

Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela Ingeniería en Construcción

"ALBAÑILERÍA RECICLADA PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN."

Tesis para optar al Título de:
Ingeniero Constructor.

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

GERMAN ORLANDO SILVA CALFUEQUE
VALDIVIA - CHILE
-2007-.

DEDICATORIA.

En primer lugar dedico todo mi trabajo a Dios por haberme dado la oportunidad de estudiar y por estar siempre cuidando de mí, apoyándome y guiándome en los momentos en los cuales más lo necesite.

En segundo lugar a mis padres Orlando y Maria por todo el sacrificio que les significo financiar mis estudios.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a mi profesor guía el señor José Arrey por su apoyo para llevar a buen termino la presente investigación. También agradezco a todo el personal del laboratorio L.E.M.C.O. por su buena disposición, en forma especial a.

-Fernando Soto.

-Rodrigo Torres.

-Leonardo Gómez.

-Marcelo Uribe.

También agradezco a mi amiga Carolina y a mis amigos y futuros colegas al Toño y al Dennis.

INDICE DE CONTENIDO.

| TEMA | Pág. |
|--|-------------|
| CAPITULO I: HORMIGÓN. | |
| 1.1.- Antecedentes generales | 1 |
| 1.2.- Materiales constituyentes del hormigón. | 2 |
| 1.2.1.- Cemento. | 3 |
| 1.2.2.- Áridos. | 4 |
| 1.2.2.1.- Condiciones que deben cumplir los áridos. | 5 |
| 1.2.3.- Agua. | 6 |
| 1.3.- Procesos y propiedades del hormigón fresco y endurecido. | 7 |
| 1.3.1.- Procesos que experimenta el hormigón fresco. | 7 |
| 1.3.1.1.- Exudación del agua de amasado. | 7 |
| 1.3.1.2.- Variaciones de volumen. | 9 |
| 1.3.1.3.- Falso fraguado del cemento. | 10 |
| 1.3.2.- Propiedades del hormigón endurecido. | 10 |
| 1.3.2.1.- Densidad. | 11 |
| 1.3.2.2.- Resistencia. | 11 |
| 1.3.2.3.- Durabilidad. | 12 |
| 1.3.2.3.- Variaciones de volumen. | 12 |
| 1.3.2.4.- Propiedades elásticas y plásticas. | 15 |
| 1.3.2.5.- Permeabilidad del hormigón. | 17 |
| 1.3.2.6.- Durabilidad del hormigón. | 18 |
| CAPITULO II: ALBAÑILERIA. | |
| 2.1.- Antecedentes generales. | 19 |
| 2.2.- Materiales constituyentes de la albañilería. | 20 |
| 2.2.1.- Ladrillo cerámico. | 20 |

| | |
|---|----|
| 2.2.1.1.- Orígenes e Historia del ladrillo. | 21 |
| 2.2.1.2.- Clasificación de ladrillos cerámicos. | 22 |
| 2.2.2.- Morteros | 23 |
| 2.2.2.1.- Requisitos del mortero. | 24 |

CAPITULO III: RECICLADO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

| | |
|---|----|
| 3.1.- Generalidades. | 25 |
| 3.2.- Generación y composición de los residuos de construcción. | 25 |
| 3.3.-Gestión de los residuos de construcción. | 27 |
| 3.4.- Recuperación, reutilización y reciclado de los residuos de la construcción. | 28 |
| 3.5.- Consideraciones medioambientales. | 32 |
| 3.6.- Situación actual del país. | 34 |

CAPITULO IV: PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL.

| | |
|--|----|
| 4.1.- Generalidades. | 35 |
| 4.2.- Planificación del estudio experimental. | 35 |
| 4.3.- Estudio de los áridos. | 36 |
| 4.3.1.- Antecedentes. | 36 |
| 4.3.2.- Ensayos realizados a los áridos para la dosificación. | 36 |
| 4.4.- Estudio de los áridos reciclados. | 40 |
| 4.4.1.- Antecedentes. | 40 |
| 4.4.2.- Clasificación y limpieza del material reciclado utilizado. | 40 |
| 4.4.3.- Forma de trituración del material reciclado. | 41 |
| 4.4.4.- Tamaño de las partículas. | 41 |
| 4.4.5.- Ensayos realizados a los áridos reciclados para la dosificación. | 42 |

| | |
|--|----|
| 4.4.6.- Caracterización de los áridos reciclados. | 44 |
| 4.5.- Dosificación de hormigones. | 45 |
| 4.5.2.- Dosificación del hormigón patrón. | 45 |
| 4.5.3.- Dosificación del hormigón con árido reciclado. | 51 |
| 4.5.4.- Porcentajes de áridos a reemplazar. | 52 |
| CAPITULO V: PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS. | |
| 5.1.- Generalidades. | 60 |
| 5.2.- Confección y curado de probetas para ensayos. | 60 |
| 5.3.- Ensayos y sus resultados. | 63 |
| 5.3.1.- Determinación de la docilidad. | 63 |
| 5.3.2.- Determinación de la densidad. | 66 |
| 5.3.3.- Determinación de las resistencias. | 69 |
| CAPITULO VI: CONCLUSIONES. | 83 |
| BIBLIOGRAFIA. | 87 |
| ANEXOS. | |
| Anexo 1: Decreto Supremo N° 745 (D. Of . 08-06-93), “Reglamento sanitario y Ambiental en los lugares de trabajo”. | |
| Anexo 2: Resolución N° 2.444 (D. Of. 07-80), “Normas sanitarias mínimas para la operación de basurales. | |
| Anexo 3: Otras normas. | |
| Anexo 4: Imagen planta móvil procesadora de áridos reciclados (España) | |

INDICE DE TABLAS.

| TABLA | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla N° 1: Clasificación de los cementos según su composición. | 3 |
| Tabla N°2: Clasificación de los cementos según su resistencia. | 4 |
| Tabla N°3: Normas que rigen los ensayos del cemento. | 4 |
| Tabla N°4: Clasificación de los ladrillos hechos a maquina. | 22 |
| Tabla N°5: Grados de los ladrillos cerámicos. | 22 |
| Tabla N°6: Criterios de forma y terminación. | 23 |
| Tabla N°7: Requisitos del mortero. | 24 |
| Tabla N°8: Granulometría de la grava. | 36 |
| Tabla N°9: Granulometría de la gravilla. | 37 |
| Tabla N°10: Granulometría de la arena. | 38 |
| Tabla N°11: Resultado densidades aparentes grava, gravilla y arena. | 38 |
| Tabla N°12: Resultados de ensayos de densidades reales netas y absorción de la grava. | 39 |
| Tabla N°13: Resultados de ensayos de densidades reales netas y absorción de la gravilla. | 39 |
| Tabla N°14: Resultados de ensayos de densidades reales netas y absorción de la arena. | 39 |
| Tabla N°15: Granulometría de la albañilería reciclada gruesa. | 42 |
| Tabla N°16: Granulometría de la albañilería reciclada media. | 42 |
| Tabla N°17: Densidad aparente áridos reciclados. | 43 |
| Tabla N°18: Resultados de densidades reales, netas y absorción de Alb. Rec. Gruesa. | 43 |
| Tabla N°19: Resultados de densidades reales, netas y absorción de Alb. Rec. Media. | 43 |
| Tabla N°20: Resumen de granulometrías según material grueso, medio y fino. | 45 |
| Tabla N°21: Porcentajes retenidos. | 46 |
| Tabla N°22: Porcentajes de material grueso, medio y fino. | 46 |
| Tabla N°23: Datos obtenidos del triangulo de Feret. | 46 |
| Tabla N°24: Porcentajes a incorporar en la mezcla. | 46 |
| Tabla N°25: Ajustes de grava, gravilla y arena a las bandas de especificación. | 47 |

| | |
|---|----|
| Tabla N°26: Resumen Dosificación H-25 para un metro cúbico. | 50 |
| Tabla N°27: Resumen de dosificación H-25 para 26 lts. | 50 |
| Tabla N°28: Resumen Dosificación H-30 para un metro cúbico. | 50 |
| Tabla N°29: Resumen de dosificación H-30 para 26 lts. | 50 |
| Tabla N°30: Resumen Dosificación HF 3.6 para un metro cúbico. | 51 |
| Tabla N°31: Resumen de dosificación HF 3.6 para 50 lts | 51 |
| Tabla N°32: Resumen Dosificación H-25 con 10% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 53 |
| Tabla N°33: Resumen de dosificación H-25 con 10% Alb. Rec. Para 26 lts. | 53 |
| Tabla N°34: Resumen Dosificación H-25 con 20% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 53 |
| Tabla N°35: Resumen de dosificación H-25 con 20% albañilería reciclada para 26 lts. | 53 |
| Tabla N°36: Resumen Dosificación H-25 con 30% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 54 |
| Tabla N°37: Resumen de dosificación H-25 con 30% Alb. Rec. Para 26 lts. | 54 |
| Tabla N°38: Resumen Dosificación H-25 con 40% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 54 |
| Tabla N°39: Resumen de dosificación H-25 con 40% Alb. Rec. Para 26 lts. | 54 |
| Tabla N°40: Resumen Dosificación H-25 con 50% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 55 |
| Tabla N°41: Resumen de dosificación H-25 con 50% Alb. Rec. Para 26 lts. | 55 |
| Tabla N°42: Resumen Dosificación H-30 con 10% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 55 |
| Tabla N°43: Resumen de dosificación H-30 con 10% Alb. Rec. Para 26 lts. | 55 |
| Tabla N°44: Resumen Dosificación H-30 con 20% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 56 |
| Tabla N°45: Resumen de dosificación H-30 con 20% Alb. Rec. Para 26 lts. | 56 |
| Tabla N°46: Resumen Dosificación H-30 con 30% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 56 |
| Tabla N°47: Resumen de dosificación H-30 con 30% Alb. Rec. Para 26 lts. | 56 |
| Tabla N°48: Resumen Dosificación H-30 con 40% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 57 |
| Tabla N°49: Resumen de dosificación H-30 con 40% Alb. Rec. Para 26 lts. | 57 |
| Tabla N°50: Resumen Dosificación H-30 con 50% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 57 |
| Tabla N°51: Resumen de dosificación H-30 con 50% Alb. Rec. Para 26 lts. | 57 |
| Tabla N°52: Resumen Dosificación HF 3.6 con 10% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 58 |

| | |
|---|----|
| Tabla N°53: Resumen de dosificación HF 3.6 con 10% Alb. Rec. Para 50 lts. | 58 |
| Tabla N°54: Resumen Dosificación HF 3.6 con 20% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 58 |
| Tabla N°55: Resumen de dosificación HF 3.6 con 20% Alb. Rec. Para 50 lts. | 58 |
| Tabla N°56: Resumen Dosificación HF 3.6 con 30% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 59 |
| Tabla N°57: Resumen de dosificación HF 3.6 con 30% Alb. Rec. Para 50 lts. | 59 |
| Tabla N°58: Resumen Dosificación HF 3.6 con 40% Alb. Rec. Para un metro cúbico. | 59 |
| Tabla N°59: Resumen de dosificación HF 3.6 con 40% Alb. Rec. Para 50 lts. | 59 |
| Tabla N°60: Resultados de la medición de cono Abrams, H-25. | 63 |
| Tabla N°61: Resultados de la medición de cono Abrams, H-30. | 64 |
| Tabla N°62: Resultados de la medición de cono Abrams, HF 3.6. | 65 |
| Tabla N°63: Densidades promedios H-25. | 66 |
| Tabla N°64: Densidades promedios H-30. | 67 |
| Tabla N°65: Densidades promedios HF 3.6. | 68 |
| Tabla N°66: Resistencia H-25 a los 3 días según % Alb. Rec. Utilizada. | 70 |
| Tabla N°67: Resistencia H-25 a los 7 días según % Alb. Rec. Utilizada. | 71 |
| Tabla N°68: Resistencia H-25 a los 14 días según % Alb. Rec. Utilizada. | 72 |
| Tabla N°69: Resistencia H-25 a los 28 días según % Alb. Rec. Utilizada. | 73 |
| Tabla N°70: Resistencia H-30 los 3 días según % Alb. Rec. Utilizada. | 75 |
| Tabla N°71: Resistencia H-30 los 7 días según % Alb. Rec. Utilizada. | 76 |
| Tabla N°72: Resistencia H-30 a los 14 días según % Alb. Rec. Utilizada. | 77 |
| Tabla N°73: Resistencia H-30 los 28 días según % Alb. Rec. Utilizada. | 78 |
| Tabla N°74: Resistencia compresión HF 3.6, según % Alb Rec. Utilizada. | 80 |
| Tabla N°75: Resistencia flexotracción HF 3.6, según % Alb Rec. Utilizada. | 82 |

INDICE DE IMÁGENES.

| IMAGEN | Pág. |
|---|-------------|
| Imagen N°1: Acopio de materiales. | 2 |
| Imagen N°2: Curva de relación Tensión - Deformación. | 16 |
| Imagen N°3: Construcciones de albañilería. | 19 |
| Imagen N°4: Mortero de pega. | 24 |
| Imagen N°5: Áridos utilizados para el estudio. | 37 |
| Imagen N°6: Reciclaje de albañilería. | 40 |
| Imagen N°7: Áridos reciclados utilizados para el estudio. | 41 |
| Imagen N°8: Triangulo de Feret. | 46 |
| Imagen N°9: Probetas construidas con altos % de áridos reciclados. | 52 |
| Imagen N°10: Moldes cúbicos de 15 x 15 cm. Provistos de una capa desmoldante. | 60 |
| Imagen N°11: Probetas recién construidas. | 61 |
| Imagen N°12: Desmolde de probetas. | 61 |
| Imagen N°13: Probetas sumergidas en la piscina de curado. | 62 |
| Imagen N°14: Cono de Abrams. | 63 |
| Imagen N°15: Probeta en la maquina de compresión. | 69 |
| Imagen N°16: Ensayo de probetas compresión. | 69 |
| Imagen N°17: Probeta ensayada con 20% albañilería reciclada. | 70 |
| Imagen N°18: Ensayo de probetas a flexotracción. | 81 |
| Imagen N°19: Probetas después de ser ensayadas a flexotracción. | 81 |

INDICE DE GRAFICOS.

| GRAFICO | Pág. |
|---|-------------|
| Grafico N°1: Variación de la docilidad del hormigón H-25, según % Alb. Rec. Utilizada. | 63 |
| Grafico N°2: Variación de la docilidad del hormigón H-30, según % Alb. Rec. Utilizada. | 64 |
| Grafico N°3: Variación de la docilidad del hormigón HF 3.6, según % Alb. Rec. Utilizada. | 65 |
| Grafico N°4: Variación promedio de las densidades H-25. | 66 |
| Grafico N°5: Variación promedio de las densidades H-30. | 67 |
| Grafico N°6: Variación promedio de las densidades HF 3.6. | 68 |
| Grafico N°7: Resistencia compresión H-25 a los 3 días, según % Alb. Rec. Utilizada. | 70 |
| Grafico N°8: Resistencia compresión H-25 a los 7 días, según % Alb. Rec. Utilizada. | 71 |
| Grafico N°9: Resistencia compresión H-25 a los 14 días, según % Alb. Rec. Utilizada. | 72 |
| Grafico N°10: Resistencia compresión H-25 a los 28 días, según % Alb. Rec. Utilizada. | 73 |
| Grafico N°11: Superposición de gráficos de resistencia H-25, según % Alb. Rec. Utilizada. | 74 |
| Grafico N°12: Resistencia compresión H-30 a los 3 días, según % Alb. Rec. Utilizada. | 75 |
| Grafico N°13: Resistencia compresión H-30 a los 7 días, según % Alb. Rec. Utilizada. | 76 |
| Grafico N°14: Resistencia compresión H-30 a los 14 días, según % Alb. Rec. Utilizada. | 77 |
| Grafico N°15: Resistencia compresión H-30 a los 28 días, según % Alb. Rec. Utilizada. | 78 |
| Grafico N°16: Superposición de gráficos de resistencia H-30, según % Alb. Rec. Utilizada. | 79 |
| Grafico N°17: Resistencia compresión HF 3.6, según % Alb. Rec. Utilizada. | 80 |
| Grafico N°18: Resistencia flexotracción HF 3.6, según % Alb. Rec. Utilizada. | 82 |

RESUMEN.

En el presente trabajo se estudio el comportamiento del hormigón al reemplazar distintos porcentajes de áridos, por material reciclado proveniente de escombros de albañilería de ladrillos de arcilla. Para esto se confeccionaron mezclas patrón (sin aditivo), y mezclas de prueba con distintas dosis de material reciclado. En cada mezcla de prueba se determinó la docilidad, densidad y la resistencia (compresión y flexotracción) del hormigón.

Finalmente se desarrollo un análisis comparativo entre todos los resultados obtenidos, llegándose a la conclusión que el material provenientes de escombros de albañilería, solo se puede utilizar en pequeñas proporciones en la elaboración de hormigón, ya que en la medida que se incrementa su presencia se producen efectos negativos en la docilidad y resistencia del hormigón fabricado.

ABSTRACT.

In the following work the behavior of the concrete was studied when we replaced with different percentage from barren, by clay brick masonry originating recycled rubbish material. For this mixtures were made pattern (without additive), and mixtures of test with different doses from recycled material. In each mixture of test was determined the docilidad, density and the resistance (compression and flexotracción) of the concrete.

It was developed a comparative analysis between all the obtained results, reaching the conclusion that the masonry rubbish material originating, single can be used in small proportions in the concrete elaboration, since in the measurement that is increased their presence negative effects in the docilidad and resistance of the made concrete take place.

INTRODUCCION.

Actualmente los residuos de la construcción y demolición (RCD), constituyen cada día un problema más importante para nuestra sociedad. En Chile los escombros de la construcción no se aceptan en vertederos debido a su gran volumen, pero a la vez tampoco existe una ley en el país que prohíba botarlos en cualquier terreno porque no son considerados tóxicos. La situación anteriormente expuesta tiene como consecuencia que estos escombros sean reubicados en grandes extensiones de tierra que podrían ser perfectamente utilizadas para desarrollar otras actividades productivas.

Los residuos de la construcción y demolición se componen principalmente de materiales cerámicos y hormigón, y en menor proporción de madera, metales y plásticos. A su vez, se consumen numerosas toneladas de áridos destinadas a la fabricación de hormigón, mortero, aglomerados asfálticos, prefabricados, construcción de bases, sub bases, rellenos de carreteras, entre otros usos. Si bien es cierto en el país actualmente existe una gran abundancia de áridos, es necesario tener en cuenta que este recurso no es renovable, por otro lado, su extracción en forma irresponsable produce graves impactos ambientales entre los cuales se puede mencionar cambios en el paisaje y en la forma del caudal de los ríos.

En este trabajo de tesis se investigara la posibilidad de reutilizar los residuos de albañilería. Específicamente se estudiara el comportamiento del hormigón al utilizar determinados porcentajes de material reciclado proveniente de albañilería de ladrillos de arcilla como reemplazos de áridos. Para esto se confeccionaran mezclas patrón (sin aditivo), y mezclas de prueba con distintas dosis de material reciclado. En cada mezcla de prueba se determinara la docilidad, densidad y la resistencia (compresión y flexotracción) del hormigón.

La experiencia europea en esta materia es amplia e incluye catálogos de residuos utilizables en geotecnia, carreteras y estructuras, entre los cuales se encuentran los escombros de hormigón, albañilería y mampostería. Es más, en España ya existen diez plantas de reciclado de áridos y se prevé la apertura de nuevas.

OBJETIVOS.

OBJETIVOS GENERALES.

Evaluar experimentalmente las propiedades del hormigón fabricado con distintas dosis de agregados reciclados, provenientes de albañilería de ladrillos de arcilla y comparar sus resultados con los del hormigón convencional.

Determinar un porcentaje en el cual sea recomendable el uso de este material reciclado, para la confección de hormigón.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Determinar la resistencia (compresión y flexotracción) del hormigón al reemplazar distintos porcentajes de áridos por áridos reciclados.
- Determinar la densidad del hormigón con presencia de áridos reciclados
- Determinar la docilidad del hormigón con áridos reciclados.

CAPITULO I.

HORMIGÓN.

1.1.- ANTECEDENTES GENERALES.

El hormigón es sin lugar a dudas uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo. La norma chilena Nch170 Of.85 define hormigón como: **“Material que resulta de la mezcla de cemento , grava, arena, agua, eventualmente aditivos y adiciones en proporciones adecuadas que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia”**.

Cuando el hormigón se encuentra recién mezclado debe presentar una condición plástica, que facilite las operaciones indispensables para su colocación en los moldes y con el paso del tiempo este debe ser capaz de adquirir una cohesión y resistencia, esto va a depender en gran medida de la buena compactación que se le realice, que lo hagan apto para ser empleado en la gran variedad obras de ingeniería como autopistas, calles, puentes, túneles, presas, grandes edificios, etc.

Al unirse el cemento con el agua, se inicia un proceso químico denominado hidratación, del cual resulta el endurecimiento gradual del hormigón. Es importante destacar que este endurecimiento puede continuar indefinidamente en el tiempo bajo condiciones favorables tanto de humedad como de temperatura, lo cual se traduce en un aumento de la capacidad resistente del hormigón. Una de las propiedades mas notables y por supuesto la mas importantes de las muchas que tiene el hormigón es su resistencia, la que puede ser predeterminada y esta directamente relacionada con la características de sus materiales componentes. Si se mezclan los materiales en las proporciones adecuadas, el hormigón puede soportar fuerzas de compresión elevadas. Su resistencia longitudinal es baja, pero reforzándolo con acero y a través de un diseño adecuado se puede hacer que la estructura sea tan resistente a

las fuerzas longitudinales como a la compresión. Su larga duración se evidencia en la conservación de columnas construidas por los egipcios hace más de 3.600 años.

Otras de las características que han hecho del hormigón un material ampliamente utilizado en la construcción de diversas obras de ingeniería son:

- Facilidad de producción utilizando materiales de amplia difusión en cualquier país del mundo.
- Facilidad para conferir cualquier forma, gracias a la plasticidad que posee este en su etapa inicial.
- Posibilidad de prever y adaptar sus características a cualquier tipo de exigencia.
- Posibilidad de construcción utilizando recursos simples o complejos según la naturaleza de la obra.
- Buena durabilidad y resistencia a la corrosión, a condiciones ambientales desfavorables y al fuego.

1.2.- MATERIALES CONSTITUYENTES DEL HORMIGÓN.



Imagen N°1: Acopio de materiales.

1.2.1.- Cemento.

El cemento es un polvo finísimo de color gris que al ser mezclado con agua endurece tanto bajo el agua como al aire, por la cualidad de endurecer bajo el agua es definido como un conglomerante hidráulico, su velocidad de endurecimiento depende de la temperatura a la cual se este trabajando.

Los componentes principales del cemento son la caliza (cal) y sílice (arcilla o escoria de alto horno). Estos son mezclados en proporciones adecuadas y sometidos a un proceso de fusión en un horno rotatorio, dando creación al clínquer. Este posteriormente será sometido a molinos de bola convirtiéndolo en polvo finísimo.

Una vez que el clínquer se encuentra en este estado se le agrega yeso más menos un 5% del peso. Este porcentaje cumple la función de regular el proceso de fraguado del cemento, el cual si no lo contiene endurecería en forma casi inmediata. Cemento Portland, es denominado al cemento que sigue el procedimiento descrito anteriormente. También existen los cementos Portland con adiciones o especiales, los cuales a demás de mantener las características del Portland poseen otras propiedades especiales relacionadas principalmente con la durabilidad y la resistencia química.

➤ Clasificación de los Cementos fabricados en Chile.

Según la norma Nch 148 los Cementos nacionales se clasifican por su composición y su resistencia:

❖ Según su composición.

| Denominación | Proporción de los componentes | | |
|----------------------|-------------------------------|----------|---------|
| | Clínquer | Puzolana | Escoria |
| Pórtland | 100% | - | - |
| Portland Puzolánico | ≥70% | ≤30% | - |
| Portland Siderúrgico | ≥70% | - | ≤30% |
| Puzolánico | 50-70% | 30-50% | - |
| Siderúrgico | 25-70% | - | 30-75% |

Tabla N° 1: Clasificación de los cementos según su composición.
Fuente: Comprendió de tecnología del hormigón.

❖ Según su resistencia.

| Grado | Tiempo de fraguado | | Resistencias mínimas | | | |
|---------------------|--------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | | | Compresión | | Flexión | |
| | Inicial (min.) | Final (Máx.) | 7 Días Kgf/cm ² | 28 Días Kgf/cm ² | 7 Días Kgf/cm ² | 28 Días Kgf/cm ² |
| Corriente | 60 min. | 12h | 180 | 250 | 35 | 45 |
| Alta Resistencia | 45 min. | 10h | 250 | 350 | 45 | 55 |

Tabla N°2: Clasificación de los cementos según su resistencia.

Fuente: Comprendió de tecnología del hormigón.

❖ Normativa.

| Características | Norma de ensayo |
|----------------------|-----------------|
| Densidad real | Nch 154 |
| Tiempo de Fraguado | Nch 152 |
| Consistencia normal | Nch 151 |
| Finura _Sist. Blaine | Nch 159 |
| _Sist. Wagner | Nch 149 |
| _Tamizado | Nch 150 |
| Resistencia | Nch 158 |
| Calor de Hidratación | ASTM C 186 |
| Expansión Autoclave | Nch 157 |

Tabla N° 3: Normas que rigen los ensayos del cemento.

Fuente: Comprendió de tecnología del hormigón.

1.2.2.- Áridos.

Según la norma chilena NCh 163. Of 79, los áridos se pueden definir como el material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaños estables, ocupan entre el 65 y el 75% de volumen total de hormigón. Es de gran importancia su elección y control ya que de sus características dependerá la docilidad del hormigón fresco y la posterior resistencia que alcance una vez endurecido, también de sus condiciones dependerá la durabilidad de las estructuras y la economía de sus mezclas, en conclusión de sus características dependerá la calidad final del hormigón.

1.2.2.1.- Condiciones que deben cumplir los Áridos.

Para su buena integración en el hormigón el árido debe cumplir, con todas las condiciones exigidas en la norma Nch163. Of 79.

Las condiciones pueden resumirse en tres grupos:

❖ Docilidad.

La docilidad es de gran importancia ya que de ella depende la facilidad que podamos obtener, para manejar el hormigón en estado fresco.

Es importante mencionar que esta relacionada directamente con:

- La composición granulométrica que tengan los áridos, la cual será regulada por las normas Nch165 y Nch 163.

- El contenido de granos finos, el que es regulado por las normas Nch 163 y Nch 1223.

- Forma de los granos, regulada por las normas Nch 163 y Nch 1511.

- Porosidad, regulada por las normas Nch 163, Nch 1239 y Nch 1117.

❖ Resistencia Propia.

El árido debe ser capaz de resistir condiciones ambientales y las tensiones para las cuales será diseñado. Una forma indirecta de medir esta resistencia es someter la muestra a los ensayos de Desgaste de grava por el método de la máquina de los Ángeles, partículas desmenuzables, cuyos ensayos serán regidos por las normas Nch 1369 y Nch 1327 respectivamente. Además de cumplir con estas normas de ensayo los áridos deberán satisfacer los requisitos mínimos especificados en la Nch 163.

❖ Estabilidad Físico-Química.

El Árido debe ser capaz de soportar las condiciones físico-químicas provocadas por el ambiente al que será expuesto.

En su estabilidad química los áridos deberán presentar inalterabilidad ante los compuestos producidos durante el proceso de fraguado. Además el árido no debe poseer productos nocivos que puedan alterar el proceso de fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento.

Por otro lado en su estabilidad física el árido debe ser capaz de soportar los ciclos alternados de temperaturas altas y bajas (ciclos de hielo-deshielo).

➤ **Factores a considerar al momento de elegir los áridos.**

❖ Deben preferirse áridos de calidad conocida, normalmente de proveedores o plantas establecidas formalmente, que anteriormente hayan abastecido obras con buenos resultados.

❖ Se debe tener certeza que los áridos poseen la calidad requerida de modo que los hormigones cumplan las especificaciones del proyecto, particularmente si existen requisitos especiales como altas resistencias mecánicas, resistencia a la abrasión o al desgaste, resistencia a los ciclos hielo-deshielo, etc.

❖ El proveedor de áridos debe ser capaz de certificar sus materiales al igual que cualquier otro proveedor.

❖ Es fundamental contar con un abastecimiento de áridos de calidad homogénea. Toda variación en la calidad del árido será transmitida directamente al hormigón.

❖ Si existen dudas con respecto de la calidad de los áridos, se deben confeccionar mezclas de prueba en laboratorio y en terreno para verificar su aptitud.

1.2.3.- Agua.

La presencia del agua es imprescindible en la confección de los hormigones, ya que tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de mezclas, otorgándole trabajabilidad al hormigón fresco y como medio de curado en las estructuras recién construidas, proceso que consiste en lograr que el material disponga del agua que necesita el cemento para hidratarse y mantenerse en condiciones moderadas de temperatura.

Como componente del hormigón convencional el agua representa aproximadamente entre el 10 y el 25% del volumen del hormigón recién mezclado, dependiendo del tamaño

máximo del agregado que se utilice y de la docilidad que se requiera. El agua debe cumplir con ciertos requisitos lo que son regulados por la norma Nch 1498. Solo el agua potable esta permitido utilizarla sin necesidad de verificar su calidad. Todo otro tipo de agua debe ser analizada. Es importante mencionar que el agua de mar no debe ser utilizada en hormigones armados.

1.3.- PROCESOS Y PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO Y ENDURECIDO.

1.3.1.- Procesos que experimenta el hormigón fresco.

Durante la etapa en que el hormigón mantiene su estado fresco, experimenta una serie de procesos cuyo origen y consecuencias es necesario conocerlos para tenerlos debidamente en cuenta. Estos procesos son principalmente los que se describen a continuación.

1.3.1.1.- Exudación del agua de amasado.

Debido a que el hormigón esta constituido por materiales de distinta densidad real, tiende a producirse la decantación de los de mayor peso unitario, que son los sólidos, y el ascenso del más liviano, que es el agua.

Este proceso induce una serie de efectos internos y externos en el hormigón:

La película superficial del hormigón presenta un contenido de agua mayor que el resto de la masa. Como se verá posteriormente, ello significa un aumento de la razón agua/cemento, con una consiguiente menor resistencia para dicha capa.

Este efecto debe ser especialmente considerado en las obras de hormigón sometidas a desgaste superficial y en los hormigones utilizados como material de relleno bajo elementos cuyo fondo es horizontal, por ej. Placas de fundación.

El ascenso del agua da origen a conductos capilares, que constituyen posteriormente vías permeables, afectando en consecuencia la impermeabilidad del hormigón, especialmente por capilaridad.

El agua ascendente tiende, a acumularse bajo las partículas de mayor tamaño, dejando bajo éstas un espacio vacío, al evaporarse posteriormente.

Este proceso debe ser especialmente considerado en las obras hidráulicas y en las fundadas en terrenos húmedos.

La exudación va acompañada por una sedimentación de los materiales sólidos, los que tienden a descender. Este descenso puede significar concentraciones de tensiones internas en los puntos donde la estructura presenta singularidades de forma, por ejemplo, variaciones de espesor o de nivel, debido al desigual descenso que se produce a ambos lados de la singularidad.

Este efecto debe ser especialmente considerado en las obras de edificación, en los puntos de unión de los pilares y muros de hormigón con las cadenas, losas y vigas, en donde el mayor descenso que experimentan los primeros puede inducir grietas en las zonas de encuentro con los segundos.

Dado que la exudación produce efectos desfavorables, debe ser combatida, para lo cual puede recurrirse a las siguientes medidas paliativas:

Utilizar un contenido adecuado de granos muy finos en el hormigón, entendiéndose como tales los que tienen un tamaño inferior a 150 micrones, aspecto que se analizará posteriormente en la parte pertinente a dosificación de hormigones.

Recurrir al empleo de aire incorporado en el hormigón, utilizando aditivos apropiados para este objeto.

Aumentar el tiempo de amasado del hormigón, con el objeto de facilitar el adecuado humedecimiento de los materiales sólidos por el agua y con ello su retención por parte de éstos.

1.3.1.2.- Variaciones de volumen.

El agua de amasado del hormigón tiende a evaporarse si éste no se mantiene en un ambiente saturado de humedad, con lo cual se produce un proceso de secado progresivo desde la superficie externa hacia el interior.

Este desecamiento progresivo acarrea la formación de zonas de contacto entre fases líquidas (agua) y gaseosas (aire), en los conductos y poros que siempre tiene en su interior el hormigón.

Cuando éstos presentan dimensiones capilares, el proceso de tensión superficial interna alcanza una magnitud importante, la que al transmitirse al hormigón se traduce en una contracción de las zonas de hormigón sometidas a este proceso de secamiento.

Este efecto afectará principalmente a la superficie del hormigón, dado que ella es la que se seca primero, mientras que el resto de la masa permanece invariable. Ello induce contracciones diferenciales y, como consecuencia, tensiones de tracción, originadas en el confinamiento que producen las capas con mayor contenido de humedad sobre las en proceso de secado. Si este proceso de secado es muy rápido, como sucede cuando el hormigón está sometido a alta temperatura ambiente o a corrientes de viento, ello puede traducirse en grietas del hormigón aún plástico, las que por su origen se presentarán como de gran abertura con relación a su profundidad.

Este fenómeno debe ser combatido, pues las fisuras y/o grietas afectan la durabilidad del hormigón y, en obras de gran superficie y pequeño espesor relativo (pavimentos, losas) introduce una debilidad estructural al significar una disminución de su espesor.

Ello puede lograrse manteniendo un ambiente húmedo en torno al hormigón fresco que impida el inicio del secamiento superficial, que se produce si se hormigona en períodos de alta temperatura o fuerte viento, se utilizan pulverizadores que esparzan una neblina húmeda en el sitio hasta que sea posible iniciar el proceso de curado.

Por otra parte, si el agrietamiento se produce y el hormigón aún está suficientemente plástico para responder a la compactación, puede ser recompactado hasta lograr el cierre de dichas grietas.

1.3.1.3.- Falso fraguado del cemento.

Eventualmente, el cemento puede experimentar un endurecimiento prematuro al ser mezclado con agua para constituir la pasta de cemento.

Este proceso parece provenir de un comportamiento anómalo del yeso adicionado al cemento en la etapa de molienda del clínquer como regulador de su fraguado, el cual, debido a las altas temperaturas originadas durante la molienda, puede perder parte del agua de cristalización.

El agua perdida es recuperada, extrayéndola del agua de amasado del hormigón, con lo cual el yeso cristaliza, adquiriendo rigidez.

Este endurecimiento se conoce con el nombre de falso fraguado y produce una rigidización del hormigón aún en estado fresco, en los primeros minutos posteriores a la adición del agua de amasado, lo cual dificulta grandemente su manipulación en los procesos de transporte, colocación y compactación.

Para evitar estos efectos desfavorables, un procedimiento efectivo consiste en aumentar el tiempo de amasado, lo que permite romper la cristalización producida y devolver al hormigón la plasticidad perdida sin necesidad de adición de agua.

1.3.2.- Propiedades del hormigón endurecido.

El hormigón experimenta un proceso de endurecimiento progresivo que lo transforma de un material plástico en un sólido, producido por un proceso físico - químico complejo de larga duración.

En esta etapa, las propiedades del hormigón evolucionan con el tiempo, dependiendo de las características y proporciones de los materiales componentes y de las condiciones

ambientales a que estará expuesto durante su vida útil.

Estas propiedades son: la densidad, la resistencia, las variaciones de volumen y las propiedades elásticas del hormigón endurecido.

1.3.2.1.- Densidad.

La densidad del hormigón se define como el peso por unidad de volumen. Depende de la densidad real y de la proporción en que participan cada uno de los diferentes materiales constituyentes del hormigón.

La densidad normalmente experimenta ligeras variaciones con el tiempo, las que provienen de la evaporación del agua de amasado hacia la atmósfera y que en total puede significar una variación de hasta alrededor de un 7% de su densidad inicial.

1.3.2.2.- Resistencia.

La resistencia del hormigón es el factor que se emplea habitualmente para definir su calidad. El hormigón, como material constituyente de un elemento estructural, queda sometido a las tensiones derivadas de las solicitaciones que actúan sobre éste. Si sobrepasan su capacidad resistente se producirán fracturas, primero de origen local y posteriormente generalizadas, que podrán afectar la seguridad de la estructura.

Por este motivo, los elementos estructurales deben ser dimensionados de manera que las tensiones producidas no sobrepasen la capacidad resistente del material constituyente, lo cual muestra la importancia de conocer esta característica.

La resistencia se puede medir mediante ensayos a compresión, tracción directa, flexión y tracción indirecta. Aunque por lo general se emplea ensayos de ruptura a la compresión.

Algunos de los factores que influyen en la resistencia del hormigón son.

- La calidad del cemento.
- La calidad del agua.
- La calidad de los áridos.

- El uso de aditivos.
- El tiempo de amasado.
- La relación agua cemento.
- Edad de ensayo.

1.3.23.- Durabilidad.

La durabilidad se puede definir como la cualidad que tienen los hormigones para soportar las condiciones para las cuales fueron diseñadas, sin sufrir deterioros durante su vida útil prevista.

Son diversos los factores que influyen en la durabilidad del hormigón, estos factores están directamente relacionados con los procesos de selección de materiales, mezclado, compactación y curado del hormigón.

- Permeabilidad.
- Disolución de sustancias contenidas en el hormigón.

1.3.2.3.- Variaciones de volumen.

El hormigón experimenta variaciones de volumen, dilataciones o contracciones, durante toda su vida útil por causas físico - químicas.

El tipo y magnitud de estas variaciones están afectados en forma importante por las condiciones ambientales existentes de humedad y temperatura y también por los componentes presentes en la atmósfera.

La variación de volumen derivada de las condiciones de humedad se denomina retracción hidráulica, y las que tienen por causa la temperatura, retracción térmica. Por su parte, de las originadas por la composición atmosférica, la más frecuente es la producida por el anhídrido carbónico y se denomina carbonatación.

➤ **Retracción hidráulica.**

Los parámetros preponderantes en la retracción hidráulica son:

❖ Composición química del cemento: Influye principalmente en la variación de volumen, dado que ésta deriva del desarrollo del proceso de fraguado. En estas condiciones, si la composición del cemento favorece un fraguado rápido de la pasta, ella también será favorable para una más alta contracción inicial, si existen condiciones ambientales no saturadas de humedad. Por las razones indicadas, un alto contenido de C_3A favorecerá una rápida y alta contracción.

❖ Finura del cemento: Una mayor finura del cemento favorece también una evolución rápida de sus propiedades, en particular de su fraguado.

❖ Dosis de cemento: Existe una relación casi directa entre la dosis de cemento y la retracción hidráulica por estas causas.

❖ Dosis de agua: Dado que un mayor contenido de agua en el interior del hormigón conducirá a una mayor cantidad de fisuras y poros saturados, desde donde se origina la tensión superficial.

❖ Porosidad de los áridos: El valor de la retracción por esta causa queda condicionado por la finura del árido, siendo mayor cuando ésta aumenta, puesto que ello implica una mayor cantidad de discontinuidades en la masa del árido.

❖ Humedad: Puesto que ella condiciona la velocidad de evaporación del agua interior del hormigón.

➤ **Retracción térmica.**

El hormigón puede experimentar variaciones de volumen causadas por la temperatura, las cuales pueden provenir tanto externamente de la temperatura ambiente como internamente de la generada durante el fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento.

Como consecuencia de lo expresado, los principales factores que condicionarán la magnitud de la retracción térmica son los siguientes:

❖ variaciones derivadas de causas externas:

- Magnitud y velocidad de las variaciones de temperatura ambiental

❖ variaciones por causas internas:

- Características del cemento
- Contenido de C₃A
- Finura de molienda
- Temperatura en el momento de su incorporación en el hormigón.

La evaluación de la retracción térmica puede efectuarse a partir del valor de las temperaturas producidas y de las características de dilatación térmica del elemento. Para paliar los efectos derivados de la retracción térmica pueden tomarse algunas medidas, como las que se describen a continuación:

Para atenuar los efectos derivados de la temperatura externa, la medida más eficaz consiste en el aumento de la aislación térmica en los paramentos que limitan con el exterior.

Para los efectos térmicos generados por el proceso de hidratación de la pasta de cemento pueden tomarse diversas medidas, tales como las siguientes:

- Empleo de cementos de bajo calor de hidratación, aceptándose normalmente como tales aquellos cuyo calor de hidratación a 7 días es inferior a 70 cal/g.

● Disminución de la temperatura interna del hormigón por alguno de los siguientes sistemas:

- Reemplazo de parte del agua de amasado por hielo durante la revoltura en la hormigonera, con lo cual se logra rebajar la temperatura inicial del hormigón colocado en obra.

- Refrigeración del hormigón colocado, por circulación de agua fría a través de serpentines embebidos en su masa.

Planificación de las etapas de hormigonado de la obra de manera tal que sean de espesor limitado, dejando transcurrir un lapso que permita la mayor disipación posible del calor generado en ese tiempo. El procedimiento habitual es relacionar el espesor de las etapas

con el tiempo de espera, de manera de dejar transcurrir un plazo de un día por cada 0.5 mm de espesor de la etapa.

➤ **Retracción por carbonatación**

El proceso de hidratación de la pasta de cemento deja una cierta proporción de cal libre, es decir, sin participar en el proceso químico de fraguado. Esta cal libre es susceptible de combinarse con el anhídrido carbónico del aire, produciendo carbonato de calcio, combinación química que tiene un carácter contractivo, por lo cual el espesor de hormigón afectado por él disminuye su volumen inicial, generándose la denominada retracción por carbonatación.

En general, el espesor afectado es pequeño, alcanzando sólo algunos milímetros en la zona cercana a la superficie en contacto con el aire. Sin embargo, por el confinamiento que produce el hormigón interior adyacente, esa capa queda sometida a tensiones de tracción, pudiendo fisurarse.

El proceso alcanza mayor magnitud si el hormigón se presenta superficialmente seco, la humedad relativa del aire tiene un grado de humedad intermedio, alrededor de 50%, y el hormigón es poco compacto. Disminuye, en cambio, significativamente si el hormigón está saturado, pues el agua impide la difusión del anhídrido carbónico en los poros del hormigón, o la humedad del ambiente es muy baja, inferior a 25%, pues el desarrollo de la carbonatación requiere de un cierto grado de humedad mínimo.

En consecuencia, para atenuar los efectos de la carbonatación es necesario efectuar un buen curado del hormigón.

1.3.2.4.- Propiedades elásticas y plásticas.

El conocimiento de las propiedades elásticas del hormigón son necesarias para establecer la relación entre tensiones y deformaciones, aspecto que adquiere gran importancia en algunos problemas de tipo estructural, particularmente cuando el cálculo de deformaciones es determinante.

➤ **Propiedades elásticas.**

La relación entre tensiones y deformaciones se establece a través del módulo de elasticidad. Para los materiales totalmente elásticos, el módulo de elasticidad es constante e independiente de la tensión aplicada, acostumbrando a designársele con el nombre de módulo de Young. En otros materiales, designados inelásticos en cambio, el módulo de elasticidad depende del valor de la tensión aplicada.

Lo más frecuente, sin embargo, es que los materiales presenten una combinación de ambos comportamientos, inicialmente elástico y posteriormente inelásticos al aumentar la tensión aplicada.

Este es el caso del hormigón, cuya curva de relación tensión deformación tiene la forma indicada en la Imagen N°2, en la cual pueden observarse tres tramos característicos:

1. Un primer tramo recto, en que el comportamiento es elástico y que abarca no más de un 20 % del desarrollo total de la curva
2. Un segundo tramo curvo, ascendente hasta el valor máximo de la curva tensión - deformación.
3. Un tercer tramo curvo, descendente hasta la tensión de rotura.

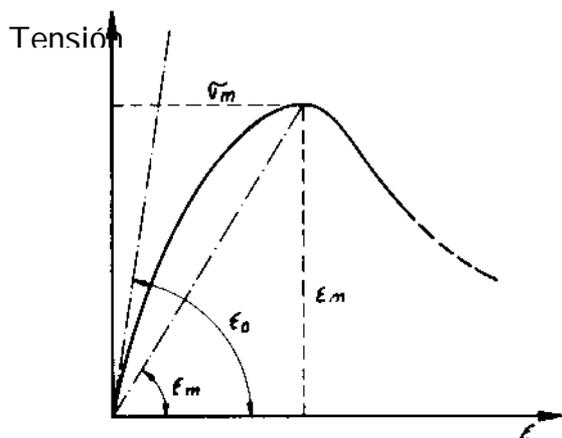


Imagen N°2: Curva de relación Tensión - Deformación.

En efecto, la forma recta se mantiene en tanto el hormigón se mantenga como un material homogéneo. Esta forma se pierde al aparecer las primeras microfisuras, normalmente en el contacto mortero - árido grueso, pues, en esta situación, aun cuando el hormigón es capaz

de seguir aceptando carga, su deformabilidad aumenta. Finalmente, al fracturarse el mortero del hormigón, desaparece su capacidad de tomar carga, pero continúa deformándose hasta llegar a la rotura total.

➤ **Propiedades plásticas del hormigón.**

A pesar del carácter frágil señalado para el hormigón con las cargas de velocidad normal de aplicación, éste presenta un comportamiento plástico cuando una determinada carga permanece aplicada un largo tiempo, produciéndose en este caso una deformación denominada fluencia del hormigón.

El conocimiento de la fluencia es necesario para el análisis estructural en el caso del cálculo de deformaciones en elementos de hormigón armado, determinar la pérdida de la tensión aplicada en una estructura de hormigón pretensado o para el cálculo de tensiones a partir de la medición de deformaciones.

El mecanismo que genera la fluencia en el hormigón no es bien conocido, estimándose actualmente que es causado por la combinación de dos tipos de fenómenos: uno derivado de la acomodación de la estructura cristalina de la pasta de cemento, que se denomina fluencia básica, y otro proveniente de la migración interna de la humedad, que se traduce en una retracción hidráulica adicional.

Los principales factores que condicionan la fluencia del hormigón son principalmente el tipo y la dosis de cemento, la humedad ambiente, la magnitud de la tensión aplicada y la edad del hormigón en el momento de su aplicación.

1.3.2.5.- Permeabilidad del hormigón.

El hormigón es un material permeable, es decir que, al estar sometido a presión de agua exteriormente, se produce escurrimiento a través de su masa.

El grado de permeabilidad del hormigón depende de su constitución, estando normalmente comprendido su coeficiente de permeabilidad entre 10^{-6} y 10^{-10} cm/seg.

Las medidas que pueden esbozarse para lograr un mayor grado de impermeabilidad son:

- Utilizar la razón agua/cemento más baja posible, compatible con la obtención de una trabajabilidad adecuada para el uso en obra del hormigón.
- Utilizar la dosis de cemento más baja posible, compatible con la resistencia y otras condiciones que establezcan las especificaciones del proyecto.
- Emplear un contenido apropiado de granos finos, incluido los aportados por el cemento, para lograr un buen relleno del esqueleto de áridos del hormigón. La cantidad ideal de granos finos puede establecerse a partir de los métodos de dosificación granulométricos.

La determinación del coeficiente de permeabilidad debe efectuarse necesariamente en base a ensayos de laboratorio, entre los cuales pueden mencionarse dos tipos principales:

- Los de permeabilidad radial, en los que se utiliza una probeta cilíndrica con una perforación central, desde la cual se aplica agua a presión, midiéndose el agua escurrida en un cierto tiempo. Este tipo de ensayo permite determinar el coeficiente de permeabilidad por medio de las fórmulas de escurrimiento en medios permeables.
- Los de penetración del agua en el hormigón, en los cuales una losa de hormigón es sometida a presión de agua por un lado y se mide la penetración del agua en su masa después de un cierto tiempo. Este ensayo se utiliza generalmente en forma comparativa, aunque también permite el cálculo del coeficiente de permeabilidad en forma similar a la del ensayo radial.

1.3.2.6.- Durabilidad del hormigón.

Durante toda su vida útil, el hormigón está permanentemente expuesto a las acciones provenientes de agentes externos e internos, que pueden afectar su durabilidad si no se les tiene debidamente en cuenta. De acuerdo a su origen, estas acciones pueden ser producidas por agentes físicos o químicos.

CAPITULO II.

ALBANILERÍA.

2.1.- ANTECEDENTES GENERALES.

Si caminamos por las calles de nuestra ciudad, a poco andar, nos encontraremos con alguna construcción particular o comercial que su estructura esta construida en base a albañilería de ladrillos cerámicos. Si vamos más allá y comparamos a las personas que habitan estas construcciones nos encontramos con personas de distintas realidades sociales de nuestro país, podremos observar como cada vez más se utiliza la albañilería en la construcción de las casas de las familias más acomodadas, en las de familias de clase media y en las familias de menos recursos de nuestra sociedad.



Imagen N°3: Construcciones de albañilería.

Esto es debido a sus cualidades de resistencia y durabilidad, si a esto le sumamos su bajo costo en relación con otros materiales sólidos, el ladrillo es en la actualidad el producto más utilizado en la construcción de viviendas sociales. Debido a esta estrecha relación entre precio y calidad, la tendencia general de los ladrillos cerámicos ha sido masificarse, acercándose cada vez más a estructuras que por sus características permiten disminuir los

costos en su construcción, ya sea por la disminución de mano de obra, por un aumento de m² construidos por unidad de tiempo, o ambos.

Para la ayuda de éstas últimas, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile ha elegido al ladrillo como el más importante material de construcción social.

Al estar presente este tipo de construcción entre tantas familias y en el paisaje cotidiano de nuestro país, es que se hace necesario conocer un poco más acerca de él.

2.2.- MATERIALES CONSTITUYENTES DE LA ALBAÑILERÍA.

2.2.1.- Ladrillo cerámicos.

Entre los productos de arcilla que se obtienen a través de cocción, comúnmente conocidos como cerámicas, se encuentra el denominado ladrillo, el cual está morfológicamente definido como un paralelepípedo rectangular, manufacturado con una mezcla porosa. Esta fue primitivamente fabricada en forma artesanal y aunque hoy persiste esta técnica en algunos talleres, es en la actualidad derivado principalmente de ciclos productivos industriales, adecuadamente eficaces para la construcción.

La materia prima utilizada para la producción de ladrillos es la arcilla, la cual esta constituida estructuralmente en base a sílice, alúmina y agua, y además cantidades variables de hierro y otros materiales alcalinos.

Las partículas de estos materiales son capaces de absorber higroscópicamente hasta el 70% en peso, de agua. Debido a esta característica, es que la arcilla, que en estado seco presenta un aspecto terroso, hidratada adquiere la plasticidad necesaria para ser moldeada.

Durante la fase de endurecimiento (mediante secado o cocción), el material arcilloso adquiere características de notable solidez, con una disminución de masa (de alrededor de 5 a 15%) en proporción a su plasticidad inicial. La eliminación del agua que envuelve a las partículas provoca un acercamiento entre estas y por consiguiente una retracción volumétrica.

Esta retracción no debe exceder el límite ya que ello podría provocar grietas, por tensiones de valor superior a su cohesión que hacen objetable el producto.

2.2.1.1.- Orígenes e Historia del ladrillo.

El ladrillo ha existido desde tiempos inmemoriales. Allí donde no había piedras, se desarrolló la arquitectura propia del ladrillo, la cual no estuvo limitada por las técnicas propias de las sillerías y mamposterías.

Atendiendo a los vestigios encontrados en épocas recientes, se cree tuvo su origen en Caldea, Mesopotámica meridional; desde ahí, su técnica de fabricación fue extendida por Asiría (también ubicada en la antigua región de Mesopotámica), siendo heredada por su pueblo. Fue en este lugar donde el primer mes cada verano era denominado «mes del ladrillo».

Posteriormente, se han encontrado en excavaciones arqueológicas restos de las civilizaciones llamadas I y II de Susa, con abundancia de muestras de cerámicas pintadas.

Corresponden a la llamada cultura de Elam, (actualmente Khuzistán occidental, Irán) cuyo origen se sitúa en los milenios VI ó IV AC. y llega hasta 640 AC. También se han encontrado restos cerámicos de la cultura II de Susa, que se estiman anteriores al año 3000 AC.

El ladrillo puede ostentar ser indicado como el más antiguo de los materiales de construcción empleado por el hombre. Su origen exacto se pierde en la nebulosa de las leyendas de las antiguas civilizaciones; la idea de su creación habría nacido en forma espontánea, mediante la simple observación de la naturaleza a través de la mirada de unos pastores, los cuales, al apagar su fogata erigida en suelo arcilloso, vieron que la tierra enrojecía y quedaba tan rígida y resistente, que soportaba el impacto del agua de lluvia.

La arquitectura en ladrillo ha tenido gran desarrollo en numerosas y extensas regiones del mundo. Las particularidades propias de cada tipo de ladrillo varían según las características geológicas, climáticas e históricas de cada nación. Un ejemplo de ello quedó plasmado en construcciones de la tradición española, focalizadas en Castilla, Aragón y

Andalucía, obras dejadas tras la dominación de los moros. Las construcciones mudéjares (musulmanas - españolas) son de un estilo arquitectónico con ornamentación árabe; en la cual se usaron ladrillos tanto en las sólidas fundaciones, como en los altos muros de sus edificios, los cuales a su vez están ornados con bordados de primorosas filigranas de dicha cerámica.

2.2.1.2.- Clasificación de ladrillos cerámicos.

La NCh169.Of2001 establece la clasificación y los requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos de fabricación industrial (hechos a máquina), que se utilizan en la construcción de viviendas, edificios y obras civiles en general. No se aplica a los ladrillos cerámicos artesanales (hechos a mano), cuya clasificación se detalla en la NCh2123.

La clasificación de ladrillos que plantea la NCh169.Of2001 está en función de tres aspectos: clases, grados y uso, los cuales se resumen en la Tabla 4 siguiente:

| Por clases | Características | Grados | Por uso | |
|------------------|---------------------------------|--------|------------|------------|
| Macizos (MqM) | Sin perforaciones | 1 | Cara vista | Revestidos |
| Perforados (MqP) | Inferior a 50% de volumen bruto | 2 | | |
| Huecos (MqH) | 50% o más del volumen bruto | 3 | | |

Tabla N°4: Clasificación de los ladrillos hechos a maquina.
Fuente: NCh 169. Of 2001.

La resistencia a compresión mínima para los distintos grados de ladrillos cerámicos se indica en la tabla 5.

| Requisitos mecánicos | Clases de Ladrillos Cerámicos | | | | | | |
|---|-------------------------------|-----|-----|------|------|-----|------|
| | 1 | | | 2 | | 3 | |
| | MqM | MqP | MqH | MqP | MqH | MqP | MqH |
| Resistencia a la Compresión, mínima (Mpa) | 15 | 15 | 15 | 11 | 11 | 5 | 5 |
| Absorción de agua, máxima % | 14 | 14 | 14 | 16 | 16 | 18 | 18 |
| Adherencia, mínima (Mpa) (área neta) | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,35 | 0,35 | 0,3 | 0,25 |

Tabla N°5: Grados de los ladrillos cerámicos.
Fuente: NCh 169. Of 2001.

Los ladrillos cerámicos deben cumplir además con criterios de forma y terminación detallados en la NCh169.Of2001, las cuales se describen en la Tabla 6; junto con las recomendaciones detalladas en las normas de diseño de albañilería, considerando siempre que para albañilerías armadas y confinadas, solo puede contemplarse el uso de ladrillos cerámicos Tipo MqP grado 1 ó grado 2.

| Tipo de ladrillo (según su uso) | | |
|----------------------------------|--|---|
| Requisitos | Cara vista (V) | Cara para ser revestida (NV) |
| Fisura superficial | La fisura superficial se limita en longitud a no más de 1/3 de la dimensión de la cara con respecto a la dirección de la fisura. En los cabezales se acepta la existencia de fisuras superficiales sin importar su longitud. | Se acepta en cualquier cara sin importar su longitud. |
| Fisura pasada | No se acepta en las caras mayores. Se acepta a lo más una fisura pasada en alguno de los cabezales. | Se acepta una fisura pasada en cualquiera de sus caras. |
| Desconchamiento | Se acepta la existencia de a lo más un desconchamiento superficial y, siempre que su diámetro no supere 10 mm. | Se acepta hasta un desconchamiento por cara, limitando también su diámetro a 10 mm como máximo. |
| Eflorescencia | Se acepta presencia de eflorescencias, de fácil remoción, cuya extensión se limita por acuerdo entre las partes | |
| Tolerancias de planeidad | + - 4mm | + - 4mm |
| Tolerancias dimensionales | | |
| Largo | + - 5mm | + - 5mm |
| Ancho | + - 3mm | + - 3mm |
| Alto | + - 3mm | + - 3mm |

Tabla N°6: Criterios de forma y terminación.
Fuente: NCh 169. Of 2001.

2.2.2.- Morteros.

Genéricamente, se entenderá por mortero a la mezcla constituida por cemento, arena y algún otro tipo de material conglomerante que con adición de agua reacciona y adquiere resistencia. Aplicado esto a la albañilería confeccionada con ladrillos, el mortero toma diferentes nombres según su uso a saber se pueden distinguir los siguientes tipos:

- Mortero de pega: Es aquel mortero que se emplea para unir monolíticamente las unidades de albañilería de ladrillos, también es conocido como mortero de junta.



Imagen N°4: Mortero de pega.

En Chile actualmente se están comenzando a utilizar morteros predosificados, con gran aceptación ya que ellos alcanzan la resistencia, adherencia y trabajabilidad que el fabricante asegura.

- Mortero de relleno: mortero que se emplea para rellenar los huecos de la unidad de albañilería.
- Mortero de revestimiento continuo (estuco): mortero que se aplica a una superficie base para mejorar la terminación. Puede estar compuesto de capa de adherencia y capa de terminación.

2.2.2.1.- Requisitos del mortero.

Según la norma NCh 2256/1.c2000 se pueden clasificar los morteros según su resistencia a compresión, tipo de consistencia y por retentividad. La tabla que se presenta a continuación muestra la clasificación de acuerdo a su resistencia a compresión, por ser este el método más utilizado en la selección del mortero de pega.

| GRADO DE MORTERO | RESISTENCIA DE COMPRESIÓN (Mpa) |
|------------------|---------------------------------|
| M 0,5 | 0.5 |
| M 2,5 | 2.5 |
| M 5,0 | 5.0 |
| M 7,5 | 7.5 |
| M 10,0 | 10.0 |
| M 12,5 | 12.5 |
| M 15,0 | 15.0 |
| M 20,0 | 20.0 |
| M 25,0 | 25.0 |
| M 30,0 | 30.0 |

Tabla N°7: Requisitos del mortero.

Fuente: NCh 2256/1. c2000.

CAPITULO III.

RECICLADO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

3.1.- GENERALIDADES.

En el presente capitulo se pretende dar a conocer una visión global de la problemática situación referente a los residuos de construcción y demolición (RCD), tanto a nivel internacional como nacional. Tras presentar una definición de residuo se darán a conocer las principales características (generación y composición) de tales residuos, posteriormente se pasara a revisar de forma genérica las soluciones comúnmente adoptadas para su tratamiento y eliminación, incidiendo especialmente en las posibilidades de reciclado de los mismos, los problemas con que esta actividad habitualmente se encuentra y las tendencias de futuro. Dichas consideraciones se complementan con las de carácter medioambiental asociado a la producción y gestión de estos residuos. Finalmente se culmina con un breve repaso de la situación actual de nuestro país.

3.2.- GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN.

Antes de analizar los residuos de la construcción es necesario definir el termino residuo como “toda aquella sustancia o material generado durante el proceso de construcción, que pasa a constituirse en un elemento no útil para su dueño y sobre los cuales se tiene la intención o la obligación de desprenderse”, es importante dejar en claro que el residuo puede presentarse de distintas formas ya sea solidó, liquido o gas en un recipiente.

La cuantificación del volumen de producción y composición de los residuos de la construcción todavía se enfrenta al problema de la falta de datos o estadísticas fiables en muchos países, lo que ha obligado hasta el momento (salvo en casos contados) a manejar estimaciones efectuadas a través de cálculos indirectos o basadas en muestras de limitada representatividad. Por otra parte, existen diversos factores que influyen claramente en el volumen y composición de los residuos generados en un determinado momento y ámbito geográfico. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

- Tipo de actividad que origina los residuos: construcción, demolición o reparación/rehabilitación.
- Tipo de construcción que genera los residuos: edificios residenciales, industriales, de servicios, carreteras, obras hidráulicas, etc.
- Edad del edificio o infraestructura, que determina los tipos y calidad de los materiales obtenidos en los casos de demolición o reparación.
- Volumen de actividad en el sector de la construcción en un determinado período, que afecta indudablemente a la cantidad de residuos generados.
- Políticas vigentes en materia de vivienda, que condicionan la distribución relativa de las actividades de promoción de nuevas construcciones y rehabilitación de existentes o consolidación de cascos antiguos.

Por contra, la madera puede ser significativa en obras de demolición de algunas viviendas antiguas, los metales (sobre todo férreos) en obras de demolición de edificios industriales y ciertas estructuras ligadas a obras civiles, los productos bituminosos se limitan prácticamente a obras de reparación o ampliación de carreteras y los plásticos aparecen particularmente en obras de demolición de viviendas más recientes o de construcción de nuevas.

3.3.- GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN.

La gestión de los residuos de la construcción (al igual que la de otros tipos de residuos) presenta en la actualidad un panorama muy diverso en función del ámbito geográfico que se trate. En general, son los países que poseen una mayor tradición en el planteamiento estratégico de los temas medioambientales y aquéllos en los que algunas de las materias primas utilizadas en el sector de la construcción (en particular, los áridos) son bienes escasos, los que han adoptado las principales iniciativas tendentes a regular dicha gestión, haciendo especial hincapié en las posibilidades de reutilización, reciclado y/o generación en materiales secundarios.

En lo que se refiere al campo de la demolición (y sobre todo la de edificios), ha sido práctica tradicional en algunos países el retirar de forma previa a la demolición propiamente dicha aquéllos materiales fácilmente extraíbles que pudieran tener cierto valor en el mercado de la reutilización o reciclado. Es el caso de los metales (tuberías, conducciones, etc.), madera (puertas y ventanas, suelos, etc.) y algunos materiales cerámicos (tejas). En cuanto al resto de los materiales obtenidos en el proceso de demolición, la práctica habitual ha sido su transporte y vertido en un lugar lo más próximo posible al de origen de los residuos.

Por otra parte, existe una tendencia generalizada a incrementar en lo posible las cantidades de residuos que se recuperan para diversos usos (directos o indirectos), así como a habilitar instalaciones específicas para el vertido controlado de las fracciones no recuperadas.

En lo que se refiere a las tierras de excavación, es mucho más habitual su empleo como material de relleno en la misma obra o en otras cercanas, o, en su defecto, destinarlas a vertederos controlados, donde son utilizadas como material para las cubiertas temporales. Tanto en un caso como en el otro los costes de eliminación suelen ser nulos o insignificantes.

3.4.- RECUPERACIÓN, REUTILIZACIÓN Y RECICLADO DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN.

Se efectúa en primer lugar una somera revisión de las posibilidades genéricas de aprovechamiento de los residuos de la construcción o sus fracciones para posteriormente entrar a considerar las limitaciones y obstáculos con los que habitualmente se encuentran las actividades de recuperación, reutilización y reciclado.

En una primera aproximación, los materiales contenidos en los residuos de la construcción que técnicamente son aprovechables se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Materiales reutilizables, constituidos fundamentalmente por piezas de acero estructural, elementos de maderas de calidad y/o recuperados en buen estado, piezas de fábricas (ladrillo, bloque, mampostería), tejas (cerámicas y de pizarra) y tierras de excavación. En ciertos casos, la mezcla de residuos de demolición no seleccionados pero libres de "impurezas" puede ser directamente utilizada como material de relleno, subbases de carreteras o pavimento en vías temporales de tránsito de vertederos.

- Materiales reciclables, constituidos fundamentalmente por metales (férreos y no férreos), plásticos y vidrio. Estas fracciones, en la medida que pueden recuperarse libres de impurezas, son susceptibles de incorporarse al mercado del reciclado para dar lugar a los mismos o similares productos que originaron el residuo.

- Materiales destinados a la fabricación de productos secundarios, aparte de los metales, plásticos y vidrio que, además de reciclarse se pueden destinar a este fin, son fundamentalmente los materiales pétreos, cerámicos (ladrillos), hormigón y pavimentos bituminosos los que pueden dedicarse a la fabricación de productos secundarios.

La investigación en este terreno se encuentra en continua evolución de forma genérica, la principal aplicación de estos productos es la producción de áridos que a su vez pueden ser destinados a fabricar hormigón o servir directamente como bases en obras de carreteras. Una condición habitualmente requerida para la producción de áridos a partir de residuos de la

construcción es que éstos se encuentren libres de cantidades significativas de acero (estructural o de armaduras), madera, vidrio, plásticos, cal, yeso, etc., lo cual obliga bien a proceder a una demolición selectiva, bien a separar las fracciones indeseables de forma previa a la producción de áridos.

Si bien es difícil evaluar la proporción de los materiales contenidos en los residuos de la construcción que realmente se aprovecha, cabe estimar que la práctica totalidad de los metales no férricos (especialmente cobre, plomo, zinc y aluminio) son recuperados para su reutilización o reciclado. En cuanto a los metales férricos (particularmente el acero), sólo las piezas fácilmente accesibles se recuperan, siendo todavía poco significativa la tasa de recuperación de acero del hormigón armado.

En cuanto a la madera, hecha la excepción de piezas valiosas y/o bien conservadas, los porcentajes de recuperación varían entre 0 y 50% de unas zonas a otras, pudiendo adoptarse una estimación media del 20% como cifra orientativa. Para el resto de las fracciones, los porcentajes de recuperación varían ampliamente en función de las áreas geográficas, las políticas y normativas existentes y la situación de los mercados. En todo caso, merece la pena profundizar en los aspectos que, potencialmente o de hecho, pueden suponer limitaciones a las actividades de aprovechamiento de los residuos de la construcción. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

- Condiciones de carácter técnico, que básicamente se refieren a dos aspectos:

La influencia que las técnicas y prácticas de demolición utilizadas tienen en la calidad de los residuos obtenidos y, consecuentemente, en las posibilidades de aprovecharlos en condiciones económicamente viables. Como norma general, la capacidad de aprovechamiento de un residuo de la construcción (o fracción del mismo) es mayor cuanto mayor es la pureza del mismo y menor la presencia de elementos indeseables para el futuro uso que se pretende. En este sentido, el sector de demolición viene desarrollando desde hace años nuevos procedimientos (como la demolición selectiva) en la línea descrita. En todo caso, la aplicabilidad real de los mismos queda condicionada por aspectos económicos (incremento de

los costos de demolición, existencia de cláusulas de penalización por demora en el plazo de demolición, etc.).

Las limitaciones de las técnicas de separación de fracciones del residuo bruto, que son especialmente relevantes cuando se trata de conseguir un alto grado de reutilización o reciclado. Por otra parte, la recuperación absoluta de materiales correspondientes a fracciones minoritarias en los residuos de la construcción plantea problemas técnicos cuando el residuo bruto se encuentra muy mezclado, a lo cual hay que unir la desventaja económica derivada de las pequeñas cantidades obtenidas y sus altos costes unitarios.

En este sentido, los costos de tratamiento están limitando seriamente la recuperación de casi todas las fracciones minoritarias de los residuos de la construcción mezclados, a excepción de la madera y los plásticos, que pueden separarse a costes razonables mediante técnicas basadas en las diferentes densidades de los mismos y el resto de los componentes.

- Condicionantes de tipo normativo o legislativo, que se traducen por una parte en la regulación de la utilización de materiales reciclados o secundarios y por otra, en el establecimiento de una clara estrategia política de promoción de estas actividades a través de diversos mecanismos.

En el primer caso, la existencia de normas puede limitar la recuperación de materiales. Si bien algunas de estas normas responden a razones técnicas justificadas (como por ejemplo, evitar el uso de áridos de demolición con un contenido significativo de sulfatos solubles en la fabricación de hormigón), otras reflejan más la calidad de los materiales vírgenes habitualmente usados que las necesidades del usuario.

En el segundo caso, en la medida que una política clara está ausente de un determinado ámbito geográfico, los costes de eliminación sin aprovechamiento de los residuos de la construcción suelen ser bajos como para ejercer un efecto disuasorio sobre los productores y orientar la solución hacia la reutilización o reciclado.

- Condicionantes impuestos por el mercado de productos recuperados, que, incluso en condiciones económicas ventajosas para estos productos, pueden actuar en tres sentidos:

Por una parte, la calidad real o estimada de estos productos puede limitar su salida en el mercado por las razones anteriormente expuestas.

Por otra parte, los materiales recuperados suelen ser mucho más sensibles a las fluctuaciones de la demanda en el mercado de los materiales vírgenes a los que pretenden sustituir, especialmente cuando las tendencias de aquélla son a la baja. Es más, ciertos ámbitos donde la oferta de determinados materiales vírgenes es amplia, los costos de materiales recuperados no pueden ser competitivos con los de aquéllos, salvo en situaciones de extrema demanda.

Finalmente, la demanda de estos materiales puede verse seriamente afectada si no existe suficiente información acerca de la disponibilidad de los mismos y de su adecuación para utilizarlos en la fabricación de productos secundarios. Este inconveniente puede paliarse mediante la puesta en marcha de figuras similares a las ya existentes "Bolsas de residuos industriales".

- Condicionantes directamente ligados a los costes de transporte, costos que limitan en buena medida la viabilidad económica de la recuperación propiamente dicha es pequeño o cuando las distancias entre los lugares de producción, tratamiento y almacenamiento de los residuos y utilización final del producto resultante son tan grandes que superan el valor de éste para el usuario potencial.

- Condicionantes derivados de los costos de eliminación de los residuos de la construcción, y en particular los cánones de vertido. Sin duda, éste es un aspecto clave a la hora de evaluar la viabilidad global de la recuperación de componentes de la construcción, dado que, en la medida que resulte más costoso "deshacerse" del material como residuo puro, mayor será el interés del productor en encontrar una vía alternativa que pase por algún tipo de aprovechamiento.

En este sentido, los países más avanzados en la materia han seguido políticas orientadas a la penalización económica de aquellos productores de residuos que no realicen un

aprovechamiento de los mismos, lo cual se ha traducido en el corto plazo en una disminución de las cantidades totales de residuos producidas.

Si se centra la cuestión en la recuperación de los componentes mayoritarios de los residuos de la construcción para la producción de áridos, las soluciones técnicas dadas hasta la fecha se apoyan fundamentalmente en la puesta a punto de plantas fijas, móviles o semimóviles en las que se desarrollan uno o ambos de los siguientes procesos: separación de componentes y trituración fraccionada.

Las características detalladas de cada una de estas plantas y su grado de complejidad son variables según los casos, habiéndose alcanzado altos niveles de sofisticación en algunas de ellas.

En cuanto a los costos de tratamiento de los residuos de la construcción en estas plantas, dependen en gran medida del grado de complejidad de las mismas o, dicho de otro modo, del nivel de pureza que presentan los residuos a la entrada.

3.5.- CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

Aparte de las ya conocidas repercusiones ambientales asociadas a los trabajos de construcción y demolición (producción de ruidos y vibraciones, polvo, contaminación atmosférica, interferencias en el tráfico rodado o peatonal, etc.), conviene recordar aquí otros aspectos ligados al transporte, tratamiento y/o eliminación de los residuos de la construcción.

A este respecto, el transporte de residuos presenta efectos similares a los de cualquier otro transporte pesado, como la contaminación del aire por los gases de escape, la producción de ruido y vibraciones, el consumo de recursos energéticos y sus efectos derivados, etc. En este área, la recuperación y reciclado de residuos tiene repercusiones beneficiosas en cuanto a disminuir los impactos ambientales asociados al transporte, debido básicamente a las reducciones de las cantidades de materiales a eliminar en lugares de vertido más distantes y de las cantidades de materiales vírgenes que son sustituidos por los recuperados.

En cuanto a la eliminación de los residuos, y dejando de la lado los impactos de las fracciones incineradas, el vertido controlado puede causar impactos positivos siempre y cuando se realice con la finalidad de recuperar zonas degradadas o como material de cubierta en vertederos.

No obstante, el vertido de residuos puede también causar impactos negativos si se realiza de forma incontrolada o en zonas de alto valor ecológico y/o económico, por no mencionar los problemas de inestabilidad geotécnica frecuentes en estos lugares de vertido.

Por otro lado, las actividades de recuperación de residuos presentan aspectos ambientales positivos y negativos. Entre los primeros cabe destacar la prolongación de la vida útil de los espacios de vertido, los ahorros de consumo de materiales vírgenes o importados y de consumo energético asociado a la fabricación de productos a los que sustituyen, así como la preservación de espacios naturales debido a una menor necesidad de explotación de recursos minerales.

En la vertiente negativa cabe destacar la generación de polvo, ruido, vibraciones y aguas residuales, además de las afecciones producidas en los emplazamientos de las plantas de reciclado o las posibles distorsiones del entorno socioeconómico ligadas a desplazamientos de la mano de obra y recursos desde las actividades extractivas y de producción de materiales vírgenes a las de recuperación y reciclado.

Finalmente son dignos de mención los posibles impactos sobre la salud causados por el inadecuado manejo y/o protección frente a componentes peligrosos que pueden existir en los residuos (particularmente en algunos de demolición).

3.6.- SITUACIÓN ACTUAL DEL PAÍS.

Actualmente la legislación dispuesta para el control de la disposición de los residuos de la construcción es escasa y esta dada en forma muy general. Las normas existentes provienen de distintos organismos públicos y carecen de coherencia entre ellas, lo cual dificulta tanto su cumplimiento como su adecuada fiscalización por parte de los organismos competentes. Todo lo relativo al tema esta dado en forma muy general, sin otorgar una orientación diferenciada respecto a los tipos de residuos. 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 más importantes orientaciones respecto a 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, del Ministerio de Salud.

En los anexos se pueden encontrar algunas normas y decretos más importantes que regulan la actividad en forma general en el país.

CAPITULO IV.

PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO DEL ESTUDIO EXPERIEMENTAL.

4.1.- GENERALIDADES.

En el presente capitulo se dará a conocer la planificación del estudio, como también los trabajos experimentales llevados a cabo para el estudio en cuestión, los cuales fueron realizados en su totalidad en el laboratorio Lemco de la Universidad Austral de Chile.

4.2.- PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO EXPERIEMENTAL.

En la presente tesis se confeccionarán probetas de hormigón en forma cúbicas y de viga, las cuales serán producto de dosificaciones realizadas para dos tipos de hormigones, uno con áridos de origen natural y otro con una parte de áridos de origen natural y una parte de áridos reciclados provenientes de albañilería de ladrillos de arcilla, considerando los mismos parámetros para la dosificación y fabricación.

Los hormigones que se fabricarán en esta oportunidad son H-25, H-30, y HF 3.6, los porcentajes en los cuales se reemplazara el árido de origen natural por árido reciclado serán determinados en base a la experiencia practica que proporcionen la confección de los primeros hormigones.

Es importante dejar en claro que sólo se reemplazara la parte gruesa del árido en la mezcla, la cantidad de arena se utilizara en su totalidad.

Las probetas confeccionadas con los hormigones H-25 y H-30 serán ensayadas a la compresión a los 3, 7, 14 y 28 días, en tanto que las probetas confeccionadas con el hormigón HF 3.6 serán ensayadas a flexotracción solo a los 28 días.

4.3.- ESTUDIO DE LOS ÁRIDOS.

4.3.1.- Antecedentes.

Los áridos utilizados para realizar el presente estudio fueron adquiridos en la empresa de áridos VALDICOR ubicada en la ciudad de Valdivia, los cuales cumplen con los requisitos establecidos en la norma chilena NCh 163. Of 79.

4.3.2.- Ensayos realizados a los áridos para la dosificación.

➤ Granulometría.

El ensayo de granulometría fue realizado según la norma NCh 165. Of 77.

Alcanzándose los siguientes resultados.

| Granulometría de la Grava. | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|
| Peso Total de la muestra seca. (grs) | | | | 4305 |
| Tamíz | Peso Ret. (grs) | % Retenidos. | % Retenidos Acumulados. | % Que Pasa. |
| 1 1/2" | 0 | 0% | 0% | 100% |
| 1" | 3000 | 70% | 70% | 30% |
| 3/4" | 900 | 21% | 91% | 9% |
| 1/2" | 320 | 7% | 98% | 2% |
| 3/8" | 85 | 2% | 100% | 0% |
| N° 4 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 8 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 16 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 30 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 50 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 100 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 200 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| Residuo | 0 | 0% | 100% | 0% |
| Total | 4305 | 100% | | |

Tabla N°8: Granulometría de la grava.

Fuente: Elaboración propia.



Imagen N°5: Áridos utilizados para el estudio.

| Granulometría de la Gravilla. | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|
| Peso Total de la muestra seca. (grs) | | | | 3505 |
| Tamíz | Peso Ret. (grs) | % Retenidos. | % Retenidos Acumulados. | % Que Pasa. |
| 1 1/2" | 0 | 0% | 0% | 100% |
| 1" | 0 | 0% | 0% | 100% |
| 3/4" | 80 | 2% | 2% | 98% |
| 1/2" | 1951 | 56% | 58% | 42% |
| 3/8" | 1071 | 31% | 89% | 11% |
| N° 4 | 396 | 11% | 100% | 0% |
| N° 8 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 16 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 30 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 50 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 100 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 200 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| Residuo | 7 | 0% | 100% | 0% |
| Total | 3505 | 100% | | |

Tabla N°9: Granulometría de la gravilla.

Fuente: Elaboración propia.

| Granulometría de la Arena. | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|
| Peso Total de la muestra seca. (grs) | | | | 1199 |
| Tamíz | Peso Ret. (grs) | % Retenidos. | % Retenidos Acumulados. | % Que Pasa. |
| 1 1/2" | 0 | 0% | 0% | 100% |
| 1" | 0 | 0% | 0% | 100% |
| 3/4" | 0 | 0% | 0% | 100% |
| 1/2" | 0 | 0% | 0% | 100% |
| 3/8" | 30 | 3% | 3% | 97% |
| N° 4 | 207 | 17% | 20% | 80% |
| N° 8 | 156 | 13% | 33% | 67% |
| N° 16 | 124 | 10% | 43% | 57% |
| N° 30 | 348 | 29% | 72% | 28% |
| N° 50 | 269 | 22% | 95% | 5% |
| N° 100 | 51 | 4% | 99% | 1% |
| N° 200 | 11 | 1% | 100% | 0% |
| Residuo | 3 | 0% | 100% | 0% |
| Total | 1199 | 100% | | |

Tabla N°10: Granulometría de la arena.

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Densidad Aparente.**

El ensayo fue realizado según la norma NCh 1116. EOf 77. Obteniéndose los siguientes resultados.

| Datos. | Grava. | Gravilla. | Arena. |
|--|---------------|------------------|---------------|
| Peso Tacho + Material (grs) | 11204 | 9250 | 5073 |
| Peso Material (grs) | 7665 | 4918 | 3168 |
| Peso Tacho (grs) | 3539 | 4332 | 1905 |
| Volumen Tacho (Total) (cc.) | 5050 | 3093 | 1980 |
| Densidad Aparente Suelta (Kg/dm ³) | 1,52 | 1,59 | 1,60 |

Tabla N°11: Resultado densidades aparentes grava, gravilla y arena.

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Densidades Reales y Absorción.**

Los ensayos fueron realizados según lo indicado en la norma NCh 1117. EOf 77, para la grava y la gravilla, en tanto que para la arena se utilizó la norma NCh 1239. Of 77.

Lográndose los siguientes resultados.

❖ Grava. (R)

| Detalle | Pesos |
|---|-------------|
| masa saturada superficialmente seco ma sss (kg) | 4,671 |
| masa sumergida msu (kg) | 2,95 |
| masa seco ma s (kg) | 4,638 |
| | |
| Densidad real árido saturado superficialmente seco Dr sss (Kg/m ³) | 2714 |
| Densidad real árido seco Dr s (Kg/m ³) | 2695 |
| Densidad neta DN (Kg/m ³) | 2748 |
| Absorción Ab % | 0,71 |

Tabla N°12: Resultados de ensayos de densidades reales netas y absorción de la grava.

Fuente: Elaboración propia.

❖ Gravilla. (g)

| Detalle | Pesos |
|---|-------------|
| masa saturada superficialmente seco ma sss (kg) | 2,024 |
| masa sumergida msu (kg) | 1,269 |
| masa seco ma s (kg) | 1,994 |
| | |
| Densidad real árido saturado superficialmente seco Dr sss (Kg/m ³) | 2681 |
| Densidad real árido seco Dr s (Kg/m ³) | 2641 |
| Densidad neta DN (Kg/m ³) | 2750 |
| Absorción Ab % | 1,48 |

Tabla N°13: Resultados de ensayos de densidades reales netas y absorción de la gravilla.

Fuente: Elaboración propia.

❖ Arena. (A)

| Detalle | Pesos |
|---|-------------|
| masa del matraz con agua Ma (grs) | 660,740 |
| masa del matraz con agua + muestra Mm (grs) | 698,070 |
| masa muestra saturada superficialmente seca m sss (grs) | 60,167 |
| masa muestra seca ms (grs) | 59,109 |
| | |
| Densidad real árido saturado superficialmente seco Dr sss (Kg/m ³) | 2635 |
| Densidad real árido seco Dr s (Kg/m ³) | 2588 |
| Densidad neta Dn (Kg/m ³) | 2714 |
| Absorción Ab % | 1,79 |

Tabla N°14: Resultados de ensayos de densidades reales netas y absorción de la arena.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.- ESTUDIO DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS.

4.4.1.- Antecedentes.

El material reciclado utilizado para la elaboración de la presente memoria se obtuvo en la obra reposición del consultorio Gil De Castro ubicado en Avenida Ramón Picarte N° 2500 Valdivia, es necesario mencionar que en el proceso de selección del material no se tomaron en cuenta antecedentes como tipo de ladrillos, edad de la construcción demolida, dosificación del mortero.



Imagen N°6: Reciclaje de albañilería.

4.4.2.- Clasificación y limpieza de la albañilería reciclada.

Una vez recolectado nuestro material reciclado es sometido a un proceso de clasificación con el objetivo de eliminar aquellas partes del material reciclado que se encontraban adheridos con otros materiales, luego se realiza un proceso de limpieza, el cual consistió básicamente en lavar el material, para eliminar los restos de materia orgánica, principalmente polvo el cual podría perjudicar nuestros resultados. La capacidad de aprovechamiento del material reciclado es mayor cuanto mayor es la pureza del mismo y menor la presencia de elementos indeseables para el futuro uso.

4.4.3.- Formas de trituración de la albañilería reciclada.

La trituración del material reciclado se realizó manualmente en dos etapas, la primera consistió en colocar el material reciclado dentro de un cajón de madera cuyas dimensiones eran 1,20 m x 1,00 m x 0,40 m. El material fue golpeado con un combo de 12 kg. Una vez llevada a cabo la primera etapa de trituración el material es tamizado en la malla de 1 ½", aquella parte del material cuyo tamaño es superior a 40 mm, es nuevamente triturado, esta vez para ello es usado un martillo carpintero de 6.8 kg. Se utiliza un martillo de menor peso para evitar triturar demasiado el material al ser golpeado.



Imagen N°7: Áridos reciclados, utilizados para el estudio.

4.4.4.- Tamaño de las partículas.

Una vez triturado el material reciclado se procede a realizar un tamizado final, utilizando para ello las normas NCh, dándole el mismo tratamiento que si se estuviese trabajando con áridos naturales.

Los tamices utilizados para esta función son: ¾", N°4, el material que quede retenido en el tamiz de ¾ es utilizado como material grueso, mientras tanto el material que queda retenido en el N°4 es utilizado como material medio, el material que pasa el tamiz N°4 es desechado, ya que solamente se reemplazaran los áridos naturales por áridos reciclados en sus parte gruesa y media.

4.4.5.- Ensayos realizados a los áridos reciclados para la dosificación.

➤ Granulometría

| Granulometría de la Alb. Rec Gruesa. | | | | |
|---|------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|
| Peso Total de la muestra seca. (grs) | | | | 1176 |
| Tamíz | Peso Ret. (grs) | % Retenidos. | % Retenidos Acumulados. | % Que Pasa. |
| 1 1/2" | 0 | 0% | 0% | 100% |
| 1" | 523 | 44% | 44% | 56% |
| 3/4" | 541 | 46% | 90% | 10% |
| 1/2" | 112 | 10% | 100% | 0% |
| 3/8" | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 4 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 8 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 16 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 30 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 50 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 100 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 200 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| Residuo | 0 | 0% | 100% | 0% |
| Total | 1176 | 100% | | |

Tabla N°15: Granulometría de la albañilería reciclada gruesa.
Fuente: Elaboración propia.

| Granulometría de la Alb. Rec Media. | | | | |
|--|------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|
| Peso Total de la muestra seca. (grs) | | | | 1334 |
| Tamíz | Peso Ret. (grs) | % Retenidos. | % Retenidos Acumulados. | % Que Pasa. |
| 1 1/2" | 0 | 0% | 0% | 100% |
| 1" | 0 | 0% | 0% | 100% |
| 3/4" | 0 | 0% | 0% | 100% |
| 1/2" | 863 | 65% | 65% | 35% |
| 3/8" | 313 | 23% | 88% | 12% |
| N° 4 | 158 | 12% | 100% | 0% |
| N° 8 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 16 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 30 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 50 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 100 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| N° 200 | 0 | 0% | 100% | 0% |
| Residuo | 0 | 0% | 100% | 0% |
| Total | 1334 | 100% | | |

Tabla N°16: Granulometría de la albañilería reciclada media.
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Densidad Aparente.**

Se efectuó teniendo en consideración lo descrito en la norma NCh 116 EOf. 77, obteniendo se los siguientes resultados.

| Datos. | Alb. Rec. Grueso | Alb. Rec. Medio. |
|--|-------------------------|-------------------------|
| Peso Tacho + Material (grs) | 8351 | 7443 |
| Peso Material (grs) | 4812 | 3111 |
| Peso Tacho (grs) | 3539 | 4332 |
| Volumen Tacho (Total) (cc.) | 5050 | 3058 |
| Densidad Aparente Suelta (Kg/dm ³) | 0,95 | 1,02 |

Tabla N°17: Densidad aparente áridos reciclados.
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Densidades Reales y Absorción.**

El ensayo para obtener las densidades reales, netas y absorción fue realizado teniendo en consideración lo señalado en la norma NCh 1117. EOf 77, lográndose los resultados que se dan a conocer a continuación.

❖ **Albañilería Reciclada Gruesa.**

| Detalle | Pesos |
|---|--------------|
| masa saturada superficialmente seco ma sss (kg) | 3,451 |
| masa sumergida msu (kg) | 1,832 |
| masa seco ma s (kg) | 3,099 |
| <hr/> | |
| Densidad real árido saturado superficialmente seco Dr sss (Kg/m ³) | 2132 |
| Densidad real árido seco Dr s (Kg/m ³) | 1914 |
| Densidad neta DN (Kg/m ³) | 2446 |
| Absorción Ab % | 11,36 |

Tabla N°18: Resultados de densidades reales, netas y absorción de albañilería reciclada gruesa.
Fuente: Elaboración propia.

❖ **Albañilería Reciclada Media.**

| Detalle | Pesos |
|---|--------------|
| masa saturada superficialmente seco ma sss (kg) | 2,716 |
| masa sumergida msu (kg) | 1,455 |
| masa seco ma s (kg) | 2,419 |
| <hr/> | |
| Densidad real árido saturado superficialmente seco Dr sss (Kg/m ³) | 2154 |
| Densidad real árido seco Dr s (Kg/m ³) | 1918 |
| Densidad neta DN (Kg/m ³) | 2509 |
| Absorción Ab % | 12,26 |

Tabla N°19: Resultados de densidades reales, netas y absorción de albañilería reciclada media.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.6.- Caracterización de los áridos reciclados.

De la observación de los resultados de los ensayos realizados a los áridos reciclados, dados a conocer con anterioridad se puede deducir, que los áridos provenientes del reciclaje no poseen las mismas propiedades físicas del árido de origen natural, llegando en algunos casos a incumplir los requisitos impuestos por la normativa chilena lo cual constituye un inconveniente para su futura utilización.

A continuación se analizan cada una de las propiedades de los áridos reciclados.

❖ Granulometría.

Aunque la normativa chilena no establece ningún requisito sobre la granulometría del árido reciclado como árido grueso y medio para su utilización en hormigón, sí establece límites según el tamaño máximo y mínimo del árido. Considerando las curvas granulométricas obtenidas, si bien no se sitúan completamente dentro de las bandas, son aceptables para utilizarlas en la fabricación de un nuevo hormigón.

❖ Absorción.

Los resultados obtenidos en este estudio han presentado valores de hasta un 12% de absorción en los áridos reciclados. Teniendo en consideración este dato se tendrá un mayor cuidado en las dosificaciones, en particular con el cálculo del agua de amasado y su correspondiente corrección.

❖ Densidad

El rango normal de la densidad real del árido natural fluctúa entre los 2.000 y 2.600 Kg/m³, presentando una menor densidad el árido reciclado debido a su composición diversa.

❖ Contenido de granos finos.

La parte gruesa y media de los áridos reciclados sobrepasa los límites y la razón de este exceso se debe a que el material fino de la mezcla anterior (cemento más arena). Entonces, al pasar por el proceso de trituración se genera gran cantidad de polvillo que se adhiere a las partículas gruesas que se incorporan a la nueva mezcla.

❖ **Forma de los granos.**

Del proceso de triturado se obtuvieron partículas rodadas del árido virgen original utilizado para el mortero y un porcentaje importante de partículas en forma de piedra laja.

4.5.- DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES.

4.5.2.- Dosificación del hormigón patrón.

Los parámetros considerados para la dosificación del hormigón patrón son los siguientes: nivel de confianza 80% ($t = 0.842$), condiciones previstas por el laboratorio Lemco "S" 47.6 kgf/cm², descenso del cono de Abrams 6-9 cm para H-25 y H-30, 3-5 cm para HF 3.6, tamaño máximo del árido 40 mm, Cemento especial Melón, grado corriente.

➤ **Determinación de porcentajes.**

Resulta pertinente señalar que el hormigón patrón se confecciona con tres fracciones de áridos naturales grava, gravilla y arena. Para determinar los porcentajes en los cuales se incorporaran los materiales en la mezcla se utilizara el método del triángulo de Feret.

| % Retenidos. | | | | |
|---------------------|--------------|-----------------|--------------|----------|
| Tamíz | Grava | Gravilla | Arena | |
| 1 1/2" | 0% | 0% | 0% | G |
| 1" | 70% | 0% | 0% | |
| 3/4" | 21% | 2% | 0% | |
| 1/2" | 7% | 56% | 0% | M |
| 3/8" | 2% | 31% | 3% | |
| N° 4 | 0% | 11% | 17% | |
| N° 8 | 0% | 0% | 13% | F |
| N° 16 | 0% | 0% | 10% | |
| N° 30 | 0% | 0% | 29% | |
| N° 50 | 0% | 0% | 22% | |
| N° 100 | 0% | 0% | 4% | |
| N° 200 | 0% | 0% | 1% | |
| Residuo | 0% | 0% | 0% | |
| Total | 100% | 100% | 100% | |

Tabla N°20: Resumen de granulometrías según material grueso, medio y fino.
Fuente: Elaboración propia.

| | Grueso % | Medio % | Fino % | Total |
|----------------|----------|---------|--------|-------|
| Grava (R) | 91% | 9% | 0% | 100% |
| Gravilla (g) | 2% | 98% | 0% | 100% |
| Arena (A) | 0% | 20% | 80% | 100% |

Tabla N°21: Porcentajes retenidos.
Fuente: Elaboración propia.

| | X | Y |
|------------|----|----|
| Grueso (%) | 40 | 20 |
| Medio (%) | 36 | 32 |
| Fino (%) | 24 | 48 |

Tabla N°22: Porcentajes de material grueso, medio y fino.
Fuente: Elaboración propia.

TRIANGULO DE FERET.

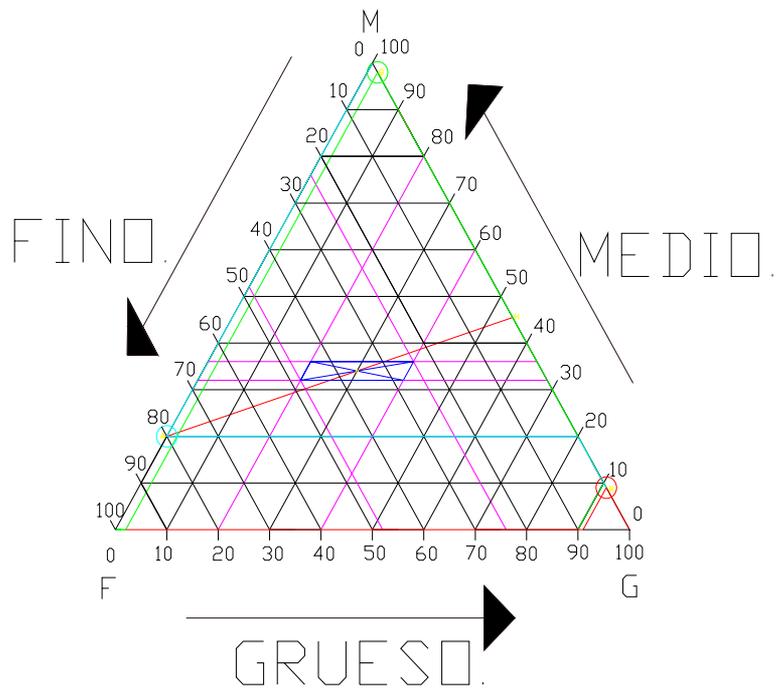


Imagen N°8: Triangulo de Feret.

| | |
|----|-------|
| n1 | 52,54 |
| m1 | 36,46 |
| n2 | 31,86 |
| m2 | 38,94 |

Tabla N°23: Datos obtenidos del triangulo de Feret.
Fuente: Elaboración propia.

| | |
|---|-----|
| A | 45% |
| R | 32% |
| g | 23% |

Tabla N°24: Porcentajes a incorporar en la mezcla.
Fuente: Elaboración propia.

| Tamíz | % Pasan. | | | % de la Mezcla. 32%R + 23%g + 45A | Especificación T. Max. 40mm |
|--------|----------|----------|-------|--------------------------------------|--------------------------------|
| | Grava | Gravilla | Arena | | |
| 1 1/2" | 100% | 100% | 100% | 100% | 100 -- 100 |
| 1" | 23% | 100% | 100% | 79% | -- |
| 3/4" | 1% | 91% | 100% | 70% | 60 -- 80 |
| 1/2" | 0% | 38% | 100% | 55% | -- |
| 3/8" | 0% | 9% | 97% | 46% | 40 -- 61 |
| N° 4 | 0% | 0% | 80% | 36% | 24 -- 48 |
| N° 8 | 0% | 0% | 67% | 30% | 15 -- 37 |
| N° 16 | 0% | 0% | 57% | 26% | 10 -- 28 |
| N° 30 | 0% | 0% | 28% | 13% | 6 -- 19 |
| N° 50 | 0% | 0% | 5% | 2% | 3 -- 11 |
| N° 100 | 0% | 0% | 1% | 0% | 2 -- 5 |

Tabla N°25: Ajustes de grava, gravilla y arena a las bandas de especificación.
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Resistencia media requerida (fr)**

La resistencia media requerida se determina utilizando la siguiente formula.

$$fr = Rc + S*t$$

Donde:

Rc= Resistencia especificada.

S= Desviación estándar

t= Nivel de confianza.

Resistencia media requerida para H-25 fr=290 (kgf/cm²)

Resistencia media requerida para H-30 fr=340 (kgf/cm²)

Resistencia media requerida para HF 3.6 fr=364 (kgf/cm²)

➤ **Razón agua cemento (A/C)**

Para obtener la razón agua cemento se utilizo la tabla N°3 de la Nch 170.

-Razón agua cemento para H-25 A/C=0.5

-Razón agua cemento para H-30 A/C=0.45

-Razón agua cemento para HF 3.6 A/C=0.425(*)

(*)Para obtener este dato se utilizo el manual de vialidad (LNV) debido a que en la Nch 170 no se encuentra especificado.

➤ **Agua (A).**

La cantidad de agua utilizada fue obtenida de la tabla N°22 de la Nch 170

-Cantidad agua H-25 A=170 lts.

-Cantidad agua H-30 A=170 lts.

-Cantidad agua Hf 3.6 A=160 lts.

➤ **Cemento (C).**

La cantidad de cemento utilizada viene determinada por la formula

$$C = \frac{A}{A/C}$$

-Cantidad cemento para H-25 C= 340 kg.

-Cantidad cemento para H-30 C= 378 kg.

-Cantidad cemento para HF 3.6 C= 376 kg.

➤ **Aire.**

La cantidad de aire incorporada en la mezcla viene determinada en la tabla N°23 de la Nch 170, teniendo en consideración que el tamaño máximo nominal de los áridos utilizados en la mezcla es de 40 mm se tienen las siguientes cantidades de aire.

-Cantidad de aire para H-25 = 0.010 m³ (10 lts).

-Cantidad de aire para H-30 = 0.010 m³ (10 lts).

-Cantidad de aire para HF 3.6 = 0.010 m³ (10 lts).

➤ **Volumen de los áridos.**

El volumen de los áridos utilizados en la mezcla se determina utilizando la siguiente formula.

$$V = 1000 - \left(A + \frac{C}{3} + aire \right)$$

Donde:

V: Volumen que ocupan los áridos.

A: Dosis de agua.

C: Cantidad de cemento utilizada.

- Volumen áridos para H-25 V=707 lts.
- Volumen áridos para H-30 V=694 lts.
- Volumen áridos para HF 3.6 V=705 lts.

Una vez calculado el volumen de los áridos se procede a calcular el peso de los áridos para ello se utiliza la siguiente formula.

$$P = \frac{V * (\hat{\rho}rR * \hat{\rho}rg * \hat{\rho}ra)}{(\%a * \hat{\rho}rR * \hat{\rho}rg) + (\%g * \hat{\rho}rR * \hat{\rho}ra) + (\%R * \hat{\rho}rg * \hat{\rho}ra)}$$

Donde:

P= Peso total de los áridos.

$\hat{\rho}rR$ = Densidad real de la grava.

$\hat{\rho}rg$ = Densidad real de la gravilla.

$\hat{\rho}ra$ = Densidad real de la arena.

%R= Porcentaje de grava

%g= Porcentaje de gravilla.

%a= Porcentaje de arena.

Peso áridos para H-25 P=1861 kg.

R= 595 kg.

g= 428 kg.

a= 837 kg.

Peso áridos para H-30 P=1827 kg.

R=585 kg.

g= 420 kg.

a= 822 kg.

Peso áridos para HF 3.6 P= 1855 kg.

R= 594 kg.

g= 427 kg.

a= 835 kg.

❖ **Resumen para hormigón patrón H-25**

| | 1 M3 |
|-------------|-------------------------|
| Fr | 290 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,5 - |
| Cemento | 340 Kg |
| Agua | 170 Lts |
| Peso áridos | 1861 Kg |
| Grava | 595 Kg |
| Gravilla | 428 Kg |
| Arena | 837 Kg |

Tabla N°26: Resumen Dosificación H-25 para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 26 Lts. |
|-------------------|----------------|
| Cemento | 8,84 Kg |
| Agua | 3,41 Lts |
| Grava | 15,72 Kg |
| Gravilla | 11,36 Kg |
| Arena | 22,96 Kg |

Tabla N°27: Resumen de dosificación H-25 para 26 lts.
Fuente: Elaboración propia.

❖ **Resumen para hormigón patrón H-30**

| | 1 M3 |
|-------------|-------------------------|
| Fr | 340 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,45 - |
| Cemento | 378 Kg |
| Agua | 170 Lts |
| Peso áridos | 1827 Kg |
| Grava | 585 Kg |
| Gravilla | 420 Kg |
| Arena | 822 Kg |

Tabla N°28: Resumen Dosificación H-30 para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 26 Lts. |
|-------------------|----------------|
| Cemento | 9,82 Kg |
| Agua | 3,53 Lts |
| Grava | 15,34 Kg |
| Gravilla | 11,21 Kg |
| Arena | 22,50 Kg |

Tabla N°29: Resumen de dosificación H-30 para 26 lts.
Fuente: Elaboración propia.

❖ **Resumen para hormigón patrón HF 3.6.**

| | 1 M3 |
|-------------|-------------------------|
| Fr | 364 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,425 - |
| Cemento | 376 Kg |
| Agua | 160 Lts |
| Peso áridos | 1855 Kg |
| Grava | 594 Kg |
| Gravilla | 427 Kg |
| Arena | 835 Kg |

Tabla N°30: Resumen Dosificación HF 3.6 para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 50 Lts. |
|-------------------|----------------|
| Cemento | 18,82 Kg |
| Agua | 6,07 lts |
| Grava | 30,15 kg |
| Gravilla | 21,95 kg |
| Arena | 44,02 kg |

Tabla N°31: Resumen de dosificación HF 3.6 para 50 lts.
Fuente: Elaboración propia.

4.5.3.- Dosificación del hormigón con árido reciclado.

Para realizar la dosificación del hormigón fabricado con árido reciclado se utilizó como base la dosificación del hormigón patrón, considerando los mismos parámetros, se fueron reemplazando diversos porcentajes de áridos de origen natural por áridos reciclados. Es importante dejar en claro que los áridos reciclados fueron utilizados en estado superficialmente seco (debido a que poseían mayor porosidad) y los áridos de origen natural se utilizaron en forma normal. También es importante mencionar que se fueron calculando valores estimativos para determinar las densidades aparentes, reales y porcentajes de absorción de acuerdo a los porcentajes de áridos reemplazados.

4.2.7. Porcentajes de áridos a reemplazar.

Como se dijo anteriormente los porcentajes en los cuales se reemplazara los áridos naturales por áridos reciclados fueron determinados en base a la experiencia practica que arrojó la confección de las primeras probetas, de este modo no fue posible de confeccionar hormigones con porcentajes de áridos reciclados superiores al 50%, para los hormigones H-25, H-30, en tanto que para el hormigón HF 3.6 solo se pudo reemplazar hasta un 40%. Debido a que la mezcla resultante presentaba una notoria disminución del asentamiento del cono de Abrams, a medida que aumentaba el porcentaje de áridos de reemplazo. Esta disminución en el asentamiento del cono provocaba problemas serios de trabajabilidad por lo cual resultaba imposible realizar una adecuada compactación del hormigón resultante.



Imagen N°9: Probetas construidas con altos % de áridos reciclados.

De esta forma se obtienen los siguientes cuadros resúmenes, según los porcentajes de áridos reciclados de reemplazo, para las distintas clases de hormigones estudiados.

➤ **Hormigón H-25 con distintos porcentajes de áridos reciclados.**

- ❖ Hormigón H-25 con 10% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|-------------------------|
| Fr | 290 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,5 |
| Cemento | 340 Kg |
| Agua | 170 lts |
| Peso áridos | 1827 Kg |
| Grava | 535,5 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 49 Kg |
| Gravilla | 385,2 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 35,3 Kg |
| Arena | 822,3 Kg |

Tabla N°32: Resumen Dosificación H-25 con 10% albañilería reciclada para un metro cúbico.

Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 26 lts. |
|-----------------------|----------|
| Cemento | 8,84 kg |
| Agua | 3,64 lts |
| Grava | 14,11 kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 1,29 kg |
| Gravilla | 10,22 kg |
| Alb. Reciclada Media | 0,94 kg |
| Arena | 22,63 kg |

Tabla N°33: Resumen de dosificación H-25 con 10% albañilería reciclada para 26 lts.

Fuente: Elaboración propia.

- ❖ Hormigón H-25 con 20% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|-------------------------|
| Fr | 290 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,5 |
| Cemento | 340 Kg |
| Agua | 170 lts |
| Peso áridos | 1795 Kg |
| Grava | 476 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 98 Kg |
| Gravilla | 342,4 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 70,6 Kg |
| Arena | 807,6 Kg |

Tabla N°34: Resumen Dosificación H-25 con 20% albañilería reciclada para un metro cúbico.

Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 26 lts. |
|-----------------------|----------|
| Cemento | 8,84 kg |
| Agua | 3,89 lts |
| Grava | 12,54 kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 2,58 kg |
| Gravilla | 9,08 kg |
| Alb. Reciclada Media | 1,87 kg |
| Arena | 22,23 kg |

Tabla N°35: Resumen de dosificación H-25 con 20% albañilería reciclada para 26 lts.

Fuente: Elaboración propia.

❖ Hormigón H-25 con 30% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|-------------------------|
| Fr | 290 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,5 |
| Cemento | 340 Kg |
| Agua | 170 lts |
| Peso áridos | 1762 Kg |
| Grava | 416,5 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 147 Kg |
| Gravilla | 299,6 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 105,9 Kg |
| Arena | 792,9 Kg |

Tabla N°36: Resumen Dosificación H-25 con 30% albañilería reciclada para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 26 lts. |
|-----------------------|----------------|
| Cemento | 8,84 kg |
| Agua | 4,14 lts |
| Grava | 10,97 kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 3,88 kg |
| Gravilla | 7,95 kg |
| Alb. Reciclada Media | 2,81 kg |
| Arena | 21,82 kg |

Tabla N°37: Resumen de dosificación H-25 con 30% albañilería reciclada para 26 lts.
Fuente: Elaboración propia.

❖ Hormigón H-25 con 40% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|-------------------------|
| Fr | 290 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,5 |
| Cemento | 340 Kg |
| Agua | 170 lts |
| Peso áridos | 1729 Kg |
| Grava | 357 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 196 Kg |
| Gravilla | 256,8 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 141,2 Kg |
| Arena | 778,2 Kg |

Tabla N°38: Resumen Dosificación H-25 con 40% albañilería reciclada para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 26 lts. |
|-----------------------|----------------|
| Cemento | 8,84 kg |
| Agua | 4,39 lts |
| Grava | 9,41 kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 6,81 kg |
| Gravilla | 5,17 kg |
| Alb. Reciclada Media | 3,74 kg |
| Arena | 21,42 kg |

Tabla N°39: Resumen de dosificación H-25 con 40% albañilería reciclada para 26 lts.
Fuente: Elaboración propia.

❖ Hormigón H-25 con 50% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|-------------------------|
| Fr | 290 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,5 |
| Cemento | 340 Kg |
| Agua | 170 lts |
| Peso áridos | 1697 Kg |
| Grava | 297,5 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 245 Kg |
| Gravilla | 214 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 176,5 Kg |
| Arena | 763,5 Kg |

Tabla N°40: Resumen Dosificación H-25 con 50% albañilería reciclada para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 26 lts. |
|-----------------------|----------|
| Cemento | 8,84 kg |
| Agua | 4,65 lts |
| Grava | 7,84 kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 5,68 kg |
| Gravilla | 6,46 kg |
| Alb. Reciclada Media | 4,68 kg |
| Arena | 21,01 kg |

Tabla N°41: Resumen de dosificación H-25 con 50% albañilería reciclada para 26 lts.
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Hormigón H-30 con distintos porcentajes de áridos reciclados.**

❖ Hormigón H-30 con 10% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|-------------------------|
| Fr | 340 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,45 |
| Cemento | 378 Kg |
| Agua | 170 lts |
| Peso áridos | 1795 Kg |
| Grava | 527 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 48 Kg |
| Gravilla | 378 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 35 Kg |
| Arena | 808 Kg |

Tabla N°42: Resumen Dosificación H-30 con 10% albañilería reciclada para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 26 Lts |
|-----------------------|----------|
| Cemento | 9,82 Kg |
| Agua | 3,78 Lts |
| Grava | 13,8 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 1,26 Kg |
| Gravilla | 10,09 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 0,92 Kg |
| Arena | 22,10 Kg |

Tabla N°43: Resumen de dosificación H-30 con 10% albañilería reciclada para 26 lts.
Fuente: Elaboración propia.

❖ Hormigón H-30 con 20% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|-------------------------|
| Fr | 340 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,45 |
| Cemento | 378 Kg |
| Agua | 170 lts |
| Peso áridos | 1763 Kg |
| Grava | 468 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 96 Kg |
| Gravilla | 336 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 69 Kg |
| Arena | 793 Kg |

Tabla N°44: Resumen Dosificación H-30 con 20% albañilería reciclada para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 26 Lts |
|-----------------------|----------|
| Cemento | 9,82 Kg |
| Agua | 4,0 Lts |
| Grava | 12,27 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 2,53 Kg |
| Gravilla | 8,97 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 1,85 Kg |
| Arena | 21,71 Kg |

Tabla N°45: Resumen de dosificación H-30 con 20% albañilería reciclada para 26 lts.
Fuente: Elaboración propia.

❖ Hormigón H-30 con 30% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|-------------------------|
| Fr | 340 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,45 |
| Cemento | 378 Kg |
| Agua | 170 lts |
| Peso áridos | 1730 Kg |
| Grava | 410 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 145 Kg |
| Gravilla | 294 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 104 Kg |
| Arena | 779 Kg |

Tabla N°46: Resumen Dosificación H-30 con 30% albañilería reciclada para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 26 Lts |
|-----------------------|----------|
| Cemento | 9,82 Kg |
| Agua | 4,26 Lts |
| Grava | 10,74 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 3,79 Kg |
| Gravilla | 7,85 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 2,77 Kg |
| Arena | 21,31 Kg |

Tabla N°47: Resumen de dosificación H-30 con 30% albañilería reciclada para 26 lts.
Fuente: Elaboración propia.

❖ Hormigón H-30 con 40% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|-------------------------|
| Fr | 340 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,45 |
| Cemento | 378 Kg |
| Agua | 170 lts |
| Peso áridos | 1698 Kg |
| Grava | 351 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 193 Kg |
| Gravilla | 252 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 138 Kg |
| Arena | 764 Kg |

Tabla N°48: Resumen Dosificación H-30 con 40% albañilería reciclada para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 26 Lts |
|-----------------------|----------|
| Cemento | 9,82 Kg |
| Agua | 4,51 Lts |
| Grava | 9,21 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 5,06 Kg |
| Gravilla | 6,73 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 4,70 Kg |
| Arena | 20,92 Kg |

Tabla N°49: Resumen de dosificación H-30 con 40% albañilería reciclada para 26 lts.
Fuente: Elaboración propia.

❖ Hormigón H-30 con 50% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|-------------------------|
| Fr | 340 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,45 |
| Cemento | 378 Kg |
| Agua | 170 lts |
| Peso áridos | 1639 Kg |
| Grava | 293 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 214 Kg |
| Gravilla | 210 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 173 Kg |
| Arena | 750 Kg |

Tabla N°50: Resumen Dosificación H-30 con 50% albañilería reciclada para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 26 Lts |
|-----------------------|----------|
| Cemento | 9,82 Kg |
| Agua | 4,76 Lts |
| Grava | 7,67 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 6,32 Kg |
| Gravilla | 5,61 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 4,62 Kg |
| Arena | 20,52 Kg |

Tabla N°51: Resumen de dosificación H-30 con 50% albañilería reciclada para 26 lts.
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Hormigón HF 3.6 con distintos porcentajes de áridos reciclados.**

❖ Hormigón HF 3.6 con 10% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|------------------------|
| Fr | 364 Kg/cm ² |
| Razón A/C | 0,425 |
| Cemento | 376 Kg |
| Agua | 160 lts |
| Peso áridos | 1823,2 Kg |
| Grava | 534,6 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 48,9 Kg |
| Gravilla | 384,3 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 35,1 Kg |
| Arena | 820,3 Kg |

Tabla N°52: Resumen Dosificación HF 3.6 con 10% albañilería reciclada para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 50 Lts |
|-----------------------|----------|
| Cemento | 18,82 Kg |
| Agua | 6,55 Lts |
| Grava | 27,14 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 2,48 Kg |
| Gravilla | 19,76 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 1,81 Kg |
| Arena | 43,24 Kg |

Tabla N°53: Resumen de dosificación HF 3.6 con 10% albañilería reciclada para 50 lts.
Fuente: Elaboración propia.

❖ Hormigón HF 3.6 con 20% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|------------------------|
| Fr | 364 Kg/cm ² |
| Razón A/C | 0,425 |
| Cemento | 376 Kg |
| Agua | 160 lts |
| Peso áridos | 1790,4 Kg |
| Grava | 475,2 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 97,8 Kg |
| Gravilla | 341,6 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 70,2 Kg |
| Arena | 805,6 Kg |

Tabla N°54: Resumen Dosificación HF 3.6 con 20% albañilería reciclada para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 50 Lts |
|-----------------------|----------|
| Cemento | 18,82 Kg |
| Agua | 7,04 Lts |
| Grava | 24,12 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 4,97 Kg |
| Gravilla | 17,56 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 3,62 Kg |
| Arena | 42,47 Kg |

Tabla N°55: Resumen de dosificación HF 3.6 con 20% albañilería reciclada para 50 lts.
Fuente: Elaboración propia.

❖ Hormigón HF 3.6 con 30% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|-------------------------|
| Fr | 364 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,425 |
| Cemento | 376 Kg |
| Agua | 160 lts |
| Peso áridos | 1757,6 Kg |
| Grava | 415,8 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 146,7 Kg |
| Gravilla | 298,9 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 105,3 Kg |
| Arena | 790,9 Kg |

Tabla N°56: Resumen Dosificación HF 3.6 con 30% albañilería reciclada para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 50 Lts |
|-----------------------|----------|
| Cemento | 18,82 Kg |
| Agua | 7,52 Lts |
| Grava | 21,11 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 7,45 Kg |
| Gravilla | 15,37 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 5,43 Kg |
| Arena | 41,69 Kg |

Tabla N°57: Resumen de dosificación HF 3.6 con 30% albañilería reciclada para 50 lts.
Fuente: Elaboración propia.

❖ Hormigón HF 3.6 con 40% albañilería reciclada.

| | 1 M3 |
|-----------------------|-------------------------|
| Fr | 364 Kgf/cm ² |
| Razón A/C | 0,425 |
| Cemento | 376 Kg |
| Agua | 160 lts |
| Peso áridos | 1724,8 Kg |
| Grava | 356,4 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 195,6 Kg |
| Gravilla | 256,2 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 140,4 Kg |
| Arena | 746,2 Kg |

Tabla N°58: Resumen Dosificación HF 3.6 con 40% albañilería reciclada para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración propia.

| Componente | 50 Lts |
|-----------------------|----------|
| Cemento | 18,82 Kg |
| Agua | 8 Lts |
| Grava | 18,09 Kg |
| Alb. Reciclada Gruesa | 9,93 Kg |
| Gravilla | 13,17 Kg |
| Alb. Reciclada Media | 7,24 Kg |
| Arena | 40,92 Kg |

Tabla N°59: Resumen de dosificación HF 3.6 con 40% albañilería reciclada para 50 lts.
Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V.

PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS.

5.1.- GENERALIDADES.

En el presente estudio se confeccionaron probetas destinadas a ensayos de compresión y flexotracción de acuerdo a lo estipulado en las normas NCh 1037 Of 77 y NCh 1038 Of 77 respectivamente.

5.2.- CONFECCIÓN Y CURADO DE PROBETAS PARA ENSAYOS.

Llenado de moldes: Para colocar las mezclas de hormigón se utilizaron moldes metálicos de 15 x 15 cm., los cuales presentaban una superficie interior completamente estanca, lisa, libre de saltaduras y resaltes. Antes de vaciar el hormigón en su interior fueron provistos de una delgada capa, mezcla de aceite mineral y petróleo, esto se realizo para facilitar el posterior desmolde.

El llenado de los moldes se efectuó con posterioridad a la determinación del cono de Abrams.



Imagen N°10: Moldes cúbicos de 15 x 15 cm. Provistos de una capa desmoldante.

Compactación de probetas: Para compactar las probetas se introdujo una sonda cuya frecuencia mínima de vibración es de 6000 pulsaciones por minuto, esta sonda fue embutida en forma vertical en el punto central del molde y sin tocar los bordes.

Acabado e identificación de probetas: Una vez finalizada la compactación, se procede a enrasar la superficie de cada probeta, posteriormente son identificadas.



Imagen N°11: Probetas recién construidas.

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



Imagen N°12: Desmolde de probetas.

Proceso de curado: El curado inicial se realizó en el mismo lugar donde se confeccionaron las probetas, consistió básicamente en proteger las probetas con polietileno (plástico).

Como se dijo anteriormente después de transcurridas 48 horas fueron desmoldadas las probetas, posteriormente fueron trasladadas hasta la piscina de curado. Esta piscina de curado cuenta con climatización lo cual le permite mantener el agua a una temperatura controlada entre 17 – 23 °C, en este lugar permanecieron las probetas hasta la fecha de ensayo.

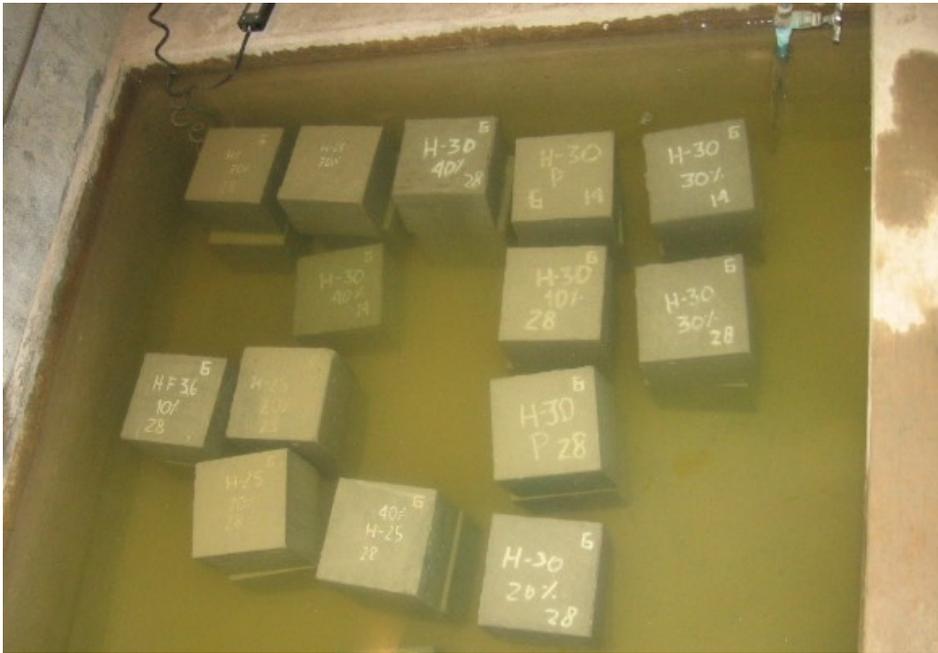


Imagen N°13: Probetas sumergidas en la piscina de curado.

5.3.- ENSAYOS Y SUS RESULTADOS.

5.3.1.- Determinación de la docilidad.

La docilidad del hormigón con el cual se fabricarían las probetas, se determino por



medio de la utilización del cono de Abrams según lo especificado en la norma NCh 1019 Of 74.

Imagen N°14: Cono de Abrams.

❖ Docilidad del Hormigón H-25.

| Hormigón H-25 | Cono (cm) | Variación del cono respecto al patrón (cm) |
|---------------|-----------|--|
| Patrón | 7,5 | - |
| 10% Alb. Rec. | 6,9 | 0,6 |
| 20% Alb. Rec. | 5,7 | 1,8 |
| 30% Alb. Rec. | 4,5 | 3 |
| 40% Alb. Rec. | 3,2 | 4,3 |
| 50% Alb. Rec. | 1,5 | 6 |

Tabla N°60: Resultados de la medición de cono Abrams, H-25.
Fuente: Elaboración propia.

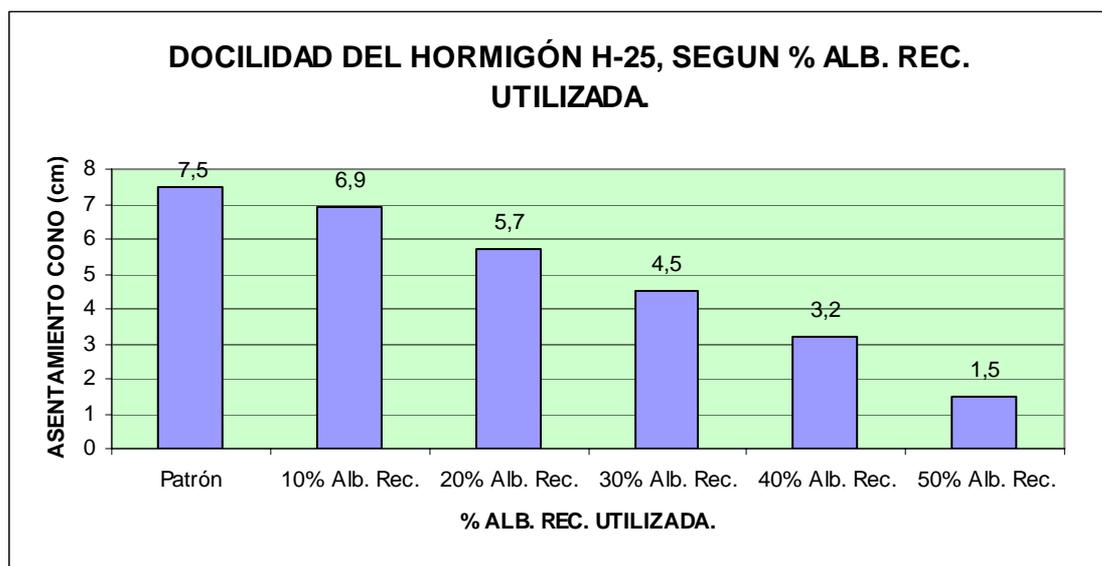


Grafico N°1: Variación de la docilidad del hormigón H-25, según % Alb. Rec. Utilizada.

❖ **Docilidad del Hormigón H-30.**

| Hormigón H-30 | Cono (cm) | Variación del cono respecto al patrón (cm) |
|---------------|-----------|--|
| Patrón | 6,5 | - |
| 10% Alb. Rec. | 6,1 | 0,4 |
| 20% Alb. Rec. | 5,2 | 1,3 |
| 30% Alb. Rec. | 3,5 | 3,0 |
| 40% Alb. Rec. | 1,8 | 4,7 |
| 50% Alb. Rec. | 0,5 | 6 |

Tabla N°61: Resultados de la medición de cono Abrams, H-30.

Fuente: Elaboración propia.

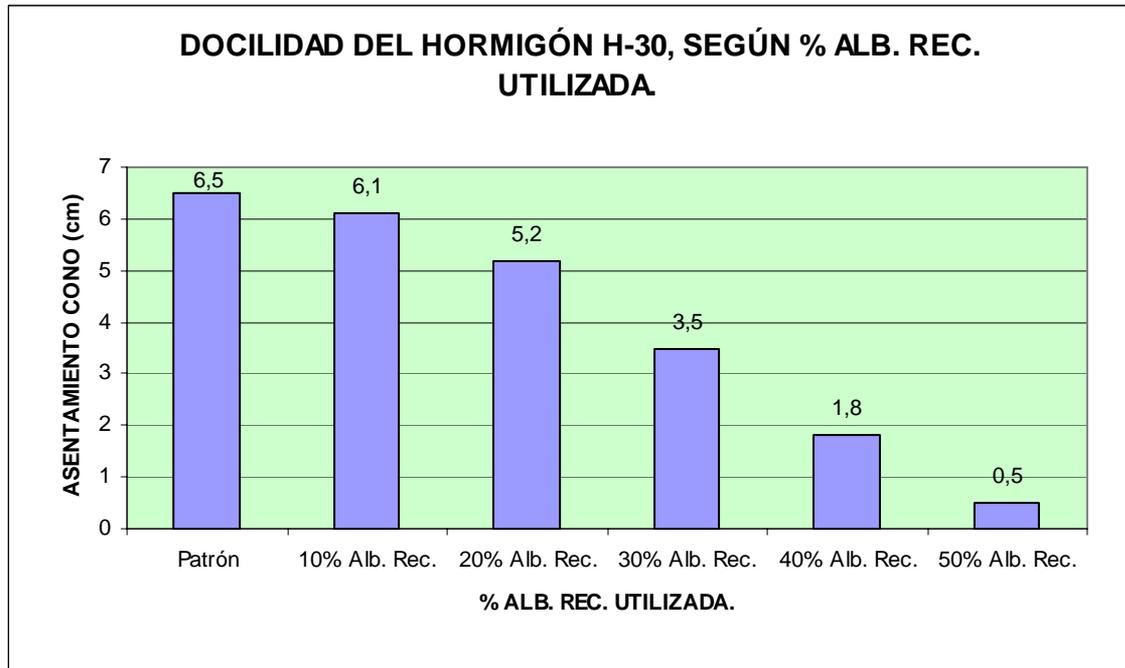


Grafico N°2: Variación de la docilidad del hormigón H-30, según % Alb. Rec. Utilizada.

❖ **Docilidad del Hormigón HF 3.6.**

| Hormigón HF 3,6 | Cono (cm) | Variación del cono respecto al patrón (cm) |
|-----------------|-----------|--|
| Patrón | 4,2 | - |
| 10% Alb. Rec. | 3,4 | 0,8 |
| 20% Alb. Rec. | 2,5 | 1,7 |
| 30% Alb. Rec. | 1,4 | 2,8 |
| 40% Alb. Rec. | 0,3 | 3,9 |

Tabla N°62: Resultados de la medición de cono Abrams, HF 3.6.
Fuente: Elaboración propia.

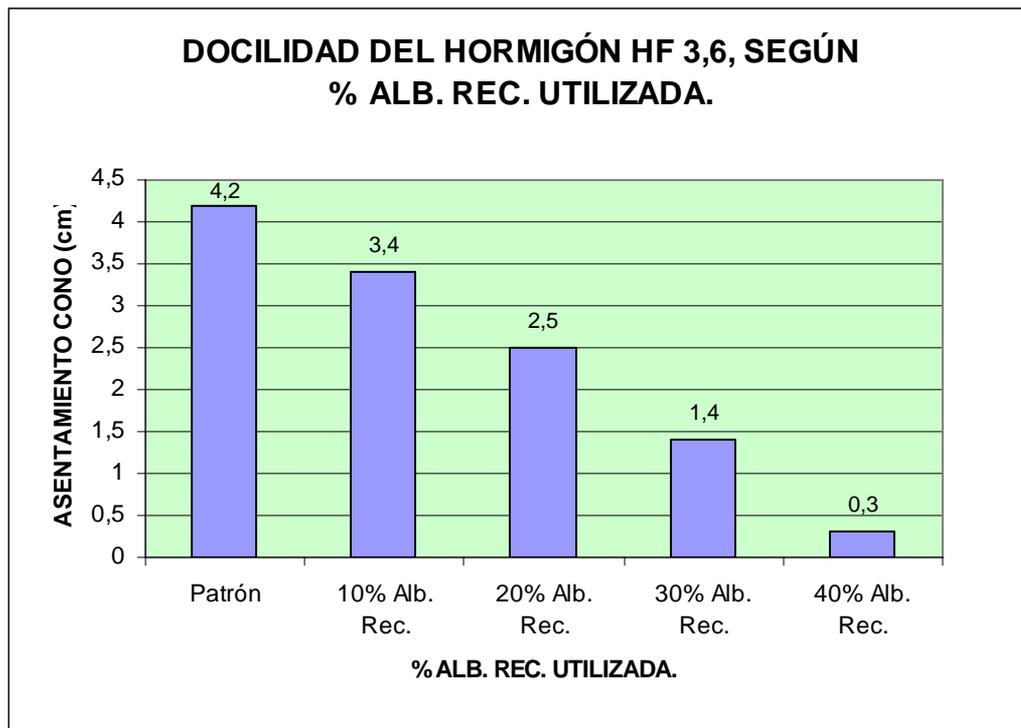


Grafico N°3: Variación de la docilidad del hormigón HF 3.6, según % Alb. Rec. Utilizada.

5.3.2.- Determinación de la densidad.

❖ Densidades del Hormigón H-25.

| Hormigón H-25 | Promedio Densidades (Kg/m ³) | Variación Densidad Respecto Hormigón Patrón. (%) |
|---------------|--|--|
| Patrón | 2430,84 | - |
| 10% Alb. Rec. | 2400,40 | 1,3% |
| 20% Alb. Rec. | 2374,76 | 2,3% |
| 30% Alb. Rec. | 2361,46 | 2,9% |
| 40% Alb. Rec. | 2348,33 | 3,4% |
| 50% Alb. Rec. | 2315,19 | 4,8% |

Tabla N°63: Densidades promedios H-25.

Fuente: Elaboración propia.

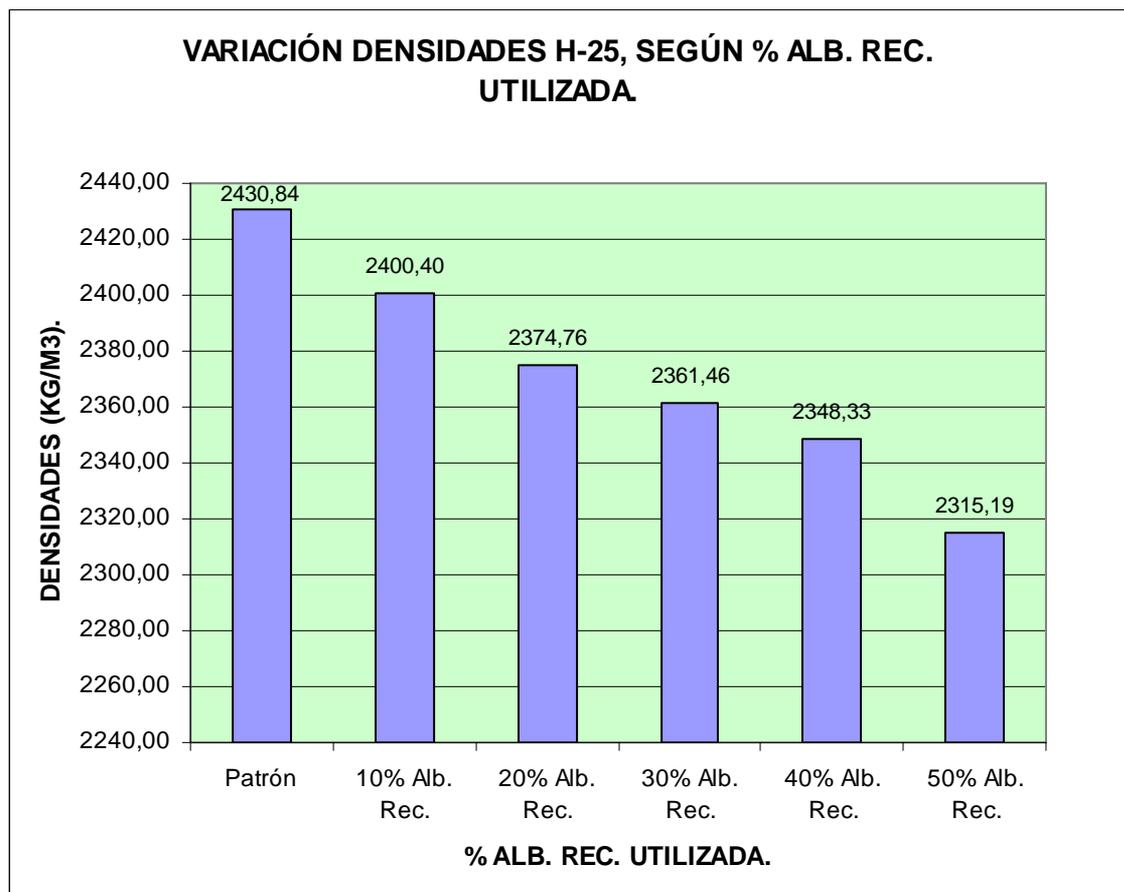


Grafico N°4: Variación promedio de las densidades H-25.

❖ Densidades del Hormigón H-30

| Hormigón H-30 | Promedio Densidades (Kg/m ³) | Variación Densidad Respecto Hormigón Patrón. (%) |
|---------------|--|--|
| Patrón | 2437,01 | - |
| 10% Alb. Rec. | 2407,19 | 1,2% |
| 20% Alb. Rec. | 2374,76 | 2,6% |
| 30% Alb. Rec. | 2350,90 | 3,5% |
| 40% Alb. Rec. | 2327,35 | 4,5% |
| 50% Alb. Rec. | 2302,15 | 5,5% |

Tabla N°64: Densidades promedios H-30.

Fuente: Elaboración propia.



Gráfico N°5: Variación promedio de las densidades H-30.

❖ **Densidades del Hormigón HF 3.6**

| Hormigón HF 3,6 | Promedio Densidades (Kg/m3) | Variación Densidad Respecto Hormigón Patrón. (%) |
|-----------------|-----------------------------|--|
| Patrón | 2437,52 | - |
| 10% Alb. Rec. | 2418,27 | 0,8% |
| 20% Alb. Rec. | 2406,47 | 1,3% |
| 30% Alb. Rec. | 2385,13 | 2,1% |
| 40% Alb. Rec. | 2349,39 | 3,6% |

Tabla N°65: Densidades promedios HF 3.6.

Fuente: Elaboración propia.

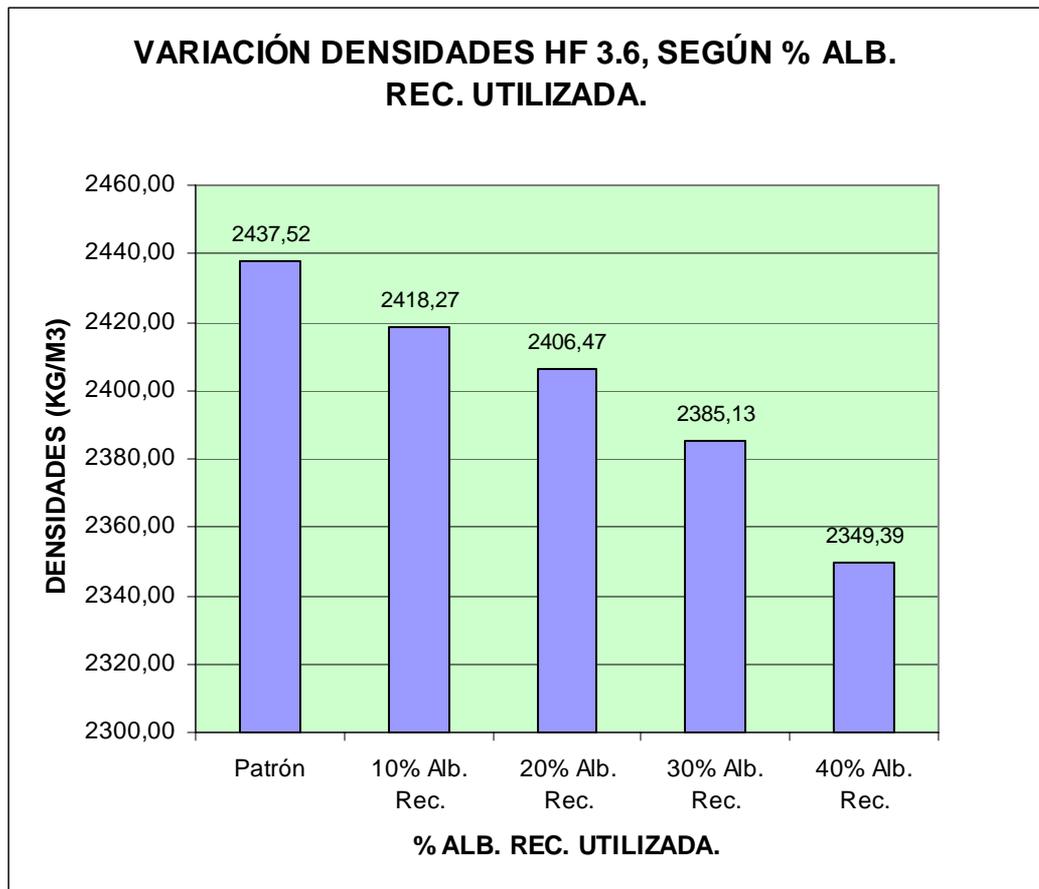


Gráfico N°6: Variación promedio de las densidades HF 3.6.

5.3.3.- Determinación de las resistencias.

➤ Ensayos de compresión.

La norma NCh 1037 Of 77 establece método para realizar el ensayo por compresión de probetas cúbicas.

Procedimiento: Se procede a retirar de la piscina de curado las probetas, se registra su masa, se miden los anchos y las alturas de las cuatro caras laterales del cubo, luego se limpian las superficies de las placas de carga y de las caras de ensayo de las probetas, es importante mencionar que la velocidad con la cual serán ensayadas las probetas debe ser uniforme.



Imagen N°15: Probeta en la maquina de compresión.



Imagen N°16: Ensayo de probetas compresión.

Las probetas confeccionadas son ensayadas a los 3, 7, 14 y 28 días, a continuación se detallan los resultados obtenidos para los distintos hormigones confeccionados.



Imagen N°17: Probeta ensayada con 20% albañilería reciclada.

❖ Resistencia Hormigón H-25.

- H-25, tres días.

| HORMIGÓN H-25 | RESISTENCIA (kg/cm ²) | % DISMINUYE LA RESISTENCIA RESPECTO HORMIGÓN PATRÓN |
|---------------|-----------------------------------|---|
| PATRÓN | 126,67 | - |
| 10% ALB. REC. | 117,829 | 7,0% |
| 20% ALB. REC. | 113,75 | 10,2% |
| 30% ALB. REC. | 108,46 | 14,4% |
| 40% ALB. REC. | 86,85 | 31,4% |
| 50% ALB. REC. | 85,51 | 32,5% |

Tabla N°66: Resistencia compresión H-25 a los 3 días según % Alb. Rec. Utilizada.
Fuente: Elaboración propia.

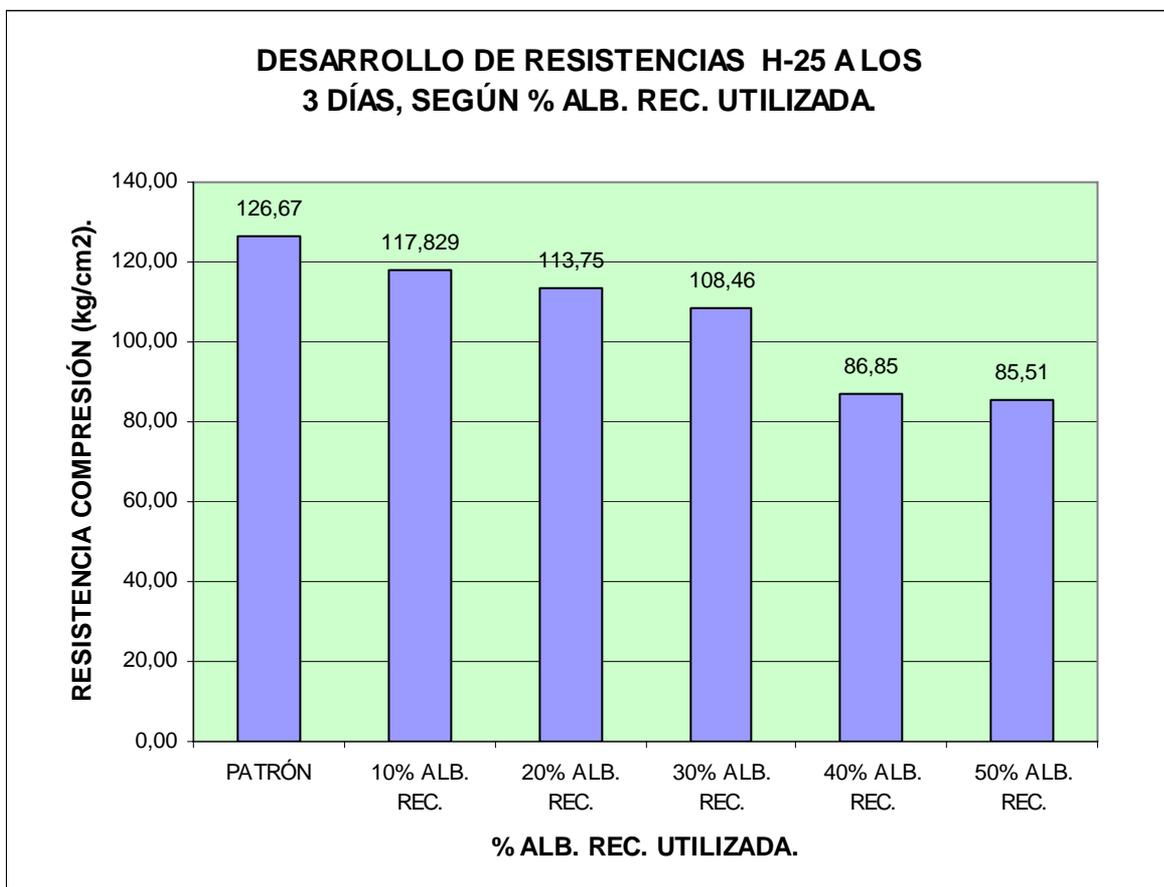


Gráfico N°7: Resistencia compresión H-25 a los 3 días, según % Alb. Rec. Utilizada.

- H-25, siete días.

| HORMIGÓN H-25 | RESISTENCIA (kg/cm ²) | % DISMINUYE LA RESISTENCIA RESPECTO HORMIGÓN PATRÓN |
|---------------|-----------------------------------|---|
| PATRÓN | 189,89 | |
| 10% ALB. REC. | 171,11 | 9,9% |
| 20% ALB. REC. | 161,42 | 15,0% |
| 30% ALB. REC. | 150,13 | 20,9% |
| 40% ALB. REC. | 150,10 | 21,0% |
| 50% ALB. REC. | 142,15 | 25,1% |

Tabla N°67: Resistencia H-25 a los 7 días según % Alb. Rec. Utilizada.

Fuente: Elaboración propia.

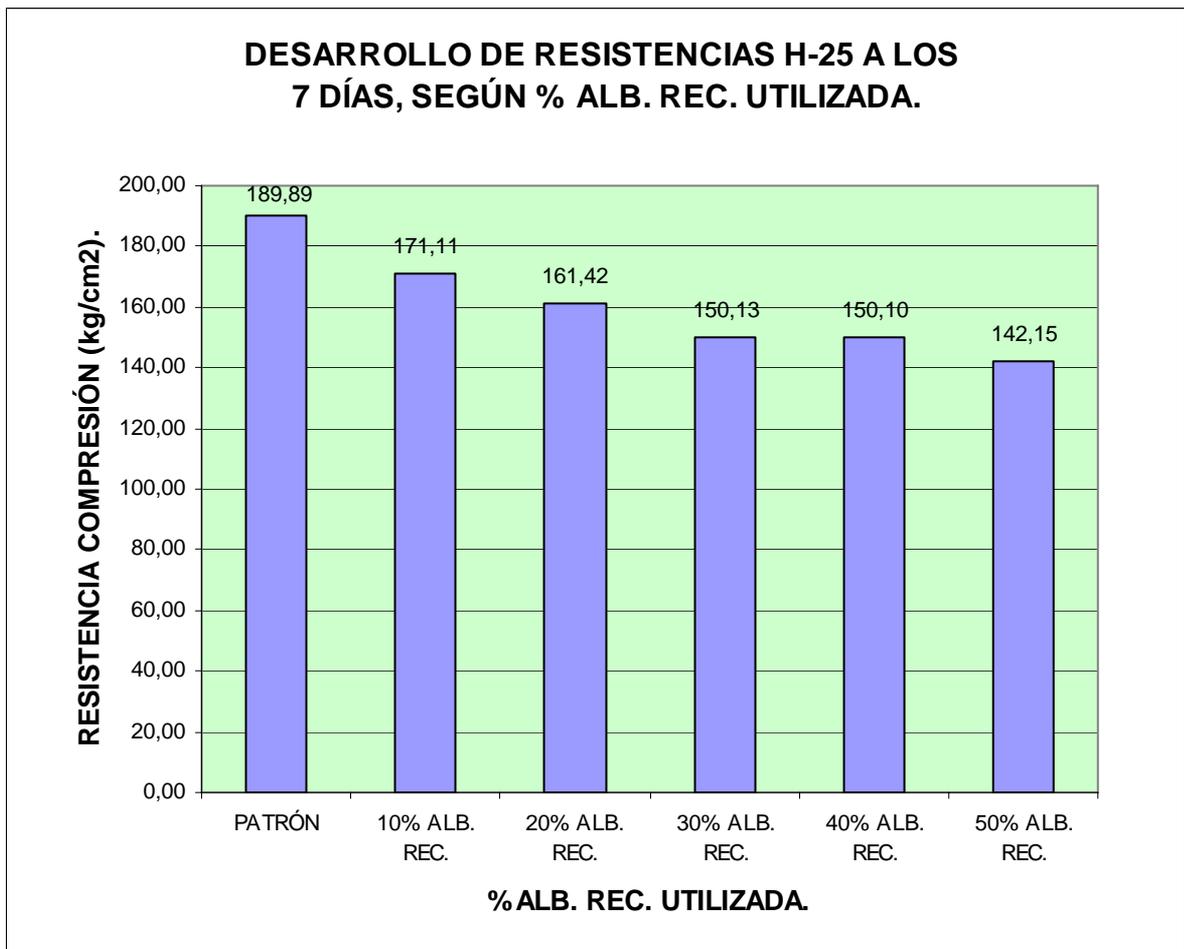


Grafico N°8: Resistencia compresión H-25 a los 7 días, según % Alb. Rec. Utilizada.

- H-25, catorce días.

| HORMIGÓN H-25 | RESISTENCIA (kg/cm ²) | % DISMINUYE LA RESISTENCIA RESPECTO HORMIGÓN PATRÓN |
|------------------|--------------------------------------|--|
| PATRÓN | 232,22 | - |
| 10% ALB. REC. | 213,20 | 8,2% |
| 20% ALB. REC. | 198,70 | 14,4% |
| 30% ALB. REC. | 186,56 | 19,7% |
| 40% ALB. REC. | 182,16 | 21,6% |
| 50% ALB. REC. | 170,65 | 26,5% |

Tabla N°68: Resistencia H-25 a los 14 días según % Alb. Rec. Utilizada.
Fuente: Elaboración propia.

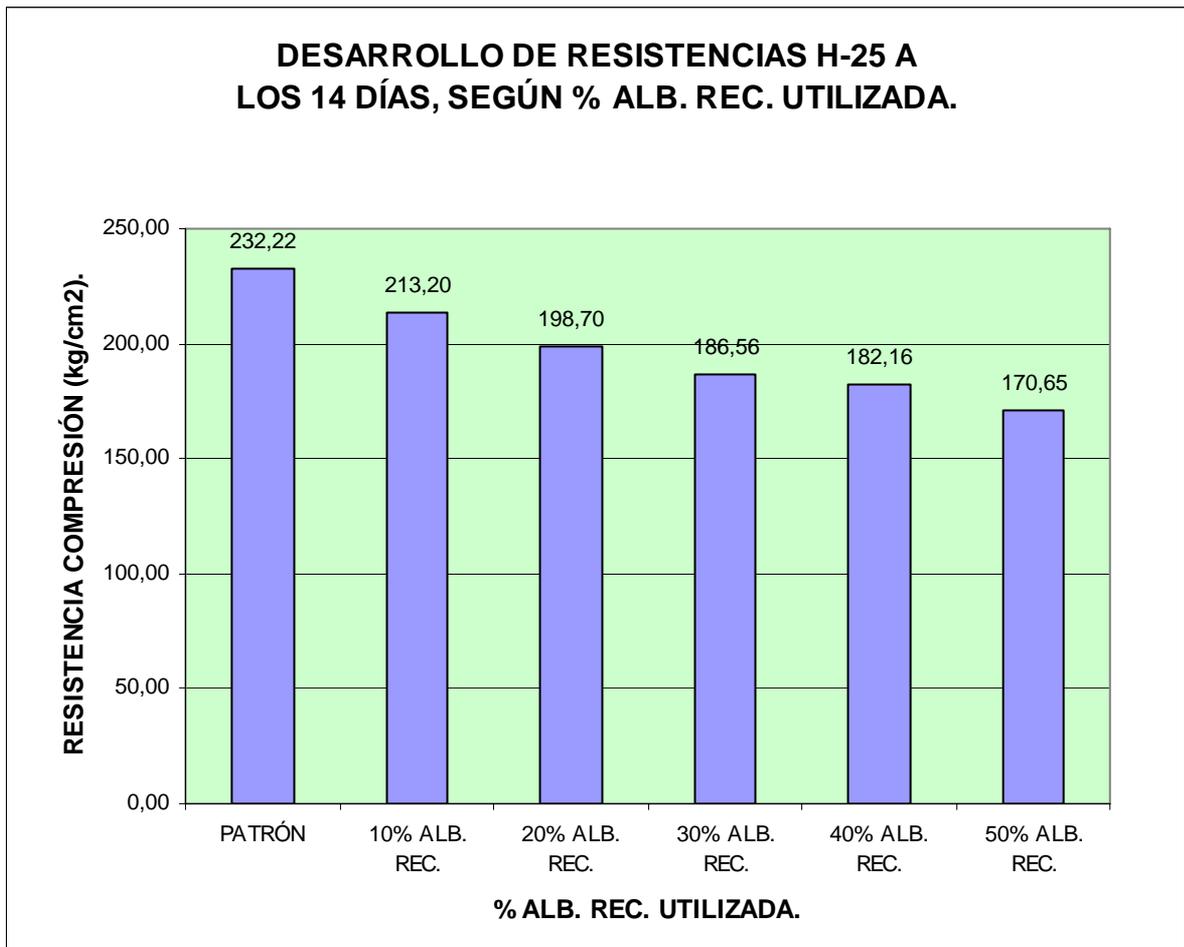


Gráfico N°9: Resistencia compresión H-25 a los 14 días, según % Alb. Rec. Utilizada.

- H-25, veintiocho días.

| HORMIGÓN H-25 | RESISTENCIA (kg/cm ²) | % DISMINUYE LA RESISTENCIA RESPECTO HORMIGÓN PATRÓN |
|------------------|--------------------------------------|--|
| PATRÓN | 295,16 | - |
| 10% ALB. REC. | 262,93 | 10,9% |
| 20% ALB. REC. | 247,09 | 16,3% |
| 30% ALB. REC. | 228,65 | 22,5% |
| 40% ALB. REC. | 220,93 | 25,1% |
| 50% ALB. REC. | 208,34 | 29,4% |

Tabla N°69: Resistencia H-25 a los 28 días según % Alb. Rec. Utilizada.

Fuente: Elaboración propia.

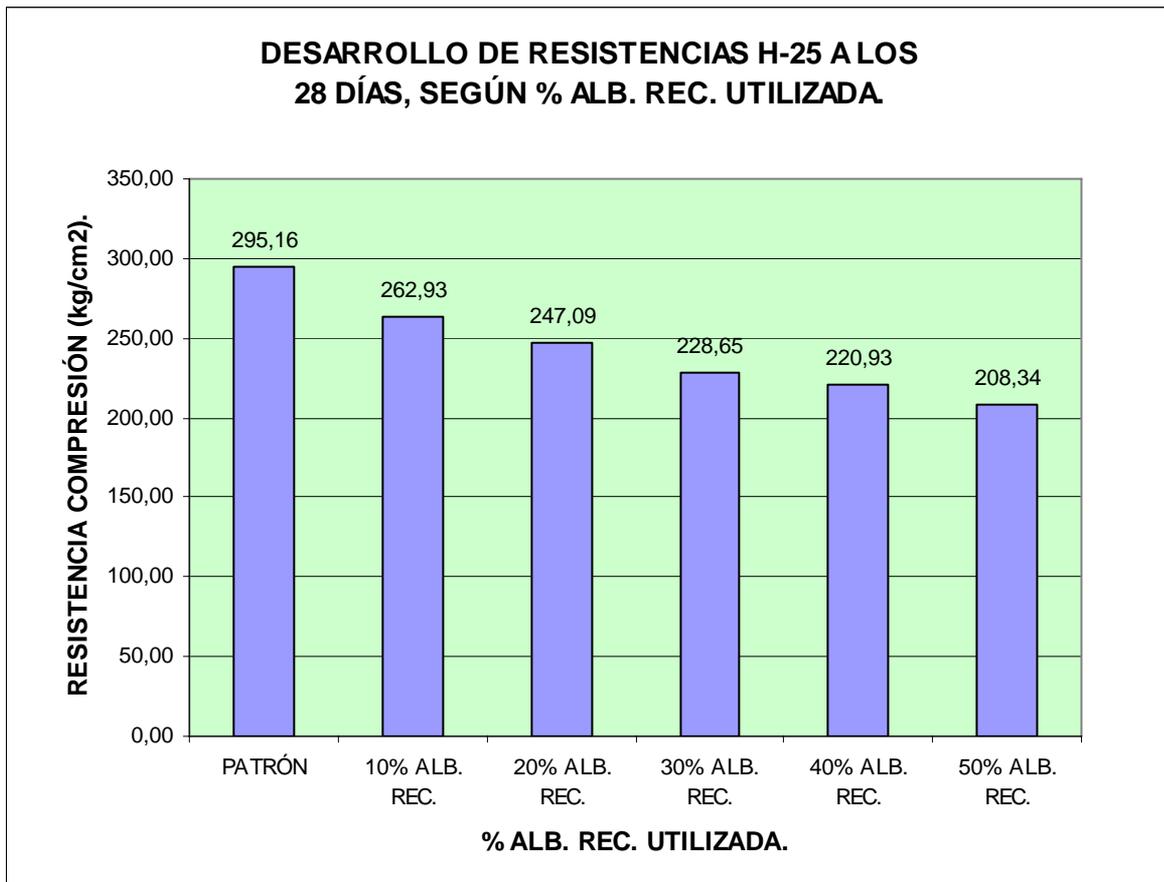


Gráfico N°10: Resistencia compresión H-25 a los 28 días, según % Alb. Rec. Utilizada.

● Resumen gráficos H-25.

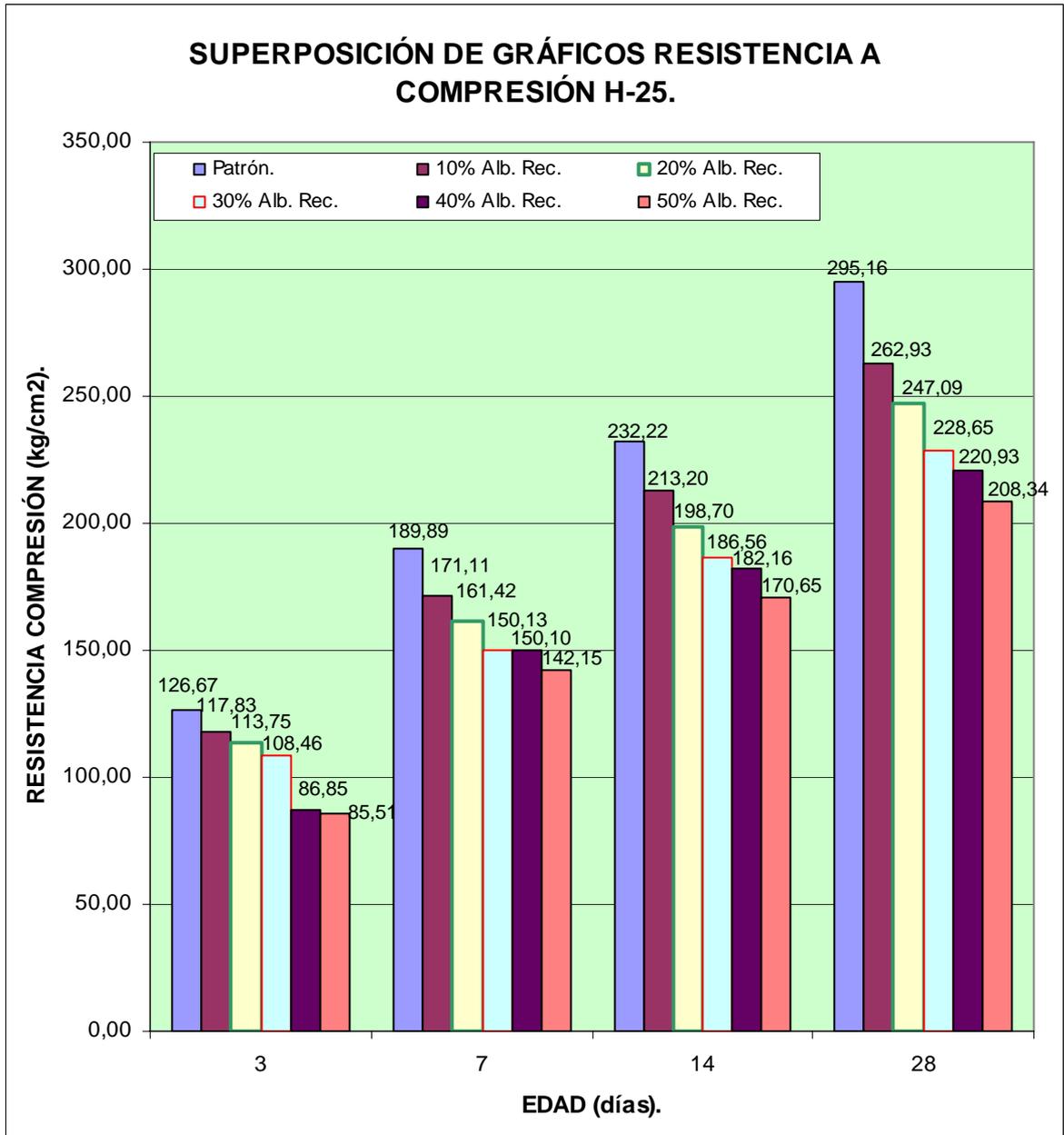


Grafico N°11: Superposición de gráficos de resistencia H-25, según % Alb. Rec. Utilizada

❖ **Resistencia Hormigón H-30.**

- H-30, tres días.

| HORMIGÓN H-30 | RESISTENCIA (kg/cm ²) | % DISMINUYE LA RESISTENCIA RESPECTO F ORMIGÓN PATRÓN |
|---------------|-----------------------------------|--|
| PATRÓN | 172,9 | - |
| 10% ALB. REC. | 159,57 | 7,7% |
| 20% ALB. REC. | 155,22 | 10,2% |
| 30% ALB. REC. | 147,78 | 14,5% |
| 40% ALB. REC. | 137,62 | 20,4% |
| 50% ALB. REC. | 130,16 | 24,7% |

Tabla N°70: Resistencia H-30 los 3 días según % Alb. Rec. Utilizada.

Fuente: Elaboración propia.

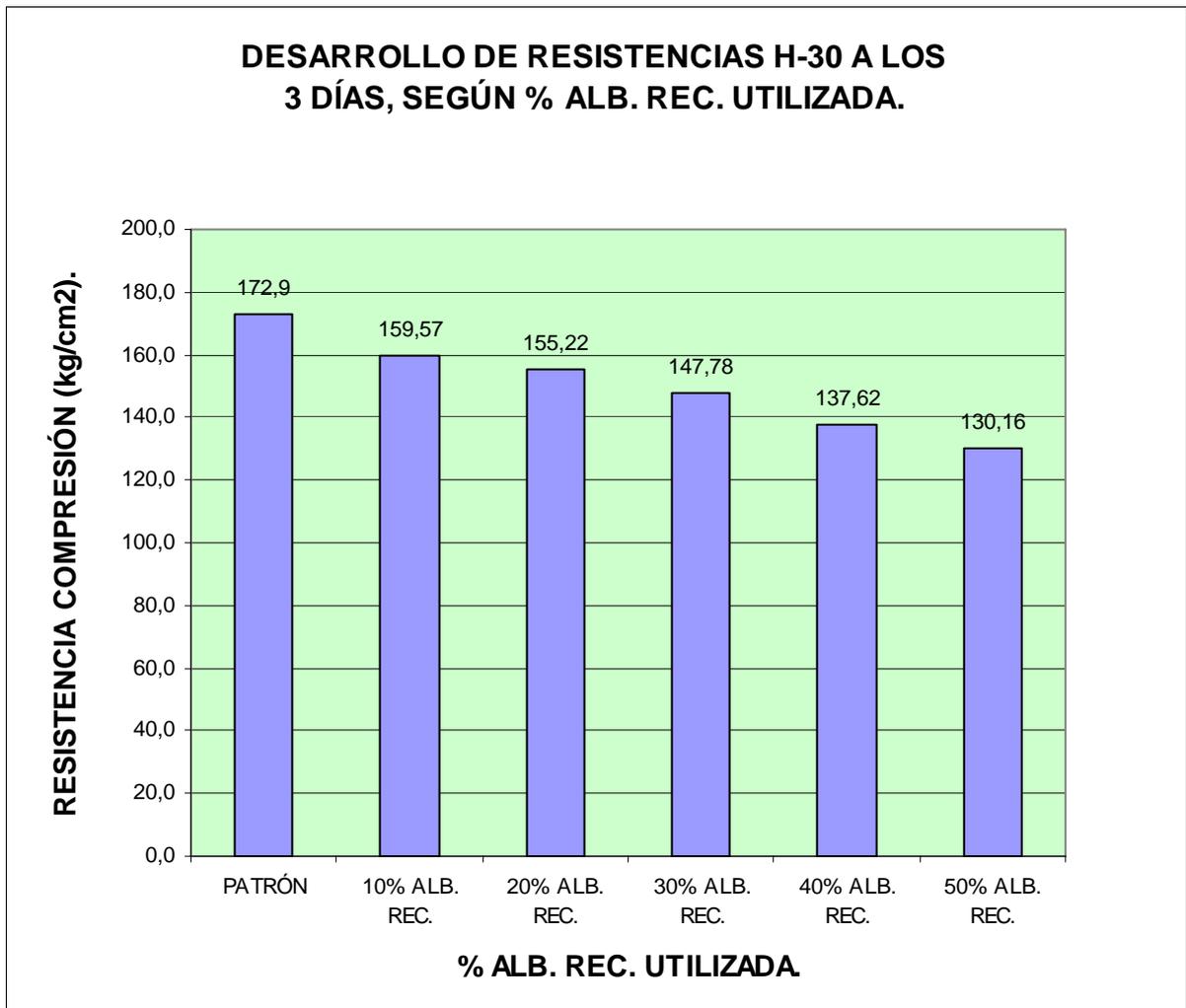


Grafico N°12: Resistencia compresión H-30 a los 3 días, según % Alb. Rec. Utilizada.

- H-30, siete días.

| HORMIGÓN H-30 | RESISTENCIA (kg/cm ²) | % DISMINUYE LA RESISTENCIA RESPECTO F ORMIGÓN PATRÓN |
|------------------|--------------------------------------|---|
| PATRÓN | 226,9 | - |
| 10% ALB. REC. | 209,22 | 7,8% |
| 20% ALB. REC. | 200,15 | 11,8% |
| 30% ALB. REC. | 194,85 | 14,1% |
| 40% ALB. REC. | 178,62 | 21,3% |
| 50% ALB. REC. | 169,16 | 25,4% |

Tabla N°71: Resistencia H-30 los 7 días según % Alb. Rec. Utilizada.

Fuente: Elaboración propia.

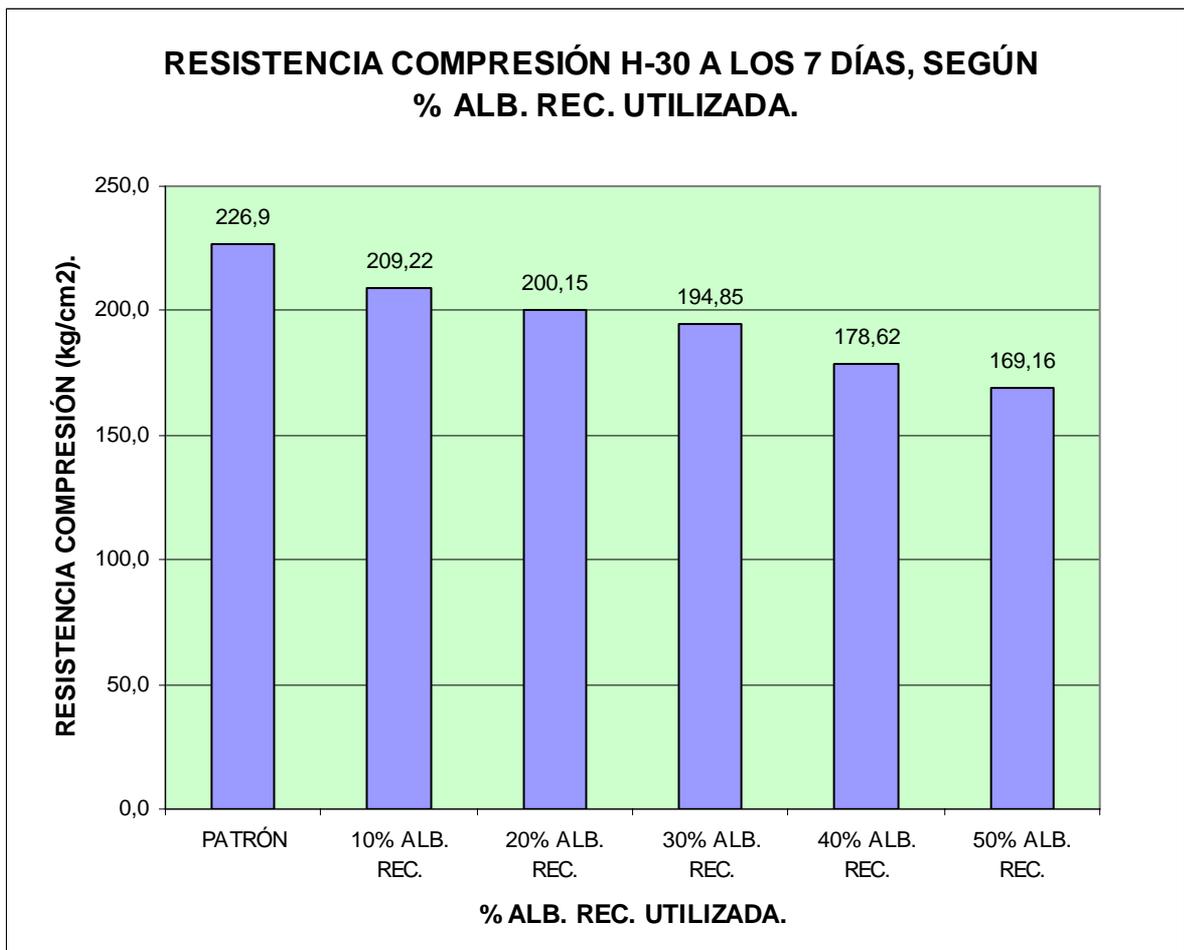


Grafico N°13: Resistencia compresión H-30 a los 7 días, según % Alb. Rec. Utilizada.

- H-30, catorce días.

| HORMIGÓN H-30 | RESISTENCIA (kg/cm ²) | % DISMINUYE LA RESISTENCIA RESPECTO F ORMIGÓN PATRÓN |
|---------------|-----------------------------------|--|
| PATRÓN | 293,75 | - |
| 10% ALB. REC. | 269,23 | 8,3% |
| 20% ALB. REC. | 252,49 | 14,0% |
| 30% ALB. REC. | 240,30 | 18,2% |
| 40% ALB. REC. | 224,13 | 23,7% |
| 50% ALB. REC. | 213,45 | 27,3% |

Tabla N°72: Resistencia H-30 a los 14 según % Alb. Rec. Utilizada.
Fuente: Elaboración propia.

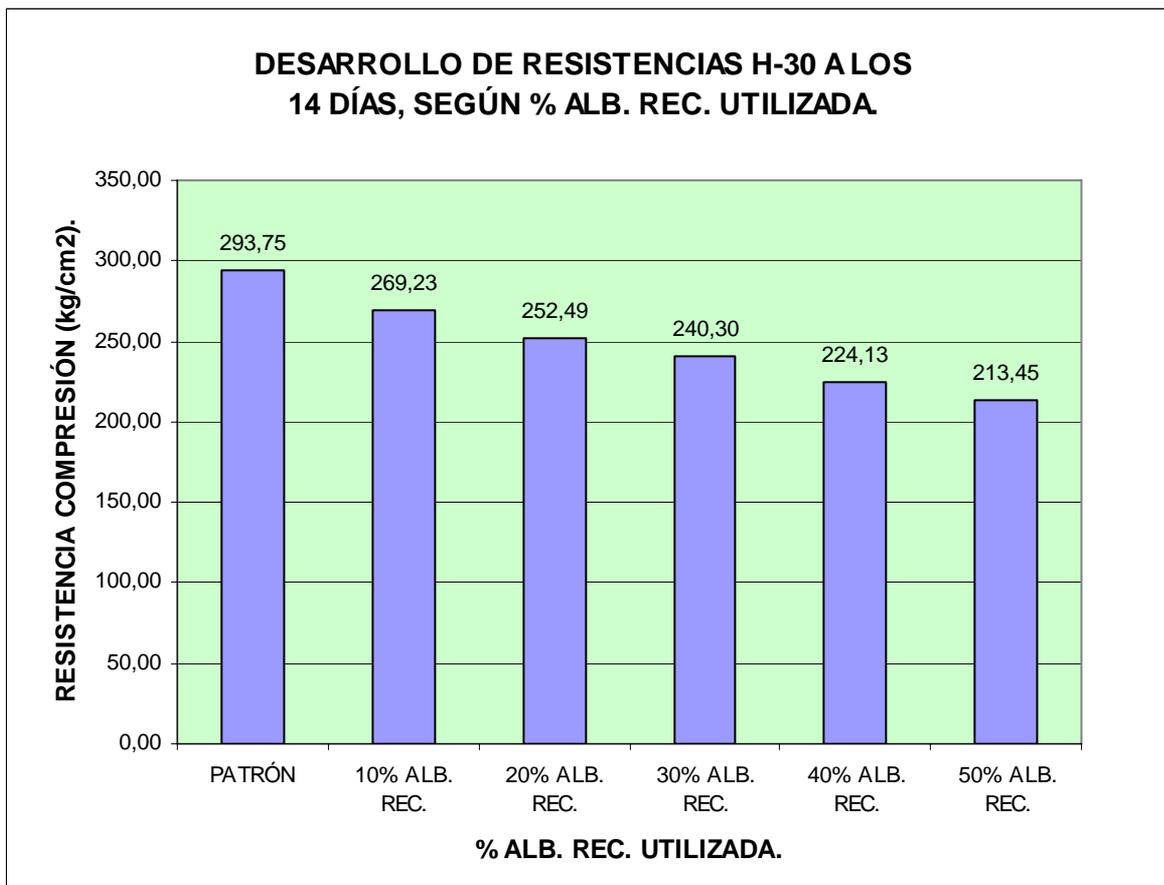


Grafico N°14: Resistencia compresión H-30 a los 14 días, según % Alb. Rec. Utilizada.

- H-30, veintiocho días.

| HORMIGÓN H-30 | RESISTENCIA (kg/cm ²) | % DISMINUYE LA RESISTENCIA RESPECTO F ORMIGÓN PATRÓN |
|------------------|--------------------------------------|---|
| PATRÓN | 360,44 | - |
| 10% ALB. REC. | 320,18 | 11,2% |
| 20% ALB. REC. | 298,10 | 17,3% |
| 30% ALB. REC. | 280,13 | 22,3% |
| 40% ALB. REC. | 263,23 | 27,0% |
| 50% ALB. REC. | 248,41 | 31,1% |

Tabla N°73: Resistencia H-30 los 28 días según % Alb. Rec. Utilizada.

Fuente: Elaboración propia.

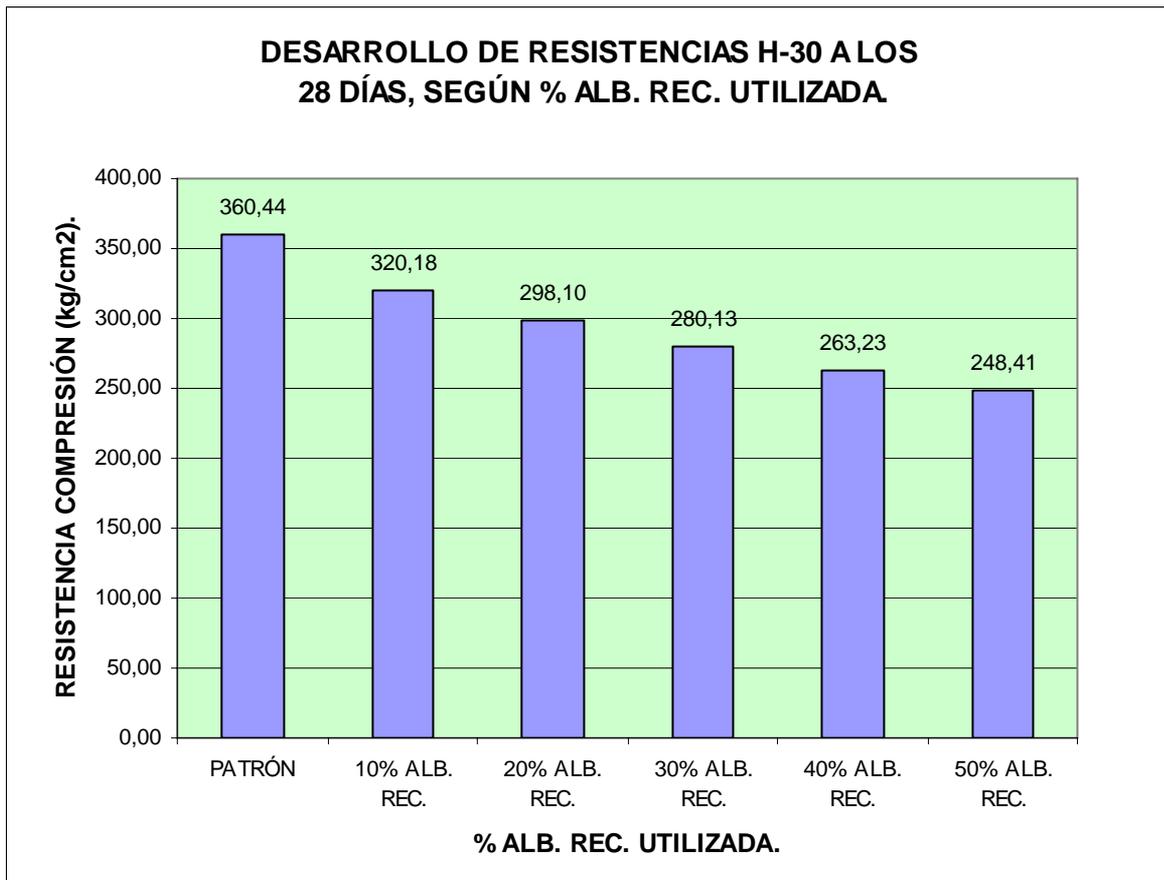


Grafico N°15: Resistencia compresión H-30 a los 28 días, según % Alb. Rec. Utilizada.

● Resumen gráficos H-30.

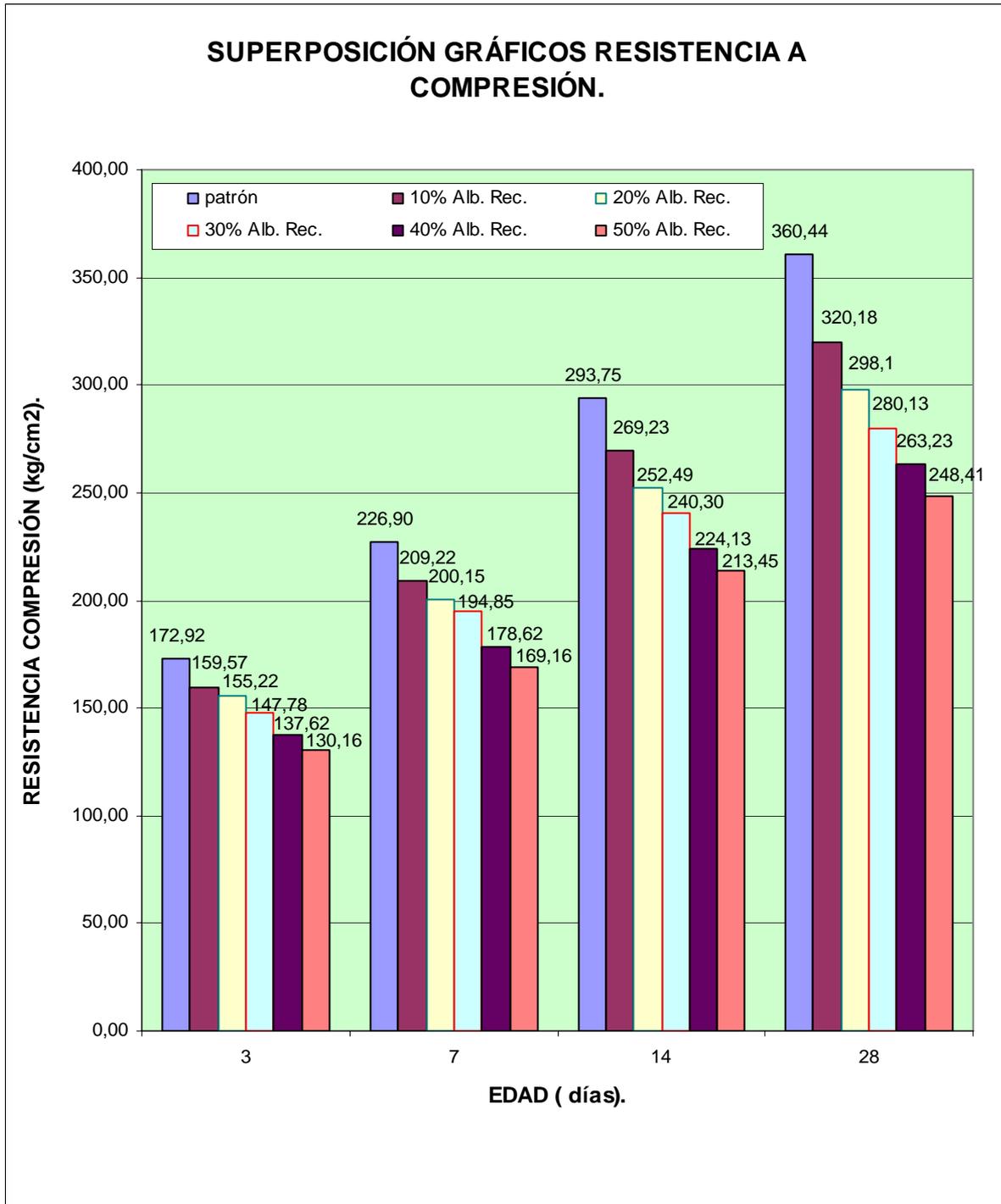


Gráfico N°16: Superposición de gráficos de resistencia H-30, según % Alb. Rec. Utilizada.

❖ **Hormigón HF 3.6.**

- HF 3.6, veintiocho días.

| HORMIGÓN HF 3,6 | RESISTENCIA (kg/cm ²) | % DISMINUYE LA RESISTENCIA RESPECTO HORMIGÓN PATRÓN |
|-----------------|-----------------------------------|---|
| PATRÓN | 368,74 | - |
| 10% ALB. REC. | 338,48 | 8,2% |
| 20% ALB. REC. | 329,78 | 10,6% |
| 30% ALB. REC. | 320,07 | 13,2% |
| 40% ALB. REC. | 301,19 | 18,3% |

Tabla N°74: Resistencia compresión HF 3.6, según % Alb Rec. Utilizada.
Fuente: Elaboración propia.

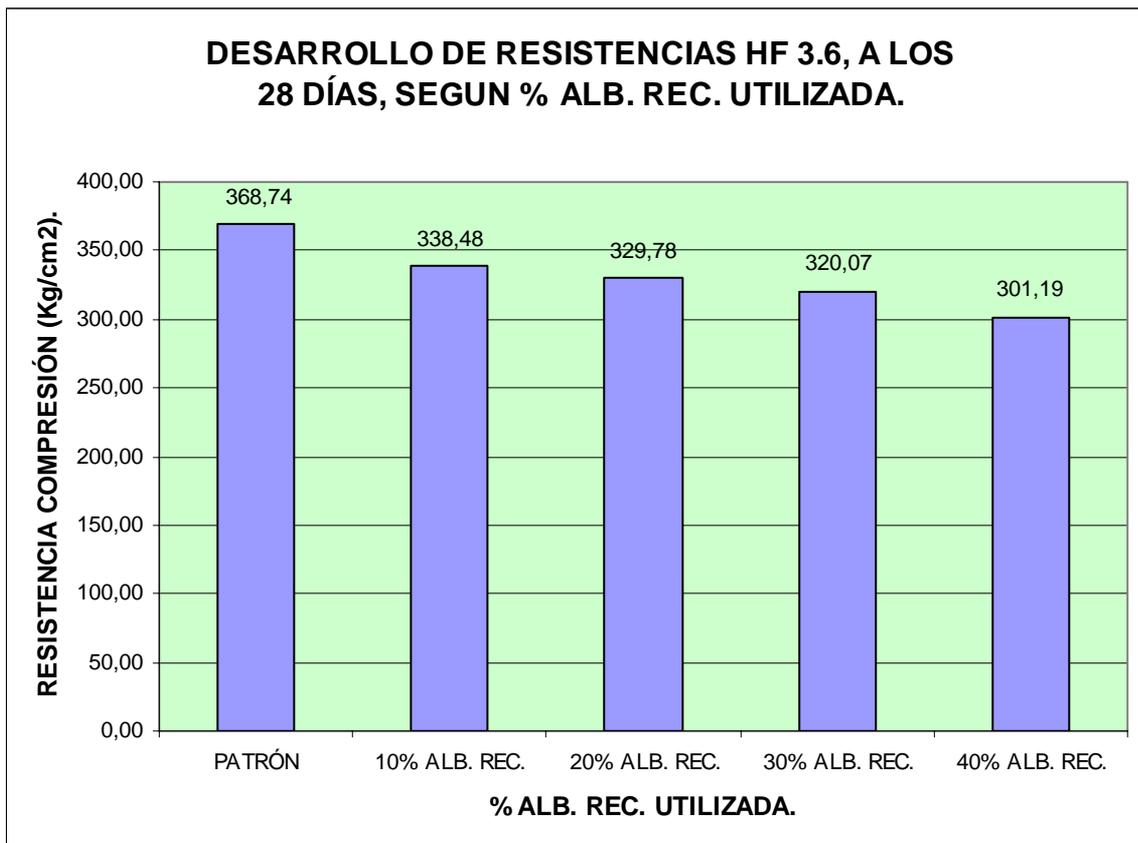


Gráfico N°17: Resistencia compresión HF 3.6, según % Alb. Rec. Utilizada.

➤ **Ensayos de flexotracción.**

El ensayo fue realizado de acuerdo a lo establecido en la norma NCh 1038 Of 77.



Imagen N°18: Ensayo de probetas a flexotracción.



Imagen N°19: Probetas después de ser ensayadas a flexotracción

- HF 3.6, veintiocho días.

| HORMIGÓN HF 3,6 | RESISTENCIA (kg/cm ²) | % DISMINUYE LA RESISTENCIA RESPECTO HORMIGÓN PATRÓN |
|--------------------|--------------------------------------|--|
| PATRÓN | 41,66 | - |
| 10% ALB. REC. | 39,12 | 6,1% |
| 20% ALB. REC. | 37,85 | 9,1% |
| 30% ALB. REC. | 36,42 | 12,6% |
| 40% ALB. REC. | 35,01 | 16,0% |

Tabla N°75: Resistencia flexotracción HF 3.6, según % Alb Rec. Utilizada.
Fuente: Elaboración propia.

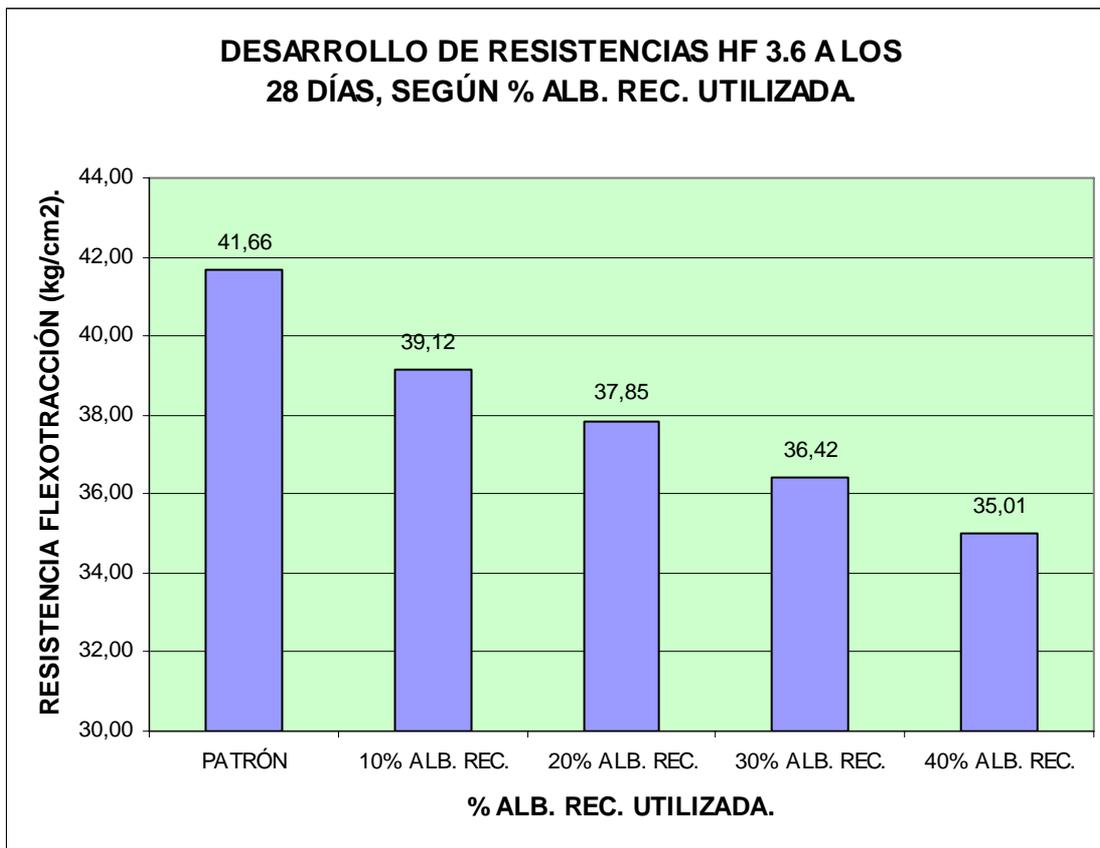


Grafico N°18: Resistencia flexotracción HF 3.6, según % Alb. Rec. Utilizada.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.

Del estudio anteriormente expuesto se puede concluir que el árido reciclado presenta propiedades físicas y mecánicas más desfavorables en comparación con los naturales, incumpliendo en algunos casos las especificaciones que establece la normativa chilena. Esto se debe a la composición de los reciclados, pues se forman de ladrillos de arcilla y mortero adherido, siendo el primero de ellos el material que entrega características particulares. Destaca la elevada absorción de agua del árido grueso reciclado, el cual presenta valores muy por encima del límite, llegando a superar en casi once veces el valor correspondiente para el árido grueso natural, constituyendo uno de los puntos más críticos para su empleo.

Respecto a la legislación dispuesta para el control de la disposición de los residuos de la construcción se puede decir que es escasa y esta dada en forma muy general, existiendo solo algunas normas, las cuales no son suficientes para lograr que exista una regulación y fiscalización eficiente, se hace necesaria la presencia de una ley de aplicación específica que regule y enmarque esta actividad, orientada hacia la protección del medio ambiente.

Uno de los aspectos más importantes a la hora de evaluar la viabilidad global de la recuperación de los residuos de la construcción es sin lugar a dudas las condicionantes derivados de los costos de eliminación y en particular de los cánones de vertido, dado que, en la medida que resulte más costoso “deshacerse” del material como residuo puro, mayor será el interés del productor en encontrar una vía alternativa que signifique algún tipo de aprovechamiento.

De los resultados emanados de la preparación de hormigones de prueba se pueden obtener las siguientes conclusiones:

➤ **DOCILIDAD.**

Se observo que el asentamiento del cono de Abrams se ve notablemente influenciado por la dosis de cemento y por el árido reciclado. En líneas generales se observa que a medida que se incorpora un mayor porcentaje de áridos reciclados en la mezcla, menor es el asentamiento de cono que se origina, llegando en algunos casos a incumplir con parámetros impuestos para la dosificación.

Se destaca que solo se pudo lograr la sustitución parcial del árido grueso por el árido grueso reciclado, debido a que el hormigón resultante presentaba problemas serios de trabajabilidad a medida que se aumenta la cantidad de áridos reciclados de reemplazo. Dicho inconveniente podría atribuirse a que los áridos reciclados producto del triturado presentaba granos más angulosos y alargados que los granos del agregado natural lo cual provoca un inadecuado acomodo entre las partículas de árido de origen natural y reciclado.

Para el hormigón H-25 con un 10% de albañilería reciclada el asentamiento de cono se redujo de 7,5 cm a 6,9 cm, mientras que para el mismo hormigón con un 50% albañilería reciclada de sustitución el cono disminuyo de 7,5 cm a 1,5 cm.

Para el hormigón H-30 con un 10% de albañilería reciclada el asentamiento de cono se redujo de 6,5 cm a 6,1 cm, mientras que para el mismo hormigón con un 50% albañilería reciclada de sustitución el cono disminuyo de 6,5 cm a 0,5 cm.

Para el hormigón HF 3.6 con un 10% de albañilería reciclada el asentamiento de cono se reduzco de 4,2 cm a 3,4 cm, mientras que para el mismo hormigón con un 40% albañilería reciclada de sustitución el cono decreció de 4,2 cm a 0,3 cm.

➤ **DENSIDAD.**

La densidad del hormigón también se vio influenciada por el porcentaje de árido reciclado que sustituyó al árido grueso natural en los hormigones estudiados, disminuyendo a medida que la presencia del árido reciclado aumentaba. Esto se debe a que la densidad del árido reciclado oscila entre la mitad y dos tercios de la densidad del árido natural, lo cual provoca que el nuevo hormigón sea más liviano y la estructura del edificio más ligera y más barata. Paralelamente, su gran porosidad interna hace suponer un gran poder de aislamiento térmico, lo cual sería interesante estudiar.

Las variaciones de las densidades obtenidas son prácticamente las mismas según el grado de hormigón y el porcentaje de áridos reciclados de reemplazo. De este modo para el hormigón H-25 con 10% de áridos reciclados la densidad vario en 1.3%, para H-25 con 20% áridos reciclados se obtuvo una variación de 2.3%, para H-25 con 30% áridos reciclados presento una variación de 2.9%, para H-25 con 40% áridos reciclados la variación fue de 3.4% y finalmente para H-25 con 50% áridos reciclados la densidad vario en 4.8%, todo esto referido al hormigón patrón.

Así pues, el uso de los áridos reciclados favorece al medio ambiente en:

- No se extraen áridos naturales de la naturaleza.
- Se valorizan los residuos provenientes de la construcción fabricando áridos.
- Se propicia un ahorro de energía al aislar mejor los edificios.

➤ **RESISTENCIA.**

De los ensayos realizados a los hormigones elaborados con los distintos porcentajes de áridos reciclados se puede indicar que en líneas generales presentaron valores de resistencia tanto a compresión como flexotracción reducidos respecto de los alcanzados por el hormigón patrón, llegando en la mayoría de los casos a incumplir con la resistencia especificada según el grado del hormigón.

Se observa claramente que a medida que se aumenta el porcentaje de áridos reciclados en la mezcla menor es la resistencia que se alcanza.

En cuanto a los efectos prácticos producidos al reemplazar los distintos porcentajes de áridos naturales por áridos reciclados, se puede aseverar que para el hormigón H-25, con un 10% de sustitución se produjeron pérdidas de resistencia de aproximadamente 10,9%, cuando el porcentaje de reemplazo fue de 20% se produjeron pérdidas de resistencia de 16,3%, del mismo modo cuando el porcentaje de reemplazo fue de 30% la resistencia se vio reducida en un 22,5%, cuando el porcentaje de reemplazo fue un 40% se disminuyó en un 25,1% y finalmente cuando se sustituyó un 50% la resistencia disminuyó en 29,4%, todo lo anterior referido a muestras de hormigón patrón de ensayos realizados a los 28 días.

En base a los ensayos realizados se puede indicar que se puede alcanzar la resistencia especificada y logar una trabajabilidad adecuada solamente usando porcentajes inferiores al 15% de áridos reciclados de este tipo, para porcentajes mayores de áridos reciclados es necesario introducir agentes que proporcionen una mejoría en estos aspectos una buena alternativa, que resultaría interesante estudiar lo constituyen los aditivos.

Respecto a la posibilidad de fabricar hormigones estructurales utilizando áridos reciclados, provenientes de (hormigón y cerámica), se estima que el porcentaje adecuado a utilizar de material de origen cerámico en la mezcla debe ser inferior al 10%.

BIBLIOGRAFIA.

- 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, 1era Edición, Corporación de Desarrollo Tecnológico, Chile.
- MOP; MINVU y CChC, 2001, “Industria del Árido en Chile” Vol. 2, 1era Edición, Corporación de Desarrollo Tecnológico, Chile.
- NCh. 163 Of. 1979. Áridos para morteros y hormigones –Requisitos generales.
- NCh. 164 Of. 1976. Áridos para morteros y hormigones –Extracción y preparación de muestras.
- NCh. 165 Of. 1977. Áridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de granulometría.
- NCh. 166 Of. 1952. Determinación calorimétrica de la presencia de impurezas orgánicas en las arenas para hormigones.
- NCh. 170 Of. 1985. Hormigón – Requisitos generales.
- NCh. 1018 Of. 1977. Preparación de mezclas de hormigón en laboratorio.
- NCh. 1019 Of. 1974. Determinación de la docilidad del hormigón mediante el cono de Abrams.
- NCh. 1037 Of. 1977. Hormigón – Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas.
- NCh. 1116 Of. 1977. Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente.
- NCh. 1239 Of. 1977. Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades real y neta y absorción de la arena.
- <http://www.revistabit.cl/pdf/7174.pdf#search=%22clases%20de%20ladrillos%20chile%22>

ANEXOS.

➤ **Anexo 1: Decreto Supremo N° 745 (D. Of . 08-06-93), “Reglamento sanitario y Ambiental en los lugares de trabajo”.**

Este decreto establece que es obligación del empleador mantener las condiciones sanitarias y ambientales necesarias para proteger la vida y la salud de los trabajadores (artículo 3).

En lo referido a los residuos sólidos, este decreto establece lo siguiente.

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

- Para acumular residuos sólidos que no puedan ser considerados desechos domésticos al interior del medio industrial, debería 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 los residuos generados, diferenciando claramente los residuos industriales peligrosos. Para efectos de la identificación de los residuos peligrosos, el reglamento entrega una lista de efectos y sustancias peligrosas (artículo 19).

➤ **Anexo 2: 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 contenedores que podrán ser utilizados (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.

➤ **Anexo 3: Otras normas.**

- **Ley N° 18.695/88, “Ley Orgánica Constitucional de municipalidades”.**

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

- **Decreto supremo N° 298/94, “Reglamento de Trasportes de Cargas Peligrosas por calles y caminos”.**

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

- **Decreto Ley N° 3.557/81.** Establece disposiciones sobre protección agrícola.

- **Decreto Supremo N° 1/92, “Reglamento para el control de la contaminación acuática”**, del ministerio de defensa nacional.

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

- **Resolución 5.081/93, “Sistema de declaración y seguimiento de los Desechos sólidos Industriales”**, del servicio de 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 deben acompañar a los residuos hasta llegar al establecimiento del destinatario.

➤ Anexo 4: Imagen planta móvil procesadora de áridos reciclados (España).

