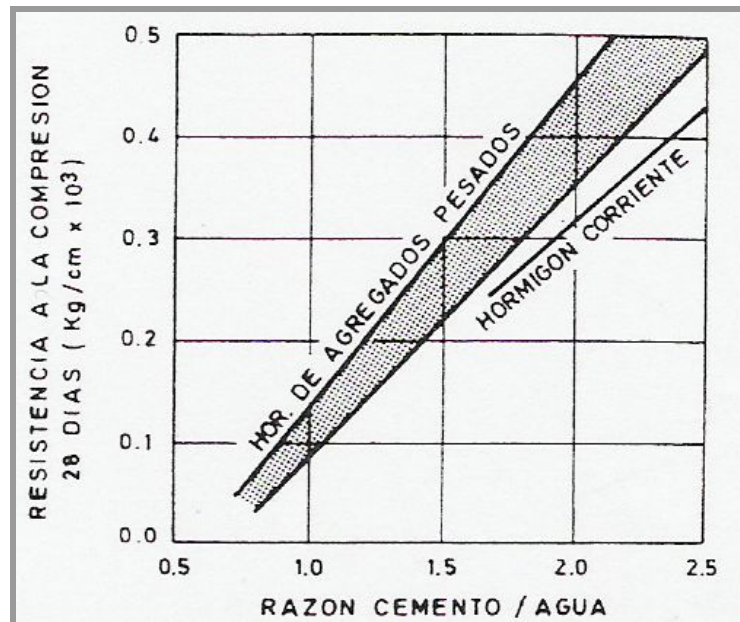
Cuadro N° 1

**DIFERENCIAS GENERALES ENTRE UN HORMIGÓN CORRIENTE Y PESADO**

<b>CARACTERÍSTICA Y USOS</b>	<b>HORMIGÓN CORRIENTE</b>	<b>HORMIGÓN PESADO</b>
Densidad aparente hormigón	Corresponde entre 2000 y 2800 Kg. / mt <sup>3</sup> . (Nch 170)	Corresponden entre 3000 y 4500 Kg. / mt <sup>3</sup> . (ICH)
Resistencia a la compresión a los 28 días	Según Dosificación	A igual razón A/C debería dar resistencia levemente superior a los hormigones corrientes (ver figura N° 2)
Densidad Material granular	2.6 gr. /cm <sup>3</sup> (aprox.)	Superior a 4.0 gr. /cm <sup>3</sup>
Aplicaciones	Obras en general	Protección frente a ondas radiactivas

Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro N° 1, se deduce claramente que el factor que da la denominación de hormigón pesado es la inclusión de un elemento de alta densidad que sustituya al material granular, ya sea total o parcialmente.



Fuente: Apuntes Pontificia Universidad Católica.

**Fig. 2. Relación Resistencia / Razón Agua-Cemento para hormigones pesados.**

#### 1.4 CLASIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PESADO.

La forma de clasificar un hormigón pesado es a través de la descripción cualitativa y cuantitativa de su material granular, puesto que la densidad del árido y de las proporciones de mezcla determina cuan pesado será el hormigón resultante.

La obtención de hormigones pesados queda condicionada exclusivamente al empleo de áridos de alto peso específico. (Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón).

Por lo tanto, idealmente hay sólo 2 formas de lograr un hormigón pesado, a través de:

- áridos provenientes de rocas mineralizadas.
  
- áridos constituidos por granalla o trozos metálicos.

A una descripción más detallada de este punto está dirigido en el segundo capítulo.

## **1.5 USOS DEL HORMIGÓN PESADO.**

La aplicación de este tipo de hormigón es casi universal, se restringe a ser utilizado en su mayoría como protección contra radiaciones producidas por energía nuclear. Es preciso hacer mención a autores que tienen relación con el tema y que orientan sobre sus usos. (Ver cuadro N° 2, Aplicaciones del Hormigón Pesado).

Las propiedades del concreto de gran peso, encontrándose en estado fresco ó endurecido, se deben adecuar para satisfacer las condiciones de la obra y los requisitos de blindaje por medio de una selección apropiada de los materiales y de las proporciones de la mezcla.

Como cada blindaje contra radiación presenta requisitos especiales, se deben llevar a cabo mezclas de prueba con los materiales y bajo las condiciones de obra, a fin de determinar las proporciones adecuadas para la mezcla.

Cuadro N° 2

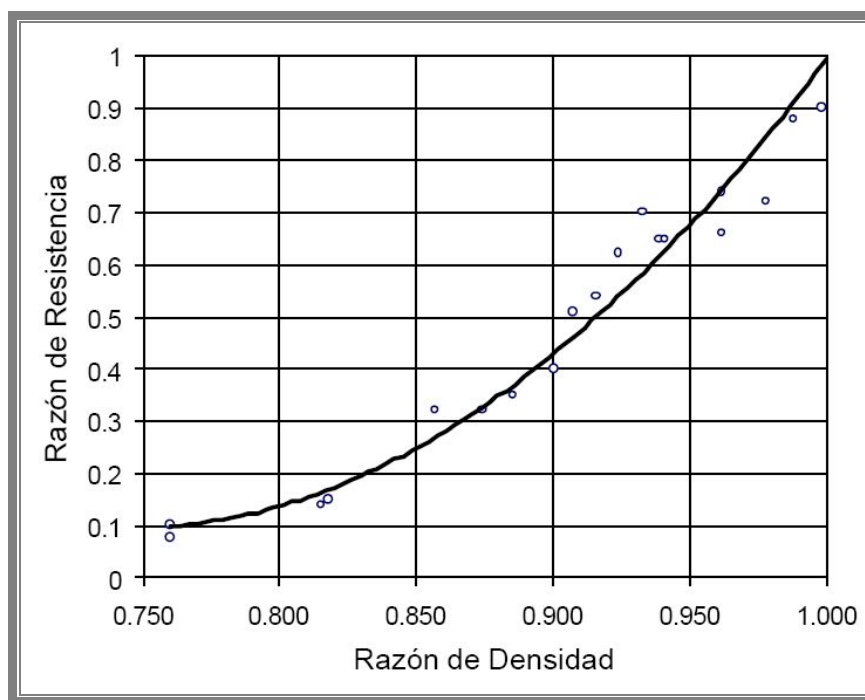
**APLICACIONES DEL HORMIGÓN PESADO.**

AUTOR	COMENTARIO DEL TEMA
Documento de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escudo protector contra radiaciones (plantas de energía Nuclear).</li> <li>• Ondas de corta longitud (rayos X, Gamma,): cualquier hormigón pesado.</li> <li>• Partículas atómicas (neutrones): áridos en base a minerales hidratados (barita).</li> </ul>
Empresa Española CEMEX.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utilizan principalmente en reactores nucleares, equipos aceleradores de partículas de alta energía, radiografía industrial, instalaciones de terapia médica, etc.).</li> </ul>
Empresa Argentina, HORMIGONES MINETTI.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtro de Radiaciones.</li> <li>• Lastres.</li> </ul>
ICH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El principal uso de los hormigones pesados ha sido como escudo protector contra las radiaciones provenientes de las instalaciones que funcionan en base a elementos radiactivos, tales como las plantas de energía nuclear.</li> <li>• La captación de las radiaciones depende del tipo de emisión de que se trate, pudiendo indicarse que para las ondas de corta longitud (rayos X, rayos gama) se necesita la interposición de un elemento de la mayor densidad posible, para lo cual los hormigones pesados de cualquier tipo proveen una solución económica, al permitir disminuir el espesor de la pantalla de protección.</li> </ul>

Fuente: Elaboración Propia.

## 1.6 RESISTENCIA V/S DENSIDAD.

Es importante destacar que la resistencia de los hormigones pesados queda condicionada por la naturaleza de los áridos, no estando en relación estricta con su mayor densidad. Existe sin embargo, consenso entre los investigadores de la especialidad que, a igualdad de razón agua/cemento dan resistencias algo superiores a los de los hormigones convencionales. (Ver figura N° 2).



Fuente: Apuntes Pontificia Universidad Católica.

**Fig. 3. Razón de densidad versus razón de resistencia de un hormigón pesado.**



## 1.7 EFECTO DE PROTECCIÓN.

Una protección biológica nuclear puede estar sometida a dos tipos de acciones: radiación gamma y neutrones rápidos.

La radiación gamma, al igual que ocurre con los rayos X, se puede atenuar mediante un espesor determinado de un material con un alto coeficiente de absorción., de tal forma que si  $I_0$  es la intensidad de la radiación inicial e  $I$  la intensidad que pasa por una protección  $x$ , formada por un material de coeficiente de absorción  $\mu$ , se tiene:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Dado que el coeficiente  $\mu$  en materiales de peso atómico hasta 100 es proporcional a la densidad interesa emplear en las protecciones elementos de número atómico grande en las que entren materiales de gran densidad como puede ser acero, plomo, o incluso de densidad superior a 2,4 Kg. /dm<sup>3</sup>, es decir, hormigones pesados.

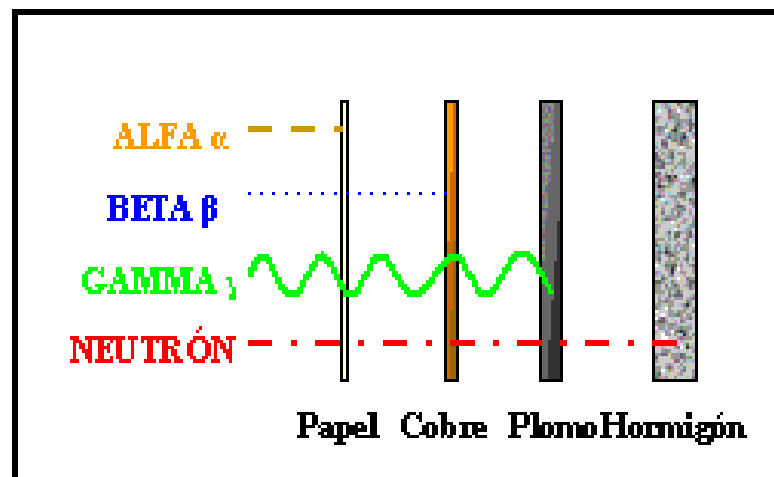
El hormigón es un buen material de protección debido a que posee los elementos precisos para capturar los neutrones y para atenuar la radiación gamma. Posee hidrógeno, agua en el gel de cemento hidratado, agua libre entre sus poros y agua de cristalización en algunos áridos, especialmente si éstos son pesados seleccionados con este fin, puesto que al mismo tiempo que actúan frenando los neutrones, al poseer calcio, silicio e hierro, pueden absorber también las radiaciones gamma.

## 1.8 PELIGROSIDAD DE LAS RADIACIONES.

La figura N° 4, muestra el grado de penetración de las radiaciones en la materia y a su vez, se observa que las *partículas alfa* se desplazan apenas unos centímetros en el aire y basta una hoja de papel o nuestra piel para detenerlas por lo que la protección frente a la radiación alfa no necesita ningún blindaje.

Las *partículas beta*, aunque algo más penetrante, se absorbe también con facilidad, bastando para ello algunos metros de aire, unos milímetros de agua, o un sólido delgado.

Las *partículas gamma*, recorren cientos de metros en el aire, hasta 65 metros en el agua y para detenerlos se necesita una pared de Hormigón de gran espesor o un blindaje adecuado de plomo.



Fuente: Origen de la Radiactividad, Feria de Madrid por la ciencia, 2002.

**Fig. 4. Peligrosidad De Las Radiaciones.**

## CAPITULO II

### 2. COMPONENTE CARACTERÍSTICO DE LOS HORMIGONES PESADOS.

“La obtención de hormigones pesados queda condicionada exclusivamente al empleo de áridos de alto peso específico”. (Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón).

Para definir el concepto de “áridos de alto peso específico” tendrá como base las normas españolas.

*Agregados pesados:* Componente granular cuya masa específica (densidad relativa), determinada según la normas IRAM 1 520 o 1 533, es mayor de 3.000 Kg. /m<sup>3</sup> (CIRSO, ESPAÑA).

Para cumplir con el requisito esencial de calificación para un hormigón pesado, utilización de agregados de alta densidad, se generan dos formas de cumplimiento, a través de:

- áridos provenientes de rocas mineralizadas.
  
- áridos constituidos por granalla o trozos metálicos.

## 2.1 ARIDOS MINERALIZADOS.

La diferencia entre mineral y roca es que los minerales tienen una composición química definida, y las rocas no. Las rocas lo que sí que tienen es una composición mineralógica.

Para hormigones de gran peso se debe utilizar áridos que tienen alta densidad, de los casi sesenta y cinco minerales que tienen densidades superiores a 3000 (Kg. /m<sup>3</sup>) en el campo de la construcción solo algunos son utilizados como áridos para el hormigón, la razón por la cual no son utilizados todos los minerales es por argumentos económicos.

Algo importante que se debe tomar en cuenta en la utilización de los áridos pesados, que estos materiales deben ser inactivos frente al cemento y no perjudicar sus propiedades mecánicas.

Los áridos mineralizados más usados y que no reaccionan con el cemento son:

- Magnetita.
- Ilmenita.
- Hematita.
- Barita.
- Basalto.
- Limonita.
- Ferro fósforo.

Estos minerales son sometidos a un proceso de chancado y selección, obteniéndose áridos cuyos pesos específicos oscilan entre 4.2 y 4.8 Kg. /dm<sup>3</sup>. Se utilizan también dentro de este tipo de áridos los provenientes de la barita, (BaSO<sub>4</sub>) que proporciona áridos con pesos específicos comprendidos entre 4.0 y 4.4 Kg. /dm<sup>3</sup>. (Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón (ICH) "Compendio de Tecnología del Hormigón". ICH. Zabaleta. Capítulo 9: Hormigones Pesados).

### **2.1.1 MAGNETITA.**

Mineral formado principalmente por Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (óxido ferroso férrico). El mineral representa no sólo uno de los óxidos más abundantes, sino también el más útil mineral para la extracción del hierro, ya que está constituida por más del 70 % del peso de este metal.

#### Características:

- Se presenta en masas densas, frágiles y de color negro, con brillo metálico.
- Densidad 4,2 a 5,2 g/cm<sup>3</sup>.
- Posee propiedades magnéticas y la variedad que suministra los mejores imanes naturales.
- Suele aparecer en forma de gránulos en casi todas las rocas ígneas y sedimentarias, pero a veces se acumula en masas de gran tamaño.
- Los yacimientos más importantes se encuentran en Alemania, Suecia, Finlandia, Rumania y Estados Unidos de Norteamérica.
- Es un mineral buen conductor de la electricidad. Se disuelve lentamente y con dificultad en ácido clorhídrico.
- Produce Hormigones pesados de densidad comprendida entre 3.5 a 4.2 Kg. /dm<sup>3</sup>.



Fotografía N° 1: MAGNETITA.

### 2.1.2 ILMENITA.

Mineral cuya composición química es  $(Fe Ti O_3)$ .

#### Características:

- Color Negro Metálico.
- Densidad  $4.72 \text{ g/cm}^3$ .
- Dureza 5 a 6.



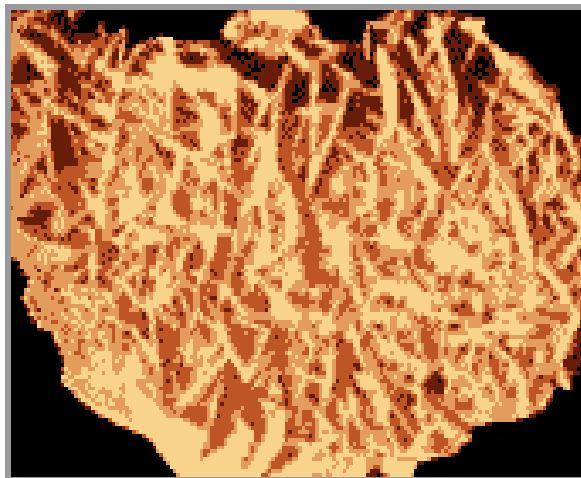
Fotografía N° 2: ILMENITA.

### 2.1.3 BARITA.

Su nombre científico es Baritina ( $\text{BaSO}_4$ ).

#### Características:

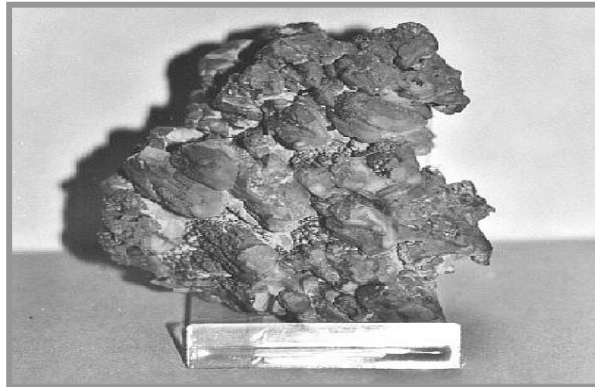
- Material opaco de estructura laminar.
- Color ámbar.
- Densidad  $4,5.\text{g}/\text{cm}^3$ .
- Dureza 3 a 3,5.
- Se emplea en forma de polvo, arena y gravilla de hasta 30 mm. de tamaño máximo.
- Presenta problemas de granulometría.
- Es el más común de los minerales de bario.
- La Barita confiere hormigones de densidad comprendida entre 3,3 y 3,7 Kg.  $/\text{dm}^3$ .



Fotografía N° 3: BARITA.

#### 2.1.4 LIMONITA.

Su composición química es  $(\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$ , es un óxido parecido a la magnetita con densidad entre 2.7 y 3.8  $\text{g/cm}^3$ .

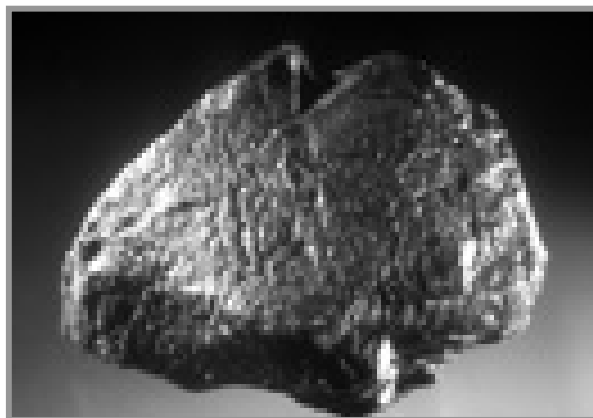


Fotografía N° 4: LIMONITA.

#### 2.1.5 FERRO FÓSFORO ( $\text{Fe}_3\text{P}$ , $\text{Fe}_2\text{P}$ , $\text{Fe P}$ ).

##### Características:

- Es un subproducto de la producción del fósforo.
- Densidad 5,72 a 6,3. $\text{gr./cm}^3$ .
- Se ha empleado mucho como óxido grueso y fino en protecciones dando hormigones de densidad de hasta 5,3  $\text{Kg. /dm}^3$ .



Fotografía N° 5: FERRO FÓSFORO.



Cuadro N° 3

**RESUMEN DE ARIDOS MINERALIZADOS.**

TIPO DE AGREGADO	AGUA FIJA % EN PESO	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO	DENSIDAD DEL CONCRETO KG./M <sup>3</sup>
Magnetita	0	4.2 – 5.2	3364 – 4165
Ilmenita	0	4.3 – 4.8	3524 – 3844
Barita	0	4.0 – 4.6	3364 – 3684
Limonita	8 – 9	3.4 – 4.0	2883 - 3364
Ferro fósforo	0	5.8 – 6.8	4085 – 5286

Fuente: Elaboración Propia.

Estos deben cumplir en líneas generales las mismas condiciones estipuladas para los áridos convencionales. Sin embargo, para su empleo debe tenerse en consideración que los áridos provenientes de minerales de fierro son muy fracturables debido a su construcción interna, por lo que están expuestos a variaciones de sus características durante su uso en obra, en especial de su granulometría y contenido de finos. (Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón (ICH) "Compendio de Tecnología del Hormigón". ICH. Zabaleta. Capítulo 9: Hormigones Pesados).

## **2.2 OBTENCIÓN DE ARIDOS MINERALIZADOS.**

La Obtención de áridos mineralizados en Chile, se ha concentrado en el Norte del país, vale decir, desde la Segunda Región de Antofagasta a la Cuarta Región de Coquimbo, denominada "Franja Ferrífera" (Ver figura N° 4, Plano de Distribución Minera).

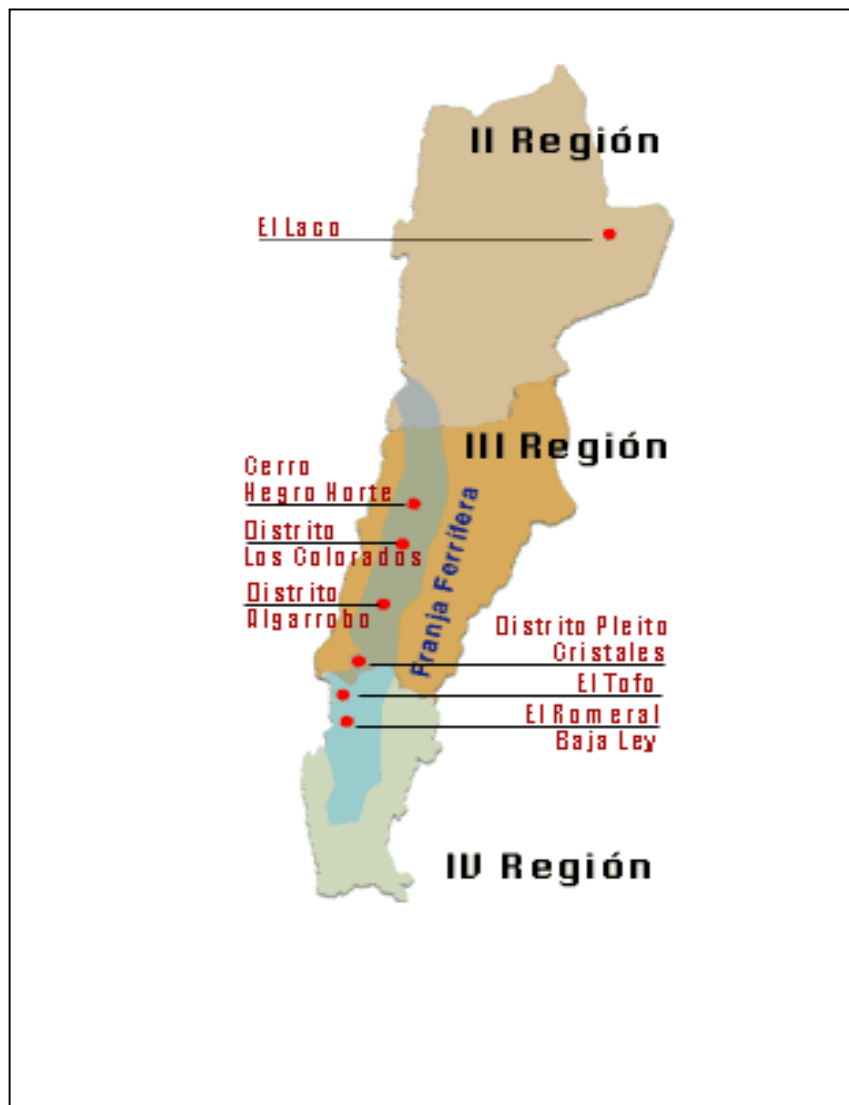
El Cuadro N° 4, muestra la distribución minera presente en la Franja Ferrífera.

Cuadro N° 4

**DISTRIBUCION DEL MINERAL HIERRO EN CHILE**

MINA	REGIÓN	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES	PRODUCTO
El Larco	II	Recurso de hemantita y magnetita	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produce granzas y Finos.</li> <li>• Reservas estimadas de 244 millones de Ton.</li> </ul>	<p>Granzas</p>
Cerro Negro	III	<p>Yacimiento Vetiforme,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recursos Magnéticos: 200 ton.</li> <li>• No Magnéticos: 39 ton.</li> </ul>	Se ubica a 60 Km. al norte de Copiapó.	<p>Perlet</p>
Los colorados	III	Posee recursos estimados de 73 millones de ton.	Comprende los prospectos Chañar Quemado, Sositas y Coquimbana.	<p>Finos</p>
El Tofo	IV	Recursos de 1 millón de ton. De mineral	45% de Fe.	
EL Romeral	IV	consiste en una sucesión de cuerpos mineralizados de magnetita de 3.5 Km. de largo y 0.5 Km. de ancho	S. I.	
Algarrobo	III	S.I.	S. I.	

Fuente: Elaboración Propia. (S.I.: Sin Información)



Fuente: [www.infoacero.cl](http://www.infoacero.cl)

**Figura 5. PLANO DE DISTRIBUCIÓN MINERA.**

Como información complementaria a este punto, es importante señalar que a nivel mundial, las principales reservas del mineral de hierro se encuentran en Rusia, Brasil e India. (Corporación de aceros del Pacífico, CAP).

## **2.3 ARIDOS PROVENIENTES DEL ACERO.**

Estos áridos se obtienen a partir de trozos de barras de acero redondo, recortes de planchas de acero o granalla. Su peso específico es similar al del fierro, es decir 7.5 a 7.8 Kg. /dm<sup>3</sup> aproximadamente.

Los áridos obtenidos de desechos metálicos presentan también algunas características de heterogeneidad, provenientes principalmente del estado de su superficie, la cual debe presentar algún grado de oxidación incipiente para favorecer la adherencia. (Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón (ICH) "Compendio de Tecnología del Hormigón". ICH. Zabaleta. Capítulo 9: Hormigones Pesados).

### **2.3.1 ¿QUE ES ACERO?**

El Acero es básicamente una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0,05% hasta menos de un 2%). (Corporación de aceros del Pacífico, CAP).

### **2.3.2 FABRICACIÓN DEL ACERO.**

El acero se obtiene eliminando las impurezas del arrabio, producto de fundición de los altos hornos, y añadiendo después las cantidades adecuadas de carbono y otros elementos. (Ver cuadro N° 5, Clasificación del Acero).

*Arrabio:* Material fundido que se obtiene en el alto horno mediante reducción del mineral de hierro. Se utiliza como materia prima en la obtención de las aleaciones férricas fundamentales: las fundiciones y los aceros.

Cuadro N° 5

**CLASIFICACIÓN DEL ACERO.**

TIPO DE ACERO	CARACTERÍSTICA
Al carbono	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono.</li> <li>• contienen diferentes cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre.</li> <li>• Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, cascos de buques, somieres y horquillas o pasadores para el pelo.</li> </ul>
Aleados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poseen vanadio y molibdeno, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono.</li> <li>• Estos aceros se emplean, por ejemplo, para fabricar engranajes y ejes de motores, patines o cuchillos de corte.</li> </ul>
Inoxidables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llevan cromo y níquel, entre otros elementos de aleación que los mantienen brillantes y resistentes a la oxidación a pesar de la acción de la humedad o de ácidos y gases corrosivos.</li> <li>• El acero inoxidable se utiliza para tuberías, para fabricar instrumentos y equipos quirúrgicos, o para fijar o sustituir huesos rotos, ya que resiste a la acción de los fluidos corporales, utensilios de cocinas.,</li> </ul>
De herramientas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contienen wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación que les proporcionan mayor resistencia, dureza y durabilidad.</li> </ul>
De baja aleación ultra resistentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tienen menos cantidad de elementos de aleación y deben su elevada resistencia al tratamiento especial que reciben.</li> </ul>

Fuente: Elaboración Propia.

### 2.3.3 DESCRIPCIÓN DEL ACERO.

- Para uso en refuerzo de hormigón, son producidas con nervadura llamada resalte (excepto diámetro 6 mm), lo que aumenta la adherencia entre el acero y el hormigón.
- Están identificadas de acuerdo a lo especificado en la norma NCh 204 Of. 78, mediante marcas en relieve que permiten determinar el fabricante y el grado del acero.



- Son fabricados en los siguientes diámetros: 6, 8, 10, 12, 16, 18, 22, 25, 28, 32 y 36 mm.

#### Cuadro N° 6

#### RESUMEN DE ARIDOS METÁLICOS.

TIPO DE AGREGADO	AGUA FIJA % EN PESO	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO	DENSIDAD DEL CONCRETO KG./M <sup>3</sup>
Perdigones y Pepitas de acero	0	6.2 – 7.2	4645 – 6087

Fuente: Elaboración Propia.

## 2.4 FACTIBILIDADES DE UTILIZACIÓN.

### 2.4.1 Áridos provenientes de rocas mineralizadas: Magnetita, Ilmenita, hematita, barita, basalto, limonita, ferro fósforo.

Como se ha visto anteriormente, estos áridos se encuentran en la zona ferrífera en la zona norte del país; ahora, para saber si hay yacimientos en menor escala en la zona sur a la cual se pueda acceder, se realizó una visita al Instituto de Geociencias de la Universidad Austral de Chile.

Se recopiló información sobre este tema con el profesor Mario Pino, docente de este Instituto., y lo planteado se resume en:

- Estos áridos magnetizados sólo se encuentran en la zona norte, el uso más frecuente es de obtención de hierro.
- El mineral con más densidad, en esta zona, es el basalto, cuya densidad oscila entre 3.1 y 3.2 Kg. /dm<sup>3</sup>.

*Basalto:* Es la variedad más común de roca volcánica. Se compone casi en su totalidad de silicatos oscuros de grano fino, sobre todo feldespato, piroxeno y plagioclasas, y magnetita en menor escala. Se forma por la efusión de lava a lo largo de las cordilleras oceánicas.

La utilización de este tipo de árido pesado queda completamente descartada. La razón es el no poder acceder a este tipo de material.

#### **2.4.2 Áridos constituidos por granalla o trozos metálicos: Barras de acero redondo, recortes de planchas de acero, granalla.**

Estos se utilizan con menor frecuencia, debido a que no es sencillo alcanzar una granulometría completa. Su alto peso específico es similar al del fierro, está en el orden de 7.5 a 7.8 Kg. /dm<sup>3</sup>.

El uso del acero es utilizado con mayor frecuencia, puesto que en casi la totalidad de las construcciones, ya sea de edificación y/o urbanización; existiendo empresas que se dedican a su producción y distribución.

Debido a la dificultad de adquisición de áridos mineralizados, este estudio se basará en el empleo de áridos provenientes de desechos metálicos. Se usará como agregado pesado **trozos de barras de acero redondo**.



## CAPITULO III

### **3. LEYES VIGENTES QUE RIGEN EL EMPLEO DE UN HORMIGÓN PESADO AL SER UTILIZADO EN UNA INSTALACIÓN RADIATIVA.**

En relación a los hormigones convencionales o corrientes, el instrumento de fiscalización es el Instituto Nacional de Normalización (INN) a través de sus múltiples normas. Ahora, cuando ese hormigón va a ser empleado en una instalación radiactiva hay otras competencias que hay que considerar.

En 1996, la Corporación Nacional Del Medioambiente (CONAMA), publicó un estudio de legislación ambiental donde establece las competencias ambientales aplicables en materia de energía, donde se contempla la energía nuclear, ya sea referente a sus usos como a sus instalaciones.

Dentro de la totalidad de normas y decretos relacionados a la energía, las que competen a la energía nuclear son:

#### **3.1 Referente a su generación, uso y transmisión.**

**3.1.1 Pronunciamento:** “Regula las actividades relacionadas con los usos pacíficos de la energía nuclear, sus instalaciones y las sustancias nucleares que se utilicen en ellas, la justa indemnización o compensación por los daños que dichas actividades provocaren, la prevención de la apropiación indebida y el uso ilícito de la energía, sustancias e instalaciones nucleares”.

Titularidad: Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Fuente: Ley N° 18.302, Art. 2 inc.1° (Anexo c-27).

**3.1.2 Pronunciamiento:** “Dicta normas referentes a las instalaciones radiactivas”.

Titularidad: Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Fuente: Ley N° 18.302, Art. 67 inc.1° (Anexo c-27).

### **3.2 Referente a las competencias resolutivas.**

**3.2.1 Pronunciamiento:** “Autorizar los actos o contratos de la Comisión Chilena de Energía Nuclear que tengan por objeto realizar, por medio, o por unión de terceros, la explotación o el beneficio de materiales atómicos naturales”.

Titularidad: Presidente de la República.

Fuente: D.L. N° 1.557, Art. 2c) inc. 5° (Anexo F-22).

**3.2.2 Pronunciamiento:** “Pronunciarse respecto de las Declaraciones de Impacto Ambiental o Estudios de Impacto Ambiental, según corresponda, respecto de los proyectos de reactores y establecimientos nucleares e instalaciones relacionadas”.

Titularidad: Comisión Regional o Nacional del Medio Ambiente, según sea el caso.

Fuente: Ley N° 19.300, Art. 9 y 10 d) (Anexo C-53).

**3.2.3 Pronunciamiento:** “Autorizar, conforme a las disposiciones del Código sanitario, la aplicación y el manejo de las sustancias radiactivas en instalaciones radiactivas o en equipos generadores de radiaciones ionizantes”.

Titularidad: Servicios de Salud.

Fuente: Ley N° 18.302, Art. 67 inc. 2° (Anexo C-27).

**3.2.4 Pronunciamiento:** “Autorizar el funcionamiento de las instalaciones radiactivas y de los equipos generadores de radiaciones ionizantes”.

Titularidad: Servicios de Salud.

Fuente: Código Sanitario, Art. 86 (Anexo B-1); D.D. N° 133/84 de Salud, Art. 2 (Anexo G-38) y D.F.L. N° 1/89 de Salud, Art. 1 36), 37) y 38) (Anexo E-33).

**3.2.5 Pronunciamiento:** “Autorizar el funcionamiento de instalaciones radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes que se encuentren ubicados en la Región Metropolitana”.

Titularidad: Servicios de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana.

Fuente: Ley N° 18.302, Art. 4 inc. 1° (Anexo C-27).

**3.2.6 Pronunciamiento:** “Autorizar el emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento, en su caso, de las instalaciones, plantas, centros, laboratorios, establecimientos y equipos nucleares”.

Titularidad: Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Fuente: Ley N° 18.302, Art. 4 (Anexo C-27).

**3.2.7 Pronunciamiento:** “Autorizar las instalaciones radiactivas que se encuentren dentro de una instalación nuclear”.

Titularidad: Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Fuente: Ley N° 18.302, Art. 67 inc. 3° (Anexo C-27).

**3.2.8 Pronunciamiento:** “Aprobar la producción de energía nuclear con fines pacíficos”.

Titularidad: Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Fuente: Ley N° 16.319, Art. 7 inc. ° (Anexo C-12).

### **3.3 Respeto a la Planificación y Programación.**

**3.3.1 Pronunciamiento:** “Elaborar y proponer al Supremo Gobierno los planes nacionales para la investigación, desarrollo, utilización y control de la energía nuclear en todos sus aspectos”.

Titularidad: Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Fuente: Ley N° 16.319, Art. 3 b) (Anexo C-12).

### **3.4 Respeto a las competencias de ejecución.**

**3.4.1 Pronunciamiento:** “Ejecutar, por si o de acuerdo con otras personas o entidades, los planes nacionales para la investigación, desarrollo, utilización y control de la energía nuclear; formatear, realizar o investigar, según corresponda, y con arreglo a la legislación vigente, la exploración, la explotación y el beneficio de materiales atómicos naturales, el comercio de dichos materiales ya extraídos y de sus concentrados, derivados y compuestos, el acopio de materiales de interés nuclear, y la producción y utilización, con fines pacíficos, de la energía nuclear en todas sus formas, tales como su aplicación a fines médicos, industriales o agrícolas y la generación de energía eléctrica y térmica”.

Titularidad: Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Fuente: Ley N° 16.319, Art. 3 c) y d) (Anexo C-12).

**3.4.2 Pronunciamento:** “Realizar por sí, o en unión de terceros, la producción de energía nuclear con fines pacíficos”.

Titularidad: Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Fuente: Ley N° 16.319, Art. 7 inc. 2° (Anexo C-12).

### **3.5 Respecto a la Competencias de Fiscalización y Control.**

**3.5.1 Pronunciamento:** “Controlar la aplicación y el manejo de las sustancias radiactivas en instalaciones radiactivas o en equipos generadores de radiaciones ionizantes”.

Titularidad: Servicios de Salud.

Fuente: Ley N° 18.302, Art. 67 inc. 2° (Anexo C-27) y Código Sanitario, Art. 86 inc. 3° (Anexo B-1).

**3.5.2 Pronunciamento:** “Fiscalizar las actividades relacionadas con los usos pacíficos de la energía nuclear, sus instalaciones y las sustancias nucleares que se utilicen en ellas”.

Titularidad: Ministerio de Minería.

Fuente: Ley N° 18.302, Art. 2 inc. 2° (Anexo C-27).

**3.5.3 Pronunciamento:** “Ejercer, por medio de inspectores especializados pertenecientes a su planta personal, la supervisión, control, fiscalización e inspección de las actividades relacionadas con los usos de la energía nuclear en instalaciones nucleares o respecto de sustancias nucleares directamente”.

Titularidad: Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Fuente: Ley N° 18.302, Art. 20 (Anexo C-27).

**3.5.4 Pronunciamiento**: “Ejercer el control de las instalaciones radiactivas que se encuentren dentro de una instalación nuclear, y de las que, conforme al reglamento, sean declaradas de primera categoría”.

Titularidad: Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Fuente: Ley N° 18.302, Art. 67 inc. 3° (Anexo C-27).

Hay dos normas actuales correspondientes al Ministerio de Salud, sobre la cual se basan como reglamento, la mayoría de las instituciones que manejan energía nuclear. Estas son:

- Decreto N° 03 del Ministerio de Salud: protección radiológica de instalaciones radiactivas.
- Decreto N° 133 del Ministerio de Salud: Reglamento sobre autorizaciones para instalaciones radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes, personal que se desempeña en ellas, u opere tales equipos y otras actividades afines.

En Valdivia hay 6 instituciones que manejan de alguna u otra manera energía nuclear, ya sea para determinar la densidad de un suelo (densímetro nuclear del LEMCO) hasta la esterilización de instrumentos quirúrgicos en el hospital.

Las instituciones son: ASENAV, Celulosa Arauco, Clínica Alemana, Hospital, Masisa y UACH. (Fuente: Rodolfo Lagos, ACHS).

## **CAPITULO IV**

### **4. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA.**

El proceso práctico contempla un diseño de hormigón, preparación de las probetas con el agregado pesado, los ensayos que se le efectuaron y los gráficos correspondientes.

#### **4.1 DISEÑO DEL HORMIGON.**

##### **4.1.1 PLANTEAMIENTO DE TRABAJO.**

El desarrollo de la investigación se forma cuando se argumenta las bases que sostendrán las futuras hipótesis y conclusiones. Se desarrollaran los siguientes puntos para encaminar un procedimiento natural.

- a) Consideración de sugerencias suscitadas por autores en torno a algunas características particulares de los hormigones pesados como lo son su resistencia, tamaños máximos y docilidad, medida a través del cono de Abrams.
- b) Desarrollar una dosificación para un hormigón corriente tal que entregue el mayor volumen de áridos considerando las sugerencias planteadas en el punto anterior.
- c) Planteamiento de alternativas de variación de acuerdo a parámetros fijos y variables en la dosificación.
- d) Desarrollo de una dosificación con aceros para las alternativas plantadas.



#### 4.1.2 DESARROLLO DEL PLANTEAMIENTO.

Basaremos la dosificación del hormigón patrón y pesado en relación a algunos parámetros propuestos por algunos autores. El objetivo es no diferir en demasía a lo que otras empresas ya han experimentado. (Ver cuadro N° 7).

**Cuadro N° 7**

**SUGERENCIA DE AUTORES SOBRE CARACTERÍSTICAS DE LOS  
HORMIGONES PESADOS.**

AUTOR	SUGERENCIA
HORMIGONES MINETTI, empresa Argentina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia Característica a los 28 días: 130 a 380 Kg. / cm<sup>2</sup>.</li> <li>• Tamaño máximo nominal: 30 mm.</li> <li>• Asentamiento cono: 10 – 15 cm.</li> </ul>
Manual de Consolidación de Concreto (Wacker Corporation) (BM 691,3, WAC, 1997).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No usar conos mayores a 77 cm.</li> <li>• Resistencia a la compresión alrededor de 280 a 630 Kg. / cm<sup>2</sup>.</li> </ul>

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando las sugerencias planteadas en el punto anterior, se desarrollará una dosificación para un hormigón corriente tal que entregue el mayor volumen de áridos

##### 4.1.2.1 ¿Por qué un mayor volumen de áridos?

La respuesta es simple. Primero, el objetivo de la investigación es lograr una máxima densidad no estando en relación con su resistencia. Segundo, mientras mas volumen

de áridos se sustituya, parcial o totalmente, mayor será su densidad puesto que el agregado pesado es más denso. Por lo tanto, la hipótesis que surge ahora es:

“A igual volumen aparente entre áridos (del hormigón patrón) y aceros (del hormigón pesado), da una densidad mayor puesto que el peso específico del acero es superior al del árido”.

Los áridos usados en esta experiencia corresponden a la empresa VALDICOR, ubicada en la localidad de Collico, provincia de Valdivia y corresponden a áridos fluviales.

La dosificación se realiza según metodología LEMCO.

“El método parte de una resistencia especificada, que puede ser resistencia mínima de acuerdo a la norma NCH 170 vigente o resistencia característica; características de proyecto, de acuerdo al anteproyecto de estudio de la misma norma.

Se calcula la resistencia media requerida, se estima la cantidad de agua según la consistencia deseada y el tamaño máximo; conociendo la cantidad y la razón agua cemento necesaria para obtener la resistencia media requerida, se estima la cantidad de cemento, las proporciones de los áridos, resultan de tanteos sucesivos para quedar dentro de las bandas granulométricas establecidas por la norma NCh 163”.

(Estudio comparativo de los métodos de dosificación de hormigones Faury L.E.M.C.O., 1989).

Se realizaron diferentes dosificaciones para varias resistencias, comprendidas entre los 130 a 380 Kg. / cm<sup>2</sup> (sugerencias planteadas por hormigones Minetti). La dosificación, en base a tres componentes granulares, que entrega más volumen de áridos, la entrega una resistencia a la compresión de 280 Kg. /cm<sup>2</sup>.

Los ensayos realizados, las normas en las cuales fueron basadas, los resultados de los ensayos, la granulometría y la dosificación final (considerando las sugerencias de los autores planteadas anteriormente) se exponen en el cuadro N° 8.

### Cuadro N° 8

#### DETALLES DE CONTEXTOS QUE ABARCAN A LOS ARIDOS.

<b>GENERALIDADES</b>
El presente informe entrega resultados de los ensayos realizados a una muestra de grava, gravilla y arena, con el propósito de usar dichos materiales en la fabricación de hormigón.

<b>LOS ENSAYES CONSISTIERON EN:</b>
Granulometría - Densidad Aparente - Densidad Real Seca - Densidad Real SSS - % Absorción. Además, se incluye dosificación de hormigón Grado H28.

<b>REFERENCIAS</b>				
NCh 170 Of. 85	NCh 163 Of. 79	NCh 165 Of. 77	NCh 1239 Of. 77	NCh 1116 E Of. 77
NCh 1117 E Of. 77				

<b>RESULTADOS</b>

<b>CARACTERISTICAS FISICAS</b>				
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>GRAVA</b>	<b>GRAVILLA</b>	<b>ARENA</b>
Densidad Aparente	Gr. /cm <sup>3</sup>	1.490	1.556	1.596
Densidad Real Seca	Gr. /cm <sup>3</sup>	2.624	2.584	2.652
Densidad Real SSS	Gr. /cm <sup>3</sup>	2.650	2.619	2.670
Densidad Neta	Gr. /cm <sup>3</sup>	2.693	2.685	2.700
Absorción	%	0.98	1.36	1.36

<b>GRANULOMETRIA</b>			
<b>TAMIZ ASTM</b>	<b>% QUE PASA</b>		
	<b>GRAVA</b>	<b>GRAVILLA</b>	<b>ARENA</b>
2"	100	100	100
1 1/2"	96	100	100
1"	73	100	100
3/4"	21	100	100
1/2"	0	42	100
3/8"	0	13	100
N° 4	0	0	86
N° 8	0	0	74
N° 16	0	0	65
N° 30	0	0	37
N° 50	0	0	8
N° 100	0	0	1
N° 200	0	0	1

<b>DOSIFICACION PARA 1 M3</b>									
<b>Hormigón Grado</b>	<b>Cemento Kg.</b>	<b>Agua Lts.</b>	<b>Grava</b>		<b>Gravilla</b>		<b>Arena</b>		<b>Cono (Cm.)</b>
			<b>Kg.</b>	<b>Lts.</b>	<b>Kg.</b>	<b>Lts.</b>	<b>Kg.</b>	<b>Lts.</b>	
H-28	372.34	199	671	450	381	244	761	476	10-15

<b>OBSERVACIONES</b>
- La dosificación esta calculada en base a materiales secos.
- La cantidad de arena debe corregirse por humedad.

Fuente: Elaboración Propia, formato LEMCO.

Dada esta dosificación se plantearán alternativas de variación de acuerdo a parámetros fijos y variables en la dosificación.

#### 4.1.2.2 Identificación de variables en el estudio.

Para la correcta ejecución de los procedimientos de trabajo es necesario distinguir, dentro de una enorme gama de posibilidades, los elementos que intervienen directa y indirectamente en el resultado final. Para ello, primero definiremos el concepto clave para evaluar la concepción de la solución.

“Entendemos por variable cualquier característica o cualidad de la realidad que es susceptible de asumir diferentes valores, es decir, que puede variar, aunque para un objeto determinado que se considere puede tener un valor fijo”. (Sabino, 1980).

**a) Variable independiente:** Variable que el investigador manipula.

- % de aceros en la mezcla

**b) Variable cuantitativa:**

- Cantidad de Probetas
- Dimensiones de probetas.

**c) Variable Interveniente:** Son aquellas características o propiedades que de una manera u otra afectan el resultado que se espera y están vinculadas con las variables independientes y dependientes.

- Cono de la mezcla
- Humedad de la arena

**d) Variable dependiente:** Propiedad o característica que se trata de cambiar mediante la manipulación de la variable independiente. (Hayman, 1974).

- densidad aparente del hormigón pesado.

Dada estas variables es indispensable fijar algunos parámetros para poder medir un efecto específico, lo que no se lograría de otra forma.

Según ICH, “la obtención de hormigones pesados queda limitado exclusivamente al empleo de arios de alto peso específico”, por lo tanto, este será el factor que haremos variar: porcentajes de acero en la mezcla, así podremos determinar que porcentajes entregan la máxima densidad y más resistencia. Dado lo anterior, mantendremos constantes el agua de amasado, razón agua cemento, cono de la mezcla, cantidad de probetas y dimensiones de las probetas.

Los componentes granulares de un hormigón corriente son grava, gravilla y arena. Sustituiremos el agregado grueso (grava y gravilla) por barras de acero redondo.

La elección los diámetros y largos de los aceros es totalmente arbitraria, ya que este es un primer acercamiento al tema y no una solución definitiva al tema de los hormigones pesados.

Se usarán barras de acero de 8, 10 y 12 mm. de diámetro y los largos serán 1, 2 y 3 cm. respectivamente.

Para aproximarse a la solución, es necesario establecer algunos supuestos ya que de otra forma sería imposible realizar el experimento. Estos supuestos se refieren a mantener inalterables las condiciones aplicadas a los áridos y a los aceros.

**Supuesto N° 1:** Procedimientos de ensayos aplicados a áridos VALIDOS para trozos de barras de acero redondo.

**Supuesto N° 2:** Volumen aparente áridos = Volumen aparente trozos de barras de acero redondo.

Aplicando el supuesto N° 1 y empleando las normas correspondientes a los ensayos, los resultados obtenidos para aceros se expresan en el siguiente cuadro.

**Cuadro N° 9**

**RESULTADOS DE ENSAYOS APLICADOS A TROZOS DE BARRAS DE ACERO REDONDO.**

ENSAYO	ÁRIDOS PESADOS		
	Fe 12	Fe 10	Fe 8
Densidad Aparente (gr. /cm <sup>3</sup> ).	3.1	3.4	3.53
* Dr <sub>s</sub> (gr. /cm <sup>3</sup> ).	7.2	7.4	7.4
Absorción (%)	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia.

(\*Dr<sub>s</sub>: Densidad real pétreo seco)

#### **4.1.2.3 Alternativas de variación.**

Como ya se observó en el punto anterior, se variarán los porcentajes de mezcla con el fin de determinar la combinación que entrega mayor densidad. No se puede realizar dosificaciones tradicionales puesto que los aceros poseen una granulometría discontinua debido a su forma constante. La propuesta es crear una banda de porcentajes de mezcla teniendo como base los porcentajes obtenidos según triángulo de Feret (\*) para el hormigón patrón.

(\*) Triángulo de Feret: Procedimiento de determinación de porcentajes de mezcla de áridos según su granulometría.

Los porcentajes obtenidos según el triángulo de Feret para tres materiales en el hormigón patrón son: 37 % de grava, 21 % de gravilla y 42 % de arena.

La banda de porcentajes consiste en que desde una línea central de aproximadamente 33 % de cada acero situarse en el punto opuesto de la coordenada del porcentaje del hormigón patrón, la misma distancia que éste tiene hacia el eje. Este efecto se puede visualizar en el cuadro N° 10, Porcentajes de trozos de barras de acero en la mezcla y gráfico N° 1, Bandas de porcentajes de aceros en la mezcla. Esto genera tres casos, los cuales tienen los siguientes porcentajes.

**Cuadro N° 10**

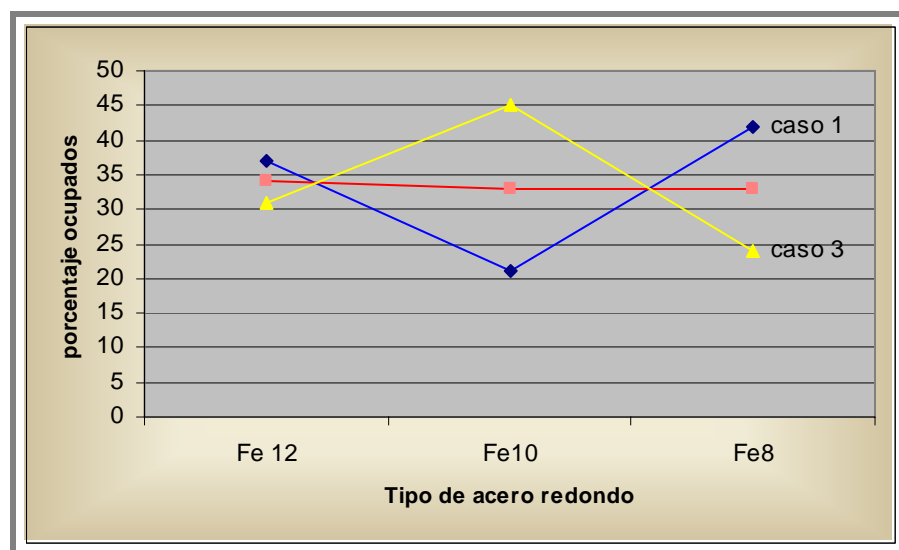
**PORCENTAJES DE TROZOS DE BARRAS DE ACERO EN LA MEZCLA.**

CASO N°	FE 12 (%)	FE 10 (%)	FE 8 (%)	TOTAL (%)
1	37	21	42	100
2	33	34	33	100
3	31	45	24	100

Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico N° 1**

**BANDA DE PORCENTAJES DE ACEROS EN LA MEZCLA.**



Fuente: Elaboración Propia.



En cada caso se sitúa el porcentaje en el extremo de la banda.

- Caso N° 1: Mantener los porcentajes obtenidos según triángulo de Feret para aceros (línea azul).
- Caso N° 2: Situarse dentro de la media de porcentajes, es decir, aproximadamente un 33.3% cada uno. (Línea naranja).
- Caso N° 3: Invertir situación del caso uno según línea central. (línea amarilla).

#### 4.1.3 DOSIFICACIÓN CON ACEROS.

##### 4.1.3.1 CASO N° 1: *Sustitución Volumen aparente del árido grueso según porcentaje obtenido en dosificación.*

Considerando que el volumen de árido grueso es igual al volumen de la grava más el volumen de la gravilla se tiene:

$$V_T = V_G + V_g = 450 + 244 = 694 \text{ lts.}$$

**Cuadro N° 11**

#### **PORCENTAJES DE MEZCLA – CASO N° 1.**

	% Grava	% Gravilla	% Arena	$V_G + V_g$	Total
Fe 12	37			694	257
Fe 10		21		694	146
Fe 8			42	694	291
				TOTAL	694

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando que:  $\text{Peso} = \text{Densidad} \times \text{Volumen}$ .

Entonces:  $\text{Peso acero} = \text{Densidad aparente acero} \times \text{Volumen aparente acero}$ .

**Cuadro N° 12**

**DATOS DE TROZOS DE BARRAS DE ACERO – CASO N° 1.**

<b>Fe</b>	<b>V ap (cm3)</b>	<b>D ap (gr./cm3)</b>	<b>W (Kg.)</b>
12	257	3.1	797
10	146	3.4	496
8	291	3.53	1027

Fuente: Elaboración Propia.

Al destacar el cuadro N° 12, se observa que con 797 Kg. de Fe 12, 496 Kg. de Fe 10 y 1027 Kg. de Fe 8 igualamos los volúmenes aparentes de los áridos gruesos del hormigón patrón para un metro cúbico. (SUPUESTO 2).

El método es análogo para los casos 2 y 3.

**CUADRO N° 13**

**RESUMEN DE DOSIFICACIÓN - CASO N° 1.**

<b>RESULTADOS</b>
-------------------

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>				
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>Fe 12</b>	<b>Fe 10</b>	<b>Fe 8</b>
Densidad Aparente	Gr. /cm <sup>3</sup>	3.1	3.4	3.53
Densidad Real Seca	Gr. /cm <sup>3</sup>	7.2	7.4	7.4
Absorción	%	0	0	0

DOSIFICACION PARA 1 M3										
Hormigón	Cemento	Agua	Fe 12		Fe 10		Fe 8		Arena	
Grado	Kg.	Lts.	Kg.	Lts.	Kg.	Lts.	Kg.	Lts.	Kg.	Lts.
H-28	372.34	199	797	-----	496	-----	1027	-----	761	476

Fuente: Elaboración Propia, formato LEMCO.

**4.1.3.2 CASO N° 2:** *Sustitución Volumen aparente del árido grueso en partes iguales de aceros.*

$$V_T = V_G + V_g = 450 + 244 = 694 \text{ lts.}$$

**Cuadro N° 14**

**PORCENTAJES DE MEZCLA – CASO N° 2.**

	% Grava	% Gravilla	% Arena	$V_G + V_g$	Total
Fe 12	33			694	229
Fe 10		34		694	236
Fe 8			33	694	229
				TOTAL	694

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando que:  $\text{Peso} = \text{Densidad} \times \text{Volumen}$ .

Entonces:  $\text{Peso acero} = \text{Densidad aparente acero} \times \text{Volumen aparente acero}$ .

**Cuadro N° 15**

**DATOS DE TROZOS DE BARRAS DE ACERO – CASO N° 2.**

Fe	V ap (cm3)	D ap (gr./cm3)	W (Kg.)
12	229	3.1	710
10	236	3.4	802
8	229	3.53	808

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro N° 16

**RESUMEN DE DOSIFICACIÓN – CASO N° 2.**

RESULTADOS				
------------	--	--	--	--

CARACTERISTICAS FISICAS				
PROPIEDADES FISICAS	UNIDAD	Fe 12	Fe 10	Fe 8
Densidad Aparente	gr. /cm <sup>3</sup>	3.1	3.4	3.53
Densidad Real Seca	gr. /cm <sup>3</sup>	7.2	7.4	7.4
Absorción	%	0	0	0

DOSIFICACION PARA 1 M3										
Hormigón Grado	Cemento Kg.	Agua Lts.	Fe 12		Fe 10		Fe 8		Arena	
			Kg.	Lts.	Kg.	Lts.	Kg.	Lts.	Kg.	Lts.
H-28	372.34	199	710	-----	802	-----	808	-----	761	476

Fuente: Elaboración Propia, formato LEMCO.

#### 4.1.3.3 CASO N° 3: *Invertir situación del caso uno según línea central.*

$$V_T = V_G + V_g = 450 + 244 = 694 \text{ lts.}$$

Cuadro N° 17

**PORCENTAJES DE MEZCLA – CASO N° 3.**

	% Grava	% Gravilla	% Arena	V <sub>G</sub> + V <sub>g</sub>	Total
Fe 12	31			694	215
Fe 10		45		694	312
Fe 8			24	694	167
				TOTAL	694

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando que:  $\text{Peso} = \text{Densidad} \times \text{Volumen}$ .

Entonces:  $\text{Peso acero} = \text{Densidad aparente acero} \times \text{Volumen aparente acero}$ .

**Cuadro N° 18**

**DATOS DE TROZOS DE BARRAS DE ACERO – CASO N° 3.**

Fe	V ap (cm <sup>3</sup> )	D ap (gr./cm <sup>3</sup> )	W (Kg.)
12	215	3.1	667
10	312	3.4	1061
8	167	3.53	590

Fuente: Elaboración Propia.

**Cuadro N° 19**

**RESUMEN DE DOSIFICACIÓN – CASO N° 3.**

**RESULTADOS**

**CARACTERISTICAS FISICAS**

PROPIEDADES FISICAS	UNIDAD	Fe 12	Fe 10	Fe 8
Densidad Aparente	gr. /cm <sup>3</sup>	3.1	3.4	3.53
Densidad Real Seca	gr. /cm <sup>3</sup>	7.2	7.4	7.4
Absorción	%	0	0	0

**DOSIFICACION PARA 1 M3**

Hormigón Grado	Cemento Kg.	Agua Lts.	Fe 12		Fe 10		Fe 8		Arena	
			Kg.	Lts.	Kg.	Lts.	Kg.	Lts.	Kg.	Lts.
H-28	372.34	199	667	-----	1061	-----	590	-----	761	476

Fuente: Elaboración Propia, formato LEMCO.

Con respecto a los parámetros fijos se establece lo siguiente:

- Se elaborarán probetas 15 x 15 con el fin de aumentar la cantidad de probetas manteniendo la cantidad de acero producido para este fin.
- El agua de amasado será un valor fijo, por lo tanto, el agua total dependerá de la humedad de la arena, ya que el acero no absorbe agua.
- La docilidad del hormigón fresco, medido a través del ensayos del cono de abrams, será de 10 – 15 cm.
- Se prepararán 5 probetas por cada caso, ensayadas a los 3, 7, 14 y dos a los 28 días.

## **4.2 PREPARACIÓN DE PROBETAS CON AGREGADO METÁLICO REDONDO.**

La NCh 1018, Preparación de mezclas de prueba en laboratorio, establece los procedimientos para prepara hormigones de estudio.

El diseño del hormigón pesado se ha resuelto en tres casos, y aunque son distintos en su composición, su elaboración es la misma.

La preparación consta de la adecuación de cada elemento constituyente según los requerimientos específicos que se hayan designado en el diseño. A continuación se señalan los componentes del hormigón pesado diseñado en el presente estudio.

## 4.2.1 ACONDICIONAMIENTO DE LOS MATERIALES.

### 4.2.1.1 Agregado Grueso.

Aceros: Se procedió a cortar los trozos de acero con diámetros de 12, 10 y 8 mm. Con una longitud de 3, 2 y 1 cm. Como se muestra en la siguiente fotografía.

#### Fotografía N° 6

#### CORTE DE TROZOS DE BARRAS DE ACERO REDONDO.



Fuente: Elaboración Propia.

La máquina consta de un motor de 1 HP que hace girar a través de una correa un disco de corte de 12 pulgadas de diámetro. Los aceros redondos son cortados con precisión pues se regula el avance de la barra mediante un tope. Cabe hacer mención que el operador posee todos los implementos de seguridad acordes al trabajo que realiza: Guantes de cuero, overol, mascarilla facial, mascarilla bucal y audífonos.

Los trozos de las barras obtenidos se pueden ver en las siguientes fotografías.

Fotografía N° 7



Fe 12, L = 3 cm.

Fotografía N° 8



Fe 10, L = 2 cm.

Fotografía N° 9



Fe 8, L = 1 cm.

El Instituto Chileno del Cemento y el Hormigón (ICH) sugiere que el acero presente algún grado de oxidación insipiente para favorecer la adherencia de la mezcla de hormigón con el acero. ("Compendio de Tecnología del Hormigón". ICH. Zabaleta. Capítulo 9: Hormigones Pesados).

La siguiente fotografía muestra el grado de oxidación que presentó el acero cuando se confeccionaron las probetas.

Fotografía N° 10

**GRADO DE OXIDACIÓN DE ACEROS.**



Fuente: Elaboración propia.

El acero es pesado en una balanza con una precisión centesimal con una aproximación de + - 0.3 %.

El acero no posee absorción de agua, por lo tanto, no se calcula humedad.



#### **4.2.1.2 Agregado Fino.**

Arena: Es el mismo árido fino con el que se confeccionó el hormigón patrón. Posee humedad del orden del 3.3%.

#### **4.2.1.3 Cemento.**

Se utilizó cemento Bio – Bio especial. Es un cementante grado corriente tamizado por la criba de 1.25 mm y se mantiene en un recipiente hermético.

#### **4.2.1.4 Agua.**

Se utilizó agua del suministro del laboratorio. No es necesario verificar su calidad puesto que es potable (NCh 1498).

### **4.2.2 CONFECCION DE PROBETAS.**

Para la elaboración del hormigón patrón y pesado, se siguieron los siguientes pasos.

#### **4.2.2.1 Mezclado de Componentes**

1. Se prepara un volumen de mezcla superior en 20% o más del volumen necesario.
2. Se vierte los componentes más finos de la mezcla: cemento y arena. Se pone en funcionamiento la mezcladora para que queden completamente homogeneizados.

**Mezcladora:** Máquina que se utiliza para mezclar los componentes.

La mezcladora utilizada en el Laboratorio de Ensayes de Construcción (LEMCO), es una betonera de eje vertical con capacidad para 50 lts. de hormigón.

### Fotografía N° 11

#### MEZCLADORA.



Fuente: Elaboración propia.

3. Se vacía el agregado pesado comenzado desde el más fino hacia el más grueso, o sea, fe 8, f 10 y fe12. Estos, nuevamente son mezclados para homogeneizarlos antes de verter el agua.
4. Se vierte el agua potable comenzando con una 80 % de ésta para ir verificando la docilidad mediante el cono de Abrams.
5. El tiempo de amasado para un método mecánico es de :  
Amasado inicial: 3 min.  
Reposo : 3 min.  
Amasado final : 2 min.
6. Cono de Abraham (NCh 1019 E Of. 74).

**Fotografía N° 12****CONO DE ABRAMS.**

Fuente: Elaboración propia.

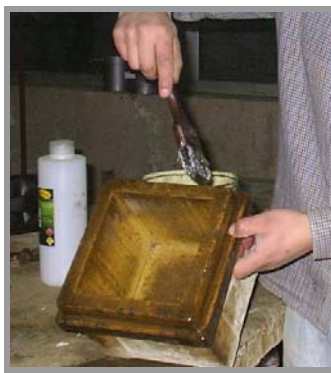
**7. Llenado de Moldes y Compactación de Probetas.**

Molde cúbico: Molde cuya forma interior es un cubo abierto por una de sus caras. Se destina a ensayos de compresión. Es de metal o de otro material resistente, no absorbente y químicamente inerte con los componentes del hormigón. Su superficie interior será lisa, libre de saltaduras, hendiduras o resaltes. (NCh 1017. E OF 75).

Este procedimiento de llenado lo rige la norma Nch 1018. Se establece que los moldes deberán encontrarse totalmente limpios y con una delgada película de aceite para facilitar el desmolde (ver imagen N° 8, Aceitado de Probetas). El cuadro N° 20 y 21 establece la forma de compactación de acuerdo al asentamiento del cono de Abrams.

### Fotografía N° 13

#### ACEITADO DE PROBETAS.



Fuente: Elaboración propia.

### Cuadro N° 20

#### COMPACTACIÓN DE PROBETAS.

Asentamiento del Cono de Abrams (cm.)	Procedimiento de Compactación
< 5	Vibrado
5 -10	Apisonado o Vibrado
> 10	Apisonado

Fuente: Nch 1018

### Cuadro N° 21

#### APISONADO. NÚMERO DE GOLPES POR CAPA.

Molde	Dimensión	Número de Capas	Número de Golpes por capa
Cúbico	150 mm.	2	18

Fuente: Nch 1018 (Extracto de la tabla).

Se apisona con varilla – pisón cada capa, a razón de 8 golpes por cada 100 cm<sup>2</sup> de superficie.

#### 8. Curado de las probetas. (NCh 1017.EOf75).

Estas se realizan en la cámara de curado, donde permanecen las probetas a una humedad relativa del 90%. Están sumergidas en una piscina, la cual está a 23° C.

### 4.2.3 ENSAYOS DE PROBETAS.

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

#### 4.2.3.1 Procedimientos.

- a) Acondicionamiento de probetas para el ensayo según NCh 1017 o NCh 1171.
- b) Medición de probetas cúbicas.
- c) Ensayo.
  - Limpiar la superficie de las placas y de las caras de ensayos de las probetas.
  - Colocar la probeta sobre la cara inferior alineando su eje central con el centro de esta placa.
- d) Posición de las probetas.
  - Colocar las probetas con la cara de llenado en un plano perpendicular a la placa inferior de la prensa.
- e) Aplicación de Carga: La aplicación de la carga se debe hacer en forma continua y sin choques, a una velocidad uniforme.
- f) Registrar la carga P expresada en N (Kgf).
- g) Calcular la resistencia a la compresión como la tensión de rotura según la siguiente formula:

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

Donde:

R: Tensión de rotura (Kgf/cm<sup>2</sup>).

P: Carga máxima aplicada por la máquina de ensayo (Kgf).

S: Sección de ensayo (cm<sup>2</sup>).

h) Cálculo de Densidad aparente.

- Se calcula el volumen de la probeta cúbica como:

$$V = S * h$$

Donde:

S: Sección de ensayo (cm<sup>2</sup>).

h: Altura promedio (cm.).

- Se calcula la densidad aparente de la probeta como:

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

Donde:

M: Masa de la probeta (Kg.).

V: Volumen de la probeta (dm<sup>3</sup>).

#### 4.2.4 RESUMEN DE ENSAYOS.

La correlación entre los resultados con las probetas cúbicas de 15 x 15 es el siguiente:

$$f_{c200} = K \times f_{cn}$$

$f_{c200}$  = Tensión de rotura cubo 200 mm.

$f_{cn}$  = Tensión de rotura cubo n mm.

K = coeficiente.

<b>n (mm.)</b>	100	150	200	250	300
<b>K</b>	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10

Fuente: Nch 1018

En los cuadros posteriores el factor de corrección para probetas cúbicas 15 x 15, 0.95, ya se encuentra aplicado.

#### Cuadro N° 22

#### RESUMEN DE ENSAYOS DEL HORMIGÓN PATRÓN (H28 – P).

Días	Peso(Kg.)	A (cm.)	b (cm.)	h(cm.)	Carga(Kg.)	p(Kg./dm <sup>3</sup> )	Compresión (Kg./cm <sup>2</sup> )
3	8,21	15	15	15	22000	2,43	<b>92.89</b>
7	8,2	15	15	15	35500	2,43	<b>149.89</b>
14	8,21	15	15	15	52500	2,43	<b>221.67</b>
28	8,26	15	15	15	69000	2,46	<b>291.33</b>
28	8,12	15	15	15	76000	2,42	<b>320,89</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro N° 23

**RESUMEN DE ENSAYOS DEL HORMIGÓN PESADO (H28 – CASO 1).**

Días	Peso(Kg.)	A (cm.)	b (cm.)	h(cm.)	Carga(Kg.)	p(Kg./dm <sup>3</sup> )	Compresión (Kg./cm <sup>2</sup> )
3	12,83	15	15	15	16000	3,80	<b>67.56</b>
7	13,95	15	15	15	38000	4,19	<b>160.44</b>
14	13,93	15	15	15	61000	4,13	<b>257.56</b>
28	13,31	15	15	15	78800	3,94	<b>332,71</b>
28	13.3	15	15	15	79000	3.94	<b>333.56</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro N° 24

**RESUMEN DE ENSAYOS DEL HORMIGÓN PESADO (H28 – CASO 2).**

Días	Peso(Kg.)	A (cm.)	b (cm.)	h (cm.)	Carga(Kg.)	P Kg./dm <sup>3</sup> )	Compresión (Kg./cm <sup>2</sup> )
3	13,84	15	15	15	16000	4,10	<b>67.56</b>
7	13,83	15	15	15	35000	4,10	<b>147.78</b>
14	13,55	15	15	15	47000	4,01	<b>198.44</b>
28	13,89	15	15	15	69000	4,12	<b>291,33</b>
28	13.79	15	15	15	70000	4.09	<b>295.56</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro N° 25

**RESUMEN DE ENSAYOS DEL HORMIGÓN PESADO (H28 – CASO 3).**

Días	Peso(Kg.)	a (cm.)	b (cm.)	h(cm.)	Carga(Kg.)	p(Kg./dm <sup>3</sup> )	Compresión (Kg./cm <sup>2</sup> )
3	14,09	15	15	15	21500	4,17	<b>90.78</b>
7	14	15	15	15	43500	4,20	<b>183.67</b>
14	13,65	15	15	15	63500	4,04	<b>268.11</b>
28	13,79	15	15	15	89000	4,09	<b>375,78</b>
28	13.84	15	15	15	88500	4.10	<b>373.67</b>

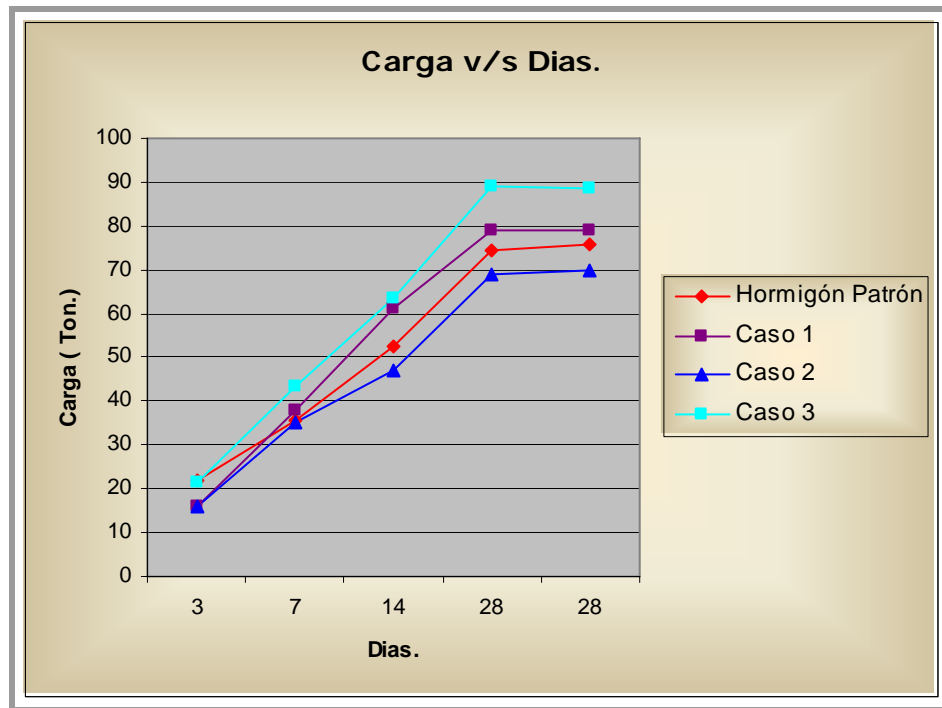
Fuente: Elaboración Propia.



#### 4.2.5 GRÁFICOS.

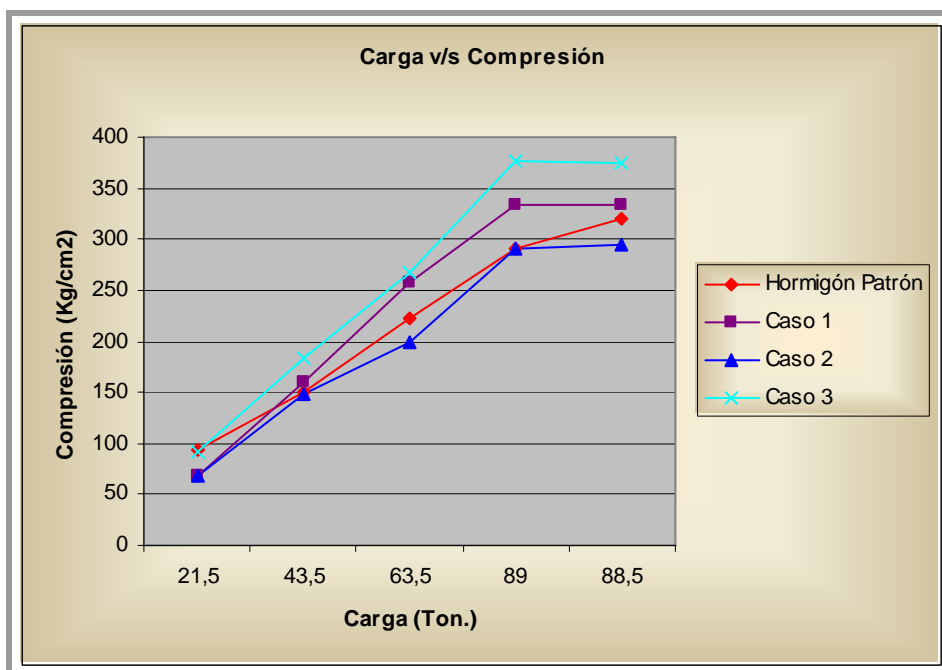
Se realizaron dos gráficos de líneas que representan las variaciones que se originaron entre los tres casos de hormigones pesados en comparación con el hormigón patrón.

**Gráfico N° 2**  
**VARIACIÓN DE CARGA EN LOS DÍAS DE ENSAYO.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico N° 3**  
**VARIACIÓN DE COMPRESIÓN SEGÚN CARGA.**



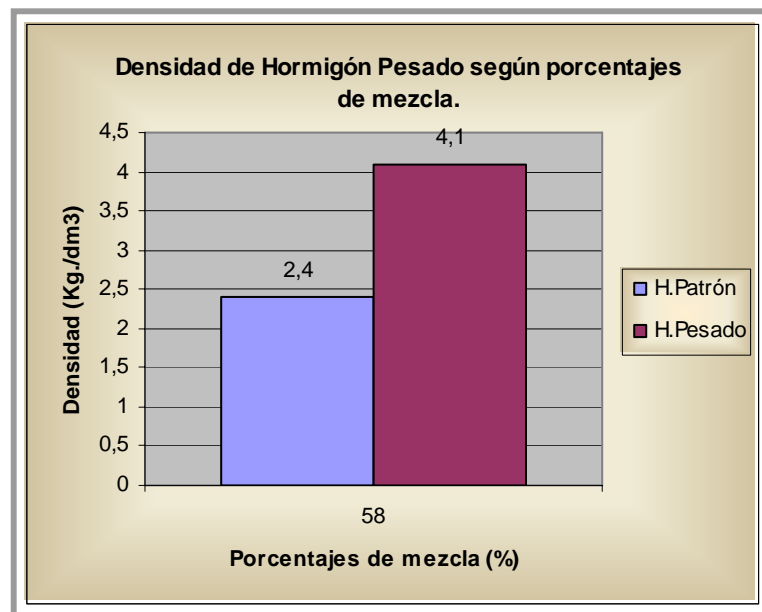
Fuente: Elaboración Propia.

## CONCLUSIONES

Después de realizar los ensayos de rotura por compresión a las probetas constituidas por material granular pesado, expresados en los casos 1,2 y 3 se puede concluir lo siguiente:

- 1) La densidad aparente obtenida para un hormigón constituido por un 58% de volumen aparente de acero v/s un 42% de volumen aparente de arena es del orden de 4.1 Kg. /dm<sup>3</sup>, lo cual se traduce en un alza de un 75%. Sobre el 2.4 Kg. /dm<sup>3</sup> del hormigón patrón.

**Gráfico N° 4**



Fuente: Elaboración Propia.

- 2) Las dificultades en el desarrollo de la tesis se presentan cuando se empiezan a cortar los aceros, la falta de un equipo adecuado que haga del proceso un desarrollo rápido lo hace prácticamente inviable si se piensa realizar un hormigón pesado de forma artesanal. La posibilidad existente es que una empresa productora de aceros, por ejemplo, la Corporación de Aceros del Pacífico, desarrolle dentro de su proceso de elaboración un sistema que permita obtener trozos de aceros del largo solicitado. Este proceso

actualmente no existe, pero se deja abierta la posibilidad si es que la demanda así lo establece.

- 3) En materia de hormigones pesados, la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) y la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) estudian la atenuación de ondas ionizantes con este y otros elementos donde el procedimiento utilizado es prácticamente idéntico. (Ver anexo N° 1, Procedimiento para calcular la atenuación gamma). La importancia de estos estudios radica en la economía que se podría lograr al disminuir los espesores de los muros de las instalaciones donde se manipulan radiaciones ionizantes.
- 4) Una de las constantes que se mantuvo en los ensayos fue la razón agua cemento. El fin es constatar que a igual razón agua cemento los hormigones pesados entregan resistencias algo superiores a los hormigones corrientes para un mismo grado. Este efecto se visualiza en el gráfico N° 3, Variación de Compresión Según Carga. La resistencia del Hormigón Pesado fue un 17 % más que la del hormigón patrón.
- 5) Un hormigón pesado actúa como elemento de protección frente a radiaciones de todo tipo, en especial de las ionizantes. A nivel nacional, este concepto todavía no ha adquirido la importancia que le merece por su función protectora. Si aplicamos teóricamente este concepto a la instalación radiológica que se está edificando actualmente en el Hospital Regional de Valdivia, donde se cimientan las bases de un bunker en el cual sus muros cuentan con un espesor de 1.5 mts en donde la emisión de la fuente radiológica es directa y 1.0 mt. donde es indirecta (incluyendo losas) (ver fotografía N° 14, Espesores de muros de obra Oncología en Hospital Regional de Valdivia). Se utiliza un hormigón corriente grado H30 con un 80 % de confiabilidad. Considerando que la relación entre densidad y el espesor es proporcionalmente inversa, o sea, a mayor densidad, menor espesor y a menor densidad, mayor espesor; se podrían reducir los espesores de los muros de la instalación sobre un 40 %. Para ello se deberían contemplar otros estudios, que no están contemplados

en esta tesis, como, aplicación de otro tipo de agregado pesado como los áridos mineralizados y ensayos de atenuación bajo condiciones reales.

**Fotografía N° 14**

**ESPEORES DE MUROS DE OBRA ONCOLOGÍA EN HOSPITAL REGIONAL DE  
VALDIVIA.**



Fuente: Elaboración Propia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Origen de la Radiactividad, Feria de Madrid por la ciencia, 2002.
- Radiaciones Ionizantes: Normas de Protección, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Madrid.
- Agentes Causales de Enfermedades, Universidad de Atacama, Chile.  
[www.plata.uda.cl](http://www.plata.uda.cl)
- Hormigones pesados, Empresa Hormisur, Chile.
- Hormigón Pesado, Empresa CEMEZ, España.
- Hormigón Pesado, Empresa CIRSO, España.
- "Mineral de Acero en Latinoamérica", Revista Acero Latinoamericano - ILAFA, Septiembre - Octubre de 2003.
- Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón (ICH) "Compendio de Tecnología del Hormigón". ICH. Zabaleta. Capítulo 9: Hormigones Pesados).
- Radiaciones Ionizantes, Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.
- Franjetic. Endurecimiento Rápido del Hormigón. 1971.

- Los Áridos en la Construcción. (BM 691.2 ARR).
  
- Manual de Consolidación de Concreto, Wacker Corporation. (BM 691.3 WAC, 1971. c1).
  
- Estudios de Legislación Ambiental. Energía y Minería. Competencias Ambientales. Documento N° 7. Serie Jurídica. CONAMA 1996.
  
- Normas Chilenas: NCh 163, 164, 165, 170, 1017, 1018, 1037, 1116,1117, 1239.
  
- Páginas Web Visitadas:
  - [www.cap.cl](http://www.cap.cl)
  - [www.asimet.cl](http://www.asimet.cl)
  - [www.ejercitando.com](http://www.ejercitando.com)
  - [www.plata.uda.cl](http://www.plata.uda.cl)
  - [www.fis.utfsm.cl/fis129/laboratorio/docs/radiacion.pdf](http://www.fis.utfsm.cl/fis129/laboratorio/docs/radiacion.pdf)
  - [www.juntadeandalucia.es](http://www.juntadeandalucia.es)
  - [www.cchen.cl/cursos/labfisica/demostrativos\\_cchen.html](http://www.cchen.cl/cursos/labfisica/demostrativos_cchen.html)

# **ANEXOS**

## ANEXO N° 1

### 1.1 PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LA ATENUACIÓN GAMMA.

Las ondas Gamma es un tipo de radiación ionizante que emite un núcleo cuando experimenta una transición de un estado de energía más alta a un estado energético más bajo. (Ver figura N° 6, Esquema al cual pertenecen las ondas gamma).

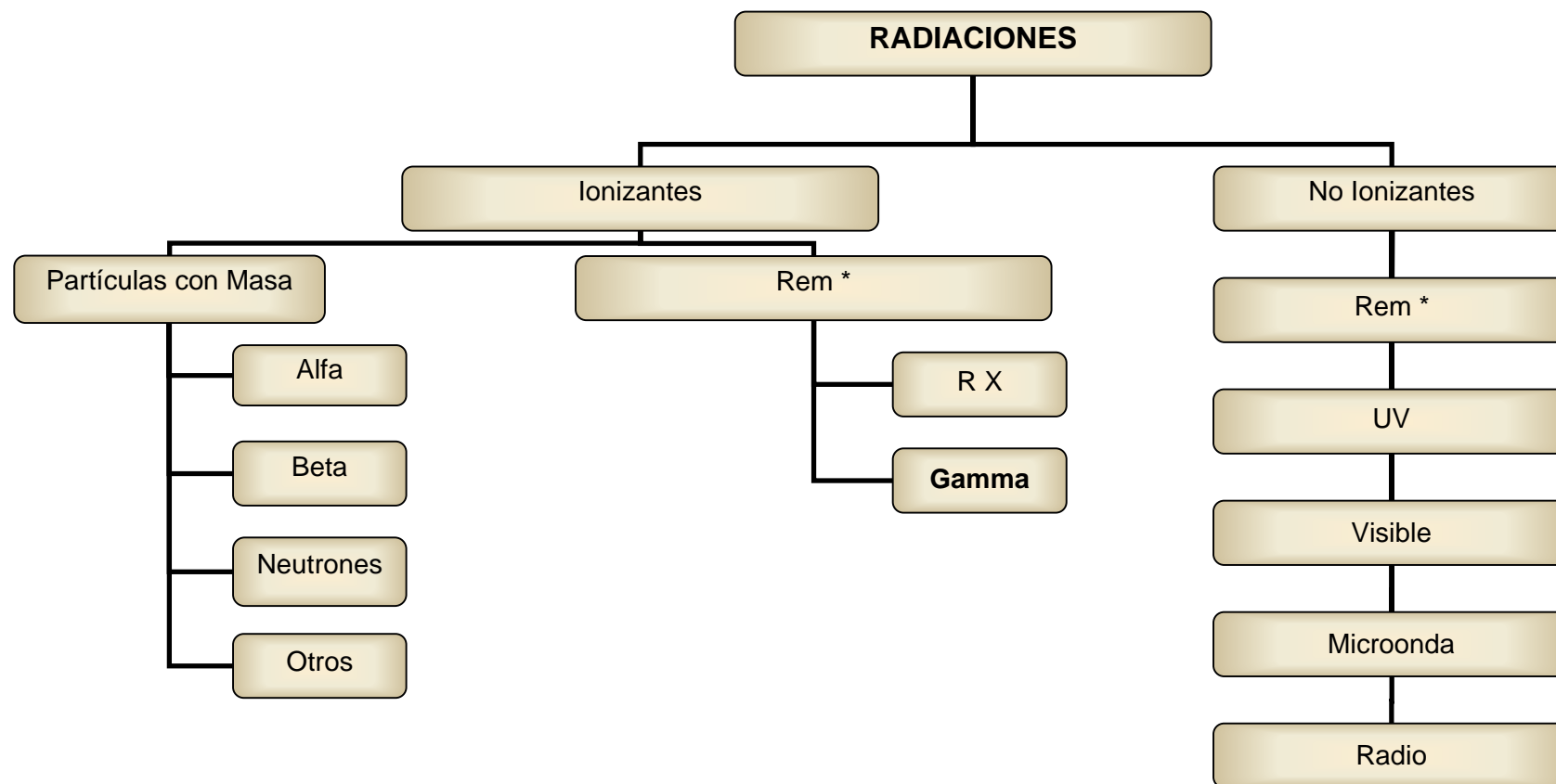
Mientras que las partículas alfa y beta tienen alcances definidos en la materia, los rayos gamma experimentan una atenuación exponencial (si se pasa por alto la acumulación que resulta de la dispersión dentro de un material) a medida que atraviesan la materia. Cuando puede prescindirse de la acumulación, la atenuación de los rayos gamma viene dada por la ley de Bouger-Lambert (1729 y 1768) que establece que:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

Donde:

- $I(x)$  es la intensidad de los rayos gamma emergente del material en función de la distancia  $x$  en el material o dicho de otra forma es la tasa de dosis absorbida transmitida por un absorbente de espesor  $x$
- $\mu$  es el coeficiente másico de atenuación.
- $I_0$  es la intensidad inicial que incide sobre un trozo de material de espesor  $X$ .





**Fig. 6. Esquema al cual pertenecen las ondas gamma.** Fuente: Radiaciones ionizantes y no ionizantes. Aplicaciones y Riesgos. Ed. 2003.

El coeficiente másico de atenuación ( $\mu$ ) depende de la energía de los rayos gamma y del material con el que interactúan los rayos gamma.

Las unidades de  $\mu$  y  $x$  son recíprocas entre sí. Si el espesor del absorbente  $x$  se mide en cm., entonces  $\mu$  es el coeficiente de atenuación lineal y se mide en  $\text{cm}^{-1}$ . Si  $x$  tiene unidades de densidad superficial ( $\text{g/cm}^2$ ), entonces  $\mu$  es el coeficiente de atenuación por unidad de masa y se mide en  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

Si definimos  $t = \rho x$ , donde  $\rho$  es la densidad,  $x$  el espesor y  $t$  la densidad superficial, la ley de Lambert se expresa como:

$$I(x) = I_0 e^{(-\mu t / \rho)}$$

$\mu/\rho$  se conoce como el coeficiente de absorción másico.

## **DETECTORES DE CONTAMINACIÓN GAMMA**

Como la mayoría de los emisores gamma emiten también partículas beta, casi todos los monitores de contaminación detectarán radiación beta y gamma. La práctica habitual es emplear un detector que sea sensible a los dos tipos de radiación con el fin de incrementar la sensibilidad, puesto que la eficiencia de la detección suele ser mayor para partículas beta que para rayos gamma.

(Fuente: enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo).

## **PROCEDIMIENTO APLICADO POR LA COMISIÓN CHILENA DE ENERGÍA NUCLEAR (CCHEN) PARA CALCULAR BLINDAJES DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.**

El objetivo de este procedimiento es verificar que la atenuación de la radiación gamma de una fuente puntual, es función de: el espesor, la energía y de la densidad del medio.

### Procedimientos

- Se prefija el equipo de medición en un tiempo de 6 segundos. (detector de contaminación gamma).
- Se realizan 3 mediciones con la fuente puntual abierta y sin láminas interpuestas, tomar notas de todos los valores.

Se colocan las láminas tanto de plomo como de aluminio en orden creciente de espesores (3, 5, 7, 9, 12, 15 y 21 cm.), y se realizan 3 mediciones por cada una de ellas. Se toman los valores obtenidos, se tabulan las tasas de conteo v/s espesor, finalmente se grafican los resultados en papel milimetrado y semilogarítmico. (Ver Figura N° 7, Esquema del dispositivo experimental para estudiar la atenuación de la radiación con al atravesar un trozo de material de espesor  $x$ ).

Este procedimiento considera que no existe dispersión por radiación.

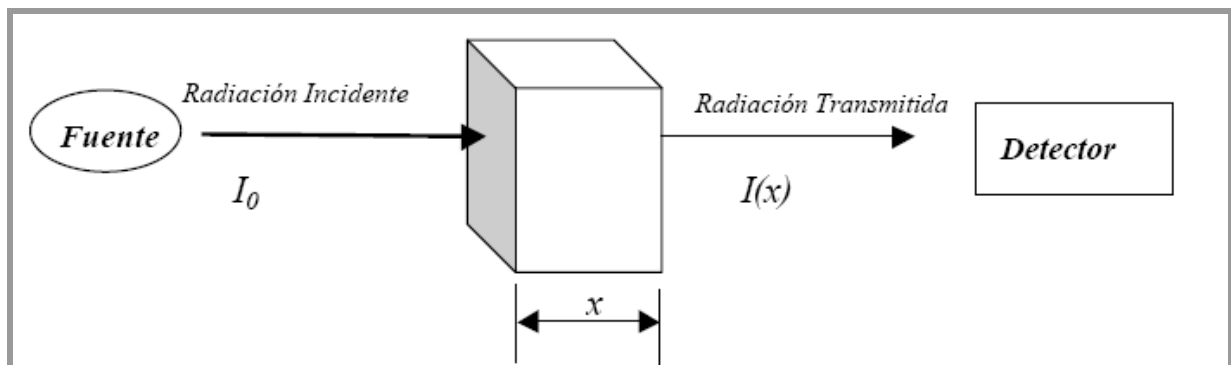
En el laboratorio de Física de la Universidad Técnica Federico Santa María se desarrollan estudios a fin de determinar la atenuación gamma de ciertos materiales.

El procedimiento utilizado es similar al aplicado en la CCHEN, consiste en:

Se dispone de tres juegos de materiales atenuadores (Ejemplo: Aluminio, cartón, Plomo) que se irán ubicando entre la pastilla radiactiva y el contador.

- Se mide, para distintos espesores, la intensidad resultante. Las mediciones se obtienen tomando varias medidas, bajo las mismas condiciones en ventanas de 1 segundo, para luego obtener el promedio. Se llena una tabla entre el espesor y el número de cuentas por segundo ( $I$ ) para cada material:
- Se grafica  $\text{Log}(I)$  v/s Espesor para los materiales.
- Al graficar  $\text{Log}(I)$  v/s  $x$  (espesor), se obtendrá una recta cuya pendiente es el coeficiente de absorción ( $\mu$ ).

Fuente: <http://www.fis.utfsm.cl/fis129/laboratorio/docs/radiacion.pdf>



Fuente: UTFSM.

**Fig. 7. Esquema del dispositivo experimental para estudiar la atenuación de la radiación con al atravesar un trozo de material de espesor  $x$ .**

**Ejemplo de coeficientes de atenuación de ondas gamma para varios materiales frente a dos energías distintas**

<b>Material</b>	<b><math>\mu</math> en <math>cm^2/g</math></b>		<b><math>\mu</math> en <math>g/cm^2</math></b>
	<b>E = 0.66 MeV</b>	<b>E = 1.33 MeV</b>	
Aire	.078	.055	0.001293
Agua (tejido)	.087	.060	1
Aluminio	.077	.055	2.7
Plomo	.100	.056	11.3
Fierro	.073	.053	7.0 - 7.9
Cemento	.078	.055	2.7 - 3.0

Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/094/htm/sec\\_9.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/094/htm/sec_9.htm)

**Ejemplo:**

16.- Un experimento se realiza con fotones monoenergéticos. La tasa de cuentas relativa del detector se mide para distintos espesores  $x$  de estaño usado como absorbente. Se obtuvieron los siguientes datos:

<b>X (cm.).</b>	0	0.5	1	1.5	2.0	3.0	5.0
<b>Tasa de cuentas relativas.</b>	1.00	0.861	0.735	0.621	0.538	0.399	0.210

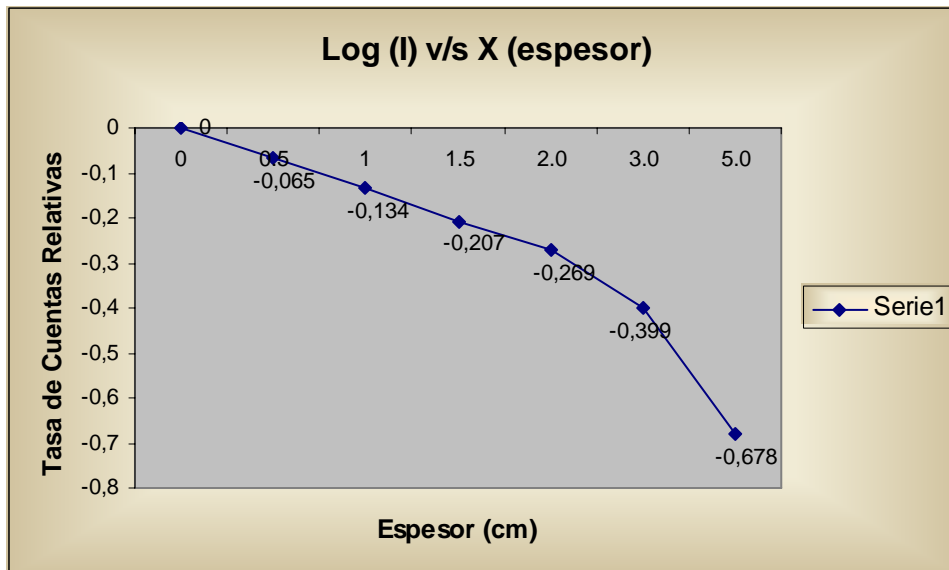
¿Cuál es el valor del coeficiente de atenuación lineal?

James E. Turner Capítulo 8 Problema 33, página 203

**DESARROLLO**

Al graficar la tasa de cuentas relativas ( $I$ ) v/s  $x$  (/espesor) en un papel semi-logarítmico, ó, lo que es lo mismo,  $\log(I)$  v/s  $x$  (espesor) en un papel corriente, el gráfico que se obtiene es:

Gráfico N° 4

**DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE  $\mu$  DEL ESTAÑO**

Fuente: Elaboración Propia.

La pendiente de esta curva es el coeficiente de absorción  $\mu$ . (UTFSM).

La pendiente que se considera es la más característica de la curva, en este caso, la que se encuentra entre 0 y 3 cm. de espesor.

Se usará la siguiente fórmula para calcular la pendiente de la curva.

$$m = \frac{(Y2 - Y1)}{(X2 - X1)}$$

$$m = \frac{(1 \quad 0,5)}{(0,134 \quad 0,065)} = 7,2\%$$

Por lo tanto, el coeficiente de atenuación lineal ( $\mu$ ) del estaño es  $7,2 \text{ cm.}^{-1}$ .

Podemos decir entonces que a mayor pendiente, o mejor dicho, a mayor coeficiente de atenuación lineal ( $\mu$ ), es mejor elemento atenuador de ondas.