



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Construcción

“HORMIGÓN RECICLADO”

Tesis para optar al Título de:
Ingeniero Constructor.

Profesor Guía:
Sr. José Arrey Díaz.
Constructor Civil, especialidad Hormigones.
Experto en Prevención de Riesgos Ocupacionales

CESAR DANIEL SOTO TOLEDO
VALDIVIA – CHILE
2006

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen Maria, por estar siempre presentes en mis plegarias.

A mis padres, quienes hicieron un enorme esfuerzo para permitir que yo cumpliera mis sueños de seguir estudiando y ser un profesional. Por su apoyo incondicional en mis decisiones.

A mi madre quien siempre me ha guiado, aconsejado y levanto los ánimos cuando sentía que las cosas se me venían abajo.

A mi padre por ser un ejemplo para mi un hombre admirable, correcto, esforzado y por sobre todo por no rendirse a pesar de todo.

A mis hermanos que de una u otra forma me ayudaron, por sus consejos y preocupación.

A mis sobrinas que con su presencia, picardía y travesuras hicieron que los viajes del fin semana a mi casa fueran mas entretenidos.

A mi polola Evelyn por todo su amor y cariño; paciencia y apoyo incondicional en estos largos años. Por ser como es hacia mi persona y por estar ahí siempre levantándome los ánimos cuando mas la necesite.

A mi prima Maria A. Soto y Sergio Moreno por su cariño, consejos y apoyo incondicional.

A mis padrinos Víctor y Cecilia e hijos, que con su cariño y consejos a la distancia siempre estuvieron presente.

A todos mis compañeros que siempre estuvieron conmigo, por su amistad y compañía, los cuales no es necesario nombrarlos ya que a la hora de leer esto sabrán ha quienes están dirigidas estas palabras.

A todos y cada uno de los que de una u otra forma lograron que cumpliera con esta etapa de mi vida que recién termina y me habré las puertas para la siguiente.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor guía el profesor José Arrey Díaz por su colaboración y apoyo en el logro de esta tesis.

A todo el personal del Lemco por su colaboración:

- Fernando soto.
- Rodrigo Torres.
- Leonardo Gómez.
- Marcelo Uribe.

A todas los amigos y familiares que se preocuparon por mi.

A todos mis compañeros que me apoyaron y acompañaron.

A todos muchas Gracias.....

RESUMEN

En la actualidad es muy frecuente la búsqueda de nuevos materiales, así como el interés por el reciclaje de recursos de desecho, para la incorporación de materiales contaminantes en nuevos productos utilizables. De aquí nace la idea de investigar si es factible la reutilización del desecho de hormigón que se genera en toda construcción, para la fabricación de un nuevo hormigón con las mismas características.

Dicho hormigón esta compuesta por: cemento, escombros, arena y agua.

La medición de las propiedades mecánicas se realizo, mediante la confección de probetas cúbicas, viguetas y cilindros; las cuales fueron sometidas ha ensayos de compresión, flexión y hendimiento respectivamente. Todo lo anterior se describe paso a paso para poder entender el estudio en cuestión.

SUMMARY

At present it is very frequent the search of new materials, as well as the interest by the waste resources recycling, for the incorporation of contaminant materials in new useable products. From here, it is born the idea to investigate if it is possible, the reutilization of waste of concrete that is generated in every construction, for the production of a new concrete with the same characteristics.

This concrete is composed by cement, rubble, sand and water.

The measurement of the mechanical properties was carried out by means of the making of cubic test tubes, small beams and cylinders; which were submitted to trials of compression, flexion and slitting respectively. All the previous things are described step by step to be able to understand the study in question.

INDICE DE CONTENIDOS.-

TEMA	Pág.
CAPITULO I: GENERALIDADES	
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estudio marco legal en relación a los residuos sólidos de construcción y demolición	2
1.3.1. Política Nacional sobre gestión integral de residuos sólidos	4
1.3.1.1. Introducción	4
1.3.1.2. Fundamentos y principios de la política	5
A. Fundamentos	
B. Principios	
1.3.1.3. Objetivos de la política	4
A. Objetivo general	
B. Objetivos específicos	
1.3.2. Gestión de los residuos sólidos de la construcción	11
1.3.2.1. Introducción	11
1.3.2.2. La gestión de los residuos sólidos de la construcción	12
1.3.2.3. Residuos sólidos de la construcción	15
1.3.2.3.1. Clasificación general de los residuos sólidos de la construcción	15
1.3.2.3.2. Segregación de los residuos sólidos de la construcción	15
1.3.2.3.3. almacenamiento de residuos segregados	16
1.3.2.3.4. Programa de segregación	19
1.3.2.4. Disposición final	19
1.3.2.5. aspectos relacionados con los residuos sólidos	20
CAPITULO II: PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL	
2.1. Planificación del estudio experimental	25
2.2. Materiales que intervienen en el estudio	26
2.2.1. Áridos	26
2.2.2. Arena natural	26
2.2.3. Cemento	27
2.2.4. Agua	27
CAPITULO III: DESARROLLO ESTUDIO EXPERIMENTAL	
3.1. Introducción	29
3.2. Estudio material a reciclar	29
3.2.1. Trituración material	29
3.2.2. Selección fracción gruesa	29
3.2.3. Propiedades del árido a controlar	30
3.2.3.1. Extracción y preparación de muestras	31
3.2.3.2. Tamizado y determinación de granulometría	31
3.2.3.3. Determinación material fino menor a 0.080 mm	34
3.2.3.4. Determinación de la densidad aparente	35
3.2.3.5. Determinación de las densidades real, neta y la absorción de las gravas	36
3.2.3.6. Determinación del desgaste de gravas	38
3.2.3.7. Determinación de los huecos	39

3.3. Dosificación hormigones	40
3.4. Fabricación hormigones	40
3.4.1. Medición de los materiales	40
3.4.2. Orden de incorporación de los materiales	41
3.4.3. Trabajabilidad y docilidad del hormigón	41
3.5. Confección de probetas	42
3.6. Proceso de curado	46
3.7. Ensayo probetas de hormigón	46
3.7.1. Ensayo de compresión	46
3.7.1. Ensayo de tracción por hendimiento	49
3.7.3. Ensayo de tracción por flexión	50
CAPITULO IV: RESULTADOS	
4.1. Resultados ensayos	54
4.2. Gráficos	58
4.2.1. Edad v/s Resistencia	58
CAPITULO V: CONCLUSIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	68
Anexo A	68
Anexo B	70

INDICE DE FIGURAS.-

TEMA	Pág.
1.1. Recolección	13
1.2. Transporte	13
1.3. Contenedores escombros	16
1.4. Contenedores residuos comerciales	18
3.1. Granulometría escombros	33
3.2. % Fino escombros	34
3.3. Densidades aparentes del árido	35
3.4. Densidades reales del árido	36
3.5. Densidades reales del árido con lavado	36
3.6. % Absorción.	37
3.7. Desgaste de los Ángeles escombros	38
4.1. Grafico "Edad v/s Resistencia" H – 15	58
4.2. Grafico "Edad v/s Resistencia" H – 20	58
4.3. Grafico "Edad v/s Resistencia" H – 25	59
4.4. Grafico "Edad v/s Resistencia" H – 30	59
4.5. Grafico "Edad v/s Resistencia" H – 30 (Cilindro)	60
4.6. Grafico "Edad v/s Resistencia" HF – 3.2	60
4.7. Grafico "Edad v/s Resistencia" HF – 3.5	61
B.1. Grafico "curva granulométrica árido combinado"	72

INDICE DE TABLAS.-

TEMA	Pág.
3.1. Granulometría Escombro	32
4.1. Resistencia a la compresión H – 15	54
4.2. Resistencia a la compresión H – 20	54
4.3. Resistencia a la compresión H – 25	55
4.4. Resistencia a la compresión H – 30	55
4.5. Resistencia al hendimiento H – 30(Cilindro)	56
4.6. Resistencia a la flexotraccion HF – 3,2	56
4.7. Resistencia a la flexotraccion HF – 3,5	57
A.1. Datos dosificación	68
A.2. Cálculos	69
A.3 Cuadro resumen	69
B.1. Datos dosificación	70
B.2. Cálculos	71
B.3. Cuadro resumen	71

CAPITULO I
GENERALIDADES

1.1.- INTRODUCCIÓN.

La construcción, además de significar un importante aporte al desarrollo socioeconómico de cada país, es una actividad que demanda altos niveles de consumo de recursos no renovables y de energía en sus distintas formas. Producto de estas características, se trata de una actividad que genera fuertes impactos sobre el medio ambiente.

La preocupación creciente por los temas ambientales es cada vez mayor ; esto se ve reflejado en los crecientes reclamos de la ciudadanía que exige derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación.

A su vez, nuestro mundo globalizado, que nos mantiene informado en detalle de cuanto ocurre a nuestro alrededor, permite también que todos conozcamos y evaluemos nuestras prácticas ambientales.

Uno de los impactos ambientales de la construcción proviene de sus residuos sólidos. Mal manejados al interior de la obra, los residuos sólidos pueden constituirse en factores de riesgo de incendio, exponen a los trabajadores a posibles accidentes, deterioran el entorno de trabajo, afectan negativamente el medio ambiente y resultan en un pésimo impacto estético.

Aunque no existen datos precisos sobre la producción de residuos de construcción y demolición en Chile, se cree constituyen un amplio porcentaje de residuos generados y, sin embargo, la fiscalización es casi nula siendo considerados de menor importancia frente a otros residuos, por ser teóricamente inertes y, por lo tanto fácilmente eliminables, lo cual debería ser una alerta para las organismos que le concierne este tema.

Estos se componen principalmente de materiales cerámicos y hormigón, y en menor proporción piedra, áridos, madera, metales y plásticos. A su vez, se consumen grandes cantidades de toneladas de áridos destinadas a la fabricación de hormigón, mortero, aglomerados asfálticos y prefabricados, entre otros usos.

Considerando que el hormigón es el material de construcción mas usado en el mundo y que los volúmenes asociados a sus procesos de demolición son cuantiosos, se plantea la presente investigación con el objetivo de explorar la potencialidad de este material como reemplazo del árido natural en la fabricación de hormigón, constituyéndose de esta forma en un subproducto reciclable dentro del mismo ciclo de vida del material. Vale decir que los problemas asociados a la extracción de áridos naturales traen como consecuencia importantes impactos ambientales negativos.

La experiencia europea en esta materia es amplia es más, en España ya existen plantas de reciclado de áridos. Sin embargo, en nuestro país aún no se conoce un método de reciclaje directo de estos residuos. Otro punto importante ha considerar.

1.2.- OBJETIVOS.

Recuperar los escombros de hormigón, incentivando al reciclaje de este, logrando la elaboración de un hormigón reciclado aceptable y además atractivamente económico.

Realizar un estudio de las propiedades de dicho escombros, para determinar cuanto varían en relación a las de un árido natural.

Dar a conocer el vacío existente, que tiene la legislación vigente en relación los residuos sólidos de construcción en Valdivia.

Por otra parte, determinar los posibles usos de dicho hormigón.

1.3.- ESTUDIO MARCO LEGAL EN RELACION A LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICION.

La reglamentación es el principal elemento que posee la sociedad y un estado para enmarcar dentro de parámetros aceptables los diversos tópicos que los afectan directamente.

Intentaremos descubrir donde se encuentra enmarcado este trabajo y cuales son las exigencias legales a las cuales deberíamos atenernos para el correcto desarrollo.

Es así como se descubre que no existe una ley aplicable directamente al tema de la disposición final de los residuos de construcción, y que solo existen un pequeño grupo de normas y decretos que regulan en forma muy acotada y difícilmente controlable, algunos puntos del tema abordado.

Bajo el alero de que la reglamentación nacional que se busca es escasa, nos amparemos en algo mas general y que revelan las directrices que ha creado el gobierno para controlar todo lo concerniente a la protección medioambiental.

Es así como este capítulo más que leyes informa sobre políticas; las cuales han sido impulsadas estos últimos 10 años, y muestran lo que en la actualidad el país espera que se haga por el medio ambiente, y en específico con la disposición de los residuos.

1.3.1.- Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

1.3.1.1.- Introducción.

Los crecientes problemas que aquejan a los países con vías de desarrollo, respecto del agotamiento de los recursos naturales, plantea el gran desafío de como conjugar el desarrollo económico con la preservación del medio ambiente. La respuesta ha sido desarrollo sostenible, cuyo postulado central se basa en el equilibrio entre crecimiento económico, equidad social y conservación de recursos.

En Chile, desde hace más de una década, el manejo de residuos se plantea desde esta perspectiva y ha estado presente como preocupación en distintos sectores sociales, aunque sin soluciones efectivas. La complejidad del tema, y expresada en las múltiples dimensiones que involucra, nos enfrenta hoy, además, a patrones de producción que tienden a privilegiar la generación cada vez mayor de residuos sólidos. Entre sus principales causas destacan:

- El proceso de crecimiento y concentración de la población.
- Las características físicas del país y la distribución de la población y actividades económicas, que implican la presencia de muchos lugares alejados de zonas pobladas que dificultan la fiscalización y posibilitan la instalación de basurales ilegales.
- La existencia de deficiencias institucionales, reglamentarias, de fiscalización y gestión, que se han traducido en la aparición de pasivos ambientales con efectos no deseados para la salud de la población y el medio ambiente.

El manejo inadecuado de los residuos tiene impactos presentes y futuros, sobre el medio ambiente.

1.3.1.2.- Fundamentos y principios de la política.

La política reconoce que el desarrollo sustentable proporciona el marco para la integración de planes de acción y estrategias ambientales de desarrollo social y económico. Declara que el crecimiento es esencial para satisfacer las necesidades humanas y para mejorar la calidad de vida. Sin embargo este debe basarse en el uso eficiente de los recursos disponibles.

A.- Fundamentos.

1. Distintos tipos de residuos requieren de instrumentos específicos.

Los residuos son generados en las distintas etapas de vida de un producto: durante la extracción y producción de las materias primas y en la manufactura misma. Terminada la vida útil de un producto, este se transforma en un residuo.

La legislación vigente no define explícitamente los conceptos de residuo, desecho, basura o subproducto. Con el objetivo de homogeneizar los términos, esta política definirá indistintamente y bajo el mismo significado los términos de **basuras, residuos y desechos**, de acuerdo a lo señalado en el Reglamento Sanitario sobre manejo de Residuos Peligrosos (D.S. N° 148/2003, del Ministerio de salud).

2. Los residuos requieran de una gestión integral.

Esta se refiere a todas las acciones relacionadas con el manejo de un residuo, desde antes de su generación hasta su eliminación, cuestión contraria al hábito tradicional de botar todo residuo que se genera.

3. Los instrumentos de gestión promueven la estrategias jerarquizada.

Los instrumentos para la gestión de los residuos deben promover la aplicación de una **estrategia jerarquizada**, la cual señala la siguiente prioridad. **Evitar, minimizar, tratar, disponer**. Este orden significa que, desde el punto de vista ambiental, la mejor alternativa es prevenir, evitando la generación de un residuo. En segundo lugar, si no es posible evitar su generación se debe buscar su minimización **(las 3R: reducir en cantidad y/o peligrosidad, rehusar y reciclar, aprovechando los materiales y/o la energía que contiene el residuo)**. En tercer lugar, si no es posible minimizar se debe buscar su tratamiento (con el objetivo de reducir cantidad y/o peligrosidad antes de su disposición final del residuo).

Para la toma de decisión de cómo gestionar un residuo, siempre será necesario considerar la estrategia jerarquizada, junto con los aspectos económicos y sociales asociados. Al respecto, es importante señalar que al prescindir de la disposición final de residuos, no solo se evita el costo directo asociado a la disposición, sino que también los costos ambientales indirectos, como la contaminación atmosférica o hídrica. Este ahorro generado puede ayudar a hacer factible alguna de las operaciones de minimización.

4. Los intereses del mercado orientan el manejo de los residuos, dentro del marco regulatorio.

El buen funcionamiento del mercado requiere de un sistema transparente, con regulaciones claras, donde el oferente se sienta estimulado a buscar soluciones con un excelente servicio y bajo costo.

B.- Principios.

Los principios rectores de esta política son los siguientes:

1. Autosuficiencia y soberanía nacional.

El país debe procurar la eliminación definitiva de los residuos que produce, dentro de su propio territorio, en la medida en que ello sea compatible con un manejo ambientalmente racional y eficiente.

2. El que contamina paga.

El generador de residuos debe internalizar los costos del correcto manejo y disposición final de los mismos.

3. Equidad.

En la distribución de tareas, deberes y derechos con relación al manejo adecuado de los residuos se debe mantener un principio de equidad y solidaridad social.

4. Gradualidad.

La aplicación de las leyes y normas ambientales deben considerar, de acuerdo a cada caso, una gradualidad razonable en su aplicación.

5. Participación ciudadana.

En todas las etapas de la gestión de residuos sólidos las opciones de manejo deben considerar la consulta o participación ciudadana, según sea procedente. Además, se debe asegurar el acceso público a la información relativa al manejo de los residuos.

6. Principio de normalización.

Se deben establecer estándares mínimos para el manejo de residuos en las etapas de generación, transporte, recuperación, tratamiento y disposición.

7. Principio precautorio.

Consiste en prevenir riesgos derivados de la producción de residuos, sobre la base de antecedentes razonables que conduzcan a establecer que estos pueden producir efectos nocivos para la salud. Asimismo, este principio considera regular, limitar o impedir la generación de residuos, aun cuando no existan las pruebas o certidumbre científicas concluyentes del posible daño.

8. Principio preventivo.

Se trata de prevenir la generación de residuos y actuar para orientarla en función de minimizar cantidades y riesgos.

9. Racionalidad económica.

Se debe asegurar que las decisiones tomadas por los distintos actores e instituciones participantes sean racionales desde el punto de vista económico, es decir, que minimicen costos sociales y/o maximicen beneficios sociales.

10. Responsabilidad de la cuna de la tumba.

El generador de residuos es responsable del manejo de estos, desde su generación hasta su disposición final. Esto implica que el generador es responsable del transporte adecuado de sus residuos, sea por medios propios o a través de la contratación de terceros, y de asegurar que estos ingresen a un sitio autorizado.

1.3.1.3.- Objetivos de la política.

A.- Objetivo general.

Lograr que el manejo de los residuos sólidos se realice con el mínimo riesgo para la salud de la población y para el medio ambiente, propiciando una visión integral de los residuos, que asegure un desarrollo sustentable y eficiente.

B.- Objetivos específicos.

1. Minimizar los riesgos sanitarios y ambientales producidos por el mal manejo de residuos sólidos.

Surge de la constatación de las debilidades existentes en las regulaciones y capacidad fiscalizadora. Su cumplimiento se orienta a completar la reglamentación, mejorar la fiscalización, desarrollar instrumentos complementarios y a diseñar e implementar medidas de recuperación de sitios contaminados.

2. Propiciar el desarrollo de mercados eficientes y dinámicos para el manejo de los residuos, promoviendo el desarrollo de una cultura de minimización.

La disposición final de los residuos sólidos, de una manera ambientalmente adecuada, es una tarea impostergable. No obstante, la generación de residuos se requiere intervenir con igual o mayor énfasis en el tiempo. Sin una política de minimización, el incremento continuo y sostenido de la generación se hará muy difícil y muy costosa, en particular la gestión sanitaria y ambientalmente de los residuos a futuro. Los países desarrollados ya tomaron conciencia de este hecho y han implementado estrategias con miras a minimizar la generación de residuos . Al respecto, quizás el ejemplo mas ilustrativo es la incorporación del concepto de la responsabilidad extendida del productor en la reglamentación europea.

Minimizar la generación de residuos requiere de un cambio de hábitos tanto a nivel de la población como a nivel del sistema productivo.

3. Promover la educación ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación con el manejo de los residuos.

Lograr niveles adecuados de conciencia ambiental de la ciudadanía es un fin en si mismo, y un objetivo transversal de la Política. No obstante, su tratamiento será abordado desde una perspectiva educacional y de participación.

4. Construir e implementar sistemas de información de residuos sólidos.

La información es vital para la implementación de la política, su planificación y diseño de soluciones. Se ha reconocido su importancia colocando el tema a nivel de objetivo específico. Ello consiste en la construcción de catastros, realización de estudios que permitan completar datos faltantes y diseño de indicadores.

5. Generar una institucionalidad moderna y eficiente para la gestión de residuos sólidos.

Este objetivo da cuenta de la necesidad de contar en el país con un órgano específicamente responsable del tema. Este será un sistema institucional coordinado, presidido por un Comité de Ministros y que contara con una secretaria Ejecutiva Nacional y Secretarías Ejecutivas Regionales, responsables de la implementación de la Política y el conjunto de medidas que ella contempla.

1.3.2.- Gestión de los Residuos Sólidos de la Construcción.

1.3.2.1.- Introducción.

La construcción, hoy en día es una actividad muy importante que aporta al desarrollo socioeconómico de cada país, y a su vez que genera altos niveles de consumo de recursos no renovables y de energía. Producto de estas características, se trata de una actividad que provoca fuertes impactos sobre el medio ambiente.

La preocupación creciente por los temas ambientales se expresa en un aumento de las presiones de los organismos no gubernamentales (ONG ¹⁴); en los crecientes reclamos de la ciudadanía que exige derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación; y en el desarrollo, por parte del gobierno, de una institucionalidad y de una ley del medio ambiente que permita legislar, regular y fiscalizar a favor del resguardo del patrimonio ambiental. Cabe señalar que el marco jurídico es el principal elemento de incentivo para que los empresarios realicen una gestión adecuada de sus residuos.

Las malas practicas se han transformado, para muchos países, así como para sus productos, en obstáculos importantes para el comercio exterior. Las buenas practicas ambientales, por el contrario, contribuyen a crear una imagen positiva que facilita el comercio y promueve el interés turístico. Uno de los impactos ambientales de la construcción proviene de sus residuos sólidos. Mal manejados al interior de la obra, los residuos sólidos pueden construirse en factores de riesgo de incendio, exponen a los trabajadores a posibles accidentes, deterioran el medio ambiente y resultan en un pésimo impacto estético.

1.3.2.2.- La Gestión de los Residuos sólidos de la Construcción.

Antes de realizar la gestión de residuos sólidos, debe definirse el concepto de residuo: "Todas aquellas sustancias o materiales generados durante el proceso de construcción, que pasan a constituirse en un elemento no útil para su dueño y sobre los cuales se tiene la intención o la obligación de desprenderse". El residuo puede presentarse en diversas formas: sólido, líquido o gas en un recipiente.

La "gestión de residuo" es un concepto mas amplio que el de "manejo de residuos" por cuanto evitar o minimizar la generación de elementos inútiles, a la vez que incluye el análisis de todos los elementos y procesos que están involucrados en la generación, transporte y destino final de los residuos. Dicho de otra manera, la gestión de residuos significa tener presente todo el ciclo de vida de estos elementos.

La mejor gestión de los residuos es aquella que se dirige a evitar su generación y una vez que se agota esta posibilidad, se concentra en su minimización, disminuyendo la cantidad y/o la peligrosidad de los residuos. En orden de prioridades, después de procurar la evitación y minimización, se debe optar por la disposición final.

El ciclo de vida de los residuos permite identificar cada etapa y proceso que conforman un sistema de gestión de residuos. Estas etapas y procesos se relacionan entre si, actúan entre si y provocan restricciones entre cada uno de ellos. Para definir un sistema de gestión de residuos sólidos de la construcción, se deben considerar los siguientes elementos funcionales:

a).- Generación.

Es el momento en que un elemento se convierte en un producto inútil para su dueño, del que tiene la intención o la obligación de deshacerse. Los mayores esfuerzos se deben en esta etapa, procurando evitar la generación de los residuos y minimizando los volúmenes y la peligrosidad de aquellos que no se lograran evitar.

b.- Recolección.

Es la acción de retirar el residuo desde el sitio en que se generó (fuente), hasta un lugar de traspaso o almacenamiento, sin abandonar los límites del predio industrial.



Figura N° 1.1.- Recolección.

c.- Almacenamiento.

Es el receptáculo o sitio de acopio destinado para la acumulación de los residuos.

d.- Traspaso.

Es el mecanismo o vía para conducir los residuos entre distintos puntos al interior de la obra.

e.- Transporte.

Es la actividad que se realiza para retirar los residuos desde el interior de la obra, para conducirlos a un sitio final, como un vertedero o un lugar de reciclaje.



Figura N° 1.2.- Transporte.

f.- Disposición final

Es un sitio diseñado o autorizado para el depósito de residuos, sobre o bajo nivel de tierra, y que ha considerado en su diseño y construcción las características de los residuos a depositar y las medidas de higiene, seguridad y estabilidad estructural adecuada. En el actual escenario nacional los tipos de vertederos que ofrecen una alternativa de disposición para los residuos generados en la construcción son los siguientes:

Deposito de escombros: Es un sitio autorizado para recibir residuos inertes que resultan de la demolición. Se emplazan generalmente en canteras de áridos abandonadas o en terrenos con depresiones, que pueden ser restaurados con el aporte de los escombros.

Relleno sanitario: corresponde a un vertedero para residuos domiciliarios, diseñado para residuos con un alto contenido orgánico y de una rápida descomposición. En su diseño se contemplan sistemas de captación y tratamiento del biogás, y de los líquidos lixiviados.

Relleno de seguridad: es un vertedero para residuos peligrosos, especialmente diseñado para garantizar una total inmovilidad de los residuos, incluyendo en su interior. Su diseño incluye complejos sistemas de impermeabilización y de control.

g.- Instalaciones de reciclaje

Son aquellas instalaciones dedicadas a recuperar los elementos de valor que puedan estar contenidos en los propios residuos, incluyendo la energía. Después de la evitación y minimización, la valorización económica debe ser la siguiente prioridad en la gestión de los residuos.

1.3.2.3.- Residuos sólidos de la Construcción.

Antes de iniciar la gestión de residuos, deben identificarse y cuantificarse las fuentes donde se generan los residuos, y determinarse las tasas de generación de los desechos de la obra.

1.3.2.3.1.- Clasificación general de los residuos sólidos de la construcción.

Los distintos tipos de residuos generados en la obra dependerán de los materiales utilizados durante la misma construcción. Para establecer las cantidades de residuos de cada material, debe realizarse un estudio de caracterización de los diferentes tipos de actividad que se realizan o se pretende realizar en la obra. La siguiente es una clasificación general de los materiales mas utilizados, en una construcción de cualquier tipo:

Madera, embalajes de papel, Chatarra metálica, Vidrio, materiales aislantes; Planchas yeso/carton, plásticos, residuos domésticos, escombros.

Para análisis de la tesis se hará énfasis solamente en la clasificación de escombros, dejando las otras fuera.

Escombros: concreto de demolición; restos de estuco y desprendimientos, retazos o piezas deterioradas de ladrillos, bloques, baldosas, etc.

1.3.2.3.2.- Segregación de los residuos sólidos de la construcción.

La segregación, o separación, es una actividad fundamental en la gestión de residuos. Este procedimiento debe facilitarse desde el origen o fuente de generación del residuo, y debe ser realizada considerando las posibilidades de reciclaje del material y las restricciones para la disposición final de los desechos.

Una vez definido el tipo de segregación que se va a realizar, se deben identificar los sitios de almacenamiento y los contenedores que serán utilizados para permitir y hacer factible el transporte de los residuos hacia las instalaciones de reciclaje, o en su defecto, el envío de estos a vertederos adecuados.

1.3.2.3.3.- Almacenamiento de residuos segregados.

Con el fin de no desperdiciar el esfuerzo ya realizado, una vez segregados los residuos debe impedirse que vuelvan a mezclarse con el resto. Esto se logra disponiendo de contenedores adecuados que cuenten con letreros que indiquen de manera clara el tipo de residuo que albergan.

La capacidad de los contenedores debe determinarse en función de la cantidad de residuos generados, la frecuencia de retiro, y de los costos involucrados.

Otra consideración importante es que cada contenedor debe estar construido con materiales que resistan los esfuerzos a los que serán sometidos durante su manipulación, y a las características de los residuos que serán depositados en su interior.

Los contenedores pueden diseñarse en distintos materiales y tamaños. Considerando las cuatro familias básicas de separación, los contenedores mas comunes son los siguientes:

a).- Contenedores de escombros: se caracterizan por ser de gran tamaño (de 10 a 30 m³), fabricados con estructuras metálicas, algunos diseños disponen de elementos de enganche que les permiten ser autocargados por camiones con levante hidráulico.

En la construcción de edificios, para facilitar el sistema de recolección, se debe ubicar el contenedor directamente bajo el ducto de conducción de escombros.

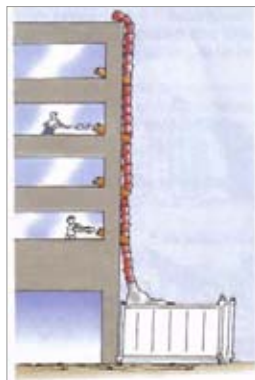


Figura N° 1.3.- Contenedores escombros.

b).- Contenedores de residuos domésticos: de toda la gama de variedad de alternativas existentes para contenedores de estos residuos, es recomendable el uso de contenedores de polietileno de alta densidad, con tapa y ruedas. Existen en una variedad de tamaños entre los 90 y los 1100 litros. Para el uso al interior de las obras, se recomiendan modelos de tamaño intermedio (unos 260 litros), para permitir el traslado desde el sitio destinado para la colación de los trabajadores, hasta su punto de recolección.

El uso de contenedores de mayor capacidad fomentaría el depósito de residuos diferentes a los domésticos. Es importante, para permitir el retiro específico de estos desechos, que no se encuentren mezclados con otro tipo de residuos. De lo contrario, se deberá trasladar los residuos domésticos en vehículos de la empresa hasta un relleno sanitario que pueda realizar una inspección y segregación y autorización de ingreso de los residuos al vertedero.

La principal garantía de un buen plan de manejo radica en la puesta en marcha de un sistema de gestión de residuos que contemple la separación, transporte y depósito diferenciado de los desechos.

c).- Contenedores de residuos peligrosos: por los riesgos que están involucrados en el manejo de este tipo de residuos, las exigencias que se deben considerar para su almacenamiento deben ser mayores que para los demás residuos. La selección de contenedores para estos desechos debe considerar los siguientes criterios:

- El contenedor siempre debe estar en buenas condiciones, lo que se debe verificar con inspecciones semanales que verifiquen que no existan defectos estructurales, severa oxidación en el caso de ser metálicos y que no presentan fugas.
- El contenedor debe estar construido con un material compatible con el residuo que va a contener, y debe garantizar que no sufrirá deterioros al contener el desecho.

- Los contenedores deben tener tapa y conservarse cerrados, excepto cuando es necesario agregar residuos o retirar residuos.
- No se podrán mezclar en un mismo contenedor residuos peligrosos incompatibles que puedan reaccionar entre ellos; no se podrán depositar en estos contenedores residuos que no pertenezcan a la categoría de peligrosos.
- Los contenedores se deben mantener etiquetados, indicando claramente los tipos de residuos que se pueden depositar en su interior y el tipo de peligrosidad que estos presenten.
- Finalmente, estos contenedores deben ser ubicados en sitios habilitados para ello; a menos que los residuos almacenados sean de naturaleza sólida, deberá considerarse un sistema de contención de eventuales fugas o derrames.

d).- Contenedores de residuos comerciables: para definir el tipo mas adecuado de contenedor, debe considerarse la composición y tamaño del residuo que se pretende reciclar. Dentro de la gran variedad de contenedores existente, una alternativa adecuada es la que se indica en la (figura).



Figura N° 1.4.- Contenedores residuos comerciales.

1.3.2.3.4.- Programa de segregación.

Para iniciar un programa de segregación o separación de residuos, debe difundirse entre los trabajadores cuales son los beneficios de una iniciativa de esta naturaleza. Es esta condición indispensable para garantizar que el programa alcance el mayor grado de desarrollo posible.

Una manera de motivar la separación de residuos entre los trabajadores es disponer afiches y carteles alusivos en todos los sectores donde se ubican los contenedores. Estas indicaciones deben señalar el recorrido y destino que tendrán estos residuos. Asimismo, se debe disponer de elementos de difusión que señalen las diferentes etapas del desarrollo de la obra, y que entre otras indicaciones muestren la forma de llevar a cabo de forma adecuada los procesos de manipulación, almacenamiento y destino de los residuos que se generen en cada etapa, indicando “como” y “donde” descargar los residuos, así como la forma en que debe realizarse su transporte.

1.3.2.4.- Disposición final.

Corresponde a toda instalación, que producto de un estudio de ingeniería, será utilizada para el confinamiento de residuos por un tiempo definido. Esta instalación puede ser sobre el suelo o en excavaciones, sin crear incomodidades o peligros para la seguridad o la salud pública y provocando el menor impacto posible hacia el medio ambiente.

En Chile, existen dos tipos de instalaciones que están definidas según los tipos de residuos que serán almacenados en su interior, estos son:

- Relleno de seguridad.
- Relleno Sanitario.

Para el caso de los residuos provenientes de la construcción, se requiere de la existencia de terrenos en que se puedan disponer los materiales inertes que provienen del movimiento de tierra de excavaciones, escarpes y obras civiles. Además se requiere disponer los escombros, que sin representar un gran impacto al medio ambiente cuando no se encuentra mezclado con una cantidad significativa de otros tipos de residuos, requieren de un manejo especial por la presencia de maderas, estructuras metálicas que no son totalmente inertes y que pueden provocar algún tipo de impacto estético. Actualmente, para la disposición de estos materiales solo se requiere de la autorización del director de obras de la municipalidad respectiva.

1.3.2.5.- Aspectos legales relacionados con los residuos sólidos.

No existe una ley de aplicación general que regule en forma ordenada y específica el manejo de residuos sólidos. Las normas existentes provienen de distintos organismos públicos y carecen de coherencia entre ellas, presentándose como una dispersión de atribuciones que dificulta su cumplimiento y fiscalización.

Todo lo concerniente a los residuos se regula en forma muy general, sin entregar una orientación diferenciada por tipos de residuos (industriales, hospitalarios, peligrosos, etc). Por otra parte, las normas referidas a los residuos sólidos, en su gran mayoría, contemplan únicamente los residuos domésticos, patrón que se utiliza como referente para los demás tipos de desechos.

Las principales orientaciones respecto de las obligaciones y requerimientos para el manejo de los residuos provienen de unas pocas normas, entre las que se destaca el decreto supremo N° 2.444, ambas del Ministerio de Salud. A manera de antecedente, lo fundamental de estas puede resumirse del siguiente modo:

- **Decreto Supremo N° 745 (D. Of. 08-06-93), “Reglamento sanitario y Ambiental en los Lugares de Trabajo”.**

Establece que es obligación del empleador mantener las condiciones sanitarias y ambientales necesarias para proteger la vida y la salud de los trabajadores en los lugares de trabajo (artículo 3).

En cuanto a los residuos industriales sólidos, este decreto establece específicamente que:

- La red pública de desagües servidas no es un medio aceptable de eliminación de residuos considerados peligrosos, que provoquen daño a la red pública, que originen un riesgo para la salud de los trabajadores, o un deterioro del medio ambiente (artículo 15).

- Para acumular residuos que no puedan ser considerados desechos domésticos al interior del predio industrial, deberá disponerse de autorización sanitaria (artículo 17).

- Previo al envío de residuos a un sitio de disposición final: se debe presentar a la autoridad los antecedentes que acrediten que el transporte, tratamiento o destino final este debidamente autorizado por los servicios de Salud correspondientes (artículo 18).

- Se debe declarar el tipo y cantidad de residuos generados, diferenciando claramente los residuos industriales peligrosos. Para efectos de la identificación de los residuos peligrosos, el reglamento entrega una lista elementos y sustancias consideradas peligrosas (artículo 19).

- **Resolución N° 2.444 (D. Of. 07-80), “Normas sanitarias Mínimas para la Operación de Basurales”.**

Esta norma exige, además de la aprobación de la autoridad correspondiente para el almacenamiento de residuos domésticos, la necesidad de que el recinto y los recipientes utilizados cumplan con las exigencias sanitarias y técnicas que establece la reglamentación vigente (artículo 15).

Establece exigencias básicas sobre las características de los recipientes que podrán ser utilizados (contenedores) (artículo 14).

Cada relleno sanitario establecerá el tipo de residuo que recibirá y los procedimientos de aceptación y control de estos (artículo 32, letra d).

No se aceptara en los rellenos sanitarios el ingreso de los siguientes tipos de residuos, salvo casos excepcionales autorizados por la autoridad competente (artículo 41).

- Tóxicos
- Peligrosos
- Industriales
- Y en general, aquellos que requieran la disposición final separada de los otros residuos.

- **Otras Normas**

- **Ley Nº 18.695/88, “Ley Orgánica Constitucional de municipalidades”.**

Atribuye a las municipalidades el aseo y ornato, incluyendo la extracción de la basura.

- **Decreto supremo Nº 298/94, “Reglamento de Transporte de Cargas Peligrosas por calles y caminos”,**

Reglamenta y establece pautas para la transferencia y transporte de cargas peligrosas.

- **Decreto Ley Nº 3.557/81.** Establece disposiciones sobre protección agrícola.

- **Decreto Supremo Nº 1/92, “Reglamento para el Control de la contaminación acuática”,** del Ministerio de Defensa Nacional.

Regula el vertimiento de residuos en el mar o en las aguas de jurisdicción nacional.

- **Resolución 5.081/93, “Sistema de declaración y Seguimiento de Desechos sólidos Industriales”,** del Servicio del salud del Ambiente de la Región Metropolitana.

Regula que los establecimientos industriales de la región metropolitana que generen residuos industriales sólidos tengan la obligación de declarar sus desechos cada vez que estos abandonen el establecimiento del Generador, a través de un Documento de Declaración que debe acompañar a los residuos hasta llegar al establecimiento del Destinatario.

CAPITULO II
PLANIFICACIÓN GENERAL DEL
ESTUDIO EXPERIMENTAL.

2.1.- PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL.

Debido a los requisitos exigidos por las normas chilenas, se establecerá un planteamiento conservador que demuestre las verdaderas características de este nuevo hormigón, para esto se establecen requisitos previos para el estudio de su utilización:

- Analizar solo la aplicación de la fracción gruesa de árido reciclado.
- Estudiar inicialmente las posibilidades de utilización en ambientes no agresivos.
- Tener claro que las características de este material son distintas al árido natural extraído desde un río o cantera, por lo que pueden existir nuevas propiedades que deben controlarse.

Para esto se efectuó el siguiente esquema:

- Selección y trituración material a reciclar.
- Selección fracción gruesa del árido reciclado.
- Estudio del escombro según requisitos generales que exige la Norma Chilena para el uso de estos en la fabricación de hormigón.
- Confeccionar probetas de hormigón normal y reciclado, considerando los mismos parámetros y condiciones, para la dosificación y fabricación.
- Dichos Hormigones serán del grado H15, H20, H25, H30 y HF3,2; HF3,5.
- Por ultimo, luego de esperar los días necesarios se procederá a reventar las probetas, y posteriormente se analizara los resultados, para llegar a la conclusión final del estudio realizado.

2.2.- MATERIALES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO.

2.2.1.- Áridos (Escombro).-

El material escogido para reciclar en este estudio fue extraído de las probetas cúbicas de 20 cm. de hormigón ensayadas que se encontraban en el Laboratorio Lemco de la Universidad Austral de Chile. El proceso y selección que se utilizó se explica más adelante.

Cabe señalar que en el proceso de selección de las probetas a triturar no se consideraron varios factores como el destino, resistencia y edad de dichas probetas de hormigón.

Fotografía N° 1.- Probetas.



Fuente: Elaboración Propia

2.2.2.- Arena natural.-

Se utilizó arena que se encontraba en el laboratorio Lemco, la cual tenía como procedencia a la empresa de áridos Valdicor de la ciudad de Valdivia.

Fotografía N° 2.- Arena.



Fuente: Elaboración Propia

2.2.3.- Cemento.-

Se utilizo cemento Bio-Bio Especial, el cual corresponde a un cemento siderúrgico de grado corriente.

Fotografía N° 3.- Cemento.



Fuente: Elaboración Propia

2.2.4.- Agua.-

Se utilizo agua potable, por lo que no es necesario verificar su calidad (Nch 1498). Ya que el agua es un componente fundamental al momento de fabricar el hormigón, debido a que su presencia condiciona tanto el desarrollo de las propiedades en su estado fresco como en la etapa de endurecimiento.

El agua cumple dos roles en su calidad de material componente del hormigón:

- a).- Participa en el proceso de hidratación del cemento, el cual no puede desarrollarse sin su presencia.
- b).- Otorga trabajabilidad necesaria al hormigón, siendo determinante para definir su fluidez.

Son por estas razones que el agua de amasado y curado debe ser limpia, sin presencia de materias que puedan dañar dichos procesos.

CAPITULO III

DESARROLLO ESTUDIO EXPERIMENTAL

3.1.- INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se describe los trabajos experimentales llevados a cabo para el estudio en cuestión, los cuales fueron realizados en el laboratorio Lemco de la Universidad Austral de Chile, con el fin de comparar la normativa técnica existente, para garantizar un estudio serio que arroje fielmente el comportamiento del escombro como material componente y reemplazante del árido natural en la fabricación de un hormigón de buena calidad.

3.2.- ESTUDIO MATERIAL A RECICLAR.

3.2.1.- Trituración material.

La trituración se realizó en forma manual, con un combo de 16 lb.; lo cual significa que sea un trabajo largo y muy duro.

3.2.2.- Selección fracción gruesa.

Para asegurarse de obtener una selección buena y lo más homogénea posible, se determinó realizar la selección pasando el material por las mallas 2", 1" y ½"; tamaño suficiente para realizar los ensayos previos requeridos por la norma chilena para el uso de áridos en la fabricación de hormigón.

Aquí; se observó que el material resultante del proceso de trituración contenía partículas rodadas del árido virgen natural utilizado en la fabricación del hormigón antiguo, partículas de hormigón chancado y partículas rodadas chancadas con hormigón adherido. Lo cual y considerando que existía un bajo contenido de lascas, no acusaría problemas de trabajabilidad en el hormigón.

Luego se acopio el material en sacos, para así evitar que el escombro recibiera mucho polvo en el periodo que estaría en el laboratorio hasta ser utilizado.

Fotografía N° 4.- Material seleccionado.



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N° 5.- Acopio material.



Fuente: Elaboración Propia

3.2.3.- Propiedades del árido a controlar, según NCH 163 of. 79.

El estudio se realizó de tal forma de asegurarse que el escombro cumpliera con la mayor cantidad de requisitos impuestos por la norma chilena.

Se realizaron los ensayos obligatorios, destinados a control de diseño de dosificación y algunos optativos; estos últimos a modo de comparación para ver cómo se comportaría el material frente a ciertas características de los áridos.

3.2.3.1.- Extracción y preparación de muestras. (NCH 164 of. 76)

Debido que la selección del material era homogénea en todos los sacos acopiados, se selecciono uno al azar para que fuera utilizado en todos los ensayos que se realizaron posteriormente.

3.2.3.2.- Tamizado y determinación de granulometría. (NCH 165 of. 77)

Para realizar este ensayo se utilizo el material que se encontraba en el saco mencionado anteriormente. El cual se homogeneizo, mediante un cuarteador para lograr obtener una muestra representativa del escombros a estudiar.

Luego el material extraído se seco hasta masa constante en un horno.

Fotografía N° 6.- Cuarteador.



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N° 7.- Horno utilizado para secado de muestra.



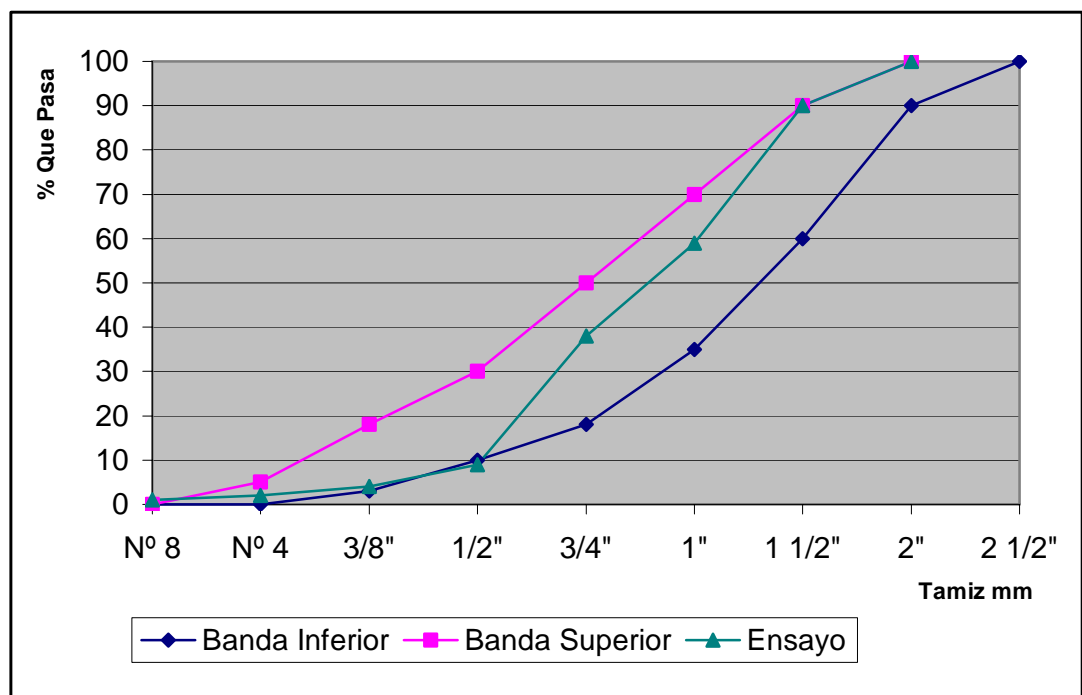
Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

TABLA Nª 3.1.- Granulometría Escombros.					
MALLA ASTM		PESO RET.	%	% RET	%
Pulg.	MM.	Grs.	RETENIDO	ACUMUL	QUE PASA
2"	50	0	0	0	100
1 1/2"	40	1262	10	10	90
1"	25	3752	31	41	59
3/4"	20	2414	20	61	39
1/2"	12.5	3570	30	91	9
3/8"	10	612	5	96	4
Nº 4	5	225	2	98	2
Nº 8	2.5	185	2	100	0
Nº 16	1.25			61	
Nº 30	0.63			85	
Nº 50	0.315			91	
Nº 100	0.16			99	
Nº 200	0.08			100	
-----	-----	12020	100	-----	-----
RESIDUO	-----	-----	-----	-----	-----
SUMA	-----	12020	100	-----	-----

El resultado indica que la distribución de los granos no se encuentra por completo en el interior de la banda exigida por la Nch 163 especificación 50-5; pero esto era de esperar debido al procedimiento de trituración. Aunque la normativa no establece ningún requisito sobre la granulometría del árido reciclado como árido grueso para su utilización en hormigón, los resultados obtenidos indican que el escombros es totalmente utilizable.

Figura N° 3.1.- Granulometría Escombros.



Fotografía N° 8.- Tamices utilizados para análisis granulometría.



Fuente: Elaboración Propia

3.2.3.3.- Determinación material fino menor a 0.080 mm. (NCH 1223 of. 77)

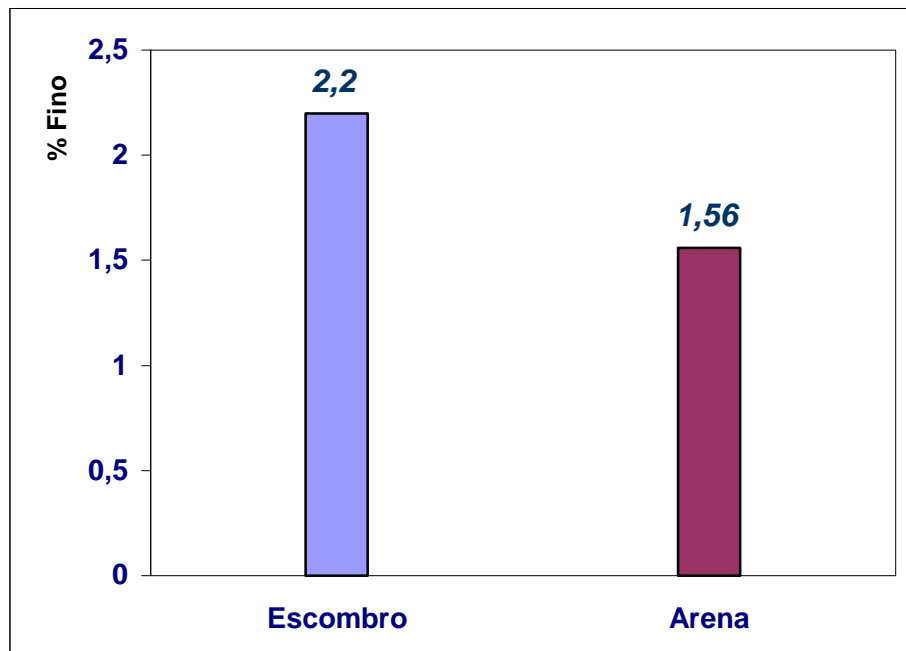
La norma chilena estipula cantidades máximas aceptables para partículas inferiores a 0.080 mm.

Estos limites indican lo siguiente:		Grava	Arena
a).- para hormigón sometido a desgaste	% máximo	0.5	3.0
b).- para todo otro hormigón	% máximo	1.0	5.0

El resultado que se obtuvo en el laboratorio se muestra en la figura 6.

El material grueso (escombros) sobrepasa los límites establecidos por un margen relativamente importante. La razón de este exceso se cree en primera instancia que se debe a que el escombros contiene suficiente material fino de la mezcla anterior (cemento y otros). Entonces, si a esto le sumamos aun mas el polvo que pueda haber absorbido el material en el proceso de trituración, provocarían un exceso de granos finos que en ningún caso es recomendable para el hormigón reciclado a utilizar.

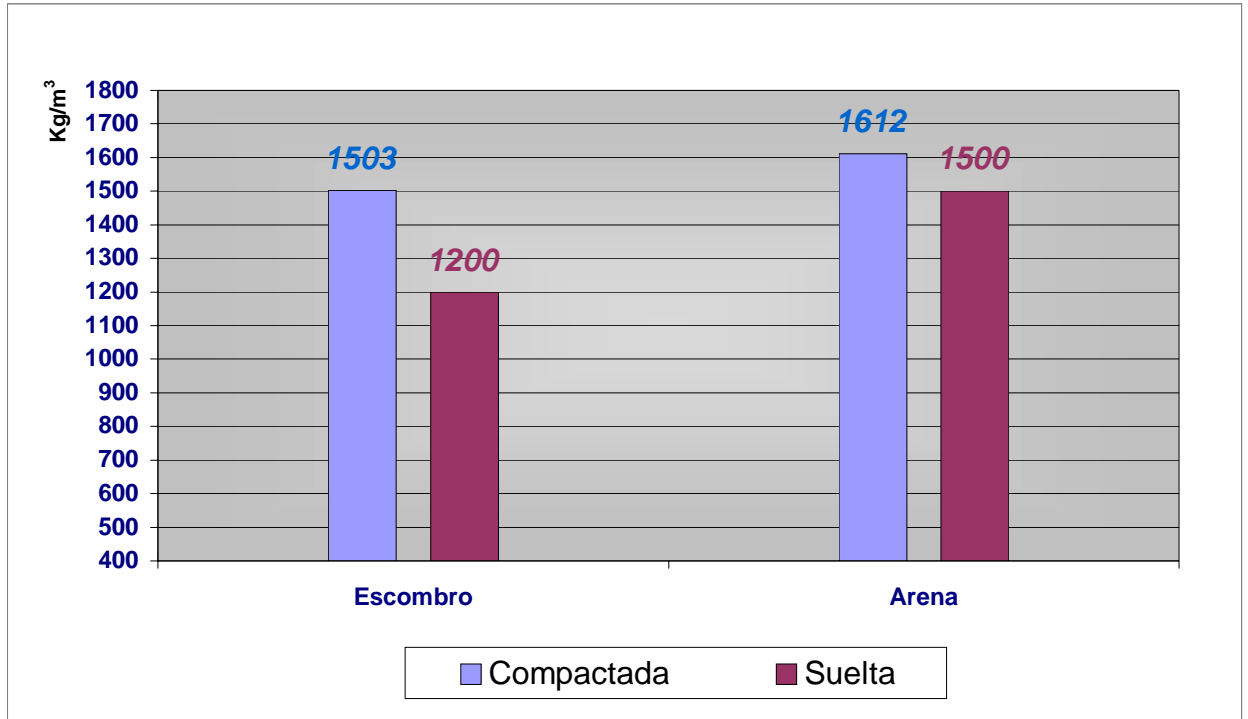
Figura N° 3.2.- % Fino escombros.



3.2.3.4.- Determinación de la densidad aparente. (NCH 1116 of. 77)

Los resultados obtenidos se resumen a continuación en la figura N° 7.

Figura N° 3.3.- Densidades aparentes del árido.



Haciendo un análisis de los resultados obtenidos del estudio de los escombros, como era de esperarse los valores de laboratorio confirman una disminución de la densidad aparente compactada al tratarse de áridos de mayor porosidad.

A continuación se muestran los instrumentos utilizados en dicho ensayo.

Fotografía N° 9.- Ensayo escombros.



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N° 10.- Ensayo arena.

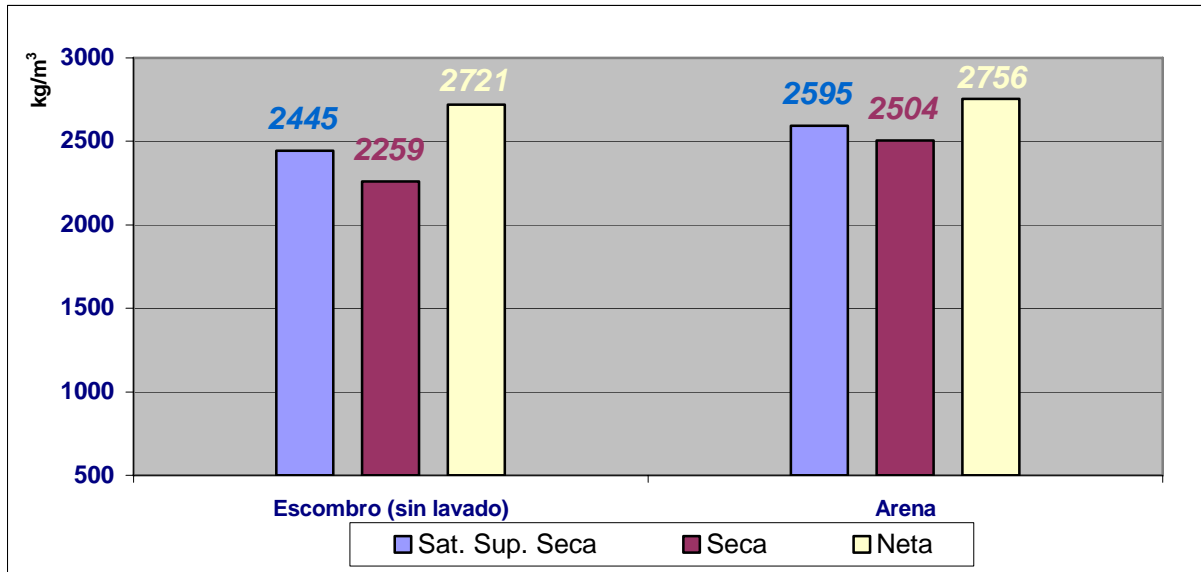


Fuente: Elaboración Propia

3.2.3.5.- Determinación de las densidades real, neta y la absorción de las gravas. (NCH 1117 of. 7)

Los resultados obtenidos se resumen a continuación en la figura 8.

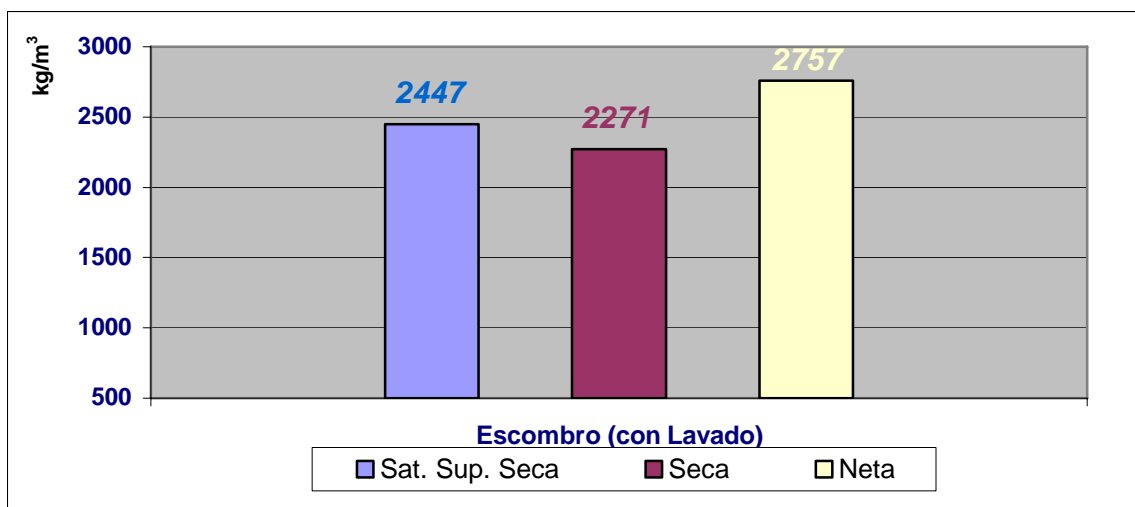
Figura N° 3.4.- Densidades reales del árido.



Analizando los resultados y observando que existía una diferencia importante entre la dens. Sat. Sup. Seca y la dens. Seca; se decide repetir el ensayo pero esta vez realizando un lavado previo al escombro, esto se hizo pensando que dicha diferencia se debía a lo mejor al material fino adherido en la superficie del escombro.

Pero los resultados obtenidos no difirieron mucho uno de otro. Así que se atribuyo esta diferencia a la gran absorción que posee el escombro. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

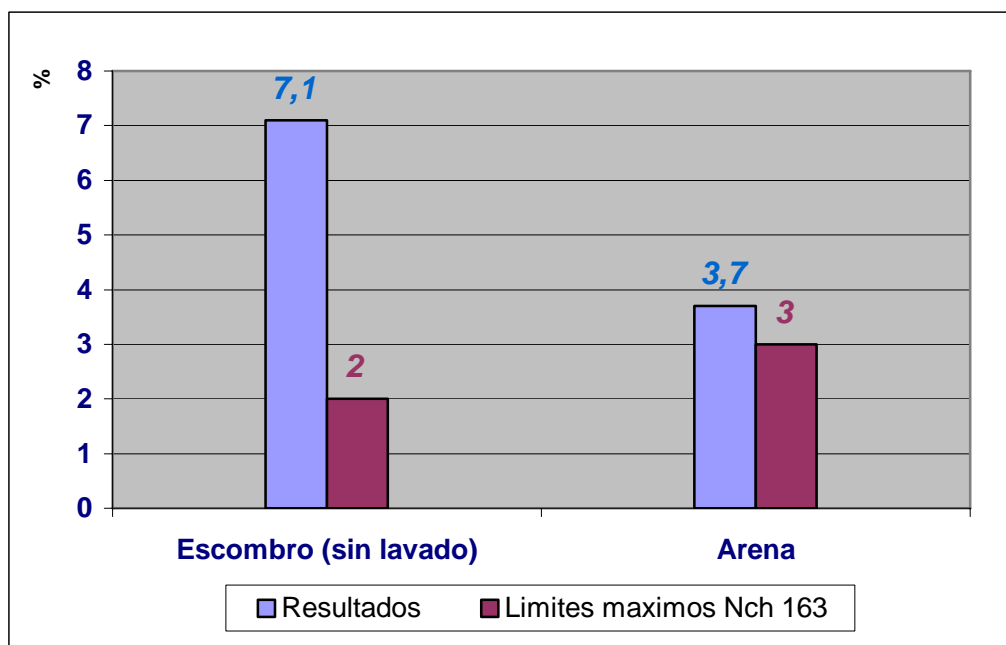
Figura N° 3.5.- Densidades reales del árido con lavado.



La condición mas distorsionada que presenta este análisis es la condición de porosidad, pues esta relacionada con la absorción de agua, característica que se muestra como la mas desfavorable del escombro. Este parámetro presento grandes alteraciones, obteniéndose los valores que se muestran en la figura 10.

Se presenta un problema claro en este aspecto, pues la norma limita la absorción muy por debajo del resultado obtenido.

Figura N° 3.6.- Absorción.



A continuación se muestran los instrumentos utilizados en dicho ensayo.

Fotografía N° 11.-



Fuente: Elaboración Propia

3.2.3.6.- Determinación del desgaste de gravas. (NCH 1369 of. 78)

Este ensayo determinara el grado de resistencia a la abrasión que presenta la partícula.

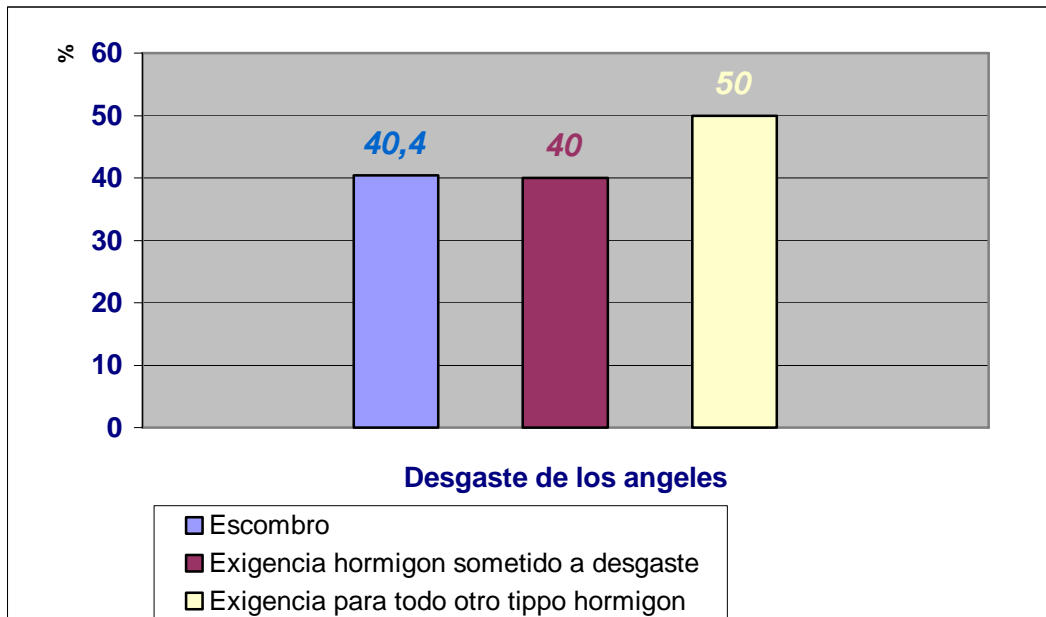
Una alta porosidad del escombros hace dudar del buen comportamiento del material frente al desgaste. Por esta razón se efectuó un ensayo de desgaste para el árido, mediante la maquina de Desgaste del los Ángeles.

Los resultados obtenidos muestran un grado bastante alto justo al limite, en comparación con los exigidos por la norma.

Este resultado asegura de cierta forma que el material no tendrá problemas para ser utilizado como hormigón en lo que a resistencia a la abrasión y durabilidad se refiere.

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Figura N° 3.7.- Desgaste de los Ángeles Escombros.



Instrumentos utilizados en dicho ensayo.

Fotografía N° 12.-



Fuente: Elaboración Propia

3.2.3.7.- Determinación de los huecos. (NCH 1326 of. 77)

Los resultados de este ensayo dan a relucir las sospechas de que el material contiene un alto porcentaje de huecos, lo que corresponde a un 47.4%.

Conocidos los parámetros que identifican y caracterizan al agregado, es posible comenzar con la determinación de resistencia del hormigón fabricado con árido reciclado. Para tener una noción aproximada del comportamiento de la nueva mezcla.

3.3.- DOSIFICACIÓN HORMIGONES.

La dosificación se realiza según metodología del Laboratorio de la Universidad Lemco, el cual ha sido comparado con otras metodologías mas complejas y se ha observado que no existen diferencias importantes.

Una vez conocidas las características de cada material, que intervendrán en las diferentes mezclas de hormigón se procede a la dosificación.

Los antecedentes técnicos de los hormigones a fabricar son los siguientes:

- Grado del hormigón: H-15, H-20, H-25, H-30 (cubo y cilindro), HF-3.2, HF-3.5.
- Cemento especial Bio-Bio, grado corriente.
- Tamaños máximos de los áridos.
- Asentamiento Cono: 6-9 cm.
- Nivel de confianza 80%, por lo tanto, factor estadístico “**T**” = 0.842
- Desviación Estándar “**S**” = 47.6 kgf/cm², valor establecido por laboratorio.

Además de los datos, necesarios que se necesitan de los áridos.

3.4.- FABRICACIÓN HORMIGONES.

Cabe señalar que el hormigón patrón se confecciono con tres fracciones de áridos grava, gravilla y arena, además del agua y cemento.

Mientras que el hormigón reciclado se confecciono con dos fracciones de áridos escombros y arena, además del agua y cemento

3.4.1.- Medición de los Materiales.

La medición de estos se realizo, todos mediante peso individual de cada material.

3.4.2.- Orden de Incorporación de los Materiales.

Mezcladora: Maquina que se utiliza para mezclar los componentes, que intervienen en la confección del hormigón. La mezcladora utilizada en el Laboratorio de Ensayos de Construcción Lemco, es una betonera de eje vertical con capacidad aproximada de unos 70 litros de hormigón.

Fotografía N° 13.-



Fuente: Elaboración Propia

- Se limpia el tambor de la mezcladora, al cual se le introduce en primer lugar las distintas fracciones de áridos, luego se pone en funcionamiento la mezcladora para homogeneizar los materiales.
- Una vez finalizado esta operación se le incorpora el cemento y se vuelve a poner en funcionamiento la mezcladora para homogeneizar los materiales.
- Finalmente se le agrega el agua, verificando visualmente las características del hormigón.
- Los procedimientos descritos, se repiten para cada grado de hormigón presente en el estudio.

3.4.3.- Trabajabilidad y Docilidad del Hormigón.

El estudio de esta característica del hormigón fresco se determinó mediante el cono de Abrams, cuyos procedimientos se encuentran descritos en la norma Nch 1019 of. 74.

El resultado visual de uno de los ensayos se puede observar en la fotografía N° 15.

Fotografía N° 14.- Cono de Abrams.



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N° 15.- Resultado.



Fuente: Elaboración Propia

3.5.- CONFECCIÓN DE PROBETAS.

En esta experiencia se confeccionaran probetas destinadas a ensayos de compresión, flexotracción y hendimiento, el procedimiento a utilizar para esta tarea, se basa a lo establecido en las normas Nch 1037 Of. 77, Nch 1038 Of. 77, Nch 1170 Of. 77 respectivamente.

Se utilizaron los siguientes moldes:

Fotografía N° 16.-



Fuente: Elaboración Propia

Llenado de los moldes:

Los moldes se encontraban totalmente limpios y con una película de aceite para facilitar el desmolde.

Compactación de las probetas:

El proceso de compactación para las muestras, consistió en utilizar un vibrador interno de frecuencia mínima de 6000 pulsaciones / minuto.

Fotografía N° 17.-



Fuente: Elaboración Propia

Acabado e identificación:

Finalizada la compactación, la superficie de cada probeta fue enrasada y alisada, a continuación claramente marcadas para evitar que se confundan.

Desmolde de probetas:

Las probetas fueron desmoldadas después de 48 horas de su confección.

Fotografía N° 18.- Probetas listas para ser desmoldadas.



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N° 19.- Probetas listas.



Fuente: Elaboración Propia

3.6.- PROCESO DE CURADO.

Luego de desmoldar las probetas, dicho proceso se efectuó en una piscina climatizada, la cual mantiene la temperatura entre 15 - 21 °C. Al situar las probetas en este lugar se evita que las probetas sufran cargas o impactos que puedan dañar el hormigón.

3.7.- ENSAYO PROBETAS DE HORMIGÓN.

A continuación se detalla como se llevo a cabo esta etapa, rigiéndose según lo estipulado en la norma oficial chilena.

3.7.1.- Ensayo de Compresión (NCH 1037 of 77).

Equipos: se utiliza una prensa que tendrá la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de los resultados.

Descripción:

- Tendrá un sistema de rotula que permita hacer coincidir la resultante de la carga aplicada con el eje de la probeta.
- Las superficies de aplicación de la carga serán lisas y planas, no se aceptaran desviaciones con respecto al plano superior a 0,015 mm en 100 mm medidos en cualquier dirección.
- Dos relojes marcadores de carga con una capacidad de 300 y 100 toneladas con intervalos de medición cada 1 tonelada.
- La sensibilidad de la prensa será tal que la menor división de la escala de lectura sea inferior o igual al 1% de la carga máxima.
- La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de +/- 1% de la carga dentro del rango utilizable de la escalas de lecturas.
- Dispositivo que regula la velocidad de aplicación de la carga.
- La velocidad de aplicación de la carga es de 3,5 kg/seg/cm².

Fotografía N° 20.- Reloj máquina ensayo.



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N° 21.- Volante regulador de velocidad.



Fuente: Elaboración Propia

Medición de las probetas: las probetas fueron retiradas de la piscina de curado, luego antes del ensayo se registran sus dimensiones y peso.

Ensayo:

Se limpio las superficies de contacto de la placa de carga y las caras de ensayo de las probetas.

Luego se coloco la probeta alineada y centrada en la maquina de ensayo con la cara de llenado frente al operador. Por ultimo se aplico la carga en forma uniforme, y se registro la carga máxima "P", expresada en toneladas.

Fotografía N° 22.- Ensayo de probetas.



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N° 23.- Probetas después del ensayo.



Fuente: Elaboración Propia

3.7.2.- Ensayo de tracción por hendimiento (NCH 1170 of 77).

Para dicho ensayo se utilizo la misma prensa del ensayo de compresión, por lo tanto, se omitirá toda referencia y descripción hacia dicho equipo.

Fotografía N° 24.- Ensayo de probetas.



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N° 25.- Probeta después del ensayo.



Fuente: Elaboración Propia

3.7.3.- Ensayo de tracción por flexión (NCH 1038 of 77).

Equipos: se utiliza una prensa que tendrá la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de los resultados.

Descripción:

- La sensibilidad de la prensa será tal que la menor división de la escala de lectura sea menor o igual a 1% de la carga máxima.
- La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de +/- 1% de la carga dentro del intervalo utilizable de las escalas de lectura.
- Sus elementos de contacto con la probeta tendrán la superficie cilíndrica (de este modo se logra un contacto rectilíneo).
- Dispositivo que regula la velocidad de aplicación de la carga.
- Aplicaran la carga y sus reacciones en forma vertical, y estarán dispuestas de modo que las líneas de contacto sean paralelas entre si y perpendiculares a la luz de ensayo.
- Contaran con accesorios que permitan fijar y mantener la luz de ensayo.
- Tendrán una longitud igual o mayor al ancho, "b" de las probetas.

Fotografía N° 26.- Prensa de ensayo.



Fuente: Elaboración Propia

Medición de las probetas: las probetas fueron retiradas de la piscina de curado, luego antes del ensayo se registran sus dimensiones y peso.

Ensayo:

Se limpio las superficies de contacto de la placa de carga y las caras de ensayo de las probetas.

Luego se coloco la probeta alineada y centrada en la maquina de ensayo, procurando que la luz de ensayo sea la correcta; la cara de llenado se coloca de tal forma que mire hacia el lado contrario del motor de la prensa.

Por ultimo se aplico la carga en forma uniforme, y se registro la carga máxima “P”, expresada en toneladas..

Fotografía N° 27.- Ensayo de probetas.



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N° 28.- Probetas después del ensayo.



Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO IV
RESULTADOS

A continuación se presentan los diferentes resultados obtenidos de los ensayos realizados a las probetas de hormigón.

4.1.- RESULTADOS ENSAYOS.

Tabla N° 4.1.- Resistencia a la Compresión.									
Grado Hormigón: H-15 "Patrón"									
Fecha Ensayo	Peso (grs.)	a/L (cm.)	b (cm.)	diam. (cm.)	h (cm.)	Carga (Ton/Kn)	Densidad (kg/cm ³)	Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)
22-07-05	19580	20	20		20.1	18.5	2.4353	3	46.25
26-07-05	19120	20	20		20	45.5	2.3900	7	113.75
02-08-05	19470	19,8	20		20	62	2.4583	14	156,57
16-08-05	19560	19,9	19,9		20	81	2,4696	28	204,54
16-08-05	19640	19,9	19,9		19,9	79	2,4922	28	199,49
Grado Hormigón: H -15 "Reciclado"									
29-07-05	18350	20	19.8		20	18	2.3169	3	45.45
02-08-05	18680	20	19,7		20,1	38	2,3588	7	96,45
09-08-05	18480	19,9	19,9		20	54	2,3333	14	136,36
23-08-05	18410	20	19,8		20	77	2,3245	28	194,44
23-08-05	18610	19,9	19,9		20	78	2,3497	28	196,96

Tabla N° 4.2.- Resistencia a la Compresión.									
Grado Hormigón: H-20 "Patrón"									
Fecha Ensayo	Peso (grs.)	a/L (cm.)	b (cm.)	diam. (cm.)	h (cm.)	Carga (Ton/Kn)	Densidad (kg/cm ³)	Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)
22-07-05	19380	20	20		20	27.5	2.4225	3	68.75
26-07-05	19370	19,8	20		20	62	2,4457	7	156,57
02-08-05	19000	19,9	20		20	92	2,3869	14	231,16
16-08-05	19360	20	20		20	114	2,4200	28	285
16-08-05	19450	19,9	19,9		20	110	2,4681	28	277,77
Grado Hormigón: H -20 "Reciclado"									
01-08-05	18550	20	19.9		20	22	2.3304	3	55.28
05-08-05	18620	20	19,9		20	41,5	2,3392	7	104,27
12-08-05	18480	20	19,9		19,9	66	2,3333	14	165,83
26-08-05	18550	20,1	19,9		20	88	2,3188	28	220
26-08-05	18610	20	20		20	92	2,3263	28	230

Tabla Nº 4.3.- Resistencia a la Compresión.									
Grado Hormigón: H-25 "Patrón"									
Fecha Ensayo	Peso (grs.)	a/L (cm.)	b (cm.)	diam. (cm.)	h (cm.)	Carga (Ton/Kn)	Densidad (kg/cm ³)	Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)
25-07-05	19190	20	20		20	35.5	2.3950	3	88.75
29-07-05	19240	19,8	19,9		20	67	2,4415	7	170,04
05-08-05	19450	19,9	19,9		20	96	2,4557	14	242,42
19-08-05	19370	19,9	20		20	130	2,4334	28	326,63
19-08-05	19540	19,9	19,8		19,9	126	2,4920	28	319,78
Grado Hormigón: H-25 "Reciclado"									
05-08-05	18410	20.1	19.8		20	24.5	2.3129	3	61.56
09-08-05	18590	20	19,9		20	52,5	2,3354	7	131,91
16-08-05	18500	20	19,9		19,9	81	2,3358	14	203,52
30-08-05	18580	19,9	19,9		19,9	106	2,3577	28	267,67
30-08-05	18670	19,9	20		20	110	2,3455	28	276,38

Tabla Nº 4.4.- Resistencia a la Compresión.									
Grado Hormigón: H-30 "Patrón"									
Fecha Ensayo	Peso (grs.)	a/L (cm.)	b (cm.)	diam. (cm.)	h (cm.)	Carga (Ton/Kn)	Densidad (kg/cm ³)	Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)
25-07-05	19360	20	20		20	40	2.4200	3	100
29-07-05	19630	20	20		20	77,5	2,4538	7	193,75
05-08-05	19480	20	19,9		20	114	2,4472	14	286,43
19-08-05	19350	20	19,8		20	145	2,4432	28	366,16
19-08-05	19460	19,9	19,8		19,9	139	2,4818	28	352,77
Grado Hormigón: H-30 "Reciclado"									
08-08-05	18590	19.8	20		20	27.5	2.3472	3	69.44
12-08-05	18620	20	19,9		20	55,5	2,3392	7	139,45
19-08-05	18710	20	19,8		20	84	2,3456	14	212,12
02-09-05	18700	20	19,9		20	125	2,3492	28	314,07
02-09-05	18690	20,1	19,9		20	126	2,3363	28	315,01

Tabla Nº 4.5.- Resistencia al Hendimiento.									
Grado Hormigón: H-30 "Patrón"									
Fecha	Peso	a/L	b	diam.	h	Carga	Densidad	Edad	Resistencia
Ensayo	(grs.)	(cm.)	(cm.)	(cm.)	(cm.)	(Ton/Kn)	(kg/cm ³)	(días)	(kg/cm ²)
22-07-05	12810			14,9	30	7,5	2,4489	3	10,68
26-07-05	12990			14,8	30	15	2,5170	7	21,51
02-08-05	12910			14,8	30	19	2,5014	14	27,34
16-08-05	12740			14,8	30	24,5	2,4685	28	35,13
16-08-05	13040			14,8	30	24,5	2,5266	28	35,13
Grado Hormigón: H-30 "Reciclado"									
01-08-05	12200			14,9	30	7	2,3323	3	9,97
05-08-05	12360			15	30	13,5	2,3314	7	19,10
12-08-05	12360			14,8	30	20	2,3949	14	28,68
26-08-05	12450			14,8	29,9	21,5	2,3880	28	30,72
26-08-05	12360			14,8	29,9	23	2,4029	28	33,09

Tabla Nº 4.6.- Resistencia a la Flexotracción.									
Grado Hormigón: HF-3,2 "Patrón"									
Fecha	Peso	a/L	b	diam.	h	Carga	Densidad	Edad	Resistencia
Ensayo	(grs.)	(cm.)	(cm.)	(cm.)	(cm.)	(Ton/Kn)	(kg/cm ³)	(días)	(kg/cm ²)
22-07-05	29410	53,2	15		15,1	11	2,4407	3	14,76
26-07-05	29020	53,2	15		15,1	16	2,4083	7	21,47
02-08-05	29800	53,2	15,1		15,3	27	2,4246	14	35,06
16-08-05	29420	53	15		15,2	29,5	2,4346	28	39,07
16-08-05	28370	53	18,8		14,9	28,5	2,4274	28	39,81
Grado Hormigón: HF-3,2 "Reciclado"									
29-07-05	26320	50	15		15,1	7,5	2,3241	3	10,07
02-08-05	27940	53,2	14,9		14,9	19,5	2,3656	7	27,06
09-08-05	27950	53,2	14,9		15,1	23,5	2,3351	14	31,75
23-08-05	28220	53,2	14,9		15,1	27,5	2,3577	28	37,15
23-08-05	27920	53	15		14,9	28	2,3570	28	38,59

Tabla N° 4.7.- Resistencia a la Flexotracción.Grado Hormigón: **HF-3,5 “Patrón”**

Fecha Ensayo	Peso (grs.)	a/L (cm.)	b (cm.)	diam. (cm.)	h (cm.)	Carga (Ton/Kn)	Densidad (kg/cm ³)	Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)
22-07-05	29410	53,2	15		15,1	12	2,4407	3	16,10
26-07-05	29740	53,2	15,1		15,1	18	2,4517	7	24,00
02-08-05	28880	53,2	14,9		14,9	30	2,4452	14	41,63
16-08-05	28900	53	14,9		15	34,5	2,4397	28	47,23
16-08-05	29310	53	15		15	32	2,4579	28	43,52
Grado Hormigón: HF-3,5 “Reciclado”									
05-08-05	28300	53,2	15		15	10,5	2,3642	3	14,28
09-08-05	27530	53,1	14,9		15	21	2,3197	7	28,75
16-08-05	27850	53	14,9		15	27	2,3511	14	36,97
30-08-05	28080	53	14,9		15,1	33	2,3548	28	44,58
30-08-05	28060	53	15		15	32,5	2,3530	28	44,20

4.2.- GRAFICOS.

De los resultados obtenidos, se procede a la selección y confección de diferentes graficas las que relacionan estos resultados y permiten observar en forma mas clara , el comportamiento de los hormigones.

4.2.1.- EDAD V/S RESISTENCIA.

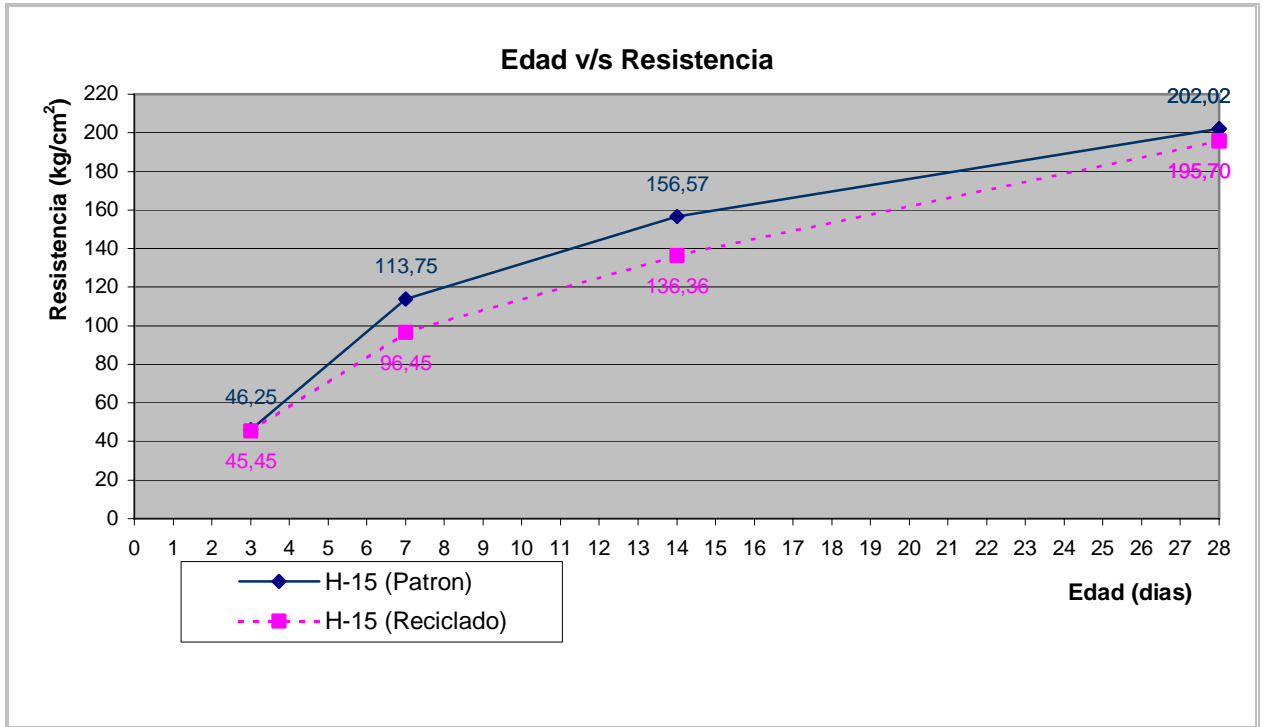


Figura N° 4.1.- Grafico "Edad v/s Resistencia" H-15.

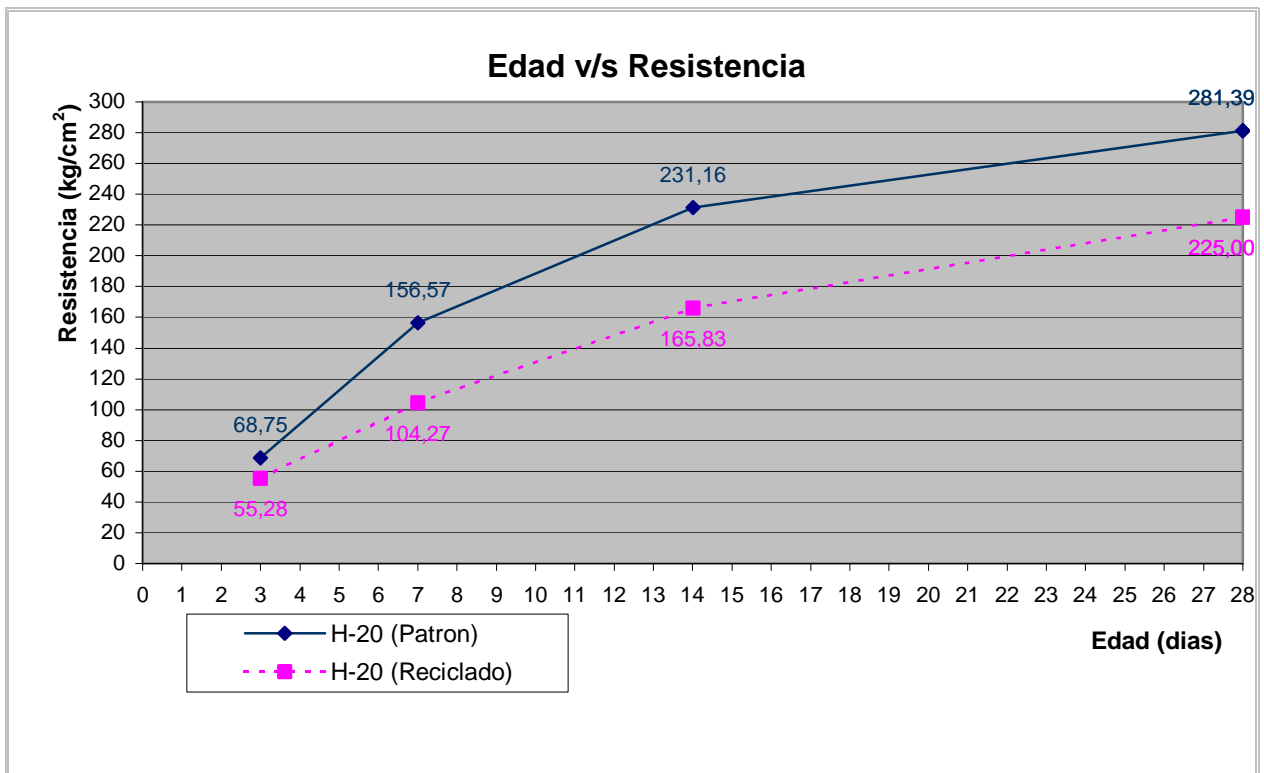


Figura N° 4.2.- Grafico "Edad v/s Resistencia" H-20.

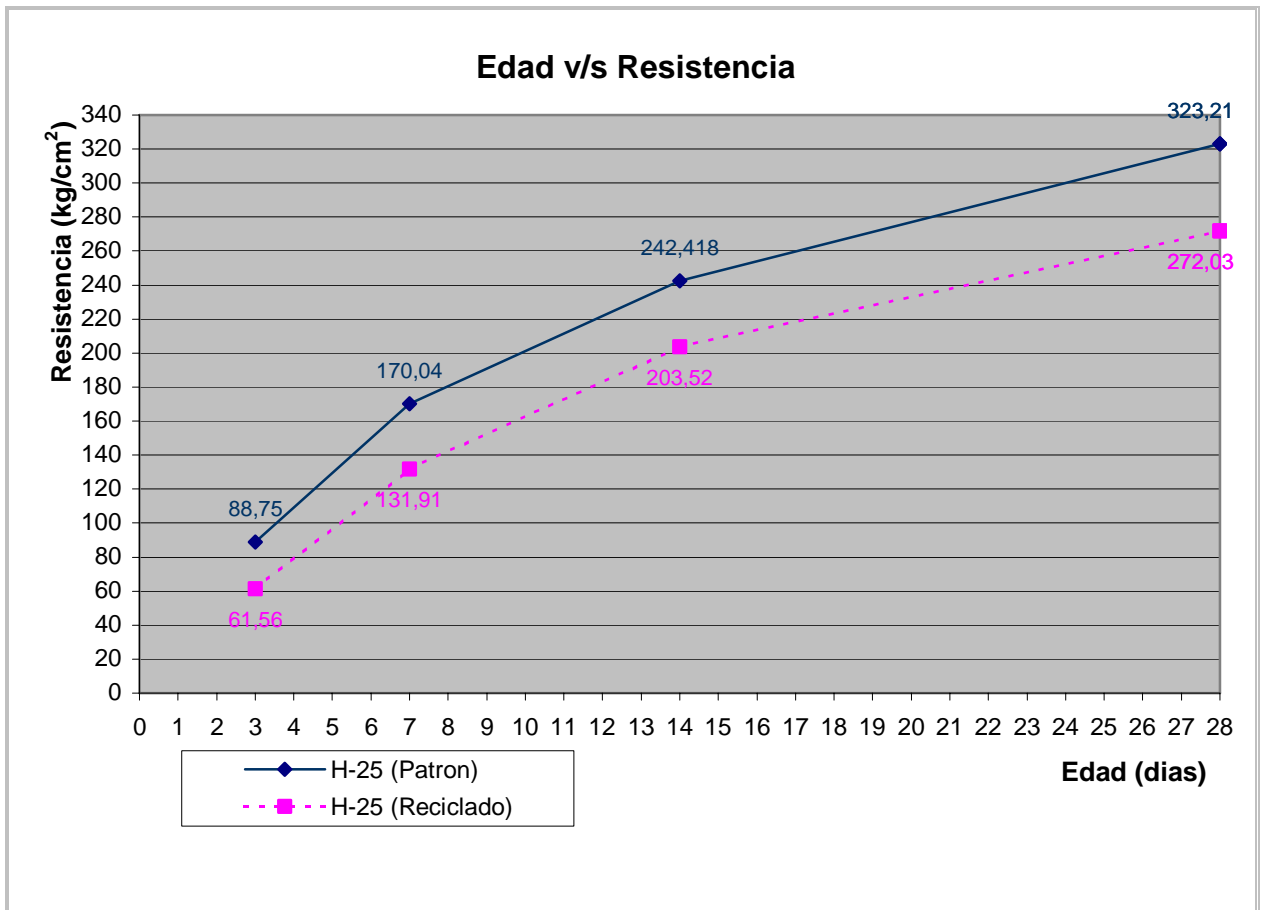


Figura N° 4.3.- Grafico "Edad v/s Resistencia" H-25.

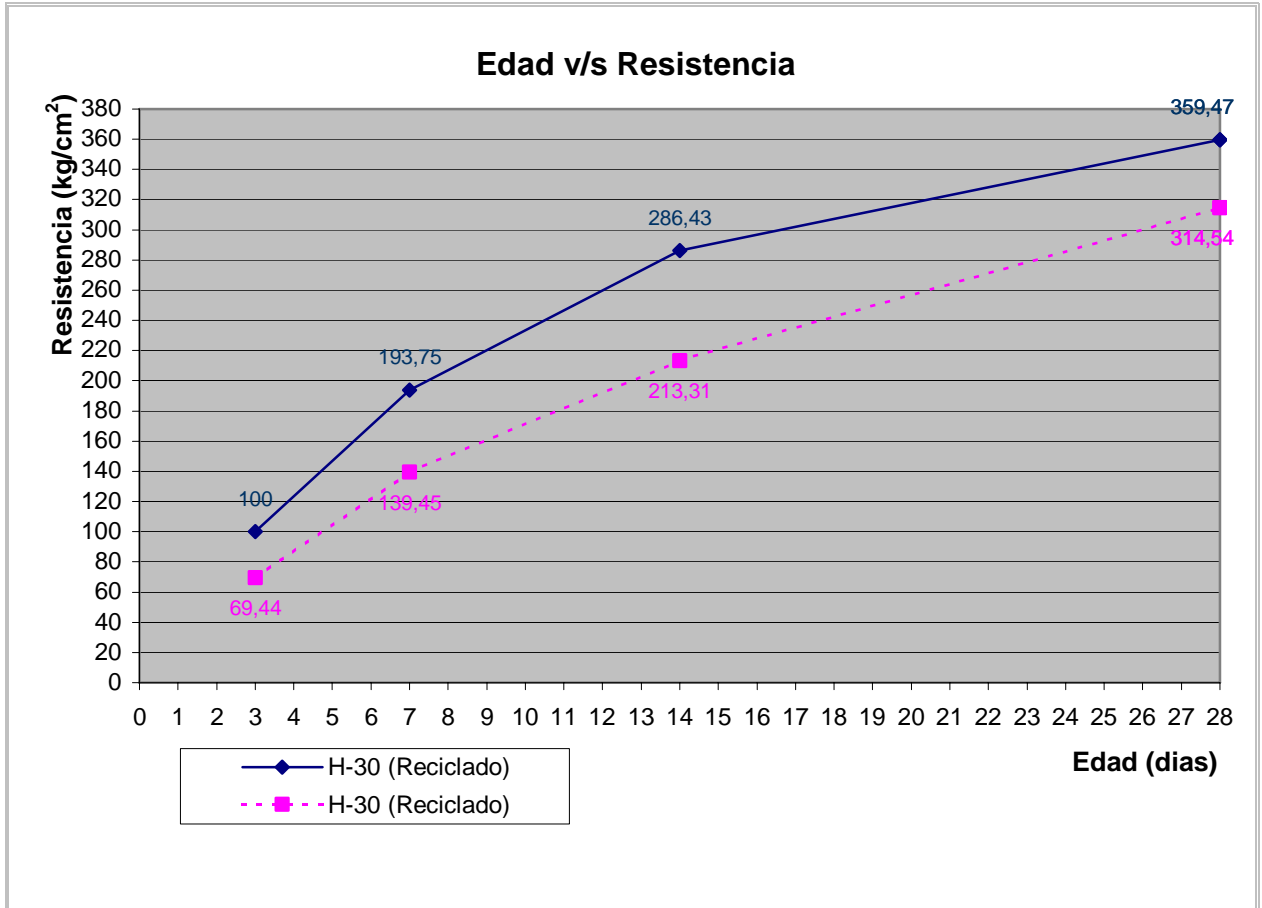


Figura N° 4.4.- Grafico "Edad v/s Resistencia" H-30.

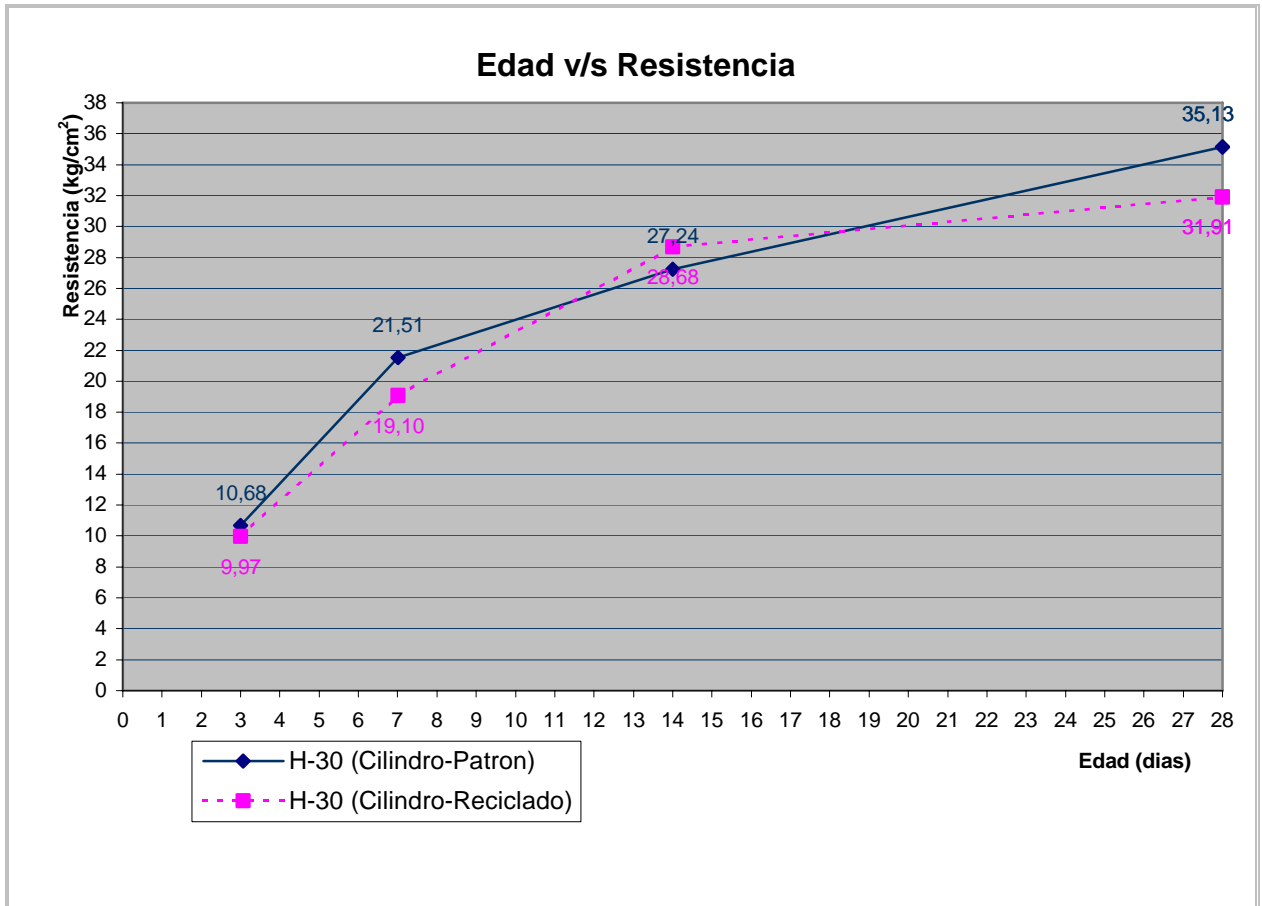


Figura N° 4.5.- Grafico "Edad v/s Resistencia" H-30 (Cilindro).

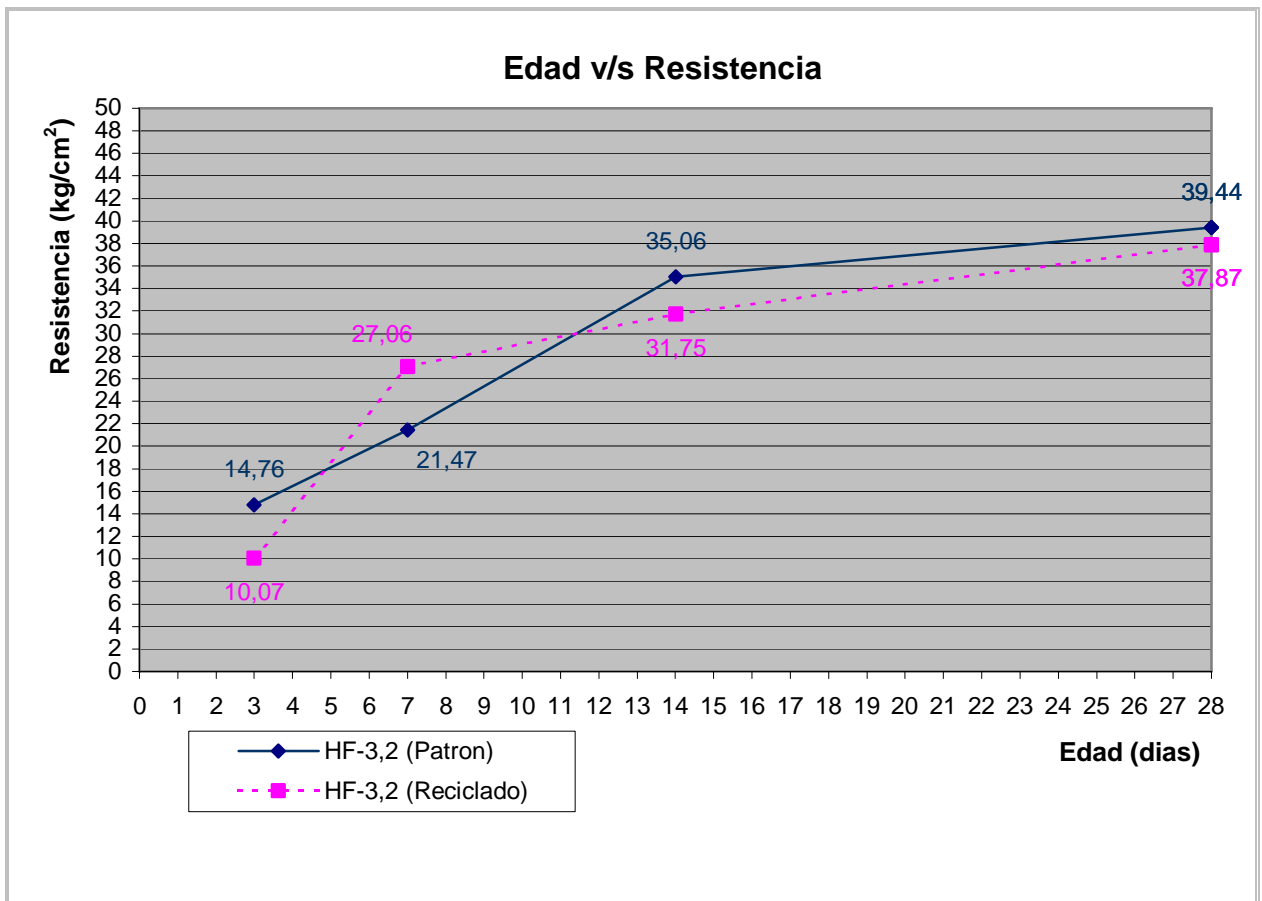


Figura N° 4.6.- Grafico "Edad v/s Resistencia" HF-3,2.

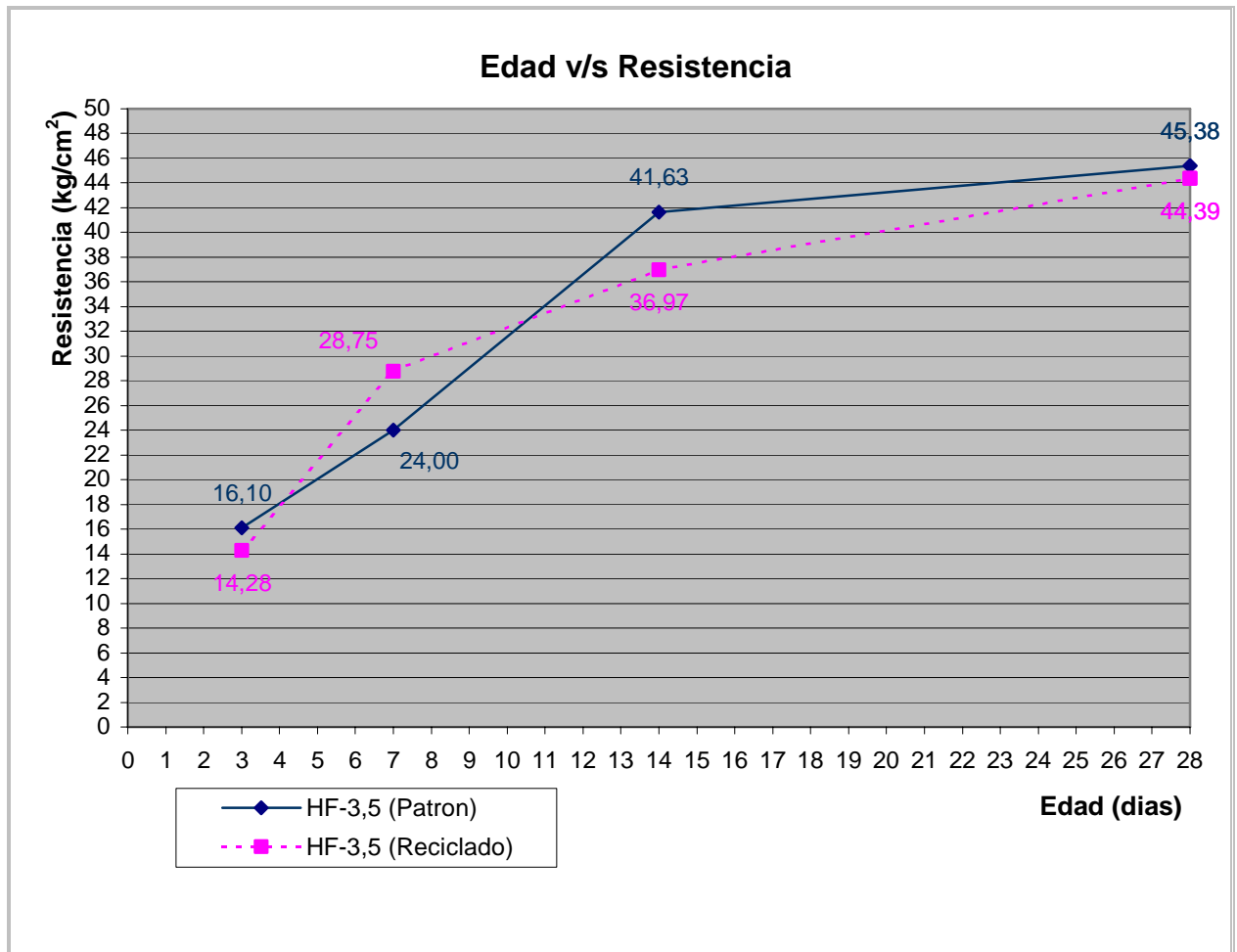


Figura N° 4.7.- Grafico "Edad v/s Resistencia" HF-3,5.

CAPITULO V
CONCLUSIONES

El estudio anteriormente expuesto, nos revela que el reciclado de los áridos es un sistema productivo que entrega un material totalmente utilizable en variadas tareas realizadas en el rubro de la construcción, y este material se puede reemplazar por lo mismo al árido natural ocupado comúnmente.

La legislación dispuesta para el control de la disposición de los residuos de la construcción es escasa , y muy general, ya que solo existen algunas normas, las cuales no son suficientes para lograr que exista una regulación y control eficiente sobre dicho tema. Lo que se necesita es una ley de aplicación general que regule, y enmarque esta actividad, en pro de la protección del medioambiente, y que también se adecue a las características y necesidades de cada región.

En este trabajo se demuestra que los áridos provenientes del reciclaje no poseen la mismas propiedades físicas del árido natural, punto que se tenía en consideración, pero en general estos cumplen con los requisitos impuestos por la norma chilena, lo cual no constituye ningún inconveniente para su utilización. Sin embargo, para controlar aquellas propiedades afectadas severamente es indispensable introducir agentes que proporcionen una mejoría a este tipo de hormigón o soluciones concretas a dicho problema.

Se destaca la notable diferencia de absorción de agua entre los áridos utilizados, la cual llegó a superar en casi 5 veces el valor correspondiente para el árido grueso natural.

Se observó que el asentamiento del Cono de Abrams se ve influenciado principalmente por la dosis de cemento y por el árido chancado presente en la mezcla. En general, se observa un leve descenso del cono en las mezclas con árido reciclado respecto de las mezclas de control; pero dicho problema no arrojaría problemas de trabajabilidad del hormigón, ya que en los ensayos realizados este nunca incumplió con el parámetro impuesto por la dosificación.

Asimismo se ve una leve disminución en la densidad del hormigón, esto esta directamente relacionado con la presencia del árido reciclado.

Los ensayos realizados a los hormigones de prueba, a pesar de que todos arrojaron una leve disminución en su resistencia a los 28 días en relación al hormigón de control, todos cumplieron con el grado especificado. Por lo tanto, se puede decir que es totalmente posible que el hormigón reciclado cumpla con estándares técnicos idénticos a los de un hormigón tradicional.

Por otra parte, aunque en el estudio no se hizo referencia a un proceso de trituración, como sugerencia al momento de tomar la decisión de reciclar hormigón, un punto muy importante es la elección de la maquinaria con la cual se tritura el material, debido a que debe ser compatible con el tamaño de los bloques. Si al contrario, no fuese compatible, se obliga a utilizar un proceso de pre-trituración (demoledores, cinceladores, roto martillos, entre otros), que encarece la producción de estos áridos reciclados y además producirá un colapso en el sistema del chancador.

Otra recomendación importante, al momento de confeccionar el hormigón reciclado se debe tener especial cuidado con el material fino adherido, lo cual implica que este debe ser lavado previamente. Además se debe tener un especial cuidado con la absorción del árido reciclado ya que esta es muy elevada lo cual implica que el árido pueda tomar parte del agua de amasado dispuesta por la dosificación, lo cual seria perjudicial para el hormigón, una solución efectiva para dicho problema es llevar al árido hasta la condición de saturado superficialmente seco, de manera que no presente problemas, al realizar la mezcla, el agua con los áridos.

Por ultimo, es importante recalcar que el mayor aporte que realiza este trabajo es dar a conocer el uso del árido reciclado como material agregado en la confección de la mezcla de hormigón, uso que no es muy conocido y practicado en el país.

BIBLIOGRAFÍA.-

- CONAMA, 2005, “Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos”, CONAMA, Chile.
- De la Fuente, 1999. “Gestión de los Residuos Sólidos de la Construcción”, manual de Construcción Limpia, Cámara Chilena de la Construcción, Chile.
- MOP; MINVU y CChC, 2001, “Industria del Árido en Chile” Vol. 1, 1^{era} Edición, Corporación de Desarrollo Tecnológico, Chile.
- MOP; MINVU y CChC, 2001, “Industria del Árido en Chile” Vol. 2, 1^{era} Edición, Corporación de Desarrollo Tecnológico, Chile.
- Alfonso Aguilar. Reciclado de materiales de construcción, Octubre 1999 [en línea]: Revista Residuos, España.
Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/aconst1.html>.
- Revista Ambientum, Edición marzo 2003 – Suelos y Residuos.
- 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 la Granulometría”.
- NCh 170. Of. 1985, “Hormigón – Requisitos Generales”.
- NCh 171. EOf. 1975, “Hormigón – Extracción de Muestras del Hormigón”.
- NCh 1017. EOf. 1975, “Hormigón – Confección y Curado en obra de probetas para Ensayos de Compresión y Tracción”.
- NCh 1019. EOf. 1974, “Hormigón – Determinación de la Docilidad. Método del Asentamiento del Cono de Abrams”.

- NCh 1037. Of. 1977, “Hormigón – Ensayo de Compresión de Probetas Cúbicas y Cilíndricas”.
- NCh 1038. Of. 1977, “Hormigón – Ensayo de Tracción por Flexión”.
- NCh 1116. Of. 1977, “Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación de la Densidad Aparente”.
- NCh 1117. Of. 1977, “Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación de la Densidad Real y Neta, y la Absorción de agua de las Gravas”.
- NCh 1170. Of. 1977, “Hormigón – Ensayo de Tracción por Hendimiento”.
- NCh 1223. Of. 1977, “Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación del Material fino menor que 0.080 mm”.
- NCh 1239. Of. 1977, “Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación de la Densidad Real y Neta de agua en las arenas”.
- NCh 1326. Of. 1977, “Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación de Huecos”.
- NCh 1369. Of. 1978, “Áridos – Determinación del Desgaste de las Gravas – Método de la Maquina de los Ángeles”.

ANEXOS

Tabla A.2.- Cálculos.							
fr.	kgf/cm ²	190	240	290	340	328	355
Razón A/C	-	0,6333	0,5625	0,5000	0,4500	0,4620	0,4500
Dosis agua	Lts.	170	170	170	170	170	170
Cemento	kg.	268	302	340	378	368	378
Vol. Arido	Lts.	731	719	707	694	697	694
Peso Aridos	kg.	1.878	1.849	1.817	1.784	1.793	1.784
Peso Grava	kg.	563	555	545	535	538	535
Peso Gravilla	kg.	563	555	545	535	538	535
Peso Arena	kg.	751	740	727	714	717	714
Volumen Grava	Lts.	360	354	348	342	343	342
Volumen Gravilla	Lts.	351	346	340	334	335	334
Volumen Arena	Lts.	501	493	484	476	478	476

Tabla A.3.- Cuadro resumen.									
Hormigón Grado	Cemento kg.	Agua lts.	Grava		Gravilla		Arena		Cono Abrams cm.
			kg.	lts.	kg.	lts.	kg.	lts.	
H-15	268	170	563	360	563	351	751	501	6 - 9
H-20	302	170	555	354	555	346	740	493	6 - 9
H-25	340	170	545	348	545	340	727	484	6 - 9
H-30	378	170	535	342	535	334	714	476	6 - 9
HF-3,2	368	170	538	343	538	335	717	478	6 - 9
HF-3,5	378	170	535	342	535	334	714	476	6 - 9

Tabla B.2.- Cálculos.							
fr	kgf/cm ²	190	240	290	340	328	355
Razon A/C	-	0,6333	0,5625	0,5000	0,4500	0,4620	0,4500
Dosis agua	Lts.	170	170	170	170	170	170
Cemento	kg.	268	302	340	378	368	378
Vol. Arido	Lts.	731	719	707	694	697	694
Peso Aridos	kg.	1.802	1.774	1.743	1.712	1.720	1.712
Peso Grava	kg.	1117	1100	1081	1062	1067	1062
Peso Arena	kg.	685	674	662	651	654	651
Volumen Grava	Lts.	931	917	901	885	889	885
Volumen Arena	Lts.	457	450	442	434	436	434

Tabla B.3.- Cuadro resumen.							
Hormigón	Cemento	Agua	Grava		Arena		Asentamiento cono
Grado	kg.	lts.	kg.	lts.	kg.	lts.	cm.
H-15	268	170	1117	931	685	457	6 - 9
H-20	302	170	1100	917	674	450	6 - 9
H-25	340	170	1081	901	662	442	6 - 9
H-30	378	170	1062	885	651	434	6 - 9
HF-3,2	368	170	1067	889	654	436	6 - 9
HF-3,5	378	170	1062	885	651	434	6 - 9

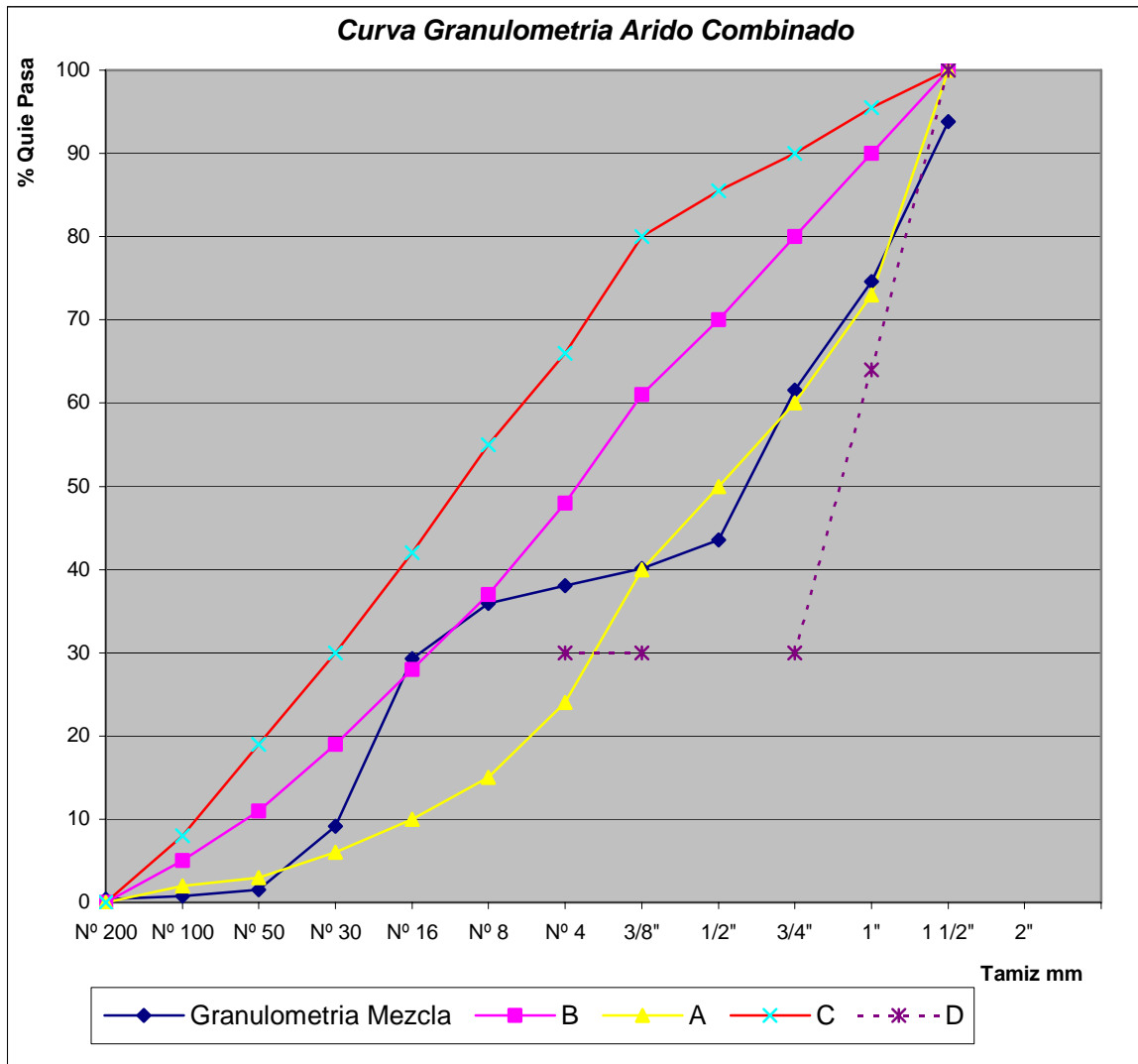


Figura B.1.- Grafico "Curva Granulométrica Árido Combinado".