



Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

“Evaluación de la resistencia a compresión y flexotracción del hormigón con áridos de loza sanitaria”

Por

Wilfredo Esteban Castillo Rojo

Tesis para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la Construcción y al
Título de Ingeniero Constructor

Prof. Guía: Gastón Soto Becar.

Noviembre, 2015

Agradecimientos.

Gracias a todas las personas que formaron parte de este largo proceso, donde mi formación como estudiante culmina, para dar paso a un profesional de la construcción.

En especial a toda mi familia, padres y hermanas quienes siempre me apoyaron en estos años largos años de estudios, incluyendo cambio de universidad, pero siempre estuvieron conmigo en todo momento de distintas formas.

A todos los educadores de la Universidad de Valparaíso, quienes aportaron con un granito de arena en distintos ámbitos y en especial a los profesores que elegí en todo este proceso de tesis, quienes junto a don Gastón Soto, mi profesor guía pude culminar este largo proceso.

A mis compañeros y amigos que logré conocer en esta institución, quienes compartimos hermosos momentos en diversas etapas de la carrera y hoy en día puedo considerar como amigos y colegas.

“Gracias totales”

Dedicatoria.

A mi familia, en especial a mis padres, Wilfredo y Violeta, las personas más importantes en todo este proceso, quienes siempre me apoyaron e incentivaron a seguir adelante, a pesar de las adversidades que fueron surgiendo. Pero siempre confiaron en mí, tanto como persona y como estudiante, solo espero no defraudarlos y que me acompañen por mucho tiempo más en esta nueva etapa.

Mis hermanas Milena y Macarena, fueron un pilar fundamental al llegar a estudiar a esta bella ciudad, donde me recibieron y apoyaron en estos largos años, ya los tres somos profesionales, ustedes con años ya ejerciendo en sus ámbitos, pero cerramos un proceso, donde nuestros padres pueden decir “labor cumplida”.

A mi polola Maritza por llegar en esta última etapa de formación como estudiante y apoyarme en todo sentido para culminar de buena manera todo este proceso.

Índice.

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	5
GLOSARIO.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	10
RESUMEN.....	11
CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES.....	13
1.1. Introducción.....	13
1.2. Objetivos de la investigación.....	15
1.2.1. Objetivo principal.....	15
1.2.2. Objetivos secundarios.....	15
1.3. Hipótesis.....	15
1.4. Alcances de la investigación.....	16
1.5. Metodología de la investigación.....	17
CAPITULO II: GENERALIDADES HORMIGÓN, ÁRIDOS Y CERÁMICAS	19
2.1. Importancia de los recursos naturales en la industria de la construcción.....	19
2.2. Artefactos sanitarios como residuos.....	20
2.3. Generalidades de la cerámica.....	21
2.3.1. Definición.....	21
2.3.2. Loza vítrea sanitaria.....	22
2.4. Generalidades de los áridos para hormigones.....	25
2.4.1. Definición.....	25
2.4.2. Clasificación según tamaño de sus partículas.....	25
2.4.3. Condiciones de los áridos.....	26
2.4.4. Tipos de áridos.....	27
2.4.5. Áridos reciclados.....	27
2.5. Generalidades del hormigón.....	29
2.5.1. Definición.....	29
2.5.2. Propiedades del hormigón fresco.....	30

2.5.3. Propiedades del hormigón endurecido.	31
2.5.4. Propiedades mecánicas del hormigón.....	32
2.5.4.1. Resistencia a la compresión.....	32
2.5.4.2. Resistencia a la flexotracción.	33
2.5.5. Hormigón con áridos reciclados.	34
CAPITULO III: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.1. Diseño experimental.	35
3.1.1. Generalidades.	35
3.1.2. Planteamiento y definición de variables.....	36
3.1.2.1. Variables independientes.....	36
3.1.2.2. Variables dependientes.	36
3.1.2.3. Variables de control.....	36
3.1.3. Factorial de experimento.	37
3.1.4. Ensayos a los áridos.....	38
3.1.4.1. Extracción de muestras de áridos.	38
3.1.4.2. La arena y el contenido de materia orgánica.	39
3.1.4.3. La grava.	40
3.1.4.4. Árido combinado.	41
3.1.4.5. Densidades y absorción de los áridos.	42
3.1.5. Ensayos de hormigón.	44
3.1.5.1. Ensayo de docilidad del hormigón fresco.....	44
3.1.5.2. Ensayo de compresión.....	45
3.1.5.3. Ensayo de tracción por flexión.	47
3.2. Desarrollo de la experiencia.	49
3.2.1. Obtención de la loza vítrea sanitaria para la investigación.	49
3.2.2. Proceso de la trituración de la loza vítrea sanitaria.	49
3.2.3. Preparación de muestras de áridos.....	51
3.2.4. Granulometría de los áridos.....	52
3.2.5. Determinación densidades aparentes, reales, netas y absorción.....	59
3.2.5.1. Densidad aparente.....	59
3.2.5.2. Densidades reales, neta y absorción.	61
3.2.6. Dosificación de los tipos de hormigones.....	64

3.3.	Metodología experimental de hormigón con lvs.	71
3.3.1.	Confección de probetas de hormigón.	71
3.3.2.	Programación de ensayos a probetas.	75
	CAPITULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.	76
4.	Resultados de ensayos de hormigón.	76
4.1.	Resultados ensayos de hormigón a los 7 días.	76
4.1.1.	Resultado ensayo docilidad del hormigón fresco a los 7 días.	76
4.1.2.	Resultado ensayo de compresión a los 7 días.	77
4.1.3.	Resultado ensayo tracción por flexión a los 7 días.	82
4.2.	Resultados ensayos a los 28 días.	85
4.2.1.	Resultado ensayo docilidad del hormigón fresco a los 28 días.	85
4.2.2.	Resultado ensayo de compresión a los 28 días.	86
4.2.3.	Resultado resistencia tracción por flexión 28 días.	91
4.3.	Resumen de resistencias mecánicas.	94
4.4.	Análisis estadístico.	95
4.4.1.	Anova, análisis de varianza.	95
4.4.1.1.	Anova para resistencia a compresión a los 7 días.	97
4.4.1.2.	Anova para resistencia a tracción por flexión a los 7 días.	98
4.4.1.3.	Anova para resistencia a compresión a los 28 días.	99
4.4.1.4.	Anova para resistencia a tracción por flexión a los 28 días.	100
4.4.1.5.	Resumen de anova para resistencia a compresión.	101
4.4.1.6.	Resumen de anova para resistencia a tracción por flexión.	102
	CAPITULO V: CONCLUSIONES.	103
5.1.	Conclusiones.	103
5.2.	Futuras investigaciones.	105
	Bibliografía.	106

Lista de Abreviaturas y Siglas.

ASTM= American Society for Testing Materials.

CONAMA= Comisión Nacional del Medio Ambiente.

D_n = Tamaño máximo nominal de un árido.

f_c = Resistencia especificada a compresión.

f_t = Resistencia especificada a flexotracción.

IDIEM= El Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales.

LVS= Loza vítrea sanitaria.

mm= Milímetros.

.n= Norma Chilena.

NCh= Norma Chilena.

Of= Norma Chilena Oficial.

RCD= Residuos de construcción y demolición.

SSS= Saturado Superficialmente Seco.

Glosario.

Abrasión= Actuar sobre otros materiales con diferentes clases de esfuerzo mecánico

Cemento portland= Es un conglomerante o cemento hidráulico.

Uniaxial= Tener un eje óptico, o línea de ausencia de la doble refracción.

Feldespatos= Mineral silicato de aluminio que es el principal componente de la corteza terrestre.

Mullita= Es una cerámica de aluminosilicatos con buena estabilidad a temperaturas elevadas.

Piroplástica= Depósito o roca formado por materiales volcánicos fragmentarios.

Zahorra= Material formado por áridos no triturados, suelos granulares, o una mezcla de ambos, cuya granulometría es de tipo continuo.

Índice de Tablas.

Tabla 2.1: Dureza de Mohs.	23
Tabla 2.2: Clasificación de los hormigones por resistencia a compresión.	32
Tabla 2.3: Clasificación de los hormigones por resistencia a flexotracción.	33
Tabla 3.1: Combinación de niveles para cada factor.	37
Tabla 3.2: Requisitos granulométricos de la arena.	39
Tabla 3.3: Requisitos granulométricos de la grava.	40
Tabla 3.4: Tabla árido combinado.	41
Tabla 3.5: Resultados granulométrica arena.	53
Tabla 3.6: Resultados granulométrica gravilla.	55
Tabla 3.7: Resultados granulometría LVS % retenido.	56
Tabla 3.8: Resultados granulometría LVS.	56
Tabla 3.9: Árido combinado de esta experiencia.	58
Tabla 3.10: Densidad aparente de la arena.	59
Tabla 3.11: Densidad aparente de la gravilla.	60
Tabla 3.12: Densidad aparente de la LVS.	60
Tabla 3.13: Densidades reales, neta y absorción arena.	61
Tabla 3.14: Densidades reales, neta y absorción gravilla.	62
Tabla 3.15: Densidades reales, neta y absorción LVS.	62
Tabla 3.16: Resumen densidades y absorción.	63
Tabla 3.17: Dosificación de hormigón.	64
Tabla 3.18: Dosificación hormigón patrón.	65
Tabla 3.19: Dosificación hormigón con 10% LVS.	65
Tabla 3.20: Dosificación hormigón con 20% LVS.	66
Tabla 3.21: Dosificación hormigón con 30% LVS.	66
Tabla 3.22: Dosificación hormigón con 40% LVS.	67
Tabla 3.23: Dosificación hormigón con 50% LVS.	67
Tabla 3.24: Dosificación hormigón patrón.	68
Tabla 3.25: Dosificación hormigón con 10% LVS.	68
Tabla 3.26: Dosificación hormigón con 20% LVS.	69
Tabla 3.27: Dosificación hormigón con 30% LVS.	69
Tabla 3.28: Dosificación hormigón con 40% LVS.	70
Tabla 3.29: Dosificación hormigón con 50% LVS.	70
Tabla 3.30: Tabla días v/s tipos de hormigón.	73
Tabla 3.31: Programación ensayos a los 7 días.	75
Tabla 3.32: Programación ensayos a los 28 días.	75
Tabla 4.1: Ensayo de docilidad a los 7 días.	76
Tabla 4.2: Resistencia a la compresión a 7 días.	77

Tabla 4.3: Resistencia compresión a 7 días respecto hormigón patrón.....	77
Tabla 4.4: Densidad aparente a la compresión a 7 días.....	79
Tabla 4.5: Densidad aparente a los 7 días respecto al HP.....	80
Tabla 4.6: Resistencia flexión por tracción a 7 días.....	82
Tabla 4.7: Resistencia flexión por tracción a 7 días respecto al hormigón patrón.....	83
Tabla 4.8: Ensayo de docilidad a los 28 días.....	85
Tabla 4.9: Resistencia compresión a 28 días.....	86
Tabla 4.10: Resistencia compresión a 28 días respecto al hormigón patrón.....	87
Tabla 4.11: Densidad aparente a la compresión a 28 días.....	88
Tabla 4.12: Densidad aparente a los 28 días respecto al HP.....	89
Tabla 4.13: Resistencia flexión por tracción a 28 días.....	91
Tabla 4.14: Resistencia flexión por tracción a 28 días respecto al hormigón patrón.....	92
Tabla 4.15: Resumen resistencias a compresión.....	94
Tabla 4.16: Resumen resistencia a tracción por flexión.....	94
Tabla 4.17: Tabla de análisis de varianza (ANOVA).....	96
Tabla 4.18: Resumen de resistencia a compresión a los 7 días.....	97
Tabla 4.19: ANOVA para resistencia a compresión a los 7 días.....	97
Tabla 4.20: Resumen de resistencia a tracción por flexión a los 7 días.....	98
Tabla 4.21: ANOVA para resistencia a tracción por flexión a los 7 días.....	98
Tabla 4.22: Resumen de resistencia a compresión a los 28 días.....	99
Tabla 4.23: ANOVA para resistencia a compresión a los 28 días.....	99
Tabla 4.24: Resumen de resistencia a tracción por flexión a los 28 días.....	100
Tabla 4.25: ANOVA para resistencia a tracción por flexión a los 28 días.....	100

Índice de figuras.

Figura 2.1: Artefactos sanitarios de loza vítrea.....	24
Figura 3.1: Cuadro explicativo de la investigación.....	35
Figura 3.2: Medida del asentamiento.....	44
Figura 3.3: Determinación de dimensiones de probetas cúbicas.....	46
Figura 3.4: Dispositivo de carga de probetas ensayo de tracción por flexión.....	47
Figura 3.5: Trituración artefactos de LVS.....	49
Figura 3.6: Maquina de los ángeles.....	50
Figura 3.7: Tamizado malla de $\frac{3}{4}$ ".....	50
Figura 3.8: Imágenes cuarteo de LVS.....	51
Figura 3.9: Imágenes granulometría LVS.....	52
Figura 3.10: Arena negra Dn 4,75mm y gravilla Dn 15 mm.....	53
Figura 3.11: Recipiente metálico para medir densidad aparente.....	59
Figura 3.12: Matraz con agua y arena.....	61
Figura 3.13: Canastillo portamuestra sumergido.....	62
Figura 3.14: Cono de Abrams.....	71
Figura 3.15: Cono de Abrams.....	72
Figura 3.16: Confección probetas a 7 y 28 días.....	72
Figura 3.17: Probetas sumergidas en agua (vista superior).....	74
Figura 3.18: Maquina de compresión y tracción por flexión.....	74
Figura 4.1: Imágenes ensayo compresión a probeta cubica con 30% LVS.....	81
Figura 4.2: Imágenes ensayo tracción por flexión.....	84
Figura 4.3: Muestras ensayo compresión con 50% LVS.....	90
Figura 4.4: Distribución de componentes de LVS.....	93

Índice de gráficos.

Gráfico 3.1: Curva granulométrica arena.	54
Gráfico 3.2: Curva granulométrica gravilla.	55
Gráfico 3.3: Curva granulométrica LVS.	57
Gráfico 3.4: Curva granulométrica árido combinado.	58
Gráfico 4.1: Resistencia compresión 7 días.	78
Gráfico 4.2: Densidad aparente a los 7 días.	80
Gráfico 4.3: Resistencia tracción por flexión a 7 días.	83
Gráfico 4.4: Resistencia compresión a 28 días.	87
Gráfico 4.5: Densidad aparente a los 28 días.	89
Gráfico 4.6: Resistencia tracción por flexión a 28 días.	92
Gráfico 4.7: Resistencia a compresión a 7 y 28 días.	101
Gráfico 4.8: Resistencia a tracción por flexión a 7 y 28 días.	102

Resumen.

El hormigón es el material más utilizado a nivel mundial en la industria de la construcción, es por este motivo la gran innovación que existe en torno a este elemento, cada día surgen nuevos componentes o adiciones que se estudian para complementar las características que posee el concreto. Este material posee una gran resistencia a compresión y menor a la flexión, por lo que se debe complementar con otros materiales para suplir esta deficiencia, por otra parte la reutilización de materiales, en consonancia con la construcción sustentable que proporciona distintos organismos públicos y privados.

La presente investigación estudia la factibilidad de utilizar un árido reciclado en la confección de hormigón, proveniente de los artefactos sanitarios en desuso. El material que conforma estos elementos es llamado loza vítrea sanitaria.

El árido de loza vítrea sanitaria, se obtiene mediante la trituración de estos artefactos, que fueron recolectados dentro de la provincia de Valparaíso. En esta investigación se busca explorar, como reemplazo parcial del árido natural grueso utilizado en hormigones. Para ver la factibilidad de su uso como árido, es necesario conocer sus propiedades mecánicas, por lo que se realizan ensayos de compresión y de tracción por flexión, para conocer si cumple con las resistencias de un hormigón convencional.

Los ensayos y procedimientos están basados en los requisitos que establecen las normas NCh 1037:2009 y NCh 1038:2009. Esta experiencia fue realizada en el Laboratorio de Hormigón de la Universidad de Valparaíso.

Abstract.

Concrete is the most used material worldwide in the construction industry that is why the great innovation that exists around this material, every day new components or additions are studied to complement the characteristics emerge that has the concrete. This material is highly resistant to compression and bending lower, so should be supplemented with other materials to fill this gap and moreover, the reuse of materials in line with sustainable construction that provides various public and private organizations

This research studies the feasibility of using recycled in the manufacture of concrete aggregate, from the fixtures into disuse. The material forming these elements is vitreous china sanitary.

The vitreous china sanitary aggregate is obtained by crushing these artifacts, which were collected within the province of Valparaiso. This research seeks to explore, as a partial replacement of the large natural aggregate used in concrete. To see the feasibility of its use as aggregate is necessary to know their mechanical properties. As testing compressive and tensile bending are performed to know if it meets resistors conventional concrete.

The tests and procedures are based on the requirements established by NCh 1037 standards: NCh 2009 and 1038: 2009. This experiment was conducted at the Laboratory of Concrete Valparaiso University.

CAPITULO I: Antecedentes generales

1.1. Introducción.

En Chile al igual que el resto del mundo, el hormigón es el material más utilizado, alcanzando un 80% de las construcciones, este material a su vez también es el generador de grandes volúmenes de demolición y desperdicios (Valdés et al., 2011). En nuestro país los residuos sólidos para el año 2009 fueron de 16,9 millones de toneladas, siendo la industria de la construcción el mayor generador de residuos, con una participación que varía entre el 26% y el 34% en el periodo 2000 – 2009 respecto al total de residuos de nuestro país (CONAMA, 2010). Es por este motivo que la necesidad de reciclar los escombros que produce la industria de la construcción está tomando hoy en día, gran importancia a nivel mundial (Poon et al., 2002).

Se han incorporado distintos materiales a la industria de la construcción, aprovechando sus cualidades y reciclándolos para reducir el uso de materias primas, es así como se conocen diversas investigaciones donde se utilizan el plástico, caucho, vidrio, papel, minerales, en estudios de la escuela de construcción civil de la Universidad de Valparaíso. Uno de los desechos que se genera y no se ha utilizado, es la cerámica del tipo sanitaria.

En la construcción los artefactos sanitarios son considerados piezas destinadas a fines sanitarios o higiénicos, elaboradas principalmente por loza vítrea (NCh 407:2012). En nuestro país, estos elementos una vez cumplida su vida útil, ya sea por deterioro, rotura o simplemente por remodelación, no cuenta con una reutilización mas allá de su misma función. Por lo que la acumulación de estos artefactos en botaderos es de su totalidad, proporcionando una gran cantidad de volumen que se puede aprovechar, como ejemplo, para fines de agregado grueso en hormigones. A su vez el reciclar estos artefactos ayuda a mejorar el impacto en el medio ambiente y no cuenta con costos económicos extras en su transformación desde un elemento desechado a materia prima. Es por este motivo que surge la idea de utilizar este material como árido reciclado en la confección de hormigón.

Los áridos reciclados son el material granular resultante del tratamiento de materiales inorgánicos utilizados anteriormente en la construcción. Es el principal producto de valorización de los residuos de construcción y demolición (RCD), obtenido de la parte pétreo de estos residuos. La utilización de áridos reciclados ayudaría a disminuir en parte la extracción de áridos naturales, lo cual conlleva impactos en el medio ambiente como también sobre la salud de las personas (García, 2012).

En numerosas investigaciones internacionales se ha demostrado que los hormigones fabricados con 25% de árido grueso reciclado en sustitución al árido natural no sufre diferencias en las propiedades físico-mecánicas respecto a un hormigón convencional, cuando las dos se fabrican con la misma dosificación (Etxeberria, 2004). La investigación llevada a cabo por López et al. (2007), sobre el uso de agregados finos de cerámica blanca en general de

origen industrial, mostró que era posible obtener hormigón de mayor calidad mediante la sustitución de algunos de los agregados finos con diversas proporciones (de 10% a 50%) de material cerámico.

Según estos antecedentes recopilados, se explora con la presente investigación el comportamiento del hormigón con sustitución de árido grueso con reemplazo de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% con respecto al árido natural de gravilla, comparando las resistencias mecánicas en relación a un hormigón patrón. Los ensayos de compresión y flexo tracción, se regirán según las normas NCh1037:2009 y NCh1038:2009 respectivamente, que establecen las condiciones mecánicas que presenta el hormigón.

1.2. Objetivos de la investigación.

1.2.1. Objetivo principal.

- Evaluar experimentalmente las resistencias a la compresión y flexo tracción del hormigón, al reemplazar parte del árido grueso por distintas cantidades de loza sanitaria triturada, para ver la factibilidad de la utilización de este material en la confección de hormigón.

1.2.2. Objetivos secundarios.

- Caracterizar la gravilla de loza vítrea sanitaria a utilizar.
- Determinar las resistencias mecánicas (compresión y flexo tracción) del hormigón con árido reciclado grueso de loza vítrea sanitaria, para los reemplazos de 10%, 20%, 30%, 40% y 50%.
- Relacionar las variaciones de las resistencias a compresión y flexo tracción a los 7 y 28 días de edad, con los porcentajes de reemplazo de loza sanitaria.

1.3. Hipótesis.

La incorporación parcial del árido reciclado de loza vítrea sanitaria, en reemplazo del árido grueso natural, permite mejorar las resistencias a la compresión y tracción por flexión en comparación a las del hormigón patrón, a los 7 y 28 días de edad.

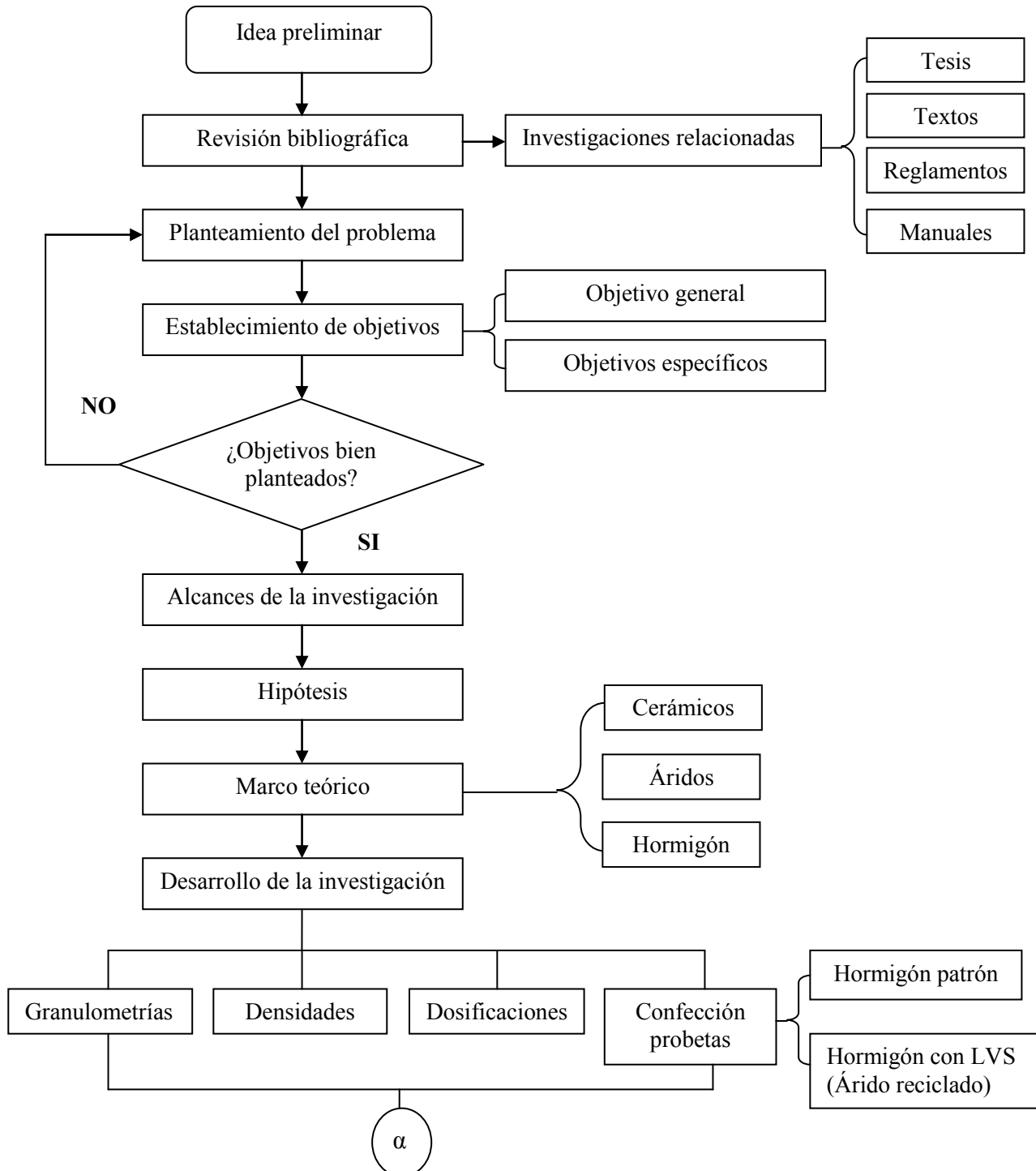
1.4. Alcances de la investigación.

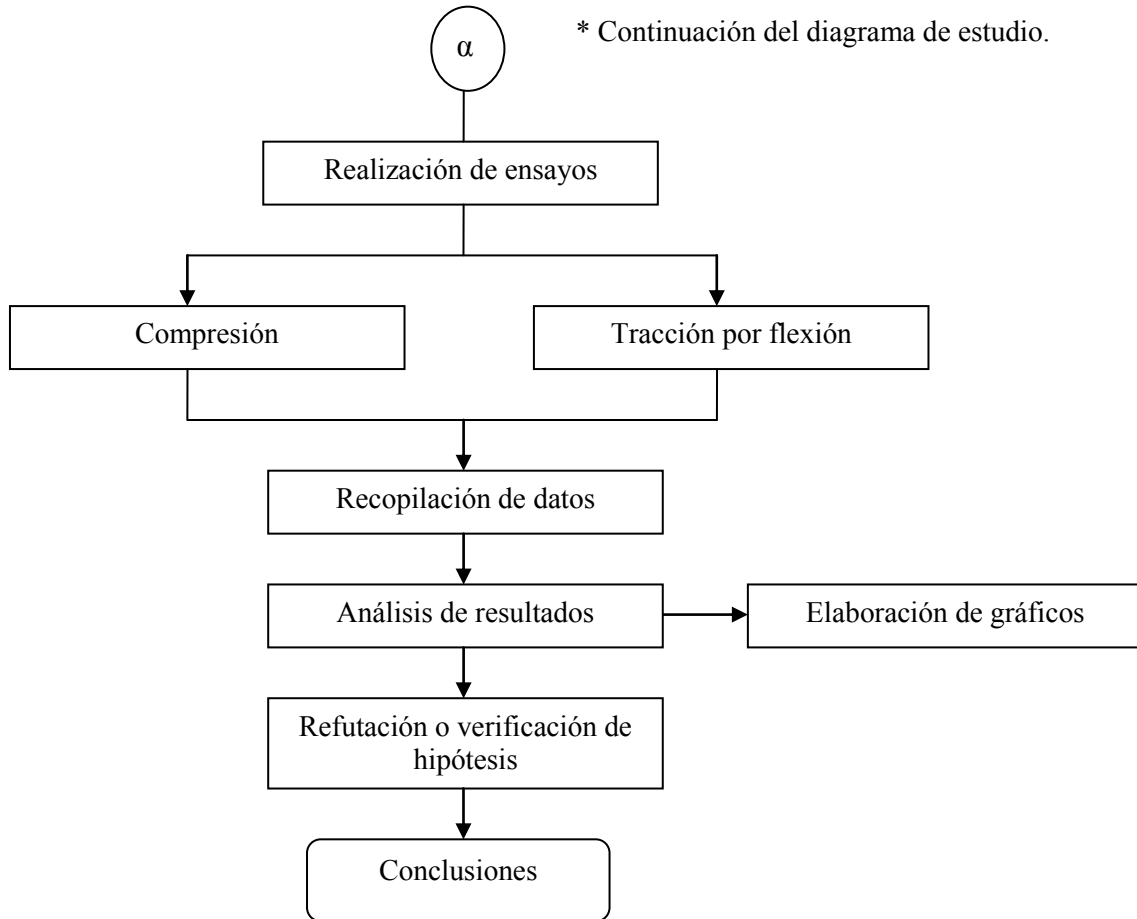
- El cemento a utilizar es marca “La Unión”, clase puzolánico - grado corriente.
- Los tamaños máximos de los áridos naturales son de 19 mm la gravilla y 4,75 mm la arena.
- El tamaño del árido reciclado de loza vítrea sanitaria a reemplazar tiene un tamaño máximo de 19 mm.
- Los artefactos sanitarios a utilizar fueron recolectados en la provincia de Valparaíso.
- El hormigón es confeccionado con solo una razón agua cemento, variando solamente los porcentajes de árido reciclado a reemplazar, los que serán de 10%, 20%, 30%, 40% y 50 % del árido grueso.
- Los ensayos de resistencia mecánica, para la compresión y flexo tracción, se rigen según las normas NCh 1037:2009 y NCh 1038:2009 respectivamente.
- La trituración, tamizado, elaboración de las probetas y ensayos, se realizaron en el Laboratorio de Hormigón de la Universidad de Valparaíso.

1.5. Metodología de la investigación.

En el siguiente diagrama se muestra la metodología realizada para esta investigación experimental, donde se muestra desde el inicio de la idea, pasando por el desarrollo de la experiencia y culminando con el análisis de datos y conclusiones finales de la investigación.

Diagrama metodología del estudio.





CAPITULO II: Generalidades hormigón, áridos y cerámica.

2.1. Importancia de los recursos naturales en la industria de la construcción.

La construcción emplea aproximadamente la mitad de los recursos que el hombre consume de la naturaleza, con los cuales generan una gran cantidad de residuos (Alarcón, 2005). A causa de la contaminación ambiental y el cambio climático, cobra importancia iniciar la creación de conciencia en los países, a fin de reducir la extracción irracional de recursos naturales, como por ejemplo, los materiales pétreos naturales, para disminuir así el agotamiento acelerado de las reservas de áridos provenientes tanto de los cauces de los ríos o esteros, lugares donde se ubican las plantas de extracción de áridos.

Clasificación de los recursos naturales:

- Los recursos naturales permanentes o inagotables: Son aquellos que no se agotan, sin importar la cantidad de actividades productivas que el ser humano realice con ellos, como por ejemplo: la luz solar, la energía de las olas del mar y del viento.
- Recursos naturales renovables: Son aquellos que, con los cuidados adecuados, pueden mantenerse e incluso aumentar. Los principales recursos renovables son la flora y fauna. A su vez las plantas y los animales dependen para su subsistencia de otros recursos renovables que son el agua y el suelo.
- Recursos naturales no renovables: Son aquellos que existen en cantidades determinadas y al ser sobreexplotados se pueden acabar. La mejor conducta ante los recursos naturales no renovables es usarlos lo menos posible, solo utilizarlos para lo que sea realmente necesario, y tratar de reemplazarlos con recursos renovables o inagotables. Los principales recursos no renovables son los minerales, metales, petróleo, gas natural y depósitos de aguas subterráneas.

2.2. Artefactos sanitarios como residuos.

Tras la industrialización, hubo un gran salto en la incorporación de artefactos sanitarios al interior de las viviendas, innovación que hasta hace poco se limitaba a la conexión de los artefactos a un sistema de alcantarillado y el invento del desagüe acodado, que dejando retenida agua forma un cierre hidráulico que evita el paso de olores. Estos artefactos son accesorios empleados con el fin de cubrir las necesidades que tienen los usuarios con respecto a lo que es aseo personal, limpieza y de necesidades fisiológicas.

La materialidad de estos artefactos ha ido avanzando de acuerdo a la tecnología, ya que se ha investigado distintos componentes que han mejorado el material que conforman estos elementos, obteniendo artefactos con casi nula absorción de agua, mayor durabilidad y resistencia a la abrasión. En la construcción los artefactos sanitarios de loza vítrea son considerados piezas destinadas a fines sanitarios o higiénicos.

En nuestro país, estos elementos en la actualidad no cuentan con reciclaje o una reutilización posterior a su funcionamiento, por lo que en su mayoría llegan a botaderos tanto autorizados como no autorizados, por lo que no se puede tener una cifra exacta de su acumulación en estos lugares. Si bien no se conoce el volumen de los artefactos que se desechan, cualquier iniciativa que busque reutilizar o reciclar estos elementos, va en búsqueda de disminuir el colapso de los rellenos sanitarios que día a día disminuyen aceleradamente su vida útil.

2.3. Generalidades de la cerámica.

2.3.1. Definición.

Etimológicamente, cerámica es un término que viene del griego “*keramos*”, cuyo significado puede traducirse como quemar o hacer alfarería.

Una cerámica es un sólido inorgánico no-metálico, en general, se consideran como materiales cerámicos aquellos que han sido producidos por el hombre de forma artificial. Los materiales cerámicos suelen estar compuestos por al menos dos elementos unidos formando óxidos, carburos, nitruros o boruros, mediante enlaces iónicos o covalentes, dependiendo del tipo de cerámico. Por otra parte, suelen formar microestructuras cristalinas en los que cada grano es un cristal aproximadamente perfecto, pero con una estructura mucho más complicada que en metales.

El comportamiento de estos materiales a temperatura ambiente es prácticamente elástico y lineal hasta su rotura, presentando una gran rigidez con un módulo de elasticidad alto, que llega a duplicar en algunos casos al del acero. Las resistencias a compresión y tracción uniaxiales son las propiedades que normalmente se utilizan para caracterizar la resistencia mecánica del material. Los materiales cerámicos tienen, en general, una elevada resistencia a compresión uniaxial por lo que se utilizan principalmente bajo cargas de compresión (Hare, 1984).

Las cerámicas tradicionales son materiales dedicados en general a la construcción y a usos aplicados en el hogar y la industria.

2.3.2. Loza vítrea sanitaria.

La loza sanitaria en general es un producto cerámico denso, de baja porosidad y mínima absorción de agua (menor a 0.5 %) que generalmente se obtiene por colada de barbotinas en moldes de yeso. Las materias primas más utilizadas para la fabricación de la loza sanitaria son la arcilla que proporciona la plasticidad y resistencia en verde durante la etapa del formado, y contribuye a la formación de mullita después del quemado. El cuarzo, que actúa como un material de relleno cuyos granos gruesos proporcionan resistencia a la propagación de grietas durante el secado, y forman una red tipo esqueleto durante el quemado reduciendo así la deformación pirolástica, y los feldespatos cuya acción fundente por arriba de los 1000 °C lleva a la densificación en la presencia de un líquido reactivo que disuelve parcialmente al cuarzo y a la arcilla, lo cual lleva a la formación de cristales de mullita acicular inmersos en el vidrio feldespático. Así las principales fases que constituyen comúnmente la loza sanitaria son una matriz vítrea heterogénea con cristales de cuarzo y mullita en forma de agujas.

La loza se puede diferenciar en dos partes, ya que es un material de fractura blanquecina después de cocidos, ligero, poroso y absorbente, teniendo que ser recubierta con un grueso esmalte para hacerlas impermeables y duraderas. La composición química de este elemento es la siguiente, en la parte interna está compuesta por óxido de silicio (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3) y trióxido de hierro (Fe_2O_3) y la parte externa los mismos componentes anteriores, además del dióxido de zirconio (ZrO_2) y óxido de calcio (CaO).

La fabricación de los artefactos sanitarios es por moldeo y adecuado proceso de cocción de minerales no metálicos, tales como cuarzo, feldespato, caolín y arcillas, cuyas superficies exteriores están recubiertas de una capa vítrea fusionada al cuerpo. Este material cerámico es cocido a alta temperatura a partir de un cuerpo no poroso con una absorción de agua máxima de 0,5% de la masa original de la muestra seca (NCh 407:2012).

Durante la producción, la arcilla sirve para dar forma a la cerámica en bruto. El caolín, por su parte, garantiza la resistencia de la masa en el posterior proceso de cocción. A ambos materiales se les añade cuarzo y feldespato finamente molidos. El cuarzo influye en expansión térmica y proporciona así una buena adherencia del vitrificado sobre la cerámica sin cocción. El feldespato sirve como medio de fluido y posibilita una fundición de tipo vitrificado de las partículas de masa que favorece al mismo tiempo la consistencia.

De este modo, las ventajas de este material se aprecian ya desde el inicio de la cadena de producción de la cerámica sanitaria. La resistencia de temperatura extremadamente alta del material natural permite una temperatura de cocción de aprox. 1280°. El resultado es la elevada dureza del producto final.

Propiedades de la loza vítrea:

Propiedades físicas:

- Baja conducción eléctrica.
- Baja conducción térmica.
- Resistencia a cambios bruscos de temperatura.
- Baja expansión y falla térmica.
- Fácil limpieza e higiene.
- Casi nula absorción de agua

Propiedades químicas:

- Resistencia contra agentes químicos.
- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia a la corrosión.

Propiedades mecánicas:

- Dureza (Escala de Mohs 6-7).
- Alta resistencia compresión uniaxial.
- Resistencia al desgaste.
- Baja resistencia al impacto.
- Buena cohesión.

Tabla 2.1: Dureza de Mohs.

Dureza	Mineral	Se raya con / raya a	Composición química
1	Talco	Se puede rayar fácilmente con la uña	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
2	Yeso	Se puede rayar con la uña con más dificultad	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
3	Calcita	Se puede rayar con la una moneda de cobre	$CaCO_3$
4	Fluorita	Se puede rayar con la un cuchillo de acero	CaF_2
5	Apatita	Se puede rayar difícilmente con un cuchillo	$Ca_5(PO_4)_3(OH-,Cl-,F-)$
6	Ortoclasa	Se puede rayar con una lija para el acero	$KAlSi_3O_8$
7	Cuarzo	Raya al vidrio	SiO_2
8	Topacio	Rayado por herramientas de carburo de wolframio	$Al_2SiO_4(OH-,F-)_2$
9	Corindón	Rayado por herramientas de carburo de silicio	Al_2O_3
10	Diamante	El material más duro de esta escala (rayado por otro diamante)	C

Fuente: UNE-EN 15771:2001

El proceso de confección de la cerámica sanitaria consta de 5 etapas:

- La selección y preparación de las materias primas.
- La preparación del cuerpo cerámico, que consiste en la preparación de la mezcla, homogenización y amasado.
- El moldeado, que puede hacerse por varios procedimientos.
- El secado.
- La cocción, a altas temperaturas.
- Vitricado, segunda cocción a mayor temperatura que la anterior.

Tipos de artefactos de loza vítrea:

1. Inodoros.
2. Estanques de descarga.
3. Lavamanos.
4. Pedestales.
5. Urinarios.
6. Bidés.



Fuente: Imágenes catalogo productos Fanaloza S.A., 2015.

2.4. Generalidades de los áridos para hormigones.

2.4.1. Definición.

Los áridos también conocidos como agregados pétreos, corresponden a aquellas partículas granulares inertes naturales, de forma y tamaño estable. Conforman el esqueleto duro del hormigón, representando aproximadamente tres cuartos del volumen del hormigón total. Permiten darle resistencia al hormigón y evitan la retracción de la pasta de cemento. El objetivo principal es de tener un volumen de huecos mínimo a rellenar con la pasta de cemento, lo que implica una mayor finura y una granulometría adecuada. Muchas propiedades intrínsecas del hormigón tienen relación con las características volumétricas, geométricas y mecánicas del árido utilizado. Entre ellas, los factores de mayor influencia sobre la calidad del hormigón son los siguientes: la presencia de impurezas, la granulometría, y la densidad del árido. En consecuencia, la caracterización de los áridos es relevante para la calidad del hormigón y existen restricciones establecidos en las normas chilenas referidas a los áridos.

2.4.2. Clasificación según tamaño de sus partículas.

En la NCh163:2013, “Requisitos generales de los áridos para morteros y hormigones” establece la siguiente clasificación según el tamaño de sus partículas:

- Grava: Árido grueso retenido en el tamiz de abertura nominal de 4,75 mm.
- Arena: Árido fino que pasa por el tamiz de abertura nominal de 4,75 mm y es retenido en el de 0,075 mm.
- Filler o polvo: Árido que pasa por el tamiz de abertura nominal de 0,075 mm.

2.4.3. Condiciones de los áridos.

- Condiciones de trabajabilidad: Conjunto de características necesarias para que los áridos al ser incorporado al hormigón pueda mezclarse, manejarse, transportarse y vaciarse en su posición final con una pérdida mínima de homogeneidad.
 - Forma de granos: Forma regular favorece trabajabilidad y disminuye necesidad de agua.
 - Porosidad: Relacionada con la absorción del agua. Menor densidad real implica mayor porosidad.
 - Adecuada granulometría: Grado de compacidad deseado.
 - Tamaño máximo: Define curva granulométrica adecuada.
- Condición de estabilidad física: Un árido debe ser capaz de resistir las acciones físicas generadas por las condiciones ambientales en las que se debe subsistir.
 - Resistencia ciclo hielo-deshielo.
 - Resistencia a la desintegración.
- Condición de estabilidad química: Un árido debe ser capaz de resistir las acciones químicas generadas por su incorporación al hormigón.
 - Inalterabilidad ante compuestos del fraguado: Reacción álcali-árido.
 - No incorporación de productos nocivos para el fraguado y endurecimiento: Limpieza de los áridos.
- Condición de resistencia propia: El árido debe ser capaz de resistir los efectos ambientales y las tensiones internas que le producen las sollicitaciones aplicadas al elemento. Se debe limitar las partículas blandas y desmenuzables.

2.4.4. Tipos de áridos.

- Árido natural: Áridos procedente de yacimientos pétreos, pueden ser de canto rodado que no ha sido sometido a tratamientos mecanizados, o árido tratado que ha sido sometido a tratamiento de trituración, clasificación por tamaños y/o lavado en operaciones mecanizadas controladas.
- Árido artificial: Árido que procede de un proceso industrial y ha sido sometido a alguna modificación físico-química o de otro tipo. Dentro de los áridos artificiales se encuentran todos aquellos subproductos o residuos de los procesos industriales, como las escorias siderúrgicas, cenizas volantes de las centrales térmicas, estériles mineros, etc.
- Árido reciclado: Árido que resulta del reciclaje de residuos de demoliciones o construcciones y de escombros.

2.4.5. Áridos reciclados.

La norma NCh 163 define a los áridos reciclados como el material granular resultante del tratamiento de materiales inorgánicos utilizados anteriormente en la construcción. Es el principal producto de valorización de los residuos de construcción y demolición (RCD), obtenido a partir de la trituración de la parte pétreo de estos residuos, estos se conocen habitualmente como escombros. Se considera RCD cualquier sustancia y objeto que, cumpliendo la definición de residuos, se genere en una obra de construcción como hormigón, cerámicos o ladrillos, o la mezcla con otros materiales dependiendo de la selección de materiales que se haya hecho previamente. Esto conlleva que las características técnicas de cada uno sean muy diferentes.

Los áridos reciclados pueden ser utilizados como:

- Zahorra (áridos no triturados) artificial para carreteras.
- Material reciclado para rellenos, ya sea como material drenante o para restauraciones.
- Áridos para suelo cemento y grava cemento.
- Áridos en hormigones compactados con rodillo, para capa de rodadura de hormigón en caminos y viales, o para base de alta calidad en carreteras.
- Áridos en hormigones en masa, aplicaciones en hormigón estructural o no estructural.
- Áridos en prefabricados, utilización en bloques de hormigón, baldosas, tejas de hormigón, adoquines, chimeneas, rejillas de suelo para ganado, elementos para vallas, mástiles y postes, mobiliario urbano y productos de jardín, etc.

Para efectos de esta tesis se entenderá como árido reciclado al obtenido de la trituración de artefactos sanitarios de loza vítrea. El tamaño del árido reciclado a utilizar será grueso, como no existen normativas sobre los áridos reciclados, se regirán según las normativas de los áridos naturales.

El objetivo de utilizar áridos reciclados en la confección de un nuevo hormigón, es reemplazar parte de los áridos convencionales utilizados en una mezcla de hormigón, manteniendo la calidad y sus propiedades. De esta forma disminuyendo la cantidad de árido natural que se necesita y reutilizando un material que no contaba con una mayor vida útil.

2.5. Generalidades del hormigón.

2.5.1. Definición.

El hormigón es un material que resulta de la mezcla de agua, arena, grava, cemento, eventualmente aditivos o adiciones, en proporciones adecuadas que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia. (NCh170.Of85)

Los áridos, el cemento y el agua se mezclan juntos para constituir una masa plástica y trabajable, que permite ser moldeada en la forma que se desee.

Debido a su constitución puede considerarse como un conglomerado artificial y como tal, una vez endurecido, es apto para responder a elevadas sollicitaciones de esfuerzos mecánicos principalmente de compresión. La compresión es la propiedad más importante de los hormigones, ya que posee una funcionalidad estructural y está continuamente sometido a esfuerzos de este tipo.

Las propiedades y ventajas del hormigón, lo hace un elemento muy requerido en el mundo de la construcción, se utiliza en estructuras que se encuentran en ambientes extremos, o de formas singulares, difíciles de mantener en pie con otros materiales. Para estos casos se utilizan los hormigones especiales, los cuales se caracterizan por algún cambio en su configuración con respecto a un hormigón modelo, es decir, de resistencia estándar y con una granulometría que no sale de lo tradicional, lo que trae como consecuencia una variación de las propiedades conforme lo que se necesita en la obra.

En la actualidad también se ha optado por sustituir parcialmente o en su totalidad, alguno de sus componentes, por otros materiales que no son los convencionales en un hormigón. Para mejorar u obtener características que por sí, el hormigón convencional intrínsecamente no posee, como mayor resistencia mecánica, variación de peso y densidades, etc.

2.5.2. Propiedades del hormigón fresco.

El hormigón fresco es aquel que ha terminado su proceso de mezclado y aun no ha sido colocado, sin sobrepasar un tiempo de dos horas para los cementos de grado corriente, y una hora para los cementos de grado de alta resistencia, tiempo que se mide desde el comienzo del amasado (NCh 171/1-2008).

Propiedades:

- **Docilidad:** Factibilidad que presenta el concreto para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin que pierda homogeneidad.
- **Consistencia:** La consistencia es la oposición que presenta el hormigón fresco a experimentar deformaciones.
- **Homogeneidad:** Los hormigones deben ser dóciles sin que presenten segregación, es decir, deben tener cohesión.

Docilidad del hormigón.

El ensayo del cono de Abrams permite medir la docilidad del hormigón fresco por la disminución de altura que experimenta un tronco cónico moldeado con hormigón fresco, con la limitación de no determinar docilidades para asentamientos inferiores a 2 cm mayores a 18 cm. El molde utilizado para este ensayo consiste en un tronco de cono recto metálico cuyo diámetro superior es de $100 + 1.5$ mm, diámetro inferior de $200 + 1.5$ mm, y altura igual a $300 + 1.5$ mm. ; provisto de dos pisaderas en la parte inferior para la sujeción por parte del operador durante el llenado, y dos asas en el tercio superior para levantar el molde después del llenado. La cantidad de hormigón necesaria para efectuar el ensayo no será inferior a 8 litros y se determina de acuerdo a la NCh.171 (NCh 1019Of2009).

2.5.3. 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.

Propiedades:

- Mecánica: Resistencia a la compresión y tracción.
- Físicas: Densidad y permeabilidad.
- Propiedades elásticas y plásticas: Modulo de elasticidad y fluencia lenta (Creep)
- Variaciones de volumen: Retracción hidráulica, retracción térmica y retracción por carbonatación.
- Durabilidad: Agentes físicos y químicos.
- Constructivas: Dimensionales y texturas.

2.5.4. Propiedades mecánicas del hormigón.

El hormigón debe ser diseñado para cumplir ciertas exigencias que están claramente especificadas, por lo que las proporciones entre los materiales componentes deberán ser estudiadas para que el hormigón resultante se ajuste a lo solicitado. Dentro de los requisitos y características que un hormigón debe cumplir esta la resistencia mecánica, capacidad que tiene el hormigón para soportar las cargas que se apliquen sin agrietarse o romperse.

El hormigón se clasifica en grados, donde la principal característica estructural del hormigón es resistir muy bien los esfuerzos de compresión e inferiormente a la tracción.

2.5.4.1. Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión se define como la capacidad del hormigón de resistir la carga por unidad de área especificada a los 28 días de edad. Esta importante propiedad del hormigón está en función de la razón agua/cemento y de la calidad de los áridos que conforman el hormigón, ya que se espera que la resistencia a la compresión se vea modificada a medida que se aumenta el reemplazo de los áridos pétreos por el árido reciclado de loza sanitaria.

El hormigón se clasifica con respecto a su resistencia especificada a compresión, f_c , medida en probetas cúbicas de 200 mm de arista, de acuerdo con las normas NCh1017 y NCh1037, a la edad de 28 días, como se indica en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Clasificación de los hormigones por resistencia a compresión.

Grado	Resistencia especificada, f_c	
	MPa	(kgf/cm ²)
H5	5	(50)
H10	10	(100)
H15	15	(150)
H20	20	(200)
H25	25	(250)
H30	30	(300)
H35	35	(350)
H40	40	(400)
H45	45	(450)
H50	50	(500)

Fuente: NCh 170.Of 85

2.5.4.2. Resistencia a la flexotracción.

Teóricamente la resistencia a la tracción es aproximadamente un 1/8 a 1/12 de la resistencia a la compresión, esta relación f_t/f_c depende de la calidad del hormigón y es menor cuando mayor es la f_c (Videla, 2010). Esta característica es menos importante que la resistencia a la compresión, debido a que normalmente no se requiere que el hormigón resista fuerzas directas de tracción. Por este motivo se le incorporan otros materiales al hormigón para mejorar este tipo resistencia, en este caso, el árido reciclado de loza sanitaria se espera que mantenga o mejore esta propiedad en el hormigón.

El hormigón se clasifica con respecto a su resistencia especificada a flexotracción, f_t , de acuerdo con NCh1017, y ensayadas de acuerdo con la norma NCh1038, a la edad de 28 días, como se indica en la tabla 2.3.

Tabla 2.3: Clasificación de los hormigones por resistencia a flexotracción

Grados de flexotracción	Resistencia especificada, f_t	
	MPa	(kgf/cm ²)
HF 3	3,0	(30)
HF 3,5	3,5	(35)
HF 4	4,0	(40)
HF 4,5	4,5	(45)
HF 5,0	5,0	(50)
HF 5,5	5,5	(55)
HF 6,0	6,0	(60)

Fuente: NCh 170.Of 85.

2.5.5. Hormigón con áridos reciclados.

El hormigón es un material multifacético con el cual, se pueden obtener diversas propiedades, formas y texturas, además de alcanzar altas resistencias mecánicas. Es por este motivo que su uso se ha ido diversificando y también su composición a sufrido cambios.

Uno de los componentes más importantes del hormigón, son los áridos, elementos que han ido evolucionando, en su rol dentro de la mezcla de hormigón. Esto por una mayor demanda de áridos, lo que ha generado la necesidad de buscar alternativas a su uso, tales como elementos resultantes de procesos siderúrgicos, denominados áridos artificiales. La otra alternativa que ha surgido con fuerza en Europa, es la de los áridos reciclados, elementos utilizados anteriormente en la construcción.

El hormigón con árido reciclado, es el fabricado con árido reciclado o una mezcla de árido reciclado y árido natural. Los principales aspectos que influyen en la calidad del hormigón fabricado con árido reciclado son la cantidad, el tamaño, la procedencia y cantidad de impurezas del árido reciclado. Estos áridos pueden estar conformados de diversos materiales, tales como hormigón, asfalto, materiales cerámicos, etc.

El estudio y uso de los materiales reciclados no es nuevo pero su auge se ha venido incrementando notablemente en los últimos años, esto debido a que el mundo ha comprendido su importancia económica y ecológica. Es por esto que en España se introdujo el anejo 15 llamados “Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados” a la guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición.

En 2008, 210 millones de toneladas de áridos reciclados se produjeron en el Reino Unido, de los cuales 67 millones de toneladas se han reciclado de productos, de acuerdo con la Asociación de Productos de cantera. El programa de acción de residuos y recursos ha elaborado un protocolo de calidad para la producción regulada de áridos reciclados. El árido reciclado se entrega con la documentación que indica que se ha producido mediante un sistema de seguro de calidad para el proceso de fabricación para garantizar un agregado que se ajusta a las normas europeas pertinentes.

El árido reciclado más utilizado en la confección de hormigón, es el del propio hormigón, donde existen diversos estudios donde se reemplaza de forma parcial, completa, o en conjunto con otros materiales. En este trabajo se utilizará el árido reciclado solamente de loza vítrea, en un reemplazo parcial en la confección de hormigón, buscando mantener o mejorar la calidad y sus propiedades.

CAPITULO III: Desarrollo de la investigación

3.1. Diseño experimental.

3.1.1. Generalidades.

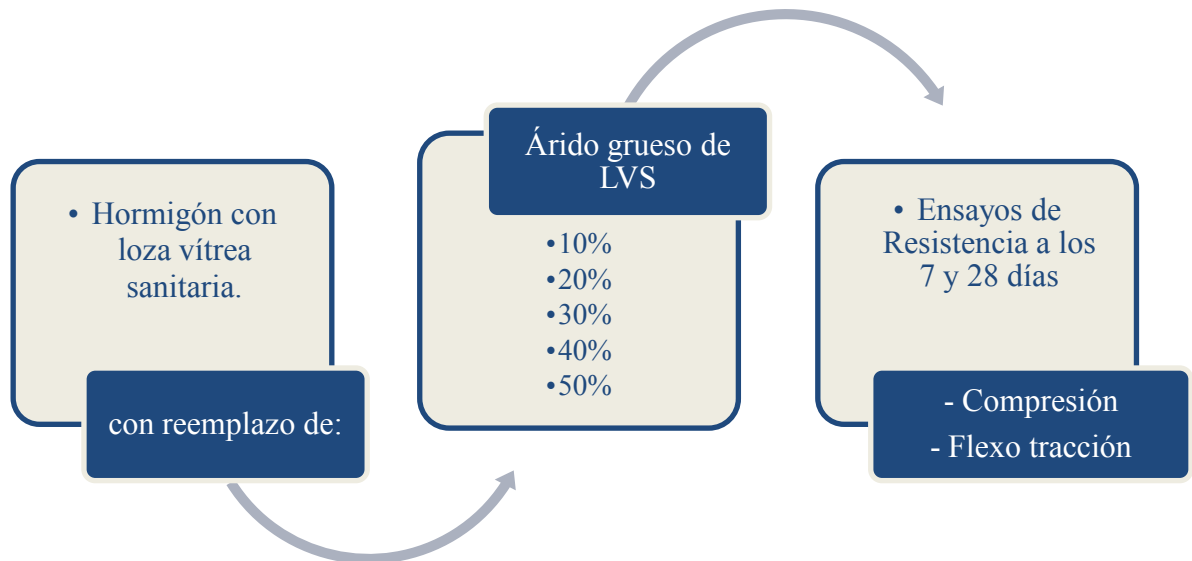
El diseño de la experiencia es descrito en el presente capítulo, guiando la secuencia de etapas de la investigación que conduzcan a determinar los objetivos de la investigación.

La investigación contempla estudiar el comportamiento de las propiedades mecánicas como la compresión y flexotracción, a probetas de hormigón con árido reciclado de loza vítrea sanitaria, con un reemplazo parcial de un 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50% respecto al árido gruesos.

La loza vítrea a utilizar proviene de artefactos sanitarios en desuso, este material debe ser tratado para su utilización, ya que debe ser limpiado y triturado para su posterior incorporación al hormigón. Este material fue recolectado con anticipación a la experiencia en laboratorio en la región de Valparaíso y su utilización será de tamaño grueso sustituyendo a la gravilla.

A continuación se detallará de acuerdo a la metodología implementada, los criterios adoptados para la correcta ejecución de los ensayos, con la aplicación de las normas correspondientes, los procedimientos y equipamientos utilizados para determinar las variables.

Figura 3.1: Cuadro explicativo de la investigación.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

3.1.2. Planteamiento y definición de variables.

3.1.2.1. Variables independientes.

Las variables independientes de esta investigación tienen relación con los factores que se modificarán para obtener las variables de respuesta; como lo es la cantidad y el tamaño de loza vítrea, que se incorporará al hormigón.

- a) Cantidad de loza vítrea sanitaria: La cantidad de loza vítrea a sustituir será de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% en relación al peso del agregado grueso, debido a que es un ensayo tentativo para ver cómo se comporta en la mezcla.
- b) Tamaño del árido de loza vítrea sanitaria: Se utilizará 1 tipo de tamaño de árido reciclado.
 - Árido grueso: Tamaño máximo de 19 mm.

3.1.2.2. Variables dependientes.

Las variables dependientes corresponderán a los resultados de las resistencias mecánicas, obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión y tracción por flexión.

- a) Resistencia a la compresión: Corresponde a la resistencia obtenida mediante el ensayo a la rotura por compresión de probetas de hormigón.
- b) Resistencia a la tracción por flexión: Corresponde a la resistencia obtenida mediante el ensayo de tracción por flexión de rotura de probetas prismáticas de hormigón simplemente apoyadas.

3.1.2.3. Variables de control.

- a) Tipo de cemento: El cemento a utilizar será portland puzolánico grado corriente.
- b) Tamaño máximo nominal: El tamaño máximo nominal en los áridos finos debe ser de 4,75mm. y en la grava de 19 mm.
- c) Razón agua/cemento (a/c): La relación agua cemento será la misma para todos los porcentajes de reemplazo de loza vítrea.

3.1.3. Factorial de experimento.

Con la variable independiente se confecciono el factorial de experimento, el cual determinó los hormigones con distintas cantidades de loza vítrea.

Tabla 3.1: Combinación de niveles para cada factor.

		CANTIDAD (%)				
Tamaño de la loza vítrea.	0	10	20	30	40	50
G	HP	LVS10%	LVS20%	LVS30%	LVS40%	LVS50%

Fuente: Elaboración propia, 2015.

En donde:

G: Tamaño grueso, 19 - 4,75 mm.

HP: Hormigo patrón.

LVS: Hormigón loza vítrea sanitaria.

X%: Porcentaje de reemplazo de la loza vítrea sanitaria.

En la tabla 3.1 se tiene el hormigón patrón junto con los hormigones con porcentajes de reemplazo de LVS, en total se fabricarán 6 tipos de hormigones para el desarrollo de la experiencia. Cada tipo de hormigón está asociado a la confección de 2 cubos y 2 vigas a los 7 días de edad y 4 cubos y 2 vigas a los 28 días transcurridos de la confección de las probetas, para realizar los ensayos de resistencias mecánicas. Lo que da un total de 6 cubos y 4 vigas por cada tipo de hormigón.

3.1.4. Ensayos a los áridos.

3.1.4.1. Extracción de muestras de áridos.

Los áridos se clasifican según su tamaño en: Arenas, cuyo grano tiene entre 0,08 y 4,75mm y en este caso gravilla, cuyo grano tiene entre 9,5 y 19 mm. El árido reciclado de loza vítrea sanitaria, contemplará el mismo tamaño que los áridos convencionales, es decir, grueso (gravilla).

El árido reciclado de loza vítrea sanitaria, que se utiliza en esta investigación se obtiene mediante una trituración manual del artefacto, golpeando con un combo de 8 lb hasta obtener un tamaño óptimo para su transporte y disminución de su volumen, posteriormente se realiza una trituración en la maquinaria de los Ángeles en el laboratorio de hormigón de la Universidad de Valparaíso y si lo amerita se vuelve a triturar de forma manual para tener el tamaño necesario.

Para las muestras de laboratorio se procederá de la misma forma para todos los áridos, tanto naturales como el reciclado (LVS), se comienza mezclando el material obtenido, hasta que quede homogéneo, se dividen en cuatro partes iguales mediante el método de cuarteo, se separan y se repite el proceso hasta obtener la cantidad requerida. Se guarda el material en recipientes adecuados, evitando cualquier contaminación o alteración del material que pueda causar problemas al hormigón. Todo este proceso es realizado como lo indica la NCh 164 de extracción y preparación de muestras de áridos.

Antes de la dosificación del hormigón, se verificará el cumplimiento de las normas de calidad de los áridos, es por esto que en el laboratorio de hormigón de la Universidad de Valparaíso se medirá la densidad aparente, real y neta, absorción, humedad, composición granulométrica, contenido de finos, etc.

3.1.4.2. La arena y el contenido de materia orgánica.

La existencia de impurezas orgánicas en un árido pueden modificar las reacciones químicas del agua y el cemento, alterando el fraguado y endurecimiento. El procedimiento para determinar la presencia de impurezas en las arenas, según la norma NCh 166 Of.2009 es por el método de comparación de coloraciones, donde se compara una muestra del árido con una solución de hidróxido de sodio, con una coloración de una solución de ácido tánico.

La granulometría es la encargada de mostrar los diferentes tamaños de granos que posee la muestra, con los tamices de diversas aberturas se expresa el porcentaje que pasa por cada uno de ellos. A continuación en la tabla 3.2, se presentan los requisitos granulométricos de la arena, la que en esta investigación deberá cumplir la mezcla de la arena natural.

Tabla 3.2: Requisitos granulométricos de la arena.

Tamices mm	Tamaño máximo, D _n		
	% acumulado que pasa		
	Hormigón y mortero	Mortero	
	4,75	2,36	1,18
9.5	100	-	-
4.75	95-100	100	-
2.36	80-100	95-100	100
1,18	50-85	70-100	95-100
0,600	25-60	40-75	50-100
0,300	5-30	10-35	15-40
0,150	0-10	2-15	2-20
Modulo de finura	3,45-2,15	2,83-1,75	2,38-1,40
Retenido entre tamices 0,315 y 0.150	-	< 25	< 25
% retenido entre dos tamices sucesivos	-	< 45	

Fuente: NCh 163:2013

3.1.4.3. La grava.

Para la confección de hormigones se debe tener una composición de partículas de todos los tamaños, esto es conocido como granulometría. A continuación en la tabla 3.3, se presentan los requisitos granulométricos de la grava, la que en esta investigación deberá cumplir la gravilla y el árido de loza vítrea sanitaria (LVS), específicamente la banda de la columna de 19 – 4,75 mm.

Tabla 3.3: Requisitos granulométricos de la grava.

Tamices mm	% acumulado que pasa para los siguientes grados (definidos por tamaños límites en mm)								
	63-37,5	50-25	50-4,75	37,5-19	37,5-4,75	25-4,75	19-4,75	12,5-4,75	9,5-2,36
75	100	-	Nota	-	Nota	-	-	-	-
63	90-100	100	100	-	-	-	-	-	-
50	35-70	90-100	90-100	100	100	-	-	-	-
37,5	0-15	33-70	-	90-100	90-100	100	-	-	-
25	-	0-15	35-70	20-55	-	90-100	100	-	-
19	0-5	-	-	0-15	35-70	-	90-100	100	-
12,5	-	0-5	10-30	-	-	25-60	-	90-100	100
9,5	-	-	-	0-5	10-30	-	20-55	40-70	90-100
4,75	-	-	0-5	-	0-5	0-10	0-10	0-15	10-30
2,36	-	-	-	-	-	0-5	0-5	0-5	0-10
1,18	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5

Fuente: NCh 163:2013.

Nota: el grado 50 mm – 4,75 mm corresponde a mezclas de los grados 50 mm – 25 mm con 25 mm – 4,75 mm y el grado 37,5 mm – 4,75 mm corresponde a mezcla de los grados 37,5 mm – 19 mm – 4,75 mm.

3.1.4.4. Árido combinado.

El árido combinado permite obtener una adecuada proporción de material fino y grueso, para cumplir con las condiciones de compactación, docilidad y otras del hormigón. La tabla divide el árido combinado según su tamaño máximo, a su vez por zonas que indican el uso en la construcción. Estos datos permiten realizar un tanteo, donde la curva del árido combinado debe ser similar a las curvas límites que indica la norma NCh 163.

Tabla 3.4: Tabla árido combinado.

Tamiz mm	D _{máx} 19 mm			
	% que pasa acumulado			
	Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
38,10	-	-	-	-
19,00	100	100	100	100
9,50	45	55	65	75
4,75	30	35	42	48
2,36	23	28	35	42
1,18	16	21	28	34
0,60	9	14	21	27
0,30	2	3	5	12
0,15	0	0	0	2

Fuente: NCh 163:2013.

3.1.4.5. Densidades y absorción de los áridos.

La densidad se considera como el cociente entre la masa de un material y su volumen a una temperatura especificada. Es una característica física de gran importancia en los materiales, ya que permite distinguir cuerpos y sustancias. Los tipos de densidad de los materiales de importancia en esta experiencia son, la aparente, real y neta.

La densidad aparente

Está relacionada con la determinación de la compacidad del árido y se obtiene vaciando el material en una medida de capacidad volumétrica (v) para el tamaño máximo nominal del árido. Determinar la masa (m) del árido suelto o compactado que llena la medida. Determinar la densidad aparente dividiendo la masa del árido por la capacidad volumétrica de la medida. El procedimiento para establecer estas densidades está establecido en la NCh1116:2008.

Densidad aparente compactada (ρ_{ac}):

$$\rho_{ac} = \frac{m_c}{v} * (\text{kg/m}^3) \quad (\text{Formula 1})$$

Siendo:

m_c = Masa del árido compactado que llena la medida (kg)

v : Capacidad volumétrica de la medida (m^3)

Densidad aparente suelta (ρ_{as}):

$$\rho_{as} = \frac{m_s}{v} * (\text{kg/m}^3) \quad (\text{Formula 2})$$

Siendo:

m_s = Masa del árido suelto que llena la medida (kg)

v : Capacidad volumétrica de la medida (m^3)

La densidad real y neta:

Permite conocer volúmenes compactos de los áridos con el fin de dosificar hormigones. La absorción está íntimamente vinculada con la porosidad interna de los granos de árido y con la permeabilidad de los hormigones. Las normas NCh1239 y NCh1117 establecen los procedimientos para determinar las densidades real y neta y de la absorción de agua de la arena y grava respectivamente.

Arena: Consiste en medir una masa en estado seco (ms) y saturado superficialmente seco (msss) y calcular el volumen como la masa desplazada por el árido sumergido en un matraz aforado.

Densidad real del árido saturado superficialmente seco (ρ Rsss)

$$\rho \text{ Rsss} = \frac{m \text{ sss}}{Ma+m \text{ sss}-Mm} * 1000 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Formula 3})$$

Densidad real del árido seco (ρ Rs)

$$\rho \text{ Rs} = \frac{m \text{ s}}{Ma+m \text{ sss}-Mm} * 1000 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Formula 4})$$

Densidad neta (ρ N)

$$\rho \text{ N} = \frac{m \text{ s}}{Ma+m \text{ s}-Mm} * 1000 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Formula 5})$$

Absorción de agua (α)

$$\alpha = \frac{m \text{ sss}-m \text{ s}}{m \text{ s}} * 100\% \quad (\text{Formula 6})$$

Donde:

ρ = Densidad.

ms= Masa de la muestra seca, g.

m sss= Masa de la muestra saturada superficialmente seca, g.

Ma= Masa del matraz con agua hasta la marca de calibración, g.

Mm= Masa del matraz con la muestra más agua hasta la marca de calibración, g.

Grava: Consiste en determinar la masa pesada al aire ambiente en condiciones seca y saturada superficialmente seca. Determinar su volumen por diferencia entre pesadas al aire ambiente y sumergido en agua.

Densidad real del árido saturado superficialmente seco (ρ RT):

$$\rho \text{ RT} = \frac{B}{B-A} * 1000 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Formula 7})$$

Densidad real del árido seco (ρ RS):

$$\rho \text{ RS} = \frac{C}{B-A} * 1000 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Formula 8})$$

Densidad neta (ρ N):

$$\rho \text{ N} = \frac{C}{C-A} * 1000 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Formula 9})$$

Absorción de agua(α)

$$\alpha = \frac{B-C}{C} * 100\% \quad (\text{Formula 10})$$

Donde:

A: masa sumergida, g.

B: Masa saturada superficialmente seca, g.

C: Masa seca, g.

3.1.5. Ensayos de hormigón.

3.1.5.1. Ensayo de docilidad del hormigón fresco.

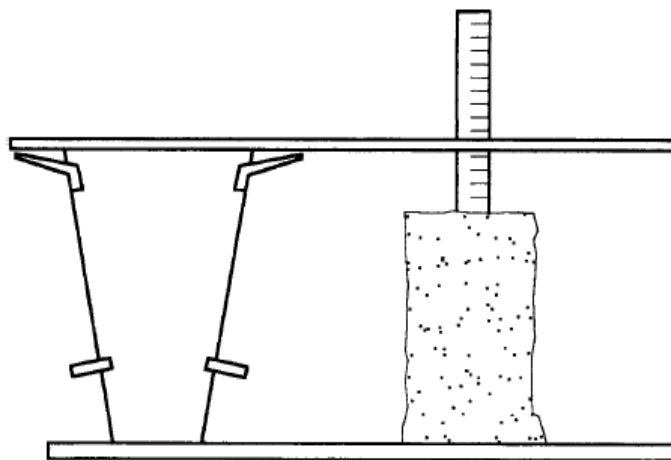
La determinación de la docilidad se realiza por el método de Asentamiento de Cono de Abrams, tanto en laboratorio como en obra.

- Aparatos utilizados.
 - Molde: Tronco de cono recto metálico cuyo diámetro superior es de 100 mm, diámetro inferior de 200 mm, y altura igual a 300 mm.
 - Varilla-pisón: Barra de fierro liso de 16 mm de diámetro y 60 cm de largo con sus extremos terminados en semiesfera.
 - Plancha de apoyo: Será rígida, no absorbente y por lo menos de 400 mm por 600 mm.
 - Poruña de llenado: Será metálica, de sección y dimensiones tales que permita el vaciado de su contenido en el molde.

Procedimiento:

Colocar el molde sobre una plancha de apoyo horizontal, ambos limpios y humedecidos solo con agua. Pararse sobre las pisaderas evitando el movimiento del molde durante el llenado. Llenar el molde en tres capas de aproximadamente igual volumen y apisonar cada capa con 25 golpes de varilla. Se debe enrasar la superficie de la capa superior y limpiar el hormigón derramando en la zona adyacente al molde. Inmediatamente después cargar el molde con las manos, sujetándolo con las asas y dejando las pisaderas libres. Se debe levantar el molde verticalmente sin perturbar el hormigón en un tiempo de 5 a 12 segundos. Toda la operación de llenado y levantamiento no debe demorar más de 3 minutos. Luego se levanta el molde, se mide inmediatamente la disminución de altura del hormigón moldeado respecto al molde (asentamiento), la medida se expresa con aproximaciones de 0,5 cm.

Figura 3.2: Medida del asentamiento.



Fuente: NCh 1019Of2009.

3.1.5.2. Ensayo de compresión.

El procedimiento de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión está establecido en la norma NCh 1037:2009 “Hormigón - ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas”.

El valor de la resistencia que se obtiene en el ensayo no es absoluto, ya que depende de las condiciones en que ha sido realizado. Algunas condiciones son:

- La forma y dimensión de la probeta:
 - Probeta cúbica de 15 x 15 cm.

- Características del hormigón:
 - Tipo de cemento.
 - Relación agua/cemento (A/C).
 - Edad del hormigón.

- Condiciones ambientales:
 - Temperatura.
 - Humedad.

- Condiciones de ejecución del ensayo:
 - Estado de las superficies de aplicación de la carga.
 - La velocidad de aplicación de la carga hasta alcanzar la rotura.

Procedimiento:

El acondicionamiento de las probetas para el ensayo se realiza según las normas NCh1017 o NCh1171/1. Una vez realizada la mezcla en la betonera del laboratorio, se procede a llenar los cubos de 15 x 15 cm de aristas que corresponde a las probetas que serán ensayadas según la norma NCh 1037, una vez confeccionada se procede a introducir a la piscina de curado, durante 28 días, donde el hormigón alcanza una gran resistencia.

Previo al ensayo, se verifica que las placas de carga y caras de ensayo se encuentren absolutamente limpias, y que la probeta se encuentre alineada con el eje central de las placa de carga. Si la maquina lo requiere, se puede guiar con la mano la placa superior para obtener un apoyo lo más uniforme posible. La aplicación de la carga debe ser de forma continua y sin choques, a una velocidad de 0,25 MPa/s \pm 0,05 Mpa/s hasta alcanzar una franca rotura de la probeta.

Expresión de resultados:

Calcular la resistencia a compresión como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$R = \frac{P}{S} \quad (\text{Formula 11})$$

$$S = \frac{(a1 + a2) * (b1 + b2)}{2} \quad (\text{Formula 12})$$

En que:

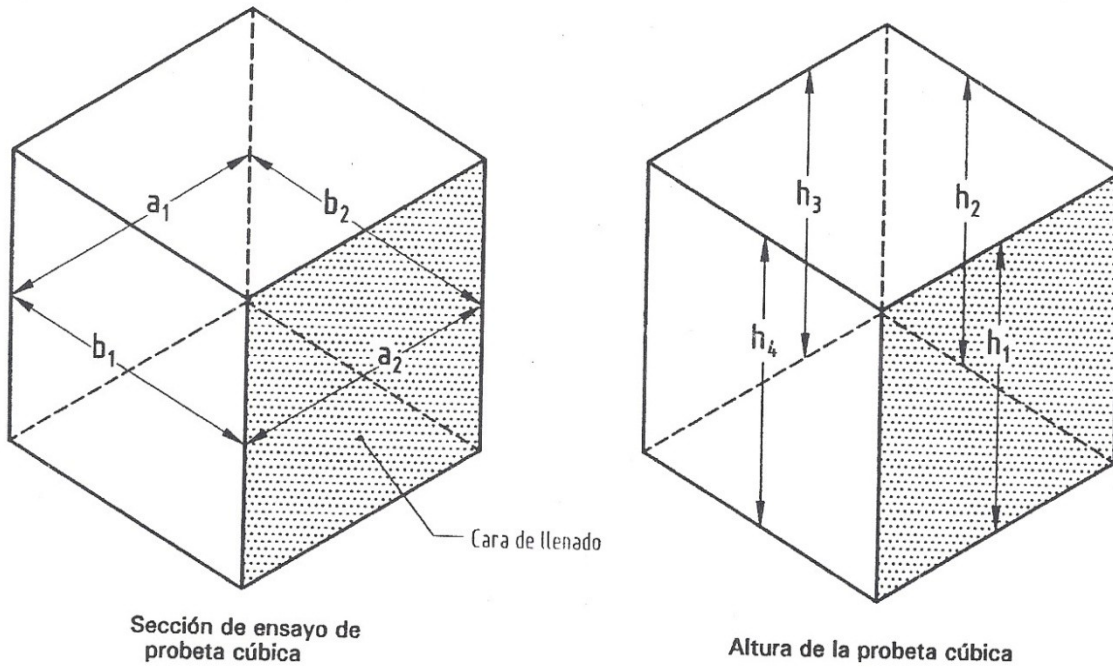
R= Tensión de rotura, expresada en megapascales (MPa);

P= Carga máxima aplicada por la máquina de ensayo, expresada en newton (N);

S= Sección de ensayo, expresada en milímetros cuadrados (mm²);

a1, a2, b1 y b2: Ancho de las caras laterales de la probeta en el eje horizontal, aproximadamente en el centro de cada cara, expresada en (mm).

Figura 3.3: Determinación de dimensiones de probetas cúbicas.



Fuente: NCh 1037:2009.

3.1.5.3. Ensayo de tracción por flexión.

El procedimiento de ensayo para la determinación de la resistencia a la flexotracción está establecido en la norma NCh 1038:2009 “Hormigón - ensayo de tracción por flexión”. Consiste en someter una vigueta de hormigón simplemente apoyada, a una sollicitación de flexión mediante la acción de dos cargas concentradas en los límites del tercio central de la luz de ensayo.

Procedimiento:

Una vez realizada la mezcla en la betonera del laboratorio, se procede a llenar los elementos prismáticos de 15 x 15 x 55 cm de aristas que corresponde a las probetas que serán ensayadas según la NCh 1038, una vez confeccionada se procede a introducir a la piscina de curado, durante 28 días, donde el hormigón alcanza una gran resistencia, se retiran las probetas obtenidas según la norma NCh 1017, de su proceso de curado, protegiéndolas con arpilleras húmedas y ensayarlas inmediatamente, para evitar su secado especialmente la cara de apoyo, la cual debe recibir la máxima tracción. Las probetas deben ser colocadas sobre los elementos de apoyo, la cara de llenado debe quedar en un plano perpendicular centrada al de los elementos de apoyo y la aplicación de la carga debe ser continua y sin golpes, alcanzando una velocidad constante hasta el punto de rotura. Según la forma de aplicación de la carga, la luz de ensayo debe cumplir con las condiciones siguientes:

Cargas $P/2$ aplicadas en los límites del tercio central.

$$L \geq 3h$$

En que:

L = Luz de ensayo;

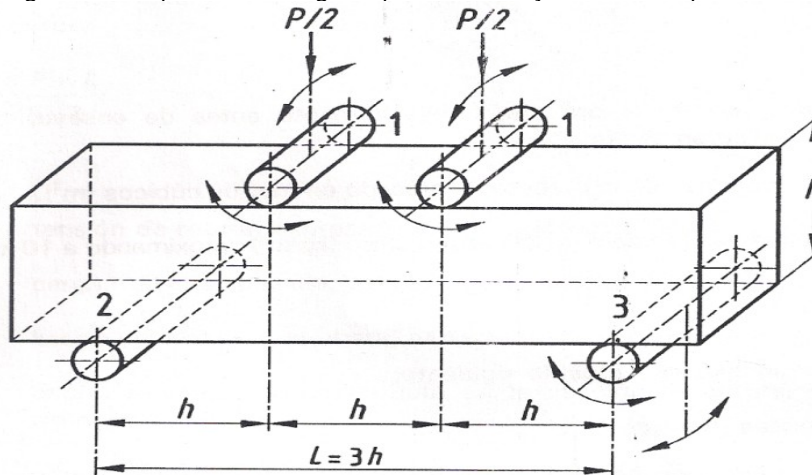
h = Altura de la probeta.

1= Rodillo de carga (capaz de girar e inclinarse)

2= Rodillo soporte

3= Rodillo soporte (capaz de girar e inclinarse)

Figura 3.4: Dispositivo de carga de probetas ensayo de tracción por flexión.



Fuente: NCh 1038:2009.

Expresión de resultados:

Calcular la resistencia a la tracción por flexión, como la tensión de rotura de acuerdo a lo siguiente:

- Si la fractura de las probetas se produce en el tercio central de la luz de ensayo, calcular la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de rotura según la fórmula 1:

$$R = \frac{P * L}{b * h^2} \quad (\text{Formula 13})$$

- Si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz de la probeta, en la zona comprendida entre la línea de aplicación de carga y una distancia de 0,05 L de esa línea, calcular la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de rotura según la fórmula 2:

$$R = \frac{3P * a}{b * h^2} \quad (\text{Formula 14})$$

- Si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz y más allá de la zona indicada anteriormente, desechar los resultados del ensayo.

En que:

R= Tensión de rotura, expresada en megapascales (MPa);

P= Carga máxima aplicada, expresada en newton (N);

L= Luz de ensayo de la probeta, expresada en milímetros (mm);

b= Ancho promedio de la probeta en la selección de rotura, expresado en milímetros (mm);

h= Altura promedio de la probeta en la sección de rotura, expresado en milímetros (mm);

a= Distancia entre la sección de rotura y el apoyo más próximo, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la probeta, expresada en milímetros (mm).

3.2. Desarrollo de la experiencia.

3.2.1. Obtención de la loza vítrea sanitaria para la investigación.

La obtención de la loza vítrea sanitaria (LVS) se obtuvo de la recolección de artefactos sanitarios en desusos de distintos lugares de la provincia de Valparaíso, los cuales no tenían un uso determinado en estos hogares, sino más bien eran un elemento difícil de desechar, por lo que no fue problema adquirirlos para esta investigación. La acumulación de estos artefactos no tuvo costo económico para su adquisición, tan solo el traslado asociado a cada uno de ellos. Por lo que de cumplirse la hipótesis planteada en este trabajo, sería un elemento de posible masificación, para reutilizar estos elementos de loza vítrea.

El acopio de estos artefactos fue de forma paulatina, para no acumular un gran volumen de forma anticipada a la experiencia en laboratorio.

3.2.2. Proceso de la trituración de la loza vítrea sanitaria.

El proceso de la trituración de la loza, se realizó por lo general en 3 etapas, primero comenzando con una reducción de su tamaño en los diferentes lugares de su recolección, para poder ser trasladada de una forma más cómoda en sacos de escombros.

Figura 3.5: Trituración artefactos de LVS.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

La segunda etapa se realizó de forma mecánica, con la máquina de los ángeles, en el laboratorio de hormigón de la Universidad de Valparaíso, a través del desgaste del árido reciclado. Para lograr este material, se incorporó al tambor de acero, las 11 esferas de acero, las encargadas de triturar el material. Este procedimiento no corresponde al ensayo de desgaste de los ángeles, por lo que no se debía regir estrictamente por la norma correspondiente (NCh1369:2010), sino más bien corresponde a triturar un material utilizando esta maquinaria,

es por esto que se inicio colocando 100 revoluciones, para ver el comportamiento de la loza, se abrió el tambor y no presentaba cambio significativos, por lo que se procedió a colocar 500 revoluciones, una vez terminado el proceso, se procedió a extraer el material, para realizar el tamizado de corte con el tamiz de $\frac{3}{4}$ ".

Figura 3.6: Maquina de los ángeles.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

La tercera y última etapa corresponde a la trituration manual del material con un combo de 8 lb, para obtener el tamaño de árido grueso especificado en esta experiencia, para asegurar su cumplimiento, se trituró el material que quedo retenido en el tamiz de 19 mm, para posteriormente realizar el corte con el tamiz de 4,75 mm.

Figura 3.7: Tamizado malla de $\frac{3}{4}$ "



Fuente: Elaboración propia, 2015.

3.2.3. Preparación de muestras de áridos.

La preparación de las muestras de los áridos, es de la misma forma para los áridos naturales como la arena y gravilla, como para el árido reciclado de loza vítrea sanitaria.

Se realizó según la norma NCh 164:2009, la cual establece los procedimientos para extraer y preparar las muestras representativas de áridos finos, gruesos y totales para fines de ensayo.

Resumen del procedimiento:

- Identificar y estimar el tamaño del lote.
- Determinar el tamaño de la muestra simple y decidir la posibilidad de formar muestra compuesta.
- Extraer porciones de áridos, homogeneizarlas y reducirlas de tamaño por el sistema de cuarteo.

Figura 3.8: Imágenes cuarteo de LVS.



Fuente: Elaboración propia 2015.

En la figura 3.8 se puede observar el proceso de cuarteo del árido reciclado de LVS, donde sobre una superficie limpia se coloca una muestra significativa de este material, la que es elegida para homogeneizar, para ello se divide en 4 partes iguales, eligiendo 2 partes contrarias para posteriormente realizar la granulometría. Este procedimiento es el mismo que se realiza a un árido grueso natural.

3.2.4. Granulometría de los áridos.

La granulometría de los áridos es uno de los parámetros más importantes empleados para la dosificación del hormigón puesto que constituye su esqueleto y tiene una gran influencia sobre sus propiedades.

La granulometría se define como la distribución porcentual en masa seca de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido. Esta se realiza según la NCh165.Of2009 que establece el procedimiento para realizar el tamizado y la granulometría de los áridos.

En esta experiencia se realizó la granulometría a la arena, gravilla y la loza vítrea sanitaria (LVS).

Resumen del procedimiento:

Una muestra de masa conocida es separada por medio de una serie de tamices de aberturas progresivas menores, para determinar la distribución de tamaño de las partículas. Determinar los porcentajes parciales retenidos y expresar las granulometrías en función del porcentaje en peso que pasa.

Figura 3.9: Imágenes granulometría LVS.



Fuente: Elaboración propia 2015.

En la figura 3.9 se observa la granulometría realizada a la loza vítrea sanitaria, la que se realizó de la misma manera de un árido convencional, según lo que recomienda la NCh165:2009, Árido para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría.

Áridos naturales.

Los áridos utilizados en esta experiencia provienen desde la cuenca del río Aconcagua y fueron abastecidos por la empresa “Áridos Boco”, empresa especializada en este rubro. Los materiales adquiridos son arena negra y gravilla. Las granulometrías de ambos áridos fueron realizadas según las indicaciones de la NCh165.Of2009 para dar cumplimiento a las bandas especificadas en la NCh163:2013, los resultados se presentan a continuación.

Figura 3.10: Arena negra Dn 4,75mm y gravilla Dn 15 mm.



Fuente: Imágenes emitidas por www.aridosboco.cl

Arena:

Tabla 3.5: Resultados granulométrica arena.

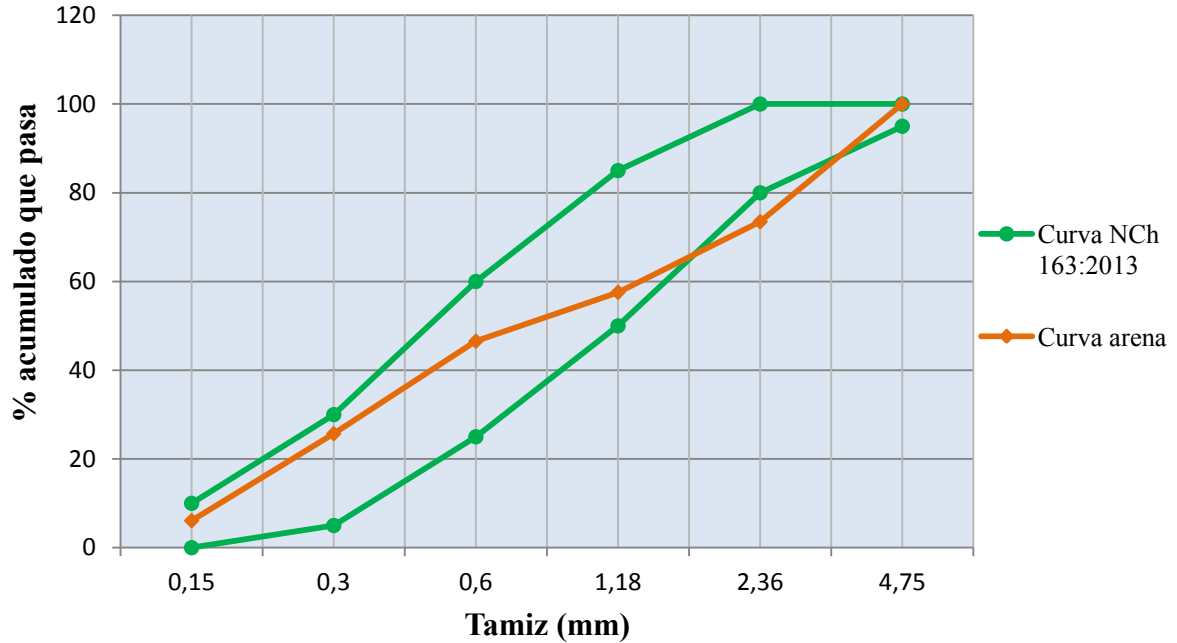
Tamices (mm)	% acumulado que pasa	% acumulado que pasa corregido	NCh 163:2013
4,75	90,0	100,0	95 – 100
2,36	66,2	73.5	80 – 100
1,18	51,9	57.6	50 – 85
0,60	41,9	46.6	25 – 60
0,300	23,2	25.7	5 - 30
0,150	5,5	6.1	0 -10
MF		2,91	3,45 - 2,15

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación: Se corrigió el % que pasa de la arena, porque es de una mezcla de 90% de arena y 10% gravilla, mediante esta corrección la fracción corregida cumple con el requisito de la norma NCh 163.

Gráfico 3.1: Curva granulométrica arena.

Granulometría arena.



Fuente: Elaboración propia 2015.

Comentarios preliminares: En la grafica 3.1 se puede observar que la granulometría de la arena, en la gran parte de los tamices se encuentra dentro de la banda propuesta por la NCh163, tan solo estando fuera en el tamiz N° 8 (2,36 mm), pero de igual forma la curva posee una tendencia paralela a esta curva, por lo que su distribución de tamaños es apta para su uso en la confección de hormigón.

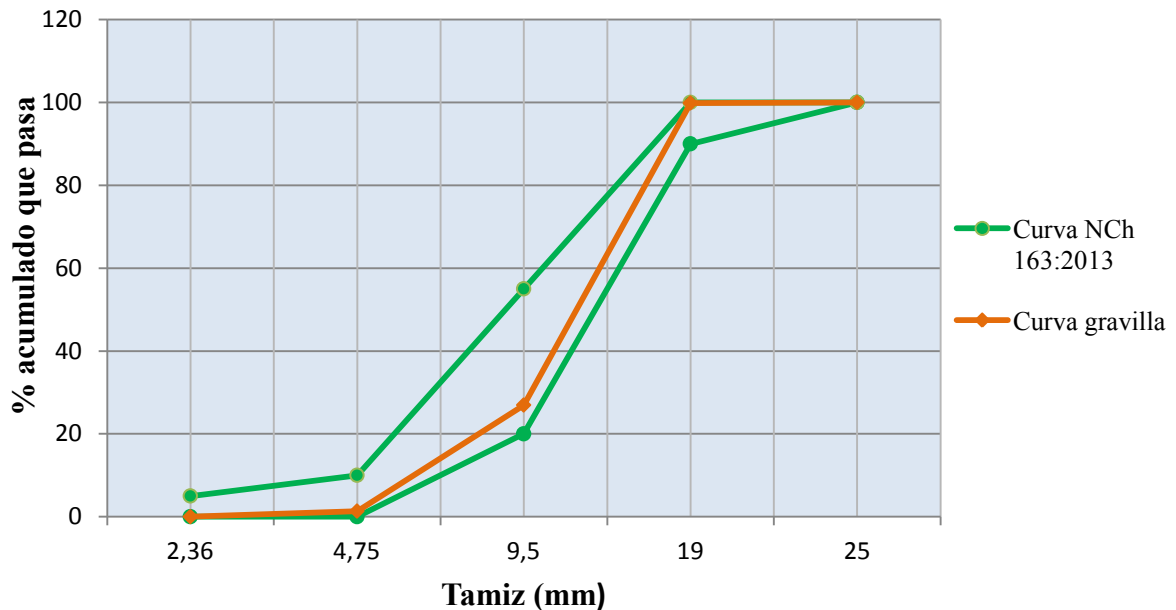
Gravilla:

Tabla 3.6: Resultados granulométrica gravilla.

Tamices (mm)	% acumulado que pasa	NCh 163:2013 (%)
19	99,8	90 – 100
9,5	26,9	20 – 55
4,75	1,3	0 – 10
2,36	0,0	0 – 5

Fuente: Elaboración propia 2015.

Gráfico 3.2: Curva granulométrica gravilla.

Granulometría gravilla.

Fuente: Elaboración propia 2015.

Comentarios preliminares: En la grafica 3.2 se puede observar que la granulometría de la gravilla está completamente dentro de las curvas limites propuestas por la norma NCh 163, por lo que presenta una buena distribución de los tamaño de las partículas que constituyen el árido. Además es importante señalar que la curva que presenta el árido natural, es muy similar a la del árido reciclado de loza vítrea, por lo que no existirá una diferencia en el tamaño de sus partículas al momento de fabricar el hormigón.

Áridos reciclados de loza vítrea sanitaria.

Las granulometrías para este material se realizaron bajo las mismas recomendaciones de las normas de los áridos naturales, ya que no existe una normativa especial para este tipo de material y los resultados se presentan a continuación.

LVS:

Tabla 3.7: Resultados granulometría LVS % retenido.

Tamices (mm)	Peso(grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado
25	0	0	0
19	268	2,9	2,9
9,5	6784	73,1	76,0
4,75	1795	19,3	95,3
2,36	438	4,7	100,0

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación: Peso promedio de la muestra es de 9284 grs. cumpliendo la masa mínima que exige la NCh165.Of2009 de 8 kg (8000 grs), para un tamaño máximo nominal (Dn) del árido grueso de 19 mm.

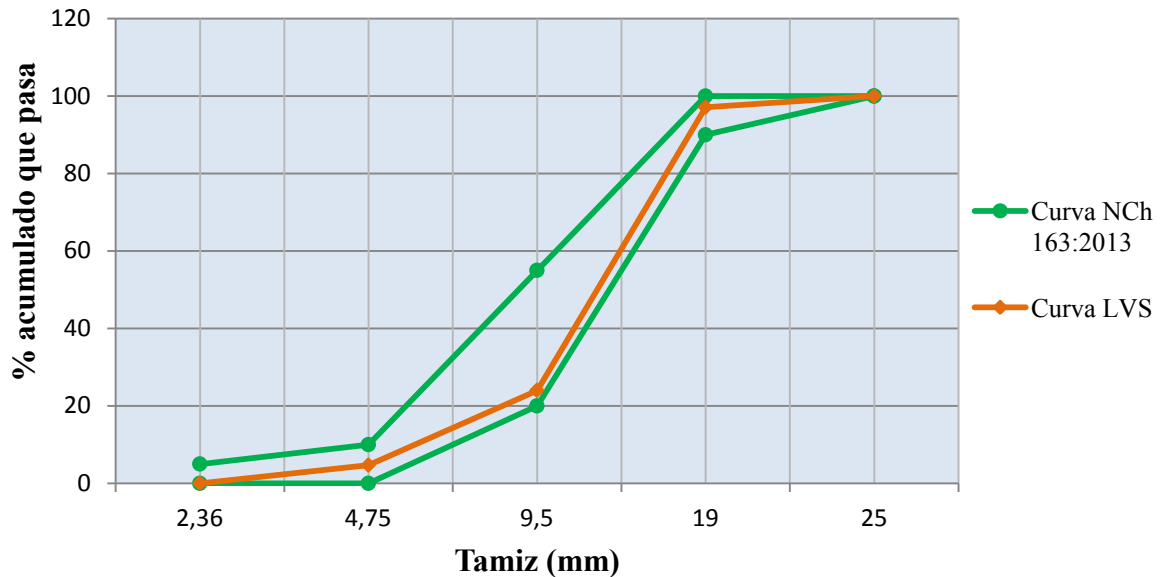
Tabla 3.8: Resultados granulometría LVS.

Tamices (mm)	% que pasa	NCh 163:2013 (%)
19	97,1	90 – 100
9,5	24,0	20 – 55
4,75	4,7	0 – 10
2,36	0,00	0 – 5

Fuente: Elaboración propia 2015.

Gráfico 3.3: Curva granulométrica LVS.

Granulometría LVS.



Fuente: Elaboración propia 2015.

Comentarios preliminares: En la grafica 3.3 se puede observar que la granulometría de la gravilla esta dentro de las curvas limites propuestas en el grado de 19 mm – 4,75 mm de la norma NCh 163, por lo que presenta una buena distribución de los tamaño de las partículas que constituyen el árido, lo que influirá positivamente en la docilidad de los hormigones a confeccionar en esta experiencia. Los tamaños que presenta la LVS son prácticamente iguales a la distribución de la gravilla, lo que permite que al realizar los reemplazos parciales del árido reciclado por el natural, no cambie la docilidad del hormigón y se pueda observar al momento del análisis de datos, principalmente el comportamiento del árido reciclado según sus características intrínsecas y comportamiento como un elemento en el hormigón.

Árido combinado:

Árido resultante de la combinación de árido fino y árido grueso en proporciones definidas por el estudio de dosificación y que se ha de emplear en la confección de un hormigón. Una vez definido el tamaño máximo de 19 mm y el tipo de construcción para lo que se necesita dosificar el hormigón, se realiza un tanteo donde se obtiene los porcentajes de arena y gravilla respectivamente, donde la suma de los porcentajes que pasan en este caso, debe estar dentro de las curvas 3 y 4 de la NCh 163, como se observa en la tabla 3.9.

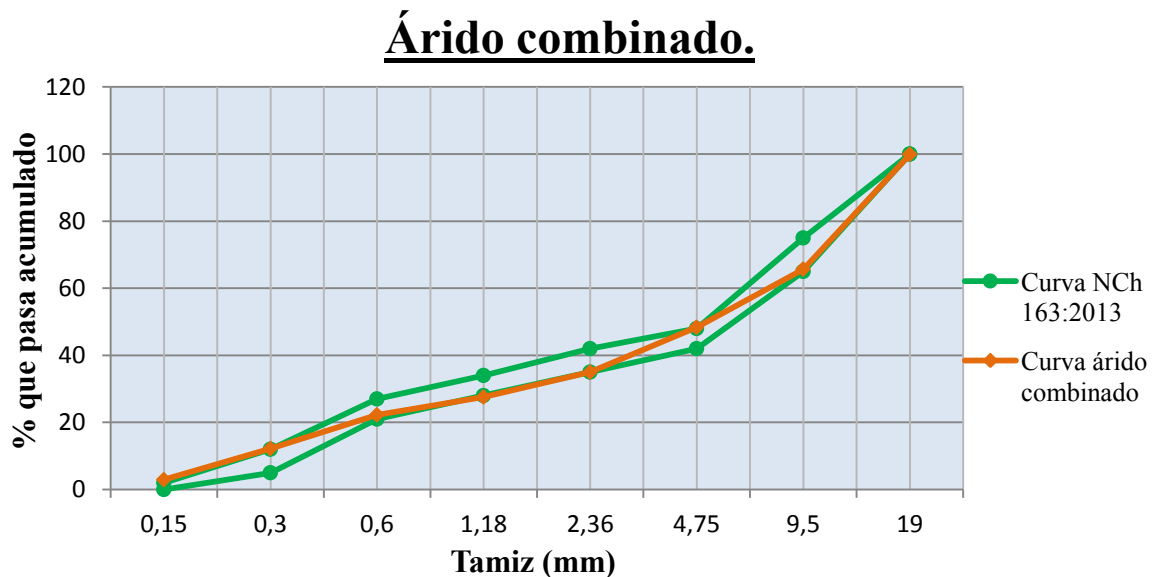
Granulometría recomendada para dosificación.

Tabla 3.9: Árido combinado de esta experiencia.

Tamiz mm	D _{máx} 19 mm				
	% que pasa acumulado				
	47% G	53% A	A + G	Curva 3	Curva 4
38,10	100	-	-	-	-
19,00	47	53	100	100	100
9,50	13	53	66	65	75
4,75	1	47	48	42	48
2,36	0	35	35	35	42
1,18	0	28	28	28	34
0,60	0	22	22	21	27
0,30	0	12	12	5	12
0,15	0	2	2	0	2

Fuente: Elaboración propia (2015) de acuerdo norma NCh 163:2013.

Gráfico 3.4: Curva granulométrica árido combinado.



Fuente: Elaboración propia 2015.

3.2.5. Determinación densidades aparentes, reales, netas y absorción.

3.2.5.1. Densidad aparente.

La densidad aparente es la densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de un árido, más el volumen de los poros y de los huecos. Este volumen corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.

Esta densidad de los áridos se obtiene siguiendo los procedimientos que establece la NCh1116:2008. A continuación se muestra las densidades aparentes de los materiales de esta investigación.

Arena.

Tabla 3.10: Densidad aparente de la arena.

ARENA	
Densidad aparente suelta (Kg/m ³)	1621
Densidad aparente compactada (Kg/m ³)	1762

Fuente: Elaboración propia 2015.

Figura 3.11: Recipiente metálico para medir densidad aparente.



Fuente: Elaboración propia 2015.

En la figura 3.11 se observa el recipiente metálico de volumen y peso conocido, donde se vació la arena, luego se lleva a la balanza y se puede obtener la densidad aparente compactada y suelta del árido en estudio.

Gravilla.

Tabla 3.11: Densidad aparente de la gravilla.

GRAVILLA	
Densidad aparente suelta (Kg/m ³)	1425
Densidad aparente compactada (Kg/m ³)	1631

Fuente: Elaboración propia 2015.

Loza vítrea sanitaria.

Tabla 3.12: Densidad aparente de la LVS

LVS	
Densidad aparente suelta (Kg/m ³)	1352
Densidad aparente compactada (Kg/m ³)	1474

Fuente: Elaboración propia 2015.

Comentarios preliminares: En la tabla 3.12 muestra la densidad aparente de la loza vítrea sanitaria, la que se llevo a cabo siguiendo las normas correspondientes de un árido natural y en comparación a la densidad aparente de la gravilla, cuyos datos se indican en la tabla 3.11, son levemente menores debido principalmente a la forma irregular que presenta.

3.2.5.2. Densidades reales, neta y absorción.

Este ensayo fue realizado según la norma NCh 1117.Of2010 para la grava y para las arenas según NCh 1239:2009, utilizando las mismas respectivamente en el caso de la LVS, se obtuvieron los siguientes resultados.

Arena.

Tabla 3.13: Densidades reales, neta y absorción arena.

ARENA	
Densidad Real SSS (Kg/m ³)	2668
Densidad Real Seca (Kg/m ³)	2638
Densidad Neta (Kg/m ³)	2719
Absorción (%)	1,10

Fuente: Elaboración propia 2015.

Figura 3.12: Matraz con agua y arena



Fuente: Elaboración propia 2015.

En la figura 3.12 se muestra el matraz aforado con agua y arena que se utiliza para medir la masa sumergida, que es necesaria para saber la densidad real y neta y absorción de la arena, como lo establecen las normas correspondientes.

Gravilla.

Tabla 3.14: Densidades reales, neta y absorción gravilla.

GRAVILLA	
Densidad Real SSS (Kg/m ³)	2614
Densidad Real Seca (Kg/m ³)	2578
Densidad Neta (Kg/m ³)	2671
Absorción (%)	1,34

Fuente: Elaboración propia 2015.

Loza vítrea sanitaria.

Tabla 3.15: Densidades reales, neta y absorción LVS.

LVS	
Densidad Real SSS (Kg/m ³)	2318
Densidad Real Seca (Kg/m ³)	2303
Densidad Neta (Kg/m ³)	2338
Absorción (%)	0,66

Fuente: Elaboración propia 2015.

Comentarios preliminares: En la tabla 3.15 se observan los datos obtenidos para el árido reciclado de LVS, donde las densidades reales y neta son menores a la de un árido natural, esto principalmente por la composición de este material y la forma que se elabora a altas temperaturas. En el caso de la absorción de agua de este material es menor a la de la gravilla, debido a que es un elemento compuesto por distintos minerales, los que son cocidos en hornos industriales, creando un sello en sus caras y al contar con un vidriado que posee una nula absorción, disminuye drásticamente este valor alcanzando solamente un 0,66%.

Figura 3.13: Canastillo portamuestra sumergido.



Fuente: Elaboración propia 2015.

En la figura 3.13 se puede apreciar el canastillo portamuestra que se encuentra sumergido en un recipiente con agua, para obtener el valor de la masa sumergida, para posteriormente obtener el valor de las densidades reales y netas y absorción de agua.

Resumen de densidades y absorción de los áridos.

Tabla 3.16: Resumen densidades y absorción.

Densidades y absorción.	Áridos naturales.		Árido reciclado.
	Arena	Gravilla	LVS gruesa
Densidad aparente suelta (Kg/m ³)	1621	1425	1352
Densidad aparente compactada (Kg/m ³)	1762	1631	1474
Densidad Real SSS (Kg/m ³)	2668	2614	2318
Densidad Real Seca (Kg/m ³)	2638	2578	2303
Densidad Neta (Kg/m ³)	2719	2671	2338
Absorción (%)	1,10	1,34	0,66

Fuente: Elaboración propia 2015.

Comentarios preliminares: En la tabla 3.16 se resumen las densidades de los áridos de esta experiencia, donde se puede inferir que el árido reciclado de LVS presenta una menor densidad que la gravilla de su mismo tamaño nominal y a su vez presenta una baja absorción de agua debido a su conformación interna, lo que permite conocer características de este material que se incorporará al hormigón en estudio.

3.2.6. Dosificación de los tipos de hormigones.

El objetivo de la dosificación, es lograr establecer las dosis de materiales lo más precisas posibles, ya sea mediante métodos prácticos, racionales o empíricos para lograr un hormigón de buena calidad que cumpla con las exigencias que se le presenten, como la resistencia suficiente para un proyecto, buena compacidad, entre otras características.

La elección del tipo de dosificación para esta experiencia es el método IDIEM, ya que se realizara en el laboratorio donde se encuentran los parámetros controlados y por ser un método comúnmente utilizado, simple, rápido y eficaz para la dosificación de hormigones en masa, armados, prefabricados, etc.

La dosificación para el hormigón patrón de grado H20 tiene los siguientes parámetros:

- Peso hormigón fresco compactado: 2460 Kg/m³
- Tamaño máximo de árido: 19 mm.
- Dosis de cemento: 310 Kg/m³
- Dosis de agua: 176 l/m³
- Tipo de cemento: Corriente.
- Cono de Abrams: Máximo 8 cm.
- Densidad Real SSS arena: 2,67 (Kg/m³)
- Densidad Real SSS gravilla: 2,61 (Kg/m³)
- Árido fino: 47%
- Árido grueso: 53%

Dosificación hormigones experiencia:

Tabla 3.17: Dosificación de hormigón.

	HP	HLVS10%	HLVS20%	HLVS30%	HLVS40%	HLVS50%
Cemento (kg)	310	310	310	310	310	310
Agua (litros)	176	176	176	176	176	176
Arena (kg)	1046	1046	1046	1046	1046	1046
Gravilla (kg)	928	835,2	742,4	649,6	556,8	464
LVS (kg)	0	92,8	185,6	278,4	371,2	464

Fuente: Elaboración propia 2015.

Dosificación colada de 35 litros para probetas a 7 días.

Estas coladas de 35 litros son las necesarias para confeccionar 2 cubos y 2 vigas necesarias para ensayar a los 7 días.

Hormigón patrón:

Tabla 3.18: Dosificación hormigón patrón.

Agregados	Peso (kg)	Volumen real (Its)	Peso para 35 litros (kg)
Cemento	310	109	10,9
Agua	176	176	5,5
Arena	1046	375	37,3
Gravilla	928	340	32,5
LVS	0	0	0

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación:

- Corrección de agua por absorción y humedad:
 $\text{Humedad (W)} - \text{Absorción (A)} = \% * \text{Peso arena}$
 $0,029 - 0,011 = 0,018 * 1046 = 18,8 \text{ (kg)}$
 $\text{Agua: } 176 - 18,8 = 157,2 * 0,035 = 5,5 \text{ (kg)}$
 $\text{Arena: } 1046 + 18,8 = 1064,8 * 0,035 = 37,3 \text{ (kg)}$
- Razón A/C: 0,57
- Asentamiento de cono de Abrams: 5 cm.

Hormigón con 10% LVS:

Tabla 3.19: Dosificación hormigón con 10% LVS.

Agregados	Peso(kg)	Volumen real (Its)	Peso para 35 litros (kg)
Cemento	310	109	10,9
Agua	176	176	5,5
Arena	1046	375	37,3
Gravilla	835,2	306	29,3
LVS	92,8	34	3,2

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación:

- Corrección de agua por absorción y humedad:
 $\text{Humedad (W)} - \text{Absorción (A)} = \% * \text{Peso arena}$
 $0,028 - 0,011 = 0,017 * 1046 = 17,8 \text{ (kg)}$
- Razón A/C: 0,57
- Asentamiento de cono de Abrams: 5 cm.

Hormigón con 20% LVS:

Tabla 3.20: Dosificación hormigón con 20% LVS.

Agregados	Peso (kg)	Volumen real (lts)	Peso para 35 litros (kg)
Cemento	310	109	10,9
Agua	176	176	5,5
Arena	1046	375	37,3
Gravilla	742,4	272	26
LVS	185,6	68	6,5

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación:

- Corrección de agua por absorción y humedad:
 $\text{Humedad (W)} - \text{Absorción (A)} = \% * \text{Peso arena}$
 $0,028 - 0,011 = 0,017 * 1046 = 17,8 \text{ (kg)}$
- Razón A/C: 0,57
- Asentamiento de cono de Abrams: 4,5 cm.

Hormigón con 30% LVS:

Tabla 3.21: Dosificación hormigón con 30% LVS.

Agregados	Peso (kg)	Volumen real (lts)	Peso para 35 litros (kg)
Cemento	310	109	10,9
Agua	176	176	5,6
Arena	1046	375	37,2
Gravilla	649,6	238	22,7
LVS	278,4	102	9,7

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación:

- Corrección de agua por absorción y humedad:
 $\text{Humedad (W)} - \text{Absorción (A)} = \% * \text{Peso arena}$
 $0,027 - 0,011 = 0,016 * 1046 = 16,7 \text{ (kg)}$
- Razón A/C: 0,57
- Asentamiento de cono de Abrams: 4,5 cm.

Hormigón con 40% LVS:

Tabla 3.22: Dosificación hormigón con 40% LVS.

Agregados	Peso (kg)	Volumen real (lts)	Peso para 35 litros (kg)
Cemento	310	109	10,9
Agua	176	176	5,6
Arena	1046	375	37,2
Gravilla	556,8	204	19,5
LVS	371,2	136	13,0

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación:

- Corrección de agua por absorción y humedad:
 $\text{Humedad (W)} - \text{Absorción (A)} = \% * \text{Peso arena}$
 $0,026 - 0,011 = 0,015 * 1046 = 15,7 \text{ (kg)}$
- Razón A/C: 0,57
- Asentamiento de cono de Abrams: 4,5 cm.

Hormigón con 50% LVS:

Tabla 3.23: Dosificación hormigón con 50% LVS.

Agregados	Peso (kg)	Volumen real (lts)	Peso para 35 litros (kg)
Cemento	310	109	10,9
Agua	176	176	5,6
Arena	1046	375	37,2
Gravilla	464	170	16,2
LVS	464	170	16,2

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación:

- Corrección de agua por absorción y humedad:
 $\text{Humedad (W)} - \text{Absorción (A)} = \% * \text{Peso arena}$
 $0,026 - 0,011 = 0,015 * 1046 = 15,7 \text{ (kg)}$
- Razón A/C: 0,57
- Asentamiento de cono de Abrams: 4 cm.

Dosificación colada de 42 litros para probetas a 28 días.

Los 42 litros que se muestran en las siguientes tablas, corresponden a la cantidad necesarias para confeccionar 4 cubos y 2 vigas para realizar los ensayos de resistencia mecánica a los 28 días, como lo exigen las normas NCh 1037 y NCh1038.

Hormigón patrón:

Tabla 3.24: Dosificación hormigón patrón.

Agregados	Peso (kg)	Volumen real (lts)	Peso para 42 litros (kg)
Cemento	310	109	13,0
Agua	176	176	6,6
Arena	1046	375	44,7
Gravilla	928	340	39
LVS	0	0	0

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación:

- Corrección de agua por absorción y humedad:
 $\text{Humedad (W) - Absorción (A)} = \% * \text{Peso arena}$
 $0,028 - 0,011 = 0,017 * 1046 = 17,8 \text{ (kg)}$
 $\text{Agua: } 176 - 17,8 = 158,2 * 0,042 = 6,6 \text{ (kg)}$
 $\text{Arena: } 1046 + 17,8 = 1063,8 * 0,042 = 44,7 \text{ (kg)}$
- Razón A/C: 0,57
- Asentamiento de cono de Abrams: 5 cm.

Hormigón con 10% LVS:

Tabla 3.25: Dosificación hormigón con 10% LVS.

Agregados	Peso (kg)	Volumen real (lts)	Peso para 42 litros (kg)
Cemento	310	109	13,0
Agua	176	176	6,7
Arena	1046	375	44,6
Gravilla	835,2	306	35,1
LVS	92,8	34	3,9

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación:

- Corrección de agua por absorción y humedad:
 $\text{Humedad (W) - Absorción (A)} = \% * \text{Peso arena}$
 $0,027 - 0,011 = 0,016 * 1046 = 16,7 \text{ (kg)}$
- Razón A/C: 0,57
- Asentamiento de cono de Abrams: 4,5 cm.

Hormigón con 20% LVS:

Tabla 3.26: Dosificación hormigón con 20% LVS.

Agregados	Peso (kg)	Volumen real (lts)	Peso para 42 litros (kg)
Cemento	310	109	13,0
Agua	176	176	6,7
Arena	1046	375	44,6
Gravilla	742,4	272	31,2
LVS	185,6	68	7,8

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación:

- Corrección de agua por absorción y humedad:
 $\text{Humedad (W)} - \text{Absorción (A)} = \% * \text{Peso arena}$
 $0,027 - 0,011 = 0,016 * 1046 = 16,7 \text{ (kg)}$
- Razón A/C: 0,57
- Asentamiento de cono de Abrams: 4,5 cm.

Hormigón con 30% LVS:

Tabla 3.27: Dosificación hormigón con 30% LVS.

Agregados	Peso (kg)	Volumen real (lts)	Peso para 42 litros (kg)
Cemento	310	109	13
Agua	176	176	6,8
Arena	1046	375	44,5
Gravilla	649,6	238	27,3
LVS	278,4	102	11,7

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación:

- Corrección de agua por absorción y humedad:
 $\text{Humedad (W)} - \text{Absorción (A)} = \% * \text{Peso arena}$
 $0,025 - 0,011 = 0,014 * 1046 = 14,6 \text{ (kg)}$
- Razón A/C: 0,57
- Asentamiento de cono de Abrams: 4 cm.

Hormigón con 40% LVS:

Tabla 3.28: Dosificación hormigón con 40% LVS.

Agregados	Peso (kg)	Volumen real (lts)	Peso para 42 litros (kg)
Cemento	310	109	13,0
Agua	176	176	6,8
Arena	1046	375	44,5
Gravilla	556,8	204	23,4
LVS	371,2	136	15,6

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación:

- Corrección de agua por absorción y humedad:
 $\text{Humedad (W)} - \text{Absorción (A)} = \% * \text{Peso arena}$
 $0,025 - 0,011 = 0,014 * 1046 = 14,6 \text{ (kg)}$
- Razón A/C: 0,57
- Asentamiento de cono de Abrams: 4,5 cm.

Hormigón con 50% LVS:

Tabla 3.29: Dosificación hormigón con 50% LVS.

Agregados	Peso (kg)	Volumen real (lts)	Peso para 42 litros (kg)
Cemento	310	109	13,0
Agua	176	176	6,8
Arena	1046	375	44,5
Gravilla	464	170	19,5
LVS	464	170	19,5

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación:

- Corrección de agua por absorción y humedad:
 $\text{Humedad (W)} - \text{Absorción (A)} = \% * \text{Peso arena}$
 $0,024 - 0,011 = 0,013 * 1046 = 13,6 \text{ (kg)}$
- Razón A/C: 0,57
- Asentamiento de cono de Abrams: 4 cm.

3.3. Metodología experimental de hormigón con LVS.

3.3.1. Confección de probetas de hormigón.

La experiencia se desarrolla con las dosificaciones de un hormigón H20 y con reemplazos parciales de un 10%, 20%, 30%, 40% y 50% respecto de la gravilla, este reemplazo es con respecto al peso.

Para cada colada se utiliza la misma metodología que se realiza para fabricar el hormigón convencional. Para ello se debe almacenar los materiales en un lugar adecuado para posteriormente pesarlos y dejar cerca de la betonera. Los elementos constituyentes del hormigón son los siguientes:

- Cemento
- Arena
- Gravilla
- Loza vítrea sanitaria (LVS)
- Agua

Luego de obtener las densidades y absorción de agua, se realiza el tamizado y determinación de la granulometría a los áridos, se procede a dosificar, donde se corrige por absorción y humedad, ya que el material contiene agua incorporada en su interior. Se mezclan los áridos en la betonera durante 3 minutos, luego se introduce el cemento y se revuelve por 3 minutos más y por último se incorpora agua de amasado. Una vez introducidos todos los elementos a la betonera se revuelve por 5 minutos, hasta que la mezcla presente una docilidad adecuada para su utilización en la confección de las probetas.

Figura 3.14: Cono de Abrams.



Fuente: Elaboración propia 2015.

Una vez que el hormigón haya sido mezclado debe encontrarse homogéneo y dócil, y para saber su docilidad se realiza el asentamiento del cono de Abrams a cada tipo de hormigón confeccionado. En la figura 3.15 se observa una colada con un asentamiento de 5 cm, indicando la consistencia del hormigón.

Figura 3.15: Cono de Abrams.



Fuente: Elaboración propia 2015.

Luego la mezcla se devuelve a la betonera y se procede a colocar cuidadosamente a los moldes evitando la segregación, que previo a la introducción del material, deben de ser impermeabilizado con aceite para que sea fácil el desmolde de las probetas. Para asegurar un hormigón con un buen acabado se debe realizar su vibrado interno y posteriormente un enrase y alisado de la superficie, como lo indica la norma NCh1017.

Figura 3.16: Confección probetas a 7 y 28 días.



Fuente: Elaboración propia 2015.

Para la elaboración de las probetas, se utilizarán cubos de 15x15x15 (cm) y vigas de 15x15x55(cm) se confeccionan un total de 36 cubos y 24 vigas. Se comienza con la confección de las probetas a ensayar a 7 días, para obtener un acercamiento de los datos de forma rápida, las que contemplan 12 cubos y 12 vigas, posteriormente se realizan las 6 coladas para ensayar a los 28 días, confeccionando 24 cubos y 12 vigas. Estos datos se fraccionan como se muestra en la tabla días v/s tipos de hormigón.

Tabla 3.30: Tabla días v/s tipos de hormigón.

Días Hormigones	7 días	28 días
HP	2C	4C
	2V	2V
HLVS10%	2C	4C
	2V	2V
HLVS20%	2C	4C
	2V	2V
HLVS30%	2C	4C
	2V	2V
HLVS40%	2C	4C
	2V	2V
HLVS50%	2C	4C
	2V	2V

Fuente: Elaboración propia 2015.

Datos: C=cubos.

V=vigas.

Una vez confeccionadas las probetas se deben marcar para su posterior identificación, luego se procede al desmolde, que en el caso de los cubos se realiza después de 20 horas y de las vigas de 44 horas de moldeadas, sin causar daño a la probeta.

Al estar desmoldadas las probetas deben comenzar su proceso de curado, donde son trasladadas a la piscina de curado en el laboratorio de la Universidad de Valparaíso, para ser sumergidas en agua tranquila hasta el día de sus ensayos de resistencias, que en este caso es a los 7 y 28 días de edad.

Figura 3.17: Probetas sumergidas en agua (vista superior)



Fuente: Elaboración propia 2015.

Las probetas culminado sus días de curado son retiradas del agua inmediatamente antes de ensayar, posteriormente se realiza su pesaje y se protege con arpillera húmeda hasta su colocación en la máquina de ensayo. Según los días correspondientes a ensayar, se procede someter las probetas a compresión y flexo tracción para obtener sus respectivas resistencias.

La maquina que se observa en la figura 3.18 entrega los valores de las resistencias mecánicas de forma computarizada, lo que permite una mayor exactitud en los valores obtenidos.

Figura 3.18: Maquina de compresión y tracción. por flexión



Fuente: Elaboración propia 2015.

3.3.2. Programación de ensayos a probetas.

Ensayos a los 7 días.

Tabla 3.31: Programación ensayos a los 7 días.

Hormigón tipo	Fecha de confección.	Fecha de ensayos.	Numero de probetas.
HP	06/05/2015	13/05/2015	2C, 2V
HLVS10%	07/05/2015	14/05/2015	2C, 2V
HLVS20%	08/05/2015	15/05/2015	2C, 2V
HLVS30%	11/05/2015	18/05/2015	2C, 2V
HLVS40%	12/05/2015	19/05/2015	2C, 2V
HLVS50%	13/05/2015	20/05/2015	2C, 2V

Fuente: Elaboración propia 2015.

Ensayos a los 28 días.

Tabla 3.32: Programación ensayos a los 28 días.

Hormigón tipo	Fecha de confección.	Fecha de ensayos.	Número de probetas.
HP	13/05/2015	10/06/2015	4C, 2V
HLVS10%	14/05/2015	11/06/2015	4C, 2V
HLVS20%	15/05/2015	12/06/2015	4C, 2V
HLVS30%	18/05/2015	15/06/2015	4C, 2V
HLVS40%	18/05/2015	15/06/2015	4C, 2V
HLVS50%	19/05/2015	16/06/2015	4C, 2V

Fuente: Elaboración propia 2015.

CAPITULO IV: Análisis y resultados de la investigación.

4. Resultados de ensayos de hormigón.

4.1. Resultados ensayos de hormigón a los 7 días.

Se realiza la medición de los ensayos de hormigón a los 7 días de edad, primero se obtiene la docilidad del hormigón fresco y luego las resistencias a la compresión y tracción por flexión al hormigón endurecido.

4.1.1. Resultado ensayo docilidad del hormigón fresco a los 7 días.

Tabla 4.1: Ensayo de docilidad a los 7 días.

Hormigón tipo	Asentamiento (cm)
HP	5,0
HLVS10%	5,0
HLVS20%	4,5
HLVS30%	4,5
HLVS40%	4,5
HLVS50%	4,0

Fuente: Elaboración propia 2015.

Análisis de datos: El ensayo de docilidad o cono de Abrams se realizó a las coladas de los hormigones a los 7 días de edad en estado fresco, donde los asentamientos fueron disminuyendo levemente a medida que se incorporó el árido reciclado de loza vítrea sanitaria, como se observa en la tabla 4.1, esto debido a que la loza presenta una forma de sus caras más irregulares, lo que aumenta su trabazón con la pasta de cemento. Esta disminución es leve no sobrepasando 1 cm, lo que se considera prácticamente que todos los hormigones poseen una misma docilidad al momento de trabajar el hormigón.

4.1.2. Resultado ensayo de compresión a los 7 días.

Se realiza el ensayo a compresión de probetas cubicas según lo que establece la norma NCh 1037:2009, midiendo y pesando cada uno de los cubos.

Tabla 4.2: Resistencia a la compresión a 7 días.

Tipo	Probeta	Carga máxima (N)	Sección ensayo (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)	Resistencia máxima (Kgf/cm ²)
HP	1	369198	22650	16,3	166,2
	2	355108	22801	15,6	158,8
	\bar{X} Final	362153	22726	16,0	162,5
HLVS 10%	1	372609	22952	16,2	165,6
	2	358055	22650	15,8	161,2
	\bar{X} Final	365332	22801	16,0	163,4
HLVS 20%	1	360881	22952	15,8	160,3
	2	335151	22650	14,8	150,8
	\bar{X} Final	348016	22801	15,3	155,6
HLVS 30%	1	328002	23562	13,9	142,0
	2	344054	23408	14,7	149,9
	\bar{X} Final	336028	23485	14,3	145,9
HLVS 40%	1	318002	23562	13,5	137,6
	2	312054	23408	13,3	135,9
	\bar{X} Final	315028	23485	13,4	136,7
HLVS 50%	1	287733	23562	12,2	124,5
	2	289240	23408	12,4	126,0
	\bar{X} Final	288487	23485	12,3	125,3

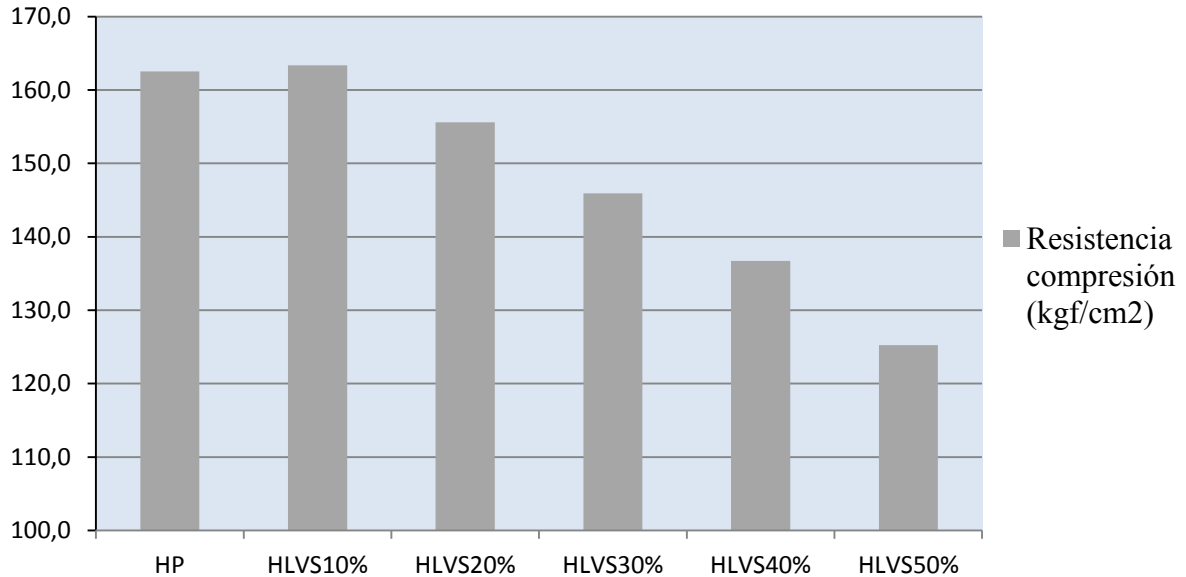
Fuente: Elaboración propia 2015.

Tabla 4.3: Resistencia compresión a 7 días respecto hormigón patrón.

	HP	HLVS10%	HLVS20%	HLVS30%	HLVS40%	HLVS50%
Resistencia (Kgf/cm²)	162,5	163,4	155,6	145,9	136,7	125,3
% respecto HP	100,0	100,5	95,8	89,8	84,2	77,1

Fuente: Elaboración propia 2015.

Gráfico 4.1: Resistencia compresión 7 días.

Resistencia a compresión 7 días.

Fuente: Elaboración propia 2015.

Análisis de datos: En este gráfico se muestra la resistencia a compresión a los 7 días expresada en kgf/cm^2 , se puede apreciar que la resistencia del hormigón patrón es aproximadamente igual al reemplazo de LVS de 10% y los siguientes porcentajes presentan un leve descenso en su resistencia, hasta llegar a un pérdida de 23% de la resistencia a la compresión del hormigón con un reemplazo de 50% de LVS. Este ensayo realizado a los 7 días de edad ayuda a saber el comportamiento del hormigón y detectar problemas potenciales relacionados al concreto o con los procedimientos realizados en el laboratorio.

Densidad aparente a los 7 días.

Tabla 4.4: Densidad aparente a la compresión a 7 días.

Hormigón tipo	Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)
HP	8,12	3,3983 x 10 ³	2390
	8,18	3,4217 x 10 ³	2390
	8,15	3,4100 x 10³	2390
HLVS10%	8,08	3,4202 x 10 ³	2360
	8,08	3,4202 x 10 ³	2360
	8,08	3,4202 x 10³	2360
HLVS20%	8,04	3,4202 x 10 ³	2350
	8,04	3,4145 x 10 ³	2350
	8,04	3,4173 x 10³	2350
HLVS30%	8,00	3,4200 x 10 ³	2340
	8,00	3,4145 x 10 ³	2340
	8,00	3,4172 x 10³	2340
HLVS40%	7,94	3,4202 x 10 ³	2320
	7,92	3,4080 x 10 ³	2320
	7,93	3,4141 x 10³	2320
HLVS50%	7,90	3,4965 x 10 ³	2260
	7,88	3,3991 x 10 ³	2320
	7,89	3,4478 x 10³	2290

Fuente: Elaboración propia 2015.

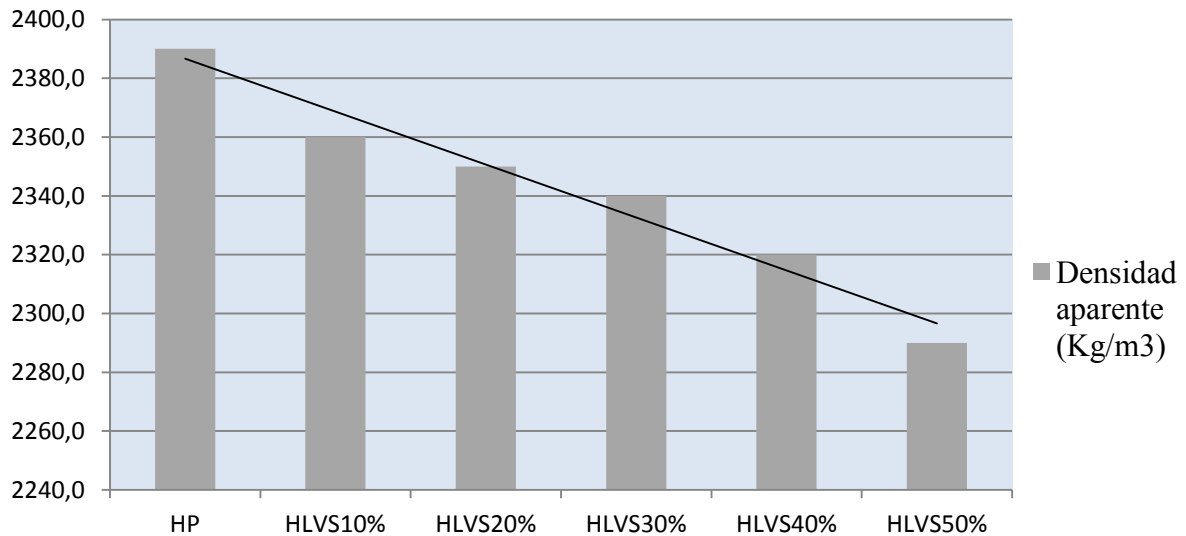
Observación: Resultados expresados en kilogramos por metro cubico (kg/m³) aproximado a 10kg/m³.

Tabla 4.5: Densidad aparente a los 7 días respecto al HP.

	HP	HLVS10%	HLVS20%	HLVS30%	HLVS40%	HLVS50%
Densidad aparente (kg/m³)	2390	2360	2350	2340	2320	2290
% respecto HP	100,0	98,7	98,3	97,9	97,1	95,8

Fuente: Elaboración propia 2015.

Gráfico 4.2: Densidad aparente a los 7 días.

Densidad aparente a los 7 días.

Fuente: Elaboración propia 2015.

Análisis de datos: Para obtener las densidades aparentes se debió realizar el pesaje de cada una de las probetas cúbicas antes de cada ensayo, junto con la medición de las caras. Las densidades obtenidas, se pueden observar que a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de loza vítrea sanitaria, disminuye su valor, esto debido a que el árido de LVS posee una menor densidad con respecto al árido grueso natural.

Figura 4.1: Imágenes ensayo compresión a probeta cubica con 30% LVS.



Fuente: Elaboración propia 2015.

En la figura 4.1 se observan imágenes secuenciales del ensayo realizado a los cubos de hormigón con un 30% de LVS, en ella se aprecia desde la colocación de la probeta en la maquinaria, con la cara de llenado en un plano vertical, ya que posee una superficie más rugosa y la superficie de contacto con la prensa debe ser completamente lisa, para mayor precisión en los resultados. Previamente se debe realizar la medición de las caras para saber el área de contacto de la probeta de ensayo, para introducir dicho valor en la maquinaria. La máquina de compresión se detiene sin romper el cubo de hormigón, entregando el valor de la resistencia a la compresión y presentando solo daños leves en las caras que están en contacto con las placas de carga.

4.1.3. Resultado ensayo tracción por flexión a los 7 días.

En la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos en el ensayo de flexión por tracción de los diversos tipos de hormigón a los 7 días desde su confección.

Tabla 4.6: Resistencia flexión por tracción a 7 días.

Tipo	Probeta	Carga máxima (N)	Luz (mm)	Ancho promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Resistencia máxima (MPa)	Resistencia máxima (kgf/cm ²)
HP	1	17381	450	152,3	152,7	2,33	23,7
	2	13447	450	152,3	152,7	1,80	18,3
	\bar{X} Final	15414	450	152,3	152,7	2,06	21,0
HLVS 10%	1	16281	450	151,7	152,7	2,20	22,4
	2	17209	450	152,3	152,7	2,31	23,5
	\bar{X} Final	16745	450	152,00	152,7	2,25	22,9
HLVS 20%	1	15681	450	152,3	153,0	2,09	21,4
	2	14947	450	152,3	153,0	1,99	20,3
	\bar{X} Final	15314	450	152,3	153,0	2,04	20,8
HLVS 30%	1	15181	450	152,0	152,0	2,05	20,8
	2	14647	450	152,0	153,0	1,96	20,0
	\bar{X} Final	14914	450	152,0	152,5	2,00	20,4
HLVS 40%	1	15066	450	152,3	153,0	2,01	20,5
	2	14404	450	152,0	153,0	1,93	19,7
	\bar{X} Final	14735	450	152,2	153,0	1,97	20,1
HLVS 50%	1	13126	450	151,7	151,7	1,78	18,2
	2	13660	450	151,7	152,3	1,84	18,8
	\bar{X} Final	13393	450	151,7	152,0	1,81	18,5

Fuente: Elaboración propia 2015.

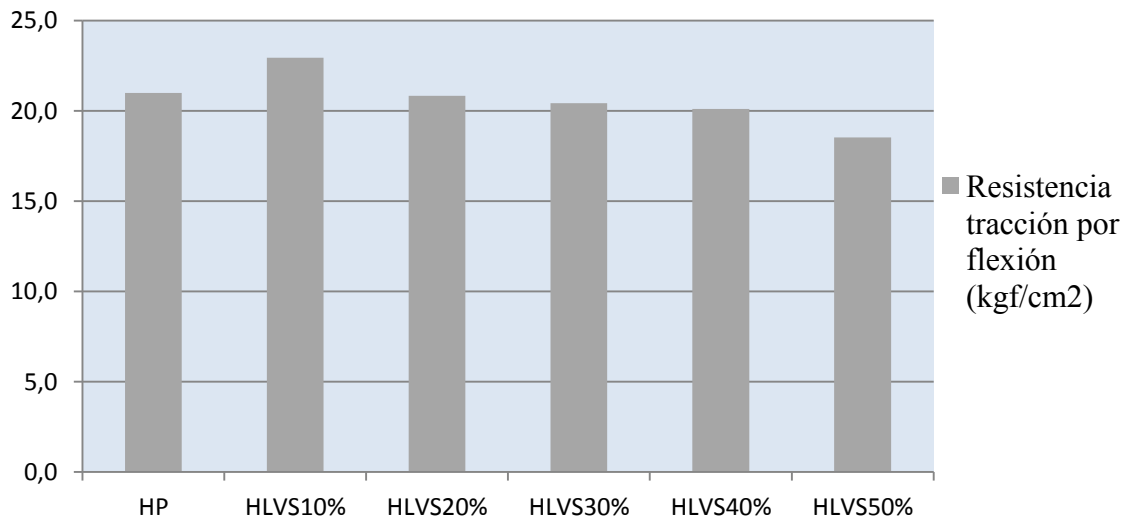
Observación: Ensayo realizado con cargas P/2 en los límites del tercio central de la luz de ensayo debido a la altura de 150 mm de la probeta. Resultados de resistencia máxima expresado en megapascuales (MPa) aproximado a 0,05 MPa

Tabla 4.7: Resistencia flexión por tracción a 7 días respecto al hormigón patrón.

	HP	HLVS10%	HLVS20%	HLVS30%	HLVS40%	HLVS50%
Resistencia (Kgf/cm²)	21,0	22,9	20,8	20,4	20,1	18,5
% respecto HP	100,0	109,1	99,2	97,2	95,6	88,1

Fuente: Elaboración propia 2015.

Gráfico 4.3: Resistencia tracción por flexión a 7 días.

Resistencia tracción por flexión a 7 días.

Fuente: Elaboración propia 2015.

Análisis de datos: La fractura del total de las probetas ensayadas, se produjo en el tercio central de la luz de ensayo, por lo que no se tuvo que utilizar una fórmula distinta o desechar ninguna probeta. En el gráfico 4.3 se muestra la resistencia a tracción por flexión a los 7 días expresada en kgf/cm², se puede apreciar que la resistencia del hormigón patrón es inferior al reemplazo de LVS de 10% y aproximadamente igual al reemplazo de 20%. Para el resto de los reemplazos comienza un descenso, hasta perder un 12% de la resistencia en la sustitución de 50% del árido grueso natural.

Figura 4.2: Imágenes ensayo tracción por flexión.



Fuente: Elaboración propia 2015.

En la figura 4.2 se observan imágenes secuenciales del ensayo realizado a las vigas de hormigón con un 20% de LVS, se comienza con una medición del largo de la probeta para determinar el lugar del contacto de los rodillos de la maquinaria, para proceder al funcionamiento y realización del ensayo, en donde se puede apreciar que la fractura se produce en el tercio central de la luz de ensayo, por lo que la resistencia a la tracción por flexión se calcula con la formula N° 13, para ello se debe realizar la medición en los extremos y punto medio del ancho y alto a uno de los trozos de la probeta ensayada y de esta manera se obtiene la tensión de rotura, como lo indica la NCh 1038.

4.2. Resultados ensayos a los 28 días.

4.2.1. Resultado ensayo docilidad del hormigón fresco a los 28 días.

Tabla 4.8: Ensayo de docilidad a los 28 días.

Hormigón tipo	Asentamiento (cm)
HP	5,0
HLVS10%	4,5
HLVS20%	4,5
HLVS30%	4,0
HLVS40%	4,5
HLVS50%	4,0

Fuente: Elaboración propia 2015.

Análisis de datos: El ensayo de cono de Abrams se realizó a las coladas de hormigón a los 28 días de edad en estado fresco, debido a que las coladas se confeccionaron de forma separada para 7 y 28 días de edad. Pero como la dosificación es la misma, los valores obtenidos fueron prácticamente iguales, donde la tendencia fue la disminución del asentamiento en 1 cm a medida que se fue incorporando la LVS. Esta pequeña disminución del asentamiento en el ensayo de docilidad, se debe a la forma del árido reciclado en estudio, el que aumenta la consistencia pero no interfiere en la homogeneidad del hormigón final.

4.2.2. Resultado ensayo de compresión a los 28 días.

Tabla 4.9: Resistencia compresión a 28 días.

Tipo	Probeta	Carga máxima (N)	Sección ensayo (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)	Resistencia máxima (Kgf/cm ²)
HP	1	402607	22500	17,9	182,4
	2	420402	22725	18,5	188,6
	3	427362	22575	18,9	193,1
	4	443004	22575	19,6	200,1
	X̄ Final	423343	22594	18,7	191,1
HLVS 10%	1	445731	22650	19,7	200,6
	2	446879	22575	19,8	201,9
	3	430447	22726	18,9	193,2
	4	424707	22650	18,7	191,2
	X̄ Final	436941	22650	19,3	196,7
HLVS 20%	1	430950	22801	18,9	192,7
	2	433030	22877	18,9	193,1
	3	425013	22801	18,6	190,1
	4	422717	22726	18,6	189,7
	X̄ Final	427928	22801	18,7	191,4
HLVS 30%	1	419326	23103	18,1	185,1
	2	426018	22726	18,7	191,2
	3	440923	22725	19,4	197,9
	4	424772	22801	18,6	190,0
	X̄ Final	427760	22839	18,7	191,1
HLVS 40%	1	413442	22726	18,2	185,3
	2	404329	22575	17,9	183,2
	3	410141	22650	18,1	184,2
	4	396365	22575	17,6	178,9
	X̄ Final	406069	22631	17,9	182,9
HLVS 50%	1	374623	22500	16,6	169,8
	2	386678	22575	17,2	174,6
	3	390983	22575	17,4	176,6
	4	394642	22650	17,5	177,7
	X̄ Final	386732	22575	17,2	174,6

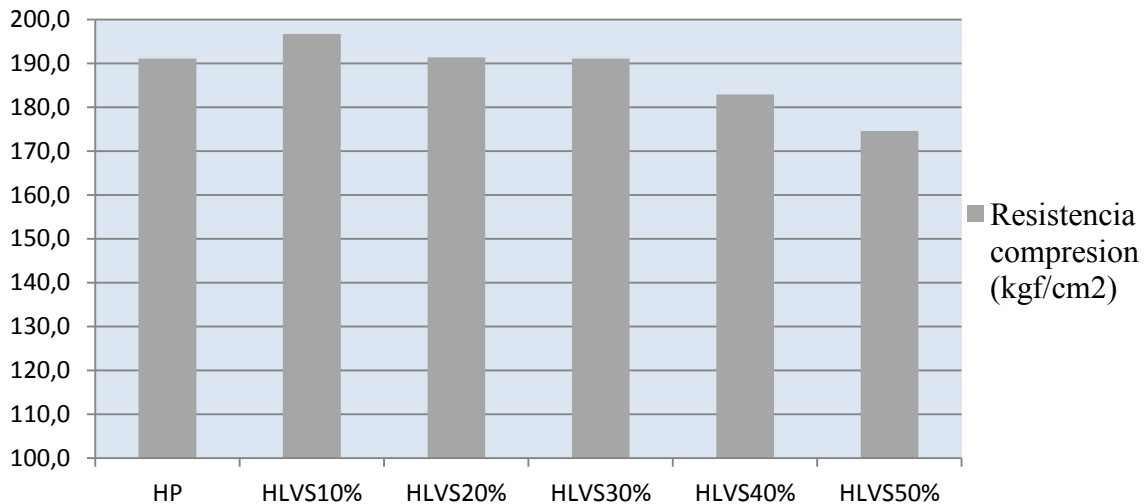
Fuente: Elaboración propia 2015.

Tabla 4.10: Resistencia compresión a 28 días respecto al hormigón patrón.

	HP	HLVS10%	HLVS20%	HLVS30%	HLVS40%	HLVS50%
Resistencia (Kgf/cm²)	191,1	196,7	191,4	191,1	182,9	174,6
% respecto HP	100,0	102,9	100,2	100,0	95,7	91,4

Fuente: Elaboración propia 2015.

Gráfico 4.4: Resistencia compresión a 28 días.

Resistencia a compresión 28 días.

Fuente: Elaboración propia 2015.

Análisis de datos: En este ensayo a los 28 días de edad se sometieron a compresión 4 probetas cúbicas, lo cual proporciona el doble de datos que el ensayo sometido a los 7 días, por lo que se obtiene una mayor muestra significativa en este estudio

En el gráfico 4.4 se muestra la resistencia a compresión a los 28 días expresada en kgf/cm², se puede apreciar que la resistencia del hormigón patrón es menor al reemplazo de 10%, específicamente un 2,9% como lo indica la tabla 4.10 y aproximadamente igual a los reemplazo de LVS de 20% y 30%, ya que presenta una variación prácticamente nula. Los siguientes porcentajes presentan un leve descenso en su resistencia, hasta llegar a una pérdida de 9% de la resistencia a la compresión del hormigón con un reemplazo de 50% de LVS. La diferencia que existe entre el tipo de hormigón con mayor resistencia (10%) y el de menor resistencia (50%), es de un 11,5%, lo que es un valor aceptable, considerando la mayor cantidad de material reciclado que se incorpora al hormigón, siendo una alternativa en la confección de elementos con una menor sollicitación a la compresión.

En términos generales las resistencias obtenidas por este material, son valores aceptables debido a que solo en los 2 mayores reemplazos se disminuye su resistencia en comparación al hormigón patrón. De igual forma la disminución de la resistencia no sobrepasa el 10%, que aproximadamente representa 15 Kgf/ cm².

Densidad aparente.

Tabla 4.11: Densidad aparente a la compresión a 28 días.

Hormigón tipo	Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)
HP	8,14	3,3693 x 10 ³	2420
	8,28	3,4144 x 10 ³	2430
	8,12	3,3863 x 10 ³	2400
	8,10	3,3919 x 10 ³	2390
	8,16	3,3905 x 10³	2410
HLVS10%	8,14	3,4202 x 10 ³	2380
	8,10	3,4032 x 10 ³	2380
	8,10	3,4259 x 10 ³	2360
	8,08	3,4032 x 10 ³	2370
	8,10	3,4131 x 10³	2370
HLVS20%	8,06	3,3975 x 10 ³	2370
	8,06	3,4145 x 10 ³	2360
	8,10	3,3975 x 10 ³	2380
	8,02	3,4032 x 10 ³	2360
	8,06	3,4032 x 10³	2370
HLVS30%	8,26	3,5117 x 10 ³	2350
	8,06	3,4259 x 10 ³	2350
	8,06	3,4315 x 10 ³	2350
	8,02	3,4202 x 10 ³	2340
	8,10	3,4473 x 10³	2350
HLVS40%	7,96	3,4202 x 10 ³	2330
	7,88	3,3975 x 10 ³	2320
	7,92	3,4088 x 10 ³	2320
	7,96	3,3975 x 10 ³	2340
	7,94	3,4060 x 10³	2330
HLVS50%	7,90	3,4259 x 10 ³	2310
	7,90	3,4372 x 10 ³	2300
	7,94	3,4258 x 10 ³	2320
	7,94	3,4145 x 10 ³	2330
	7,92	3,4258 x 10³	2310

Fuente: Elaboración propia 2015.

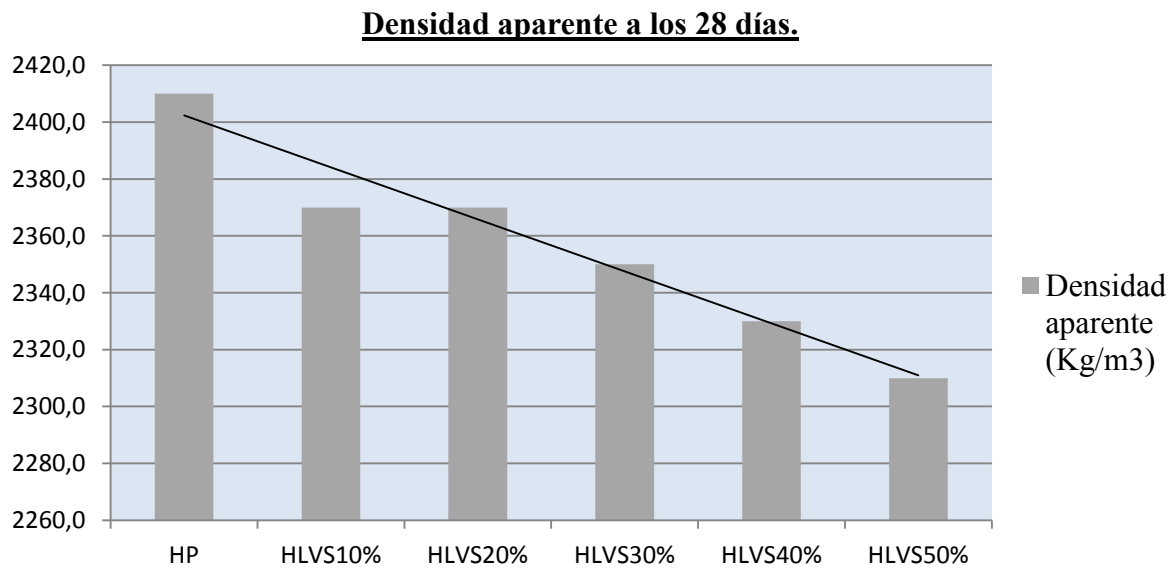
Tabla 4.12: Densidad aparente a los 28 días respecto al HP.

	HP	HLVS10%	HLVS20%	HLVS30%	HLVS40%	HLVS50%
Resistencia (Kgf/cm²)	2410	2370	2370	2350	2330	2310
% respecto HP	100,0	98,3	98,3	97,5	96,7	95,9

Fuente: Elaboración propia 2015.

Observación: Resultados expresados en kilogramos por metro cubico (kg/m³) aproximado a 10kg/m³.

Gráfico 4.5: Densidad aparente a los 28 días.



Fuente: Elaboración propia 2015.

Análisis de datos: En la tabla de densidad aparente se debió realizar el pesaje antes del ensayo, junto con la medición de la probeta, para obtener el valor de la densidad aparente, la cual, a medida que aumento el porcentaje de reemplazo disminuyo su valor, esto debido a que el árido de LVS posee una menor densidad con respecto al árido grueso natural. Llegando a existir una diferencia entre el hormigón patrón y el hormigón con un 50% de LVS de 100kg/m³, lo que representa una disminución de 4,1 %. Este hormigón de menor densidad, debido a la incorporación de LVS entrega un material más liviano, el cual se puede utilizar en condiciones que sea necesario tener una estructura de menor peso, pero lejos de considerarse un hormigón liviano.

Figura 4.3: Muestras ensayo compresión con 50% LVS.



Fuente: Elaboración propia 2015.

En la figura 4.3 se observa la muestra significativa a los 28 días de edad, después que se sometieran a la rotura por compresión de cuatro probetas cubicas con un reemplazo de 50% de LVS, en ellas se aprecia que las cuatro caras se rompen aproximadamente igual, con poco daño en las caras que están en contacto con las placas de carga.

4.2.3. Resultado resistencia tracción por flexión 28 días.

Tabla 4.13: Resistencia flexión por tracción a 28 días.

Tipo	Probeta	Carga máxima (N)	Luz (mm)	Ancho promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Resistencia máxima (MPa)	Resistencia máxima (kgf/cm ²)
HP	1	22384	450	152,0	151,0	3,1	31,1
	2	23731	450	152,3	150,7	3,3	33,3
	\bar{X} Final	23058	450	151,7	150,8	3,2	32,2
HLVS 10%	1	25158	450	150,7	149,7	3,5	36,0
	2	24639	450	153,0	150,3	3,3	33,8
	\bar{X} Final	24899	450	151,8	150,0	3,4	34,9
HLVS 20%	1	24921	450	152,7	152,3	3,3	33,8
	2	23281	450	152,3	152,3	3,1	31,7
	\bar{X} Final	24101	450	152,5	152,3	3,2	32,7
HLVS 30%	1	23746	450	151,0	151,3	3,3	33,3
	2	21516	450	152,0	150,3	2,9	30,1
	\bar{X} Final	22631	450	151,5	150,8	3,1	31,7
HLVS 40%	1	21844	450	152,0	151,7	2,9	30,1
	2	21441	450	151,3	150,0	2,9	30,1
	\bar{X} Final	21643	450	151,7	150,8	2,9	30,1
HLVS 50%	1	21022	450	152,0	151,7	2,8	29,0
	2	19988	450	152,3	151,7	2,7	27,4
	\bar{X} Final	20505	450	152,2	151,7	2,8	28,4

Fuente: Elaboración propia 2015.

Tabla 4.14: Resistencia flexión por tracción a 28 días respecto al hormigón patrón.

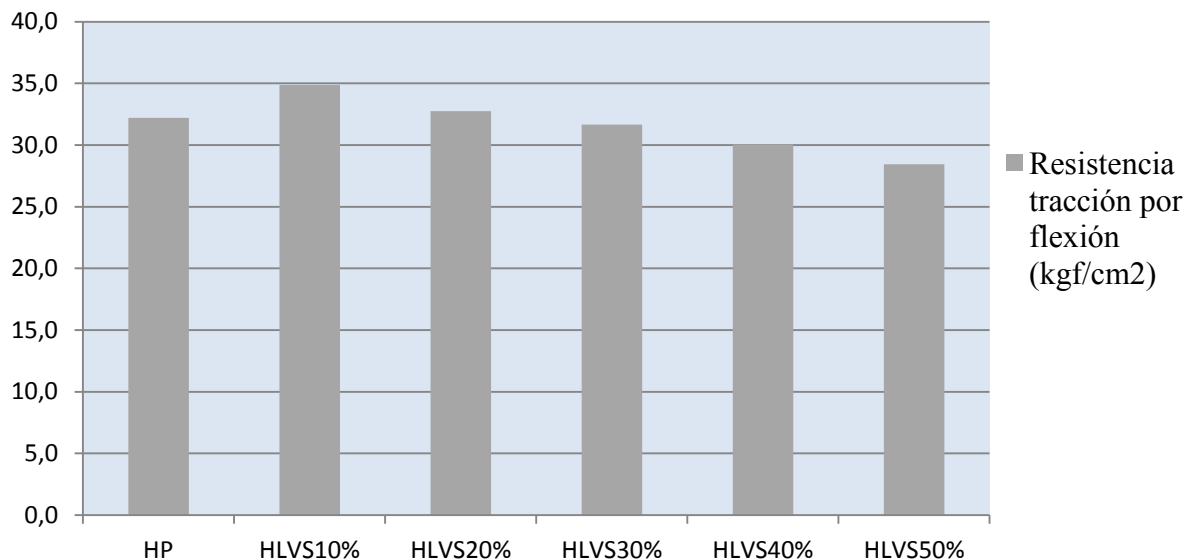
	HP	HLVS10%	HLVS20%	HLVS30%	HLVS40%	HLVS50%
Resistencia (Kgf/cm²)	32,2	34,9	32,7	31,7	30,1	28,4
% respecto HP	100,0	108,3	101,7	98,3	93,3	88,3

Fuente: Elaboración propia 2015.

Análisis de datos: La fractura del total de las probetas ensayadas, se produjo en el tercio central de la luz de ensayo, por lo que no se tuvo que utilizar una fórmula distinta o desechar alguna probeta.

Gráfico 4.6: Resistencia tracción por flexión a 28 días.

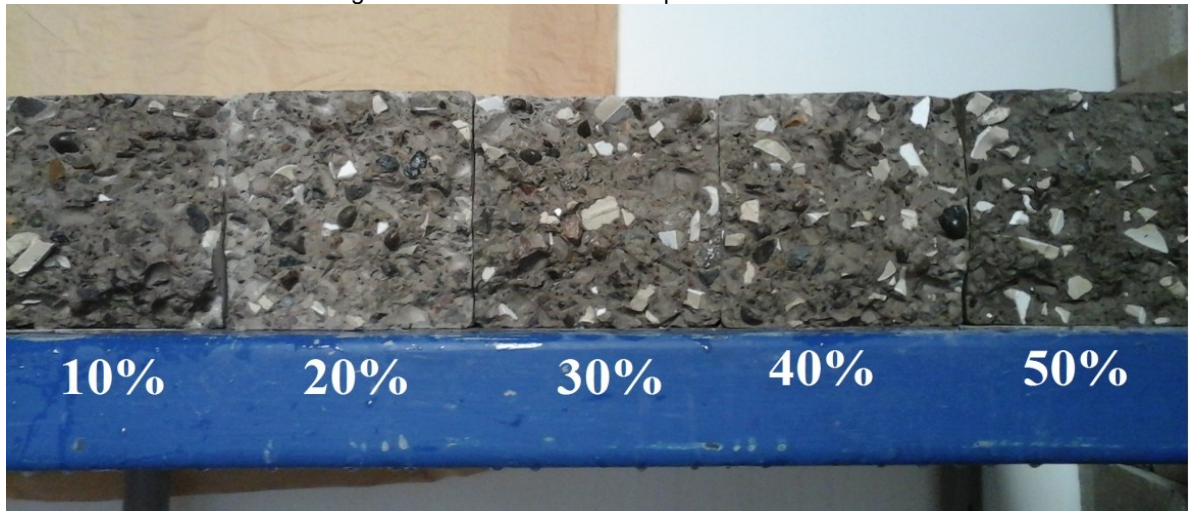
Resistencia tracción por flexión a 28 días.



Fuente: Elaboración propia 2015.

En el gráfico 4.6 se muestra la resistencia a tracción por flexión a los 28 días expresada en kgf/cm², se puede apreciar que la resistencia del hormigón patrón es inferior a los reemplazos de LVS de 10% y 20%. Por lo que se puede verificar a través de los estudios de los hormigones que con estos reemplazos se logra mejorar la resistencia a la tracción por flexión y dejando la incertidumbre el porcentaje de máxima resistencia que puede fluctuar entre 1% y 20%. Para el resto de los reemplazos comienza un descenso, hasta perder un 12% de la resistencia en la sustitución de 50% del árido grueso natural.

Figura 4.4: Distribución de componentes de LVS.



Fuente: Elaboración propia 2015.

En la figura 4.4 se observan imágenes de las probetas del ensayo de tracción por flexión, de los diferentes porcentajes de reemplazo de 10% hasta el 50%, donde se aprecia la distribución de la loza en el hormigón

4.3. Resumen de resistencias mecánicas.

Resumen resistencias a compresión.

Tabla 4.15: Resumen resistencias a compresión.

Tipo de hormigón	7 días		28 días	
	Resistencia (Kgf/cm2)	% respecto HP	Resistencia (Kgf/cm2)	% respecto HP
HP	162,5	100,0	191,1	100,0
HLVS10%	163,4	100,5	196,7	102,9
HLVS20%	155,6	95,8	191,4	100,2
HLVS30%	145,9	89,8	191,1	100,0
HLVS40%	136,7	84,2	182,9	95,7
HLVS50%	125,3	77,1	174,6	91,4

Fuente: Elaboración propia 2015.

Resumen resistencia a tracción por flexión.

Tabla 4.16: Resumen resistencia a tracción por flexión.

Tipo de hormigón	7 días		28 días	
	Resistencia (Kgf/cm2)	% respecto HP	Resistencia (Kgf/cm2)	% respecto HP
HP	21,0	100	32,2	100,0
HLVS10%	22,9	109,1	34,9	108,3
HLVS20%	20,8	99,2	32,7	101,7
HLVS30%	20,4	97,2	31,7	98,3
HLVS40%	20,1	95,6	30,1	93,3
HLVS50%	18,5	88,1	28,4	88,3

Fuente: Elaboración propia 2015.

4.4. Análisis estadístico.

4.4.1. ANOVA, análisis de varianza.

El análisis de varianza (ANOVA) se aplicó, utilizando el programa STATPLUS PRO, con el fin de determinar si la media de los valores obtenidos, en los ensayos de resistencia a la compresión y tracción por flexión con un periodo de curado de 7 y 28 días, afectan la respuesta de las resistencias de acuerdo a los diferentes niveles del factor de sustitución de loza vítrea sanitaria en porcentaje.

Nuestra hipótesis 0 o hipótesis nula: Indica que los distintos porcentajes de reemplazo de loza vítrea sanitaria (LVS), no producen ningún efecto, para ello se contrasta mediante el análisis de varianza (ANOVA), comparando la variabilidad de los datos obtenidos experimentalmente entre el grupo al que pertenecen en contraste con la de todos los grupos.

Este análisis de varianza toma como parámetro un 95% de confiabilidad. Se aplicó la distribución de Fisher para el contraste de hipótesis.

Los datos obtenidos en el análisis estadístico nos permiten corroborar o rechazar nuestra hipótesis, así en el caso que aceptemos la hipótesis nula, en que no habría diferencias de medias, indicaríamos que los distintos porcentajes de reemplazo de LVS no afectan en las resistencias obtenidas en el hormigón.

Ahora si por el contrario los datos nos indican rechazar la hipótesis y aceptar la hipótesis 2, esto nos indica que la variable medida si se ve afectada por el distintos porcentajes de reemplazo de LVS que incorporamos al hormigón durante la investigación.

Modelo ANOVA

Donde:

k: Número de tratamientos.

n: Cantidad de datos.

SC: Suma de cuadrados.

SCM: Suma de cuadrados entre grupos.

SCT: Suma de cuadrados del Total.

SCE: Suma de cuadrados dentro de grupos.

$$SCE = SCT - SCM$$

GL: corresponde a los grados de libertad para la distribución de Fisher.

GLM: Grados de libertad entre grupos.

$$GLM = k - 1$$

GLT: Grados de libertad del total.

$$GLT = n - 1$$

GLE: Grados de libertad dentro de grupos.

$$GLE = n - k - 1 \quad \text{ó} \quad GLE = GLT - GLM$$

CM: Cuadrado medio.

CMM: Cuadrado medio del Modelo

$$CMM = \frac{SCM}{GLM}$$

CME: Cuadrado medio del Error

$$CME = \frac{SCE}{GLE}$$

F: Cociente entre la media de los cuadrados entre grupos y la media de los cuadrados dentro de grupos.

$$F = \frac{CMM}{CME}$$

Una vez que se han calculado las sumas de cuadrados, las medias cuadráticas, los grados de libertad y la F, se elabora una tabla que reúne la información, denominada "Tabla de Análisis de varianza o ANOVA", que adopta la siguiente forma:

Tabla 4.17: Tabla de análisis de varianza (ANOVA)

Origen de la Variación	SC	GL	CM	-F	P
Entre grupos	SCM	GLM	CMM	F	P
Dentro de grupos	SCE	GLE	CME		
Total	SCT	GLT			

Fuente: STATPLUS Pro, 2015.

Donde con $\alpha = 0.05$, 95% de confiabilidad. Tenemos:

Rechazar H_0 si: $F_{obs} > F_{(GLN, GLE, 1-\alpha)}$

4.4.1.1. ANOVA para resistencia a compresión a los 7 días.

Tabla 4.18: Resumen de resistencia a compresión a los 7 días.

	Resistencias a compresión (MPa)					
Tipo de hormigón	HP	HLVS10	HLVS20	HLVS30	HLVS40	HLVS50
Tamaño muestral	16,3	16,2	15,8	13,9	13,5	12,2
	15,6	15,8	14,8	14,7	13,3	12,4
Suma	31,9	32	30,6	28,6	26,8	24,6
Media	16,0	16,0	15,3	14,3	13,4	12,3
Media total	14,542					
Varianza	0,245	0,08	0,5	0,32	0,02	0,02
Varianza total	2,121					

Fuente: Elaboración propia 2015.

ANOVA

Tabla 4.19: ANOVA para resistencia a compresión a los 7 días.

Origen de la Variación	SC	GL	CM	-F	Valor p
Entre grupos	22,144	5	4,4288	22,424	0,0008
Dentro de grupos	1,185	6	0,1975		
Total	23,329	11			

Fuente: Elaboración propia 2015.

La tabla 4.19 de ANOVA descompone la varianza de resistencia a la compresión un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, para el caso de 7 días de edad del hormigón es igual a 22,424, teniendo en cuenta que el valor de F es el cociente entre la media de los cuadrados entre grupos y la media de los cuadrados dentro de grupos. Ahora, con respecto al valor de P, en un periodo de 7 días es igual a 0,0008 como se observa el valor de P para 7 días es menor que 0,05, por lo cual se concluye que para este caso, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la resistencia a la compresión de un tipo de hormigón con sustitución de loza vítrea sanitaria y otro, con un nivel del 95% de confianza.

4.4.1.2. ANOVA para resistencia a tracción por flexión a los 7 días.

Tabla 4.20: Resumen de resistencia a tracción por flexión a los 7 días.

Grupos	Resistencias a tracción por flexión (MPa)					
	HP	HLVS10	HLVS20	HLVS30	HLVS40	HLVS50
Tamaño muestral	2,33	2,20	2,09	2,05	2,01	1,78
	1,80	2,31	1,99	1,96	1,93	1,84
Suma	4,13	4,51	4,08	4,01	3,94	3,62
Media	2,065	2,255	2,04	2,005	1,97	1,81
Media total	2,024					
Varianza	0,140	0,006	0,005	0,004	0,003	0,001
Varianza total	0,0335					

Fuente: Elaboración propia 2015.

ANOVA

Tabla 4.21: ANOVA para resistencia a tracción por flexión a los 7 días.

Origen de la Variación	SC	GL	CM	-F	Valor p
Entre grupos	0,20874	5	0,0417	1,560	0,3000
Dentro de grupos	0,16055	6	0,0267		
Total	0,369	11			

Fuente: Elaboración propia 2015.

La tabla 4.21 de ANOVA descompone la varianza de resistencia a tracción por flexión un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón -F, para el caso de 7 días de edad del hormigón es igual a 1,560, teniendo en cuenta que el valor de F es el cociente entre la media de los cuadrados entre grupos y la media de los cuadrados dentro de grupos. Ahora, con respecto al valor de P, en un periodo de 7 días es igual a 0,3000 como se observa el valor de P para 7 días es mayor a 0,05, por lo que no existe ninguna diferencia significativa entre la media de la resistencia a la tracción por flexión entre los tipos de hormigón con LVS. .

4.4.1.3. ANOVA para resistencia a compresión a los 28 días.

Tabla 4.22: Resumen de resistencia a compresión a los 28 días.

Grupos	Resistencias a compresión (MPa)					
	HP	HLVS10	HLVS20	HLVS30	HLVS40	HLVS50
Tamaño muestral	17,9	19,7	18,9	18,1	18,2	16,6
	18,5	19,8	18,9	18,7	17,9	17,2
	18,9	18,9	18,6	19,4	18,1	17,4
	19,6	18,7	18,6	18,6	17,6	17,5
Suma	74,9	77,1	75	74,8	71,8	68,7
Media	18,725	19,275	18,75	18,7	17,95	17,175
Media total	18,429					
Varianza	0,509	0,309	0,029	0,286	0,069	0,162
Varianza total	0,662					

Fuente: Elaboración propia 2015.

ANOVA

Tabla 4.23: ANOVA para resistencia a compresión a los 28 días.

Origen de la Variación	SC	GL	CM	-F	Valor p
Entre grupos	11,127	5	2,2254	9,764	0,0001
Dentro de grupos	4,1025	18	0,2279		
Total	15,229	23			

Fuente: Elaboración propia 2015.

La tabla 4.23 de ANOVA la razón -F, para el caso de 28 días de edad del hormigón es igual a 9,764, teniendo en cuenta que el valor de F es el cociente entre la media de los cuadrados entre grupos y la media de los cuadrados dentro de grupos. Ahora, con respecto al valor de P, en un periodo de 28 días es igual a 0,0001 como se observa el valor de P para 28 días es menor que 0,05, por lo cual se concluye que para este caso, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la resistencia a la compresión de un tipo de hormigón con sustitución de loza vítrea sanitaria y otro, con un nivel del 95% de confianza.

4.4.1.4. ANOVA para resistencia a tracción por flexión a los 28 días.

Tabla 4.24: Resumen de resistencia a tracción por flexión a los 28 días.

	Resistencias a tracción por flexión (MPa)					
Grupos	HP	HLVS10	HLVS20	HLVS30	HLVS40	HLVS50
Tamaño muestral	3,1	3,5	3,3	3,3	2,9	2,8
	3,3	3,3	3,1	2,9	2,9	2,7
Suma	6,4	6,8	6,4	6,2	5,8	5,5
Media	3,2	3,4	3,2	3,1	2,9	2,8
Media	3,091					
Media total	0,02	0,02	0,02	0,08	0	0,005
Varianza	0,0626					

Fuente: Elaboración propia 2015.

ANOVA

Tabla 4.25: ANOVA para resistencia a tracción por flexión a los 28 días.

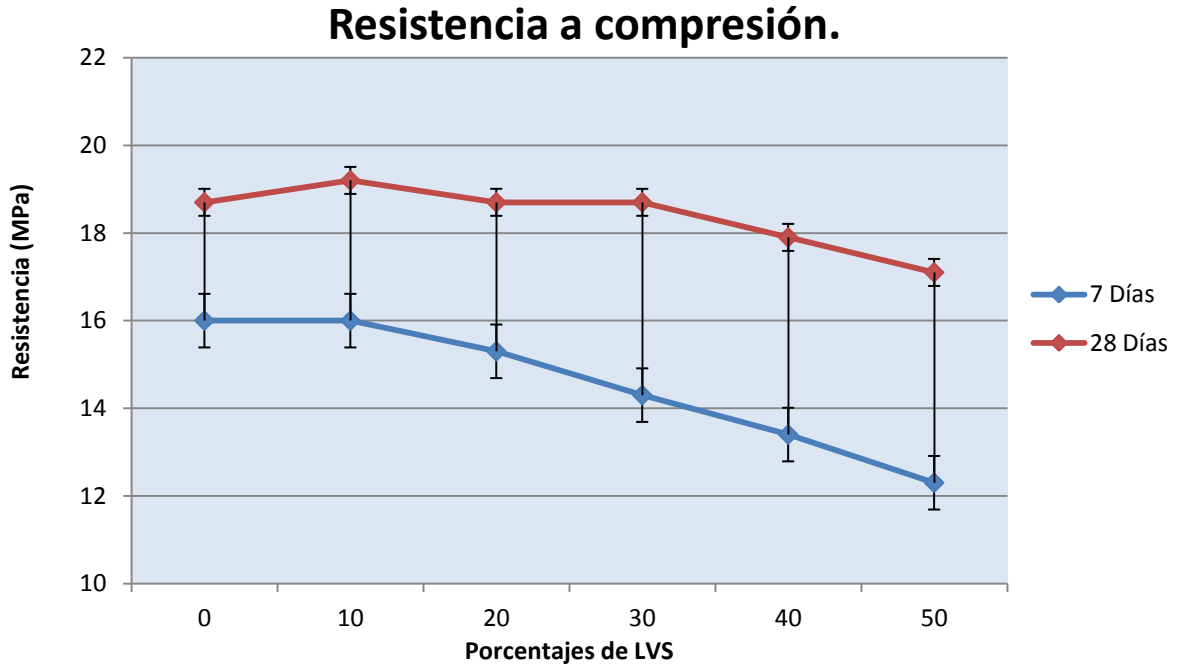
Origen de la Variación	SC	GL	CM	-F	Valor p
Entre grupos	0,46104	5	0,0922	4,759	0,0419
Dentro de grupos	0,11625	6	0,0193		
Total	0,57729	11			

Fuente: Elaboración propia 2015.

La tabla 4.25 de ANOVA la razón-F, para el caso de 28 días de edad del hormigón es igual a 4,759, teniendo en cuenta que el valor de F es el cociente entre la media de los cuadrados entre grupos y la media de los cuadrados dentro de grupos. Ahora, con respecto al valor de P, en un periodo de 28 días es igual a 0,0419 como se observa el valor de P para 28 días es levemente menor que 0,05, por lo cual se concluye que para este caso, existe una diferencia estadística entre la media de la resistencia a la tracción por flexión de un tipo de hormigón con sustitución de loza vítrea sanitaria y otro, con un nivel del 95% de confianza.

4.4.1.5. Resumen de ANOVA para resistencia a compresión.

Grafico 4.7: Resistencia a compresión a 7 y 28 días.



Fuente: Elaboración propia 2015.

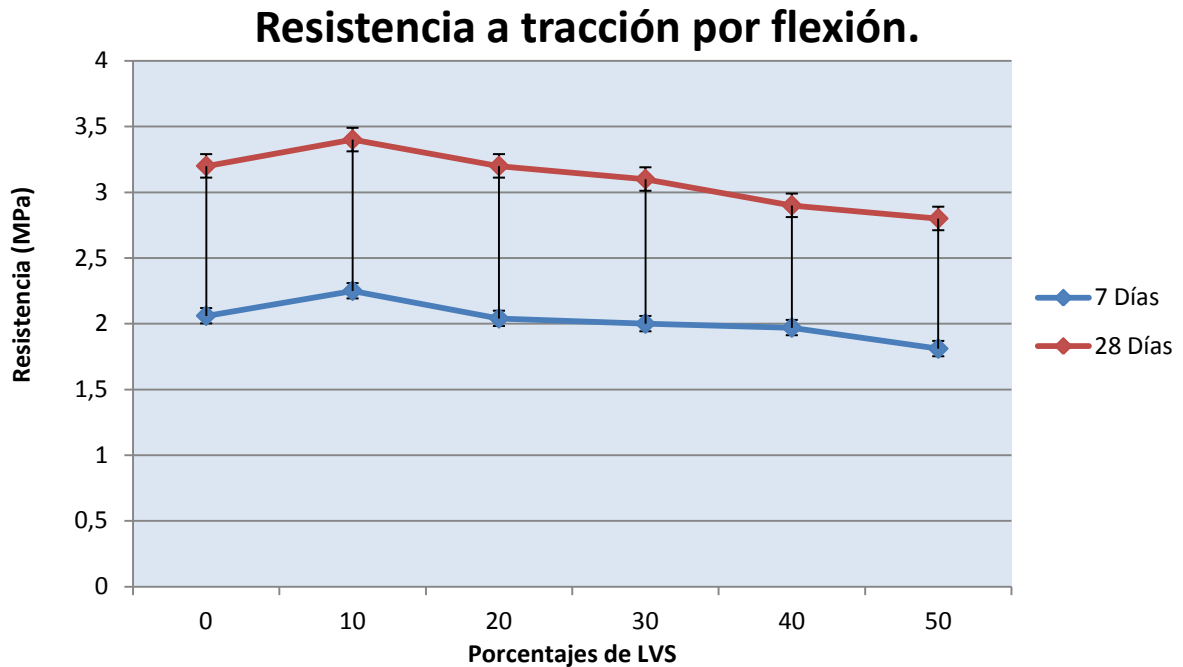
En el grafico 4.7 muestra la relación que existe entre las resistencias obtenidas en el ensayo de compresión a los 7 y 28 días de edad, en ella se observa un comportamiento similar en el reemplazo de un 10 % de LVS donde no disminuye ninguno de los dos, incluso a los 28 días de edad mejora en un 2,9% respecto al hormigón patrón.

En los reemplazos de 20% y 30% comienzan a diferenciarse, ya que en la resistencia temprana de 7 días de edad, comienza la disminución progresiva en su resistencia, pero en la resistencia a los 28 días, esta se mantiene igual que el hormigón patrón, esto se debe a que el hormigón alcanza su mayor resistencia y el árido reciclado está completamente rígido dentro de la pasta de cemento.

Para los reemplazos mas considerables de 40% y 50% comienza a producirse una disminución en ambas edades del hormigón, debido a que el árido de LVS sanitaria es de menor densidad y calidad con respecto al árido natural. De igual manera la disminución más significativa sucede a los 7 días disminuyendo un 23% con el reemplazo máximo de 50%, pero para la resistencia a los 28 días, la resistencia a la compresión tan solo fue de un 8,6%, no siendo un valor tan desfavorable considerando la cantidad de material que se sustituyo dentro del hormigón.

4.4.1.6. Resumen de ANOVA para resistencia a tracción por flexión.

Grafica 4.8: Resistencia a tracción por flexión a 7 y 28 días.



Fuente: Elaboración propia 2015.

En el grafico 4.8 muestra la relación que existe entre las resistencias obtenidas en el ensayo a tracción por flexión a los 7 y 28 días de edad, en ella se observa un comportamiento similar, donde el reemplazo de 10% de LVS supera al hormigón patrón en ambas edades por un valor similar, lo que implica que el árido ya a temprana edad trabaja de igual manera que a los 28 días, esto se debe a que al tratarse de un reemplazo de una décima parte del árido total, la LVS mejora debido a su trabazón en la pasta de cemento y la parte vidriada posee una gran dureza que ayuda al momento de la tracción.

En el reemplazo de 20% para ambas edades del hormigón, prácticamente se mantiene con respecto al hormigón sin árido reciclado. El resto de los porcentajes de reemplazo presentan una disminución estadísticamente igual, lo que demuestra que la resistencia temprana a 7 días continuo con un proceso gradual hasta llegar a los 28 días de edad de las probetas en forma de vigas y se puede visualizar en el hormigón con 50% de LVS que presenta en ambas un descenso de 12% con respecto al hormigón patrón.

CAPITULO V: Conclusiones.

5.1. Conclusiones.

- De acuerdo a los objetivos planteados en esta investigación, se pudo caracterizar este material de origen cerámico, conociendo sus propiedades físicas y con los resultados de las resistencias obtenidos, se analizó la factibilidad de uso como reemplazo del árido natural.
- Se verifica la hipótesis de acuerdo a los resultados obtenidos. Se aprecia que la resistencia al ensayo de compresión de los cubos de hormigón, mejora en el reemplazo parcial de 10% tanto a los 7 y 28 días, lo que la hace ser la óptima en esta investigación. En el resto de las muestras a los 7 días de edad del hormigón presenta una disminución en su resistencia hasta alcanzar una pérdida de un 23% respecto al hormigón patrón. En el caso de la resistencia a los 28 días de edad, en los reemplazos parciales de 20% y 30% se mantiene el valor del hormigón patrón, solo comenzando a disminuir en las sustituciones más significativas de 40% y 50%, donde la resistencia disminuye tan solo un 8,4% en el reemplazo de la mitad del árido natural. La mantención de la resistencia con los reemplazos de 20% y 30% de LVS, se debe en gran medida a la geometría de este árido, pero a su vez el descenso posterior tiene relación con la resistencia propia del material, junto con una falta de adherencia del árido en su parte vítrea con la pasta de cemento del hormigón. También se pudo apreciar que la resistencia a los 7 días de edad presento un mayor descenso con respecto al hormigón patrón, que puede ser producto de la temperatura en su proceso de curado, ya que al obtener la resistencia a los 28 días de edad, la diferencia entre el hormigón con LVS y el patrón disminuyo.
- En el caso del ensayo de tracción por flexión de esta experiencia, los datos obtenidos muestran una mejora de la resistencia con un reemplazo de 10% y 20% a los 28 días de edad, lo cual genera una incertidumbre en que porcentaje intermedio de estos dos valores se obtiene el valor optimo de reemplazo de LVS para alcanzar su máxima resistencia, la que se puede resolver en una futura investigación. A modo de análisis, esta mayor resistencia a la rotura de las probetas prismáticas, se debe a la forma que adquiere el árido reciclado, el cual cuenta con una mayor superficie específica, la que genera una trabazón del árido en la masa del hormigón. La relación entre las resistencias a 7 y 28 días de edad de las probetas prismáticas, no sufrió gran diferencia entre ellas, por lo que presento un comportamiento similar tanto en el aumento de sus resistencias con el reemplazo de 10% y descensos con los tipos de hormigones posteriores.
- Las resistencias obtenidas en este trabajo de investigación, están relacionadas a comparar los valores obtenidos de los diversos tipos de hormigón con los porcentajes de reemplazo de LVS con el hormigón patrón. El hormigón patrón fue dosificado a

través del método IDIEM, considerando que los parámetros que influyen en la confección del hormigón están controlados, no se realizó un sobredimensionamiento de las resistencias para cumplir con un valor determinado, sino más bien siempre realizó el mismo procedimiento para la fabricación de los diversos tipos de hormigones.

- La densidad aparente de las probetas de hormigón fueron medidas y pesadas inmediatamente antes de cada ensayo, realizadas a los 7 y 28 días de edad, para ver su variación entre los mismos tipos de hormigón y con respecto a los reemplazos parciales de LVS. Entregando como resultados una disminución a medida que se incorpora el árido reciclado de loza, esto debido a que este material posee una menor densidad, la que se pudo comprobar de forma empírica, mediante los ensayos de densidad aparente, real y neta y junto con ello ver su casi nula absorción de agua. Esta menor densidad de la loza, se debe a que es un material arcilloso cocido a altas temperaturas, donde se logra cerrar los poros y junto con el vidriado que es impermeable. La densidad aparente aumento al llegar a los 28 días de edad, alcanzando un valor de 2410 kg/m^3 en el caso del hormigón patrón y generando una diferencia de un 4% con el reemplazo de 50% de LVS.
- La utilización de estos elementos que en la actualidad tan solo son considerados un desecho, fue uno de los propósitos de esta investigación y a través de esta experiencia, se logro entregar una alternativa de reutilización.
- Se concluye que la utilización de hormigón con árido reciclado de loza vítrea sanitaria, es aceptable con un reemplazo de 10% para elementos solicitados a compresión y hasta un 20% para solicitaciones de tracción por flexión, para hormigones H20. Los usos de este hormigón pueden ser variados desde la construcción de elementos prefabricados, cimientos, radieres y hasta muros para viviendas de uno o dos pisos.

5.2. Futuras investigaciones.

- Evaluar las resistencias a compresión y flexión por tracción del hormigón con árido grueso de loza vítrea sanitaria con reemplazo de 10%, 15% y 20% con respecto al árido natural. Esto debido que en ambos casos, la resistencia aumentó en el reemplazo de 10% y se mantuvo en la sustitución de 20%, pero surgió la duda si sigue mejorando después del reemplazo de 10% de LVS.
- Evaluar las propiedades térmicas y acústicas del hormigón con árido reciclado de loza vítrea sanitaria. Debido a las características que presenta este material, pueden verse mejoradas estas propiedades.
- Evaluar las propiedades mecánicas del hormigón con árido fino de loza vítrea sanitaria, sustituyendo parcialmente por la arena.

BIBLIOGRAFÍA.

Comisión nacional del medio ambiente, “Primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile”, 2010.

Etxeberria, M. “Estudios experimentales sobre el comportamiento microestructural y estructural en hormigones con agregados reciclados”. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2004.

García, S. “Utilización de hormigón reciclado (RCA) como árido para microaglomerados asfálticos en frío destinados a tratamientos de mantención de pavimentos”, Ingeniero civil, Universidad de Chile, 2012.ch

Gutiérrez, P. Estudio para el reciclado de piezas de desechos en la fabricación de loza sanitaria. Tesis Universidad Michoacana De San Nicolás de Hidalgo, 2008.

Hare. “Ceramics. Properties and applications”. Encyclopedia of Glass, Ceramics and Cement. Ed. Martyn Grayson. John Willey and Sons, 1984.

López et al., “Eco-eficiente concretes: Impact of the use of white ceramic powder on the mechanical properties of concrete”. Biosystems engineering, vol. 96, 2007.

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cubicas y cilíndricas”, NCh1037.n2009 (norma vigente).

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Hormigón - Ensayo de tracción por flexión”, NCh1038.n2009 (norma vigente).

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Artefactos sanitarios de loza vítrea - Requisitos y métodos de ensayo”, NCh 407.n2012 (norma vigente).

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Áridos para morteros y hormigones – Requisitos”, NCh163.n2013 (norma vigente).

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Hormigón - Requisitos generales”, NCh170.Of85.

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Hormigón - Extracción de muestras del hormigón fresco”, NCh171.n2008 (norma vigente).

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Hormigón – Determinación de la docilidad – Método del asentamiento del cono de Abrams”, NCh1019.Of2009.

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Hormigón – Confección y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y tracción.”, NCh1017.n2009 (norma vigente).

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Áridos para morteros y hormigones – Determinación de impurezas orgánicas en las arenas.”, NCh166.Of2009.

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente”, NCh1116.n2008 (norma vigente).

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades real y neta y de la absorción de agua de las arenas”, NCh1239.n2009 (norma vigente).

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las gravas”, NCh1117.Of2010.

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Áridos – Determinación del desgaste de las gravas – Método de la Máquina de los Ángeles”, NCh1369-2010 (norma vigente).

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Áridos para morteros y hormigones – extracción y preparación de muestras”, NCh164-2009 (norma vigente).

Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. “Áridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de la granulometría”, NCh165.Of2009.

Poon,C.S., Kou,S.C. y Lam,L., Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks, Construction and Building Materials, Volume 16, 2002.

Valdés et al., “Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción”. Revista Científica Ingeniería y Desarrollo, Volumen 29, 2011.

Videla, C. Curso de tecnología del hormigón. Apuntes de clases, escuela de ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2010.