

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL



FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

“Arq. Guillermo Cubillo Renella”

Maestría:

“Tecnologías de Edificación”

TÍTULO:

“Uso de escombros, desperdicios y residuos de elementos estructurales de concreto armado y no estructurales de mampostería de bloques y ladrillos, combinados con poliestireno expandido para la elaboración de paneles prefabricados de bajo costo.”

AUTOR:

Arq. Mirian Lomas Franco

ASESOR:

Ing. Carmen Terreros de Varela. PhD.

GUAYAQUIL - ECUADOR

2015

“Uso de escombros, desperdicios y residuos de elementos estructurales de concreto armado y no estructurales de mampostería de bloques y ladrillos, combinados con poliestireno expandido para la elaboración de paneles prefabricados de bajo costo.”

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, mi Dios y mi amor eterno, a quién le debo la vida y todo lo que soy, y si no fuera por su infinita misericordia y bondad no hubiese concretado ésta investigación, pues él ha sido es y será en todo tiempo mi luz y mi fortaleza.

A mi amada Madre, quién por la gracia de Dios, ahora está en el cielo: para ella, con todo mi amor; pues siempre creyó en mí y me apoyó en todos mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS TODOPODEROSO.

A mí amada Madre.

A mi familia que da sentido a mi vida y por la que trato de superarme siempre.

A mi Tutora, la Dra. Carmen Terreros de Varela por su valiosa asesoría.

A mis profesores de la Maestría, quienes me incentivaron a seguir adelante y a tener confianza en mí.

A Todos los que hacen el Laboratorio “Ing. Dr. Arnaldo Ruffilli”, así como al Centro Técnico del Hormigón de la HOLCIM, por las facilidades prestadas en la realización de los ensayos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE CUADROS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
GLOSARIO CLAVE	xviii
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos	12
1.2.2. Objetivo general	12
1.2.2. Objetivos específicos.....	12
1.2.3. Justificación de la investigación	13
CAPÍTULO II	15
MARCO TEORICO	15
2.1. Paneles prefabricados con áridos reciclados en Latinoamérica.....	15
2.2. Árido reciclado.....	25
2.2.1. Producción del árido reciclado.	28
2.2.2. Procesamiento.	28
2.2.3. Demolición selectiva.....	30

2.2.4. Plantas de producción de árido reciclado.....	31
2.2.5. Estimación de impurezas.	34
2.2.6. Almacenamiento.....	38
2.2.7. Sistemas de trituración y cribado.	39
2.2.8. Caracterización del árido reciclado.	42
2.2.8.1. Granulometría.	43
2.2.8.2. Forma y textura superficial.	44
2.2.8.3. Propiedades físicas.	45
2.2.8.4. Propiedades mecánicas.	47
2.2.8.5. Propiedades químicas.....	49
2.3. Poliestireno expandido.	50
2.3.1. Definiciones.....	51
2.3.2. Obtención de materia prima.	52
2.3.3. Proceso de evolución para transformar el poliestireno expandido. .	53
2.3.4. Propiedades físicas.	56
2.3.5. Propiedades mecánicas.	57
2.3.6. Propiedades químicas.....	58
2.3.7. Propiedades biológicas.	60
2.3.8. Resistencia al fuego.	61
2.4. Hipótesis.....	62
CAPÍTULO III.....	63
METODOLOGÍA Y ESTUDIO EXPERIMENTAL	63
3.1. Metodología.....	63

3.2 Materiales usados	70
3.3. Procedimientos y fabricación.....	84
3.3.1. Hormigones	85
3.3.2. Mezclado	86
3.3.3. Moldeo.....	88
CAPÍTULO IV.....	95
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	95
4.1. Resultados de los ensayos de Compresión	95
4.2 Resultados de los ensayos de Tracción por Compresión Diametral .	107
4.3. Resultados de los ensayos de flexión	110
4.4. Resultados de los ensayos de absorción	115
4.4.1. Resultados de los ensayos de absorción	117
4.5. Resultados de ensayos de durabilidad.....	121
4.6 Elaboración de paneles prefabricados con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido	126
4.7. Determinación de la Conductividad Térmica	130
CAPÍTULO V.....	153
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	153
5.1. Análisis comparativo de los costos de un panel con hormigón convencional y otro de hormigón con áridos gruesos reciclados reciclados y poliestireno expandido.....	153
5.2 Comportamiento frente al fuego	155
5.3 Comportamiento Sismo Resistente	156
5.4 Análisis del ciclo de vida del panel	157

5.5. Criterios de Impacto Ambiental	159
5.6. Futuras líneas de investigación	160
Conclusiones finales y recomendaciones	162
Conclusiones finales	162
Recomendaciones.....	163
Bibliografía	164

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Crystal Palace. Fachada principal e interior.	3
Figura 1.2.- Sistemas Dominó	4
Figura 1.3.- Prefabricado en naves industriales y obras civiles	4
Figura 1.4.- Instalaciones deportivas prefabricadas	5
Figura 1.5.- Vigas de cubierta con ganchos de izaje	6
Figura 1.6.- Estructura prefabricada ligera de aluminio y melanina.	6
Figura 1.7.- Prefabricados en el Ecuador	7
Figura 1.8.- Paneles de hormigón para paredes y Casa construida con el Sistema de Ditelme de Guayaquil.	7
Figura 1.9.- Residuos y escombros de la construcción y demoliciones	8
Figura 1.10.- Cono de jerarquía para el tratamiento de residuos sólidos y escombros.	10
Figura 2.1.- Sistema Paneli	17
Figura 2.2.- Sistema Contec	18
Figura 2.3.- Sistemas de paneles de hormigón y perfiles metálicos	19
Figura 2.4.- Sistema Sandino	19
Figura 2.5.- Sistema Tangram	20
Figura 2.6.- Sistema Serviendas	22
Figura 2.7.- Sistema PREFA	22
Figura 2.8.- Sistema de paneles prefabricados de junta seca y estructura ligera (ELS).	23

Figura 2.9.- Sistema de Armadura de Acero con Cerramientos Livianos	24
Figura 2.10.- Procesos de producción de áridos reciclados	30
Figura 2.11.- Planta de producción de árido reciclado fija	31
Figura 2.12.- Planta de áridos reciclados móvil	32
Figura 2.13.- Proceso de eliminación de impurezas por infrarrojo	36
Figura 2.14.- Magneto de Steinert y separadores de Foucault	37
Figura 2.15.- Zona de acopio de áridos reciclados	38
Figura 2.16.- Cintas de cribado y transportación de áridos	42
Figura 2.17.- Trituradora de rotor y trituradora de cono	42
Figura 2.18- Ensayos de asentamiento y resistencia de muestras	48
Figura 2.19.- Poliestireno expandido	52
Figura 2.20.- Proceso de obtención del poliestireno expandido	55
Figura 2.21.- Clasificación del poliestireno expandido teniendo en cuenta su densidad.	56
Figura 2.22.- Representación química del poliestireno expandido	58
Figura 3.1.- El Edificio del Ministerio de Agricultura en Guayaquil que fue demolido y sus escombros transportados en volquetas hacia áreas periféricas de Durán.	64
Figura 3.2.- Edificación Mixta en demolición	64
Figura 3.3.- Triturado manual de los escombros de demoliciones y construcciones.	65
Figura 3.4.- Muestras de escombros luego del triturado manual	65
Figura 3.5.- Se somete a los escombros de mamposterías de	72

ladrillos, bloques de concreto, elementos estructurales y arena normalizada al ensayo de granulometría.	
Figura 3.6.- Determinación de los Pesos Volumétricos Suelos y varillados de los áridos reciclados.	73
Figura 3.7.- Mezclas con aditivo	86
Figura 3.8.- Mezclas sin Aditivo	87
Figura 3.9.- Procedimiento para determinar la densidad de la mezclas	91
Figura 3.10.- Aditivo	92
Figura 3.11.- Procedimiento de moldeos de cilindros	93
Figura 3.12.- Mezcla de hormigones con áridos reciclados al 75, 50 y 25 %.	94
Figura 4.1.- Ensayo de cilindros a compresión	96
Figura 4.2.- Ensayo de cilindros a tracción por compresión diametral	107
Figura 4.3.- Preparación de los paneles, obtención y medición de probetas para ser ensayadas al esfuerzo de flexión.	111
Figura 4.4.- Probetas de paneles de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido al 100 % de escombros ensayadas al esfuerzo de flexión.	112
Figura 4.5.- Resumen de ensayos a flexión en paneles de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido de 4 y 6 cm de espesor.	114
Figura 4.6.- Ensayo de absorción en hormigones de áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido.	116

Figura 4.7.- Ensayo de Durabilidad por humedecimiento – secado de hormigones de áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido.	122
Figura 4.8.- Preparación de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestiereno expandido para la elaboración de los paneles; control de revenimiento y medición de peso húmedo.	128
Figura 4.9.- Elaboración de paneles de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido.	129
Figura 4.10.- Preparación de los paneles de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido. Conductividad térmica.	134
Figura 4.11.- Equipo empleado para las pruebas de conductividad térmica de paneles de escombros de mamposterías de ladrillos, bloques de concreto, elementos estructurales y poliestireno expandido.	135
Figura 4.12.- Toma de datos en pruebas de conductividad térmica de paneles de hormigón con áridos reciclados y poliestireno expandido.	135
Figura 4.13.- Pruebas de conductividad térmica de paneles de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido.	136

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1.- Ensayo 1 por volumen 1:3:3	67
Cuadro 3.2.- Ensayo 2 por volumen 1:3:3	68
Cuadro 3.3.- Ensayo 3 por volumen 1:3:3	68
Cuadro 3.4.- Resumen de mezcla	69
Cuadro 3.5.- Ensayo granulométrico del agregado fino	74
Cuadro 3.6.- Ensayo granulométrico de los escombros de demolición de mampostería de ladrillos.	76
Cuadro 3.7.- Ensayo granulométrico de demolición de los escombros de mampostería de bloques de concreto.	78
Cuadro 3.8.- Ensayo granulométrico de los escombros de demolición de elementos estructurales de hormigón.	80
Cuadro 3.9.- Ensayo granulométrico de grava	82
Cuadro 3.10.- Cantidades en partes de volumen en las diferentes mezclas de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido sin aditivo y con aditivo.	89
Cuadro 4.1.- Resumen de resultados de densidades de cilindros de hormigones con áridos reciclados y poliestireno expandido.	97
Cuadro 4.2.- Densidades de las mezclas de hormigón con áridos reciclados y poliestireno expandido sin aditivo.	98
Cuadro 4.3.- Densidades de las mezcla de hormigón con áridos reciclados y poliestireno expandido con aditivo.	98
Cuadro 4.4.- Resumen de resultados de ensayos de cilindros de hormigones con áridos reciclados y poliestireno expandido a la compresión.	99
Cuadro 4.5.- Resistencia a la compresión de mezclas sin aditivo	100
Cuadro 4.6.- Resistencia a la compresión de mezclas con aditivo	100

Cuadro 4.7.- Elección de mezclas por su densidad (100% de escombros).	101
Cuadro 4.8.- Elección de mezclas por su resistencia a la compresión (100% de escombros).	101
Cuadro 4.9.- Resultados de ensayos de cilindros de hormigón de Mezcla 1 con áridos reciclados y poliestireno expandido a la compresión y densidad (75 %, 50 %, 25 % de escombros), sin aditivo.	102
Cuadro 4.10.- Resultados de ensayos de cilindros de hormigón de Mezcla 2 con áridos reciclados y poliestireno expandido a la compresión y Densidad (75 %, 50 %, 25 % de escombros), sin aditivo.	103
Cuadro 4.11.- Resultados de ensayos de cilindros de hormigón de Mezcla 3 con áridos reciclados y poliestireno expandido a la compresión y densidad (75 %, 50 %, 25 %), sin aditivo.	104
Cuadro 4.12.- Resultados de ensayos de cilindros de hormigón de Mezcla 4 de áridos reciclados y poliestireno expandido a la compresión y densidad (75 %, 50 %, 25 %), sin aditivo.	105
Cuadro 4.13.- Resultados de ensayos de cilindros de hormigón de Mezcla 5 de áridos reciclados y poliestireno expandido a la compresión y Densidad (75 %, 50 %, 25 %), sin aditivo.	106
Cuadro 4.14.- Resumen de resultados de ensayos de cilindros de hormigones con áridos reciclados y poliestireno expandido a la tracción por compresión diametral.	108
Cuadro 4.15.- Resumen de ensayos de cilindros de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido a la tracción por compresión diametral, de las mezclas al 100 % de escombros, sin y con aditivo.	109
Cuadro 4.16.- Resumen de ensayos de cilindros de	109

hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido a la tracción por compresión diametral, de las mezcla al 75 %, 50 %, 25 %, de esc. sin aditivo.	
Cuadro 4.17.- Elección de Mezclas de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido por su resistencia a la tracción por compresión diametral al 100 % de escombros sin y con aditivo.	110
Cuadro 4.18.- Resistencia a la flexión en paneles de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido.	113
Cuadro 4.19.- Elección de las mezclas por su resistencia a la flexión en paneles de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno al 100 %.	115
Cuadro 4.20.- Resumen de resultados de ensayos de absorción de hormigones de áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido al 100 %.	117
Cuadro 4.21.- Resumen de resultados de ensayos de absorción en Mezclas de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido al 100 % de escombros.	118
Cuadro 4.22.- Elección de mezclas de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido al 100 % por su menor absorción.	119
Cuadro 4.23.- Resumen de resultados de ensayos de absorción de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido al 75 %, 50 % y 25 % de escombros, sin aditivo.	120
Cuadro 4.24.- Resumen de resultados de ensayos de absorción en hormigones de áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido al 75 %, 50 %, 25 % de escombros sin aditivo.	121
Cuadro 4.25.- Ensayos de durabilidad por humedecimiento – secado en cilindros de hormigones con áridos gruesos	123

reciclados y poliestireno expandido.	
Cuadro 4.26.- Ensayos de durabilidad humedecimiento – secado en cilindros de hormigón con áridos reciclados y y poliestireno expandido.	124
Cuadro 4.27.- Resumen de resultados de ensayos de durabilidad por humedecimiento – secado de cilindros de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido.	125
Cuadro 4.28.- Elección de mezclas de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido por su durabilidad (humedecimiento–secado).	126
Cuadro 4.29.- Cálculo de Flujo de calor a través de una mezcla de Hormigón de 2400kg/m ³ de un panel de espesor de 6 cm, sin aditivo.	137
Cuadro 4.30.- Cálculo de flujo de calor a través de mezcla de hormigón de 2500 kg/m ³ de un panel de espesor de 6 cm, con aditivo.	138
Cuadro 4.31.- Cálculo de Flujo de calor a través de la mezcla 6 de hormigón de 2400kg/m ³ de un panel de 4 cm de espesor, sin aditivo.	139
Cuadro 4.32.- Cálculo de flujo de calor a través de la Mezcla 6 de hormigón de 2400kg/m ³ de un panel de 4 cm de espesor, con aditivo.	140
Cuadro 4.33.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles de mezcla 1 sin y con aditivo, de 4 cm de espesor.	141
Cuadro 4.34.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles de mezcla 2, sin y con aditivo, de 4 cm de espesor.	142
Cuadro 4.35.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles de Mezcla 3, sin y con aditivo, de 4 cm de espesor.	143
Cuadro 4.36.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles de mezcla 4, sin y con aditivo, de 4 cm de espesor.	144
Cuadro 4.37.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles de mezcla 5, sin y con aditivo, de espesor de 4 cm.	145
Cuadro 4.38.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles	146

de mezcla 1 y 2, sin Aditivo, de 6 cm de espesor.	
Cuadro 4.39.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles de mezclas 3 y 4, Sin aditivo, de 6 cm de espesor.	147
Cuadro 4.40.- Cálculo de Conductividad Térmica de panel de mezcla 5, sin Aditivo, de 6 cm de espesor.	148
Cuadro 4.41.- Resumen de resultados de cálculos de conductividad térmica y Densidades de mezclas en paneles de espesor de 4 cm.	148
Cuadro 4.42.- Resumen de resultados de conductividad térmica de mezclas en paneles de espesor de 4 cm, sin y con aditivo.	149
Cuadro 4.43.- Resumen de resultados de cálculos de conductividad térmica y densidades de mezclas en paneles de espesor de 6 cm de espesor.	149
Cuadro 4.44.- Elección de mezclas de paneles de 6 cm de espesor, sin aditivo, por su menor conductividad térmica.	150
Cuadro 4.45.- Elección de mezclas de paneles de 4 cm de espesor, sin y con aditivo, por su menor conductividad térmica.	150
Cuadro 4.46.- Elección de mezclas de paneles de 6 cm de espesor, sin aditivo, por su menor conductividad térmica.	151
Cuadro 4.47.- Resumen de hormigones de áridos gruesos reciclados (1:3:3) al 100 % de escombros.	152
Cuadro 5.1.- Costos de m ³ de Hormigón Mezcla 2, de áridos grueso reciclados y poliestireno expandido, con aditivo, densidad: 2009 kg/m ³ .	153
Cuadro 5.2.- Costos de m ³ de Hormigón Mezcla 3, de áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido, con aditivo, densidad 2107 kg/m ³ .	154
Cuadro 5.3.- Costos por m ³ de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido al 100 %, con aditivo.	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.- Por ciento de materiales en los escombros	9
Tabla 2.1.- Normas internacionales para áridos reciclados	27
Tabla 2.2.- Máximo contenido de impurezas permisible acorde al tipo de elemento.	34
Tabla 2.3- Distribución granulométrica y % de partículas finas en el triturado de escombros de concreto.	43
Tabla 2.4.- Distribución granulométrica y % de partículas finas en el triturado de escombros de albañilería.	44
Tabla 2.5.- Límites para sustancias perjudiciales y requerimientos de propiedades físicas para el árido grueso del hormigón.	45
Tabla 2.6.- Estabilidad química del poliestireno frente a varias sustancias.	59

GLOSARIO CLAVE

ABSORCIÓN

La Absorción mide la cantidad de agua expresada en % del peso del material seco que es capaz de absorber un material.

ESCOMBROS

Conjunto de fragmentos o restos de ladrillos, hormigón, argamasa, acero, hierro, madera, entre otros, provenientes de los desechos de la construcción, remodelación o demolición de estructuras como edificios, residencias, etc.

RCA

Áridos gruesos reciclados.

AGREGADO

Material granular, el cual puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero.

RCD

Residuos de construcciones y demoliciones.

DITELME

Prefabricados de Hormigón

HORMIGÓN LIVIANO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO

Se elabora combinando cemento, arena, agua y perlitas de poliestireno pre-expandidas, o poliestireno expandido molido. En sus propiedades influyen las partículas de poliestireno pre-expandidas, cuestión que lo distingue de otros tipos de hormigones ligeros, como buena resistencia mecánica con peso específico aparente muy inferior a los demás, magnífico aislamiento térmico, y exigua absorción de la humedad.

COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Es la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de extensión infinita y caras plano-paralelas y de espesor unidad, cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus cara de un grado.

La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material, su valor puede depender de la temperatura y de una serie de factores tales como la densidad, porosidad, contenido de humedad, diámetro de fibra, tamaño de los poros y tipo de gas que encierre el material.

POLIESTIRENO EXPANDIDO

Espuma foam, Plumavit, Poly espuma, Pluma foam, Styrofoam, Poliespuma, tecnopor, Corcho blanco.

EPS

Expanded Polie Styren = Poliestireno expandido

RESUMEN

Es una investigación realizada sobre el uso de escombros, desperdicios y residuos de elementos estructurales de concreto armado y no estructurales de mampostería de bloques y ladrillos, combinados con poliestireno expandido para la elaboración de paneles prefabricados de bajo costo.

La presente investigación plantea en efecto la ejecución de un estudio que admita desarrollar paneles prefabricados para la construcción tomando como base residuos de mampostería, de ladrillos, bloques de concreto y elementos estructurales de hormigón más poliestireno. Esta opción ayuda a higienizar el medio, creando una política amigable con el medio, además muestra un camino para la solución al problema de los costos de construcción, estableciendo un medio sostenible para la edificación de viviendas por el Estado a través del desarrollo de un panel prefabricado para la construcción a partir de agregados reciclados (RCA) con poliestireno expandido.

Para el desarrollo de este panel fueron utilizados dos grupos de materiales: sin aditivos y con aditivos para cinco tipos de mezclas, encontrando los mejores resultados en las mezclas 2 y 3 con aditivos. La utilización de esta técnica es habitual para los países industrializados, donde la vasta demanda de construcciones trae como consecuencia la búsqueda de la reducción del tiempo y costo, es decir disminución de cronogramas en la obra.

ABSTRACT

It is an investigation on the use of debris, waste and scrap of reinforced concrete structural elements and non-structural masonry blocks and bricks, combined with expanded polystyrene for making low-cost prefabricated panels.

This research raises indeed the execution of a study that supports developing prefabricated building panels taking as waste masonry foundation, brick, concrete block and concrete components more polystyrene. This option helps to sanitize the environment, creating an environmentally friendly policy also shows a way to solve the problem of the construction costs, establishing a sustainable means of housing construction by the State through the development of a panel prefabricated construction from recycled aggregates (RCA) with expanded polystyrene.

For the development of this panel were used two groups of materials: without additives and additives for five types of mixtures, finding the best results in mixtures 2 and 3 with additives. The use of this technique is common for industrialized countries, where the vast demand for building search results in the reduction of time and cost, ie decrease in the work schedules.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

En la actualidad una de las principales preocupantes para el planeta, la constituye la amenaza ambiental, que representa el continuo vertido de desechos por parte de las grandes industrias. Los niveles de alarma han llevado a las naciones más industrializadas a crear programas que contemplen entre sus principales puntos, políticas para el reciclaje como medida preventiva contra los altos índices contaminantes y como política de propiciar un verdadero desarrollo sostenible para el planeta.

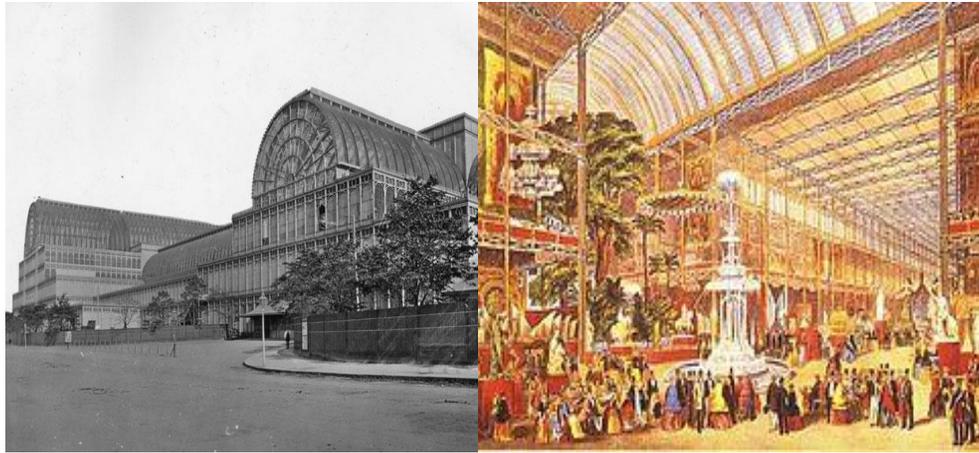
Uno de los responsables fundamentales del deterioro ambiental producto de la gran cantidad de desechos contaminantes que genera y acumula durante sus procesos es la industria de la construcción. No solo se adjudican a este ramo los problemas de contaminación generados por los sobrantes, sino que los elevados consumos de petróleo y áridos durante la fabricación de cementos y hormigones constituyen además riesgos tangibles contra los recursos agotables. A esto se deben agregar los problemas que representan el vertido de desechos en lugares públicos, atentando contra el ornato.

Toda esta problemática demanda la búsqueda de alternativas que constituyan un giro hacia una arquitectura sustentable, punto en el que todas las naciones del área comienzan a enfocarse en la utilización de residuos y escombros de construcción y demoliciones (RCD) con el fin de abaratar los costes, pero fundamentalmente como estrategia ambiental. Entre los modos de uso de RCD más difundidos hasta la fecha, se encuentra su implementación en la elaboración de elementos prefabricados, por su viabilidad, heterogeneidad, pero sobre todo por los beneficios que el prefabricado representa para la industria de la construcción.

El gran auge y difusión del prefabricado en el área no se debe solo a la factibilidad económica que representa, sino al gran ahorro de tiempos producto que no existen pausas en los cronogramas que respondan a ejecución de elementos, ya que estos se elaboran previamente en plantas y se trasladan a las obras para su montaje, factor que beneficia considerablemente a las inmobiliarias, pues se acortan los plazos entre la venta de los departamentos y la fecha de entrega.

El prefabricado no tiene un origen definido. Quizás la primera obra prefabricada en la historia fue el Crystal Palace, edificio construido con paneles de vidrio inaugurado en 1851, motivo de la primera Feria Internacional de Londres. Su estructura consistía en una serie de vigas y cerchas de hierro pernadas. Fue diseñado por Henry Cole con la idea de concebir una edificación translúcida que albergara una exposición de espacios abiertos fácilmente transitables pero principalmente, de rápido montaje, propósito que se cumplió pues su ejecución duró solamente tres meses.

Figura 1.1.- Crystal Palace. Fachada principal e interior.

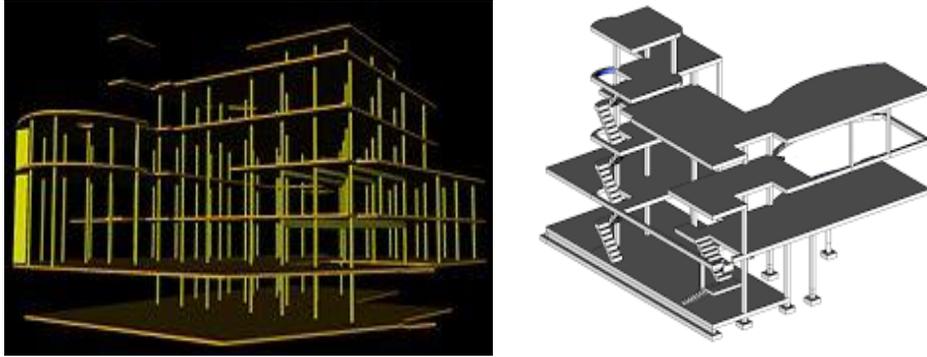


Fuente: (Benévolo, 2002)

No fue hasta finales del siglo XIX que se retomó el hormigón como material de construcción, comenzando una nueva era para el prefabricado. Uno de los principales pioneros del hormigón fue el francés Auguste Perret, que se valió de este material para generar una atmósfera innovadora en sus obras, rompiendo con los esquemas Neoclásico y Art Nouveau.

Desde principios del siglo XX fue evolucionando la idea de construir elementos *off site*, o sea, fuera del sitio de construcción (Pérez Jiménez, 2004), concibiéndose los primeros sistemas dominó, que dieron lugar al racionalismo en la arquitectura. Desde este punto, los sistemas prefabricados alcanzaron un gran auge, principalmente en Europa y llegando a su clímax durante el período de postguerra, entre los años 1945-1950, producto de la devastación del fondo habitacional del continente y la necesidad de renovación inmediata.

Figura 1.2.- Sistemas Dominó



Fuente: (Benévolo, 2002)

En cuanto a las obras civiles, el uso del prefabricado potenció la aparición de mega estructuras que paulatinamente comenzaron a invadir los espacios urbanos y suburbanos, vendiendo la imagen de una forma de construir que comenzaba a hacerse imprescindible sobre todo para la construcción a gran escala.

Figura 1.3.- Prefabricado en naves industriales y obras civiles



Fuente: (Negrín, 2004)

En la actualidad el uso de esta técnica constructiva se ha vuelto común sobre todo en los países industrializados, donde la amplia demanda de construcciones conlleva a la necesaria disminución en los tiempos y cronogramas de obra, llegando a evolucionar en este sentido a la simplificación a tal escala, que es posible hablar de edificar múltiples instalaciones en muy cortos lapsos, por ejemplo, las citas olímpicas, que requieren renovación y nueva construcción de grandes estructuras de una forma instantánea.

Figura 1.4.- Instalaciones deportivas prefabricadas.



Fuente: (DITELME, 2014)

Uno de los inconvenientes de los prefabricados a base de hormigón armado en cuestiones económicas, lo constituye el excesivo uso de aceros para elementos de gran peso, para garantizar su integridad en los momentos de izaje, cuestión que encarece su producción, haciéndose necesaria la utilización de materiales alternativos en la construcción de estas estructuras, garantizando ligereza con el propósito de eximir además el uso de grúas, cuyas tarifas horarias agregan valor a los procesos constructivos.

Figura 1.5.- Vigas de cubierta con ganchos de izaje



Fuente: (DITELME, 2014)

Figura 1.6.- Estructura prefabricada ligera de aluminio y melamina

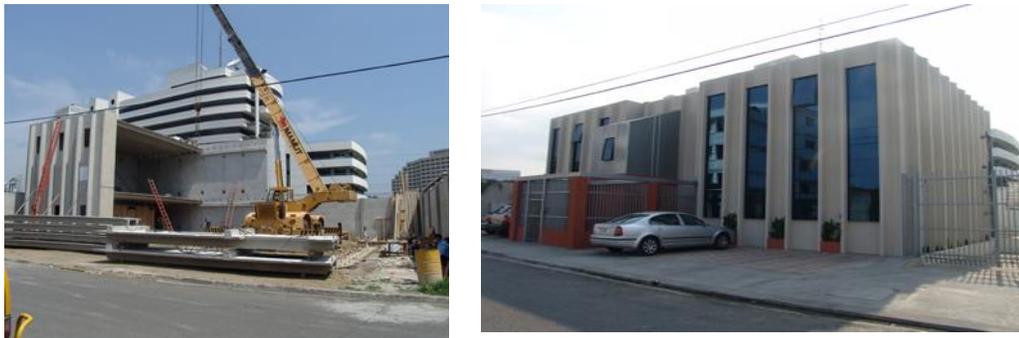


Fuente: (Balat Módulos prefabricados, 2014)

Ecuador en la actualidad cuenta con varios suministradores de elementos para estructuras prefabricadas, entre los que se pueden citar Balat Ecuador,

radicada en Quito, con 30 años de experiencia en el suministro de módulos prefabricados y con sede en Guayaquil, DITELME (Distribuidora de Elementos Estructurales), quien ha participado en obras de gran envergadura en Quito y Guayaquil.

Figura 1.7.- Prefabricados en el Ecuador



Fuente: (DITELME, 2014)

Figura 1.8.- Paneles de hormigón para paredes y Casa construida con el Sistema de Ditelme de Guayaquil.



Fuente: (DITELME, 2014)

A pesar de que en el país se utiliza el prefabricado, muy pocas empresas emplean residuos de construcción durante sus procesos, generando desperdicios ellas mismas, que junto con los escombros acumulados por las obras *in situ*, van generando un panorama de insalubridad en algunas de las principales ciudades del país.

Figura 1.9.- Residuos y escombros de la construcción y demoliciones



Fuente: (El Comercio, 2013)

Esta problemática ha llevado a varios gobiernos municipales del Ecuador a promover programas patrocinados por las empresas municipales de aseo para la creación de lugares de acumulación de escombros fuera de las áreas urbanas, teniéndose en cuenta que en varios cantones del país se llegan a acumular mensualmente cantidades aproximadas a los veinte mil metros cúbicos (GAD Municipal Cuenca, 2010) y de veinte cuatro mil metros cúbicos (GAD Municipal Guayaquil, 2010). Sin embargo, no se concibe ninguna política concreta sobre reciclaje o reutilización de estos desechos.

En el Ecuador, la utilización de áridos en la industria de la construcción ha experimentado un crecimiento en la última década, con un impresionante incremento del 315,2%: pasó de utilizar 30 toneladas en el 2002 a 100,74 en el 2012 (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2012). Este fenómeno ha generado grandes costos, pero principalmente el considerable aumento de escombros, propios de los proceso constructivos.

Dado el volumen de RCD acumulado hasta la fecha en algunas de las principales ciudades del país, se han comenzado trabajos por parte de las EMAC (EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE ASEO DE CUENCA) para determinar tanto la composición de los mismos como las consecuencias negativas que pueden acarrear al ambiente urbano (Tabla 1.1), llegándose a determinar por parte de esta institución, que existen dos grupos fundamentales de residuos en este sentido: el primero denominado inertes, dada su composición generalmente a base de áridos, tierra y otros de carácter orgánico no agresivos para el medio y los peligrosos o no inertes, constituidos por aditivos químicos, plásticos, resinas y otros elementos que dadas sus características pueden reaccionar con gases naturales, generando emisiones tóxicas.

Tabla 1.1.- Presencia de materiales en los desechos de construcción

Ladrillos, azulejos y otros cerámicos	54%
Concreto	12%
Basura	7%
Áridos gruesos	5%
Asfalto	5%
Arena, grava y otros áridos	4%
Madera	4%
Otros	4%
Metales	2.50%

Plástico	1.50%
Cristal	0.50%
Papel	0.30%
Yeso	0.20%

Fuente: (GAD Municipal Cuenca, 2010)

Elaborado por: Lomas, m. (2014)

A raíz de la problemática que implica para el país el vertido de desechos, el 20 de septiembre del 2012 se propuso por parte de la Asamblea Nacional del Ecuador, el Proyecto de Ley sobre el Manejo Adecuado de Residuos Sólidos y Escombros que a grandes rasgos establece un marco legislativo para el adecuado tratamiento de los mismos y las respectivas sanciones para los infractores, asumiéndose en el mismo un protocolo para jerarquizar el manejo con base a las implicaciones que los desechos puedan acarrear para el medio (Figura 1.10.-), establecido en el año 2011 por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales.

Figura 1.10.- Cono de jerarquía para el tratamiento de residuos sólidos y escombros



Fuente: (HOLCIM, 2011)

Por otra parte, los elevados costos de los materiales de construcción, generan constantemente la búsqueda de alternativas que sustenten la continuidad de la vivienda como uno de los principales indicadores de satisfacción poblacional implícitos por demás en el Plan Nacional del Buen Vivir.

Ante esta situación se plantea el siguiente problema científico:

¿Será factible el desarrollo de paneles prefabricados para la construcción a partir de agregados reciclados de RCD (Residuos de construcciones y demoliciones) con poliestireno expandido?

La presente investigación propone en consecuencia la realización de un estudio que permita desarrollar panelería prefabricada para la construcción con base a residuos de mampostería de ladrillos, bloques de concreto y elementos estructurales de hormigón más poliestireno expandido. Esta alternativa contribuye no solo a sanear el medio, generando una política amigable con el entorno, sino que además presenta una vía de solución al problema de los costes de construcción, creando un medio sostenible para la edificación de viviendas unifamiliares y colectivas en el país.

1.2. Objetivos

1.2.2. Objetivo general

Desarrollar un panel prefabricado para la construcción a partir de agregados reciclados de RCD (con poliestireno expandido).

1.2.2. Objetivos específicos

1. Aplicar métodos de caracterización de RCD provenientes de mamposterías de bloques de concreto y arcillas, así como de elementos de concreto para su uso como agregados en la elaboración de paneles prefabricados.
2. Dosificar mezclas de hormigones con RCD y poliestireno expandido someténdolas a pruebas de compresión hasta llegar a una resistencia adecuada para la manipulación, traslado, apilamiento y colocación.
3. Diseñar un panel prefabricado utilizando la mezcla de hormigón más conveniente con RCD y poliestireno expandido, con resistencias obtenidas en la etapa de dosificación.
4. Hacer un análisis comparativo de costos entre los paneles prefabricados de concreto que se comercializan en nuestro medio y el nuevo panel RCD con poliestireno expandido.

1.2.3. Justificación de la investigación

Las actividades de construcción son las de mayor demanda de recursos naturales en el orbe, por ejemplo, el consumo de áridos utilizados en la preparación de concretos y morteros para diversos fines. Anualmente se producen cerca de 11 billones de toneladas de áridos naturales.

Por otra parte es también generadora de grandes volúmenes de residuos y escombros por la construcción y demolición de las edificaciones. Se estima que el 40% de los residuos son generados por la Industria de la Construcción, que por lo general acaban arrastrados hacia quebradas o cauces de ríos, lo que constituye un grave problema medioambiental.

Como resultado, se requiere de una gestión ambiental responsable en vistas a reducir el alto consumo de materias primas y a la disminución de los problemas de impacto ambiental generados por el acopio de esos desechos, encontrando usos alternativos en este campo, como es su reciclaje.

En Guayaquil las fuentes generadoras de RCD son las Obras Públicas y Privadas. En la última década se han construido importantes Obras como Mucho Lote en sus diversas etapas, Hiper Market Norte, Registro Civil Norte, Ciudad Colón, Terminal Norte Metro Vía, Terminal Terrestre, San Marino, Túneles San Eduardo; para citar algunas, constituyendo la Obra Pública el 64% del volumen de construcción y el 97% del volumen de demoliciones.

El volumen de residuos de demoliciones en Obras públicas se incrementa debido a los proyectos de regeneración urbana, especialmente en equipamiento vial: 100.000 m³ de escombros de hormigón provenientes de aceras.

La disposición final de los RCD en Guayaquil son depósitos clandestinos como Los Vergeles, Cooperativa Nigeria, Oramas Gonzáles entre otros sectores, por la falta de gestión y control adecuados contribuyendo a disminuir aún más el nivel de vida de sus habitantes.

Con este trabajo se busca el uso de agregados obtenidos del reciclado de residuos de construcciones y demoliciones (RCD) provenientes de mamposterías de bloques de concreto y arcilla y elementos de concreto, para elaborar paneles prefabricados, como un aporte a la solución de problemas ocasionados por la generación de RCD, fundamentalmente el impacto ambiental que producen; los mismos que representan un importante porcentaje del total de residuos y escombros generados en los procesos de construcción y demoliciones.

Además, contribuir a la vivienda de interés social con un material de construcción alternativo de propiedades físicas y mecánicas aceptables, así como económico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Paneles prefabricados con áridos reciclados en Latinoamérica.

La elaboración de paneles prefabricados que incluye áridos reciclados, data de los años 50 del siglo XX durante el período de postguerra, dado el alto volumen de escombros acumulados en algunas ciudades europeas que obligaban a hacer uso de ellas en la reconstrucción. Hoy en día, gracias a técnicas de trituración y tratamiento de escombros, desarrolladas en algunos países, los RCD resultan una atractiva materia prima en la elaboración de hormigones de alta calidad. A partir del año 2002, con la elaboración del catálogo de residuos de construcción en Madrid, algunos países hispanoamericanos han comenzado la utilización de estos desechos en plantas industriales para la prefabricación de sistemas que incluyen panelería ligera. Algunos de los referentes más importantes en este sentido, lo constituyen los trabajos realizados por catedráticos de distintas universidades del área, sobre el uso y tratamiento de RCD para la construcción. Entre ellos se pueden destacar los siguientes:

- En México, la Universidad Autónoma de Yucatán desarrolló en el 2007 un trabajo para la elaboración de paneles ligeros a partir de áridos

reciclados y materiales cerámicos para la reconstrucción de viviendas en el Estado de Quintana Roo (Lepe & L.E.M, 2007).

- En el Centro de Desarrollo de Materiales (CIDEM) De la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (UCLV), Santa Clara, Cuba El Dr. I. Mendoza en conjunto con una serie de especialistas ha venido desarrollando una serie de trabajos para la promoción de la construcción sustentable mediante el uso de los RCD en sistemas prefabricados de panelería ligera, destacándose “Diseño de Planta para Reciclado de Escombros” (Mendoza, 2008).
- También de la UCLV la Dra. Martínez Fernández en el año 2012 realizó una guía para la utilización de áridos reciclados en la fabricación de hormigón hidráulico, planteando una serie de ensayos que demuestran la alta resistencia a compresión arrojada por muchas muestras desarrolladas a base de estos residuos y propone su uso para elaboración de elementos prefabricados para los sistemas Sandino y Gran Panel. (Martínez Fernández, 2013)

Hasta la fecha se han desarrollado en América Latina varios sistemas prefabricados propios del área o importados de modelos europeos en los que se ha experimentado con la panelería (principalmente ligera) con uso de áridos reciclados. En su trabajo “Producción de Componentes Prefabricados para la Construcción a partir de Concreto Elaborado con Agregados Reciclados de RCD” del arquitecto venezolano Jaime Villarroel hace

referencia a los principales sistemas utilizados hasta hoy en América Latina. A continuación se detallan algunos de ellos.

Sistema Paneli: Se basa en pequeñas piezas prefabricadas cuya longitud máxima es de 2,50m. Para su colocación se utiliza una suerte de estantillos en los cuales se encaja el panel prefabricado; tanto en posición vertical u horizontal, según se requiera. (Villarroel, 2011)

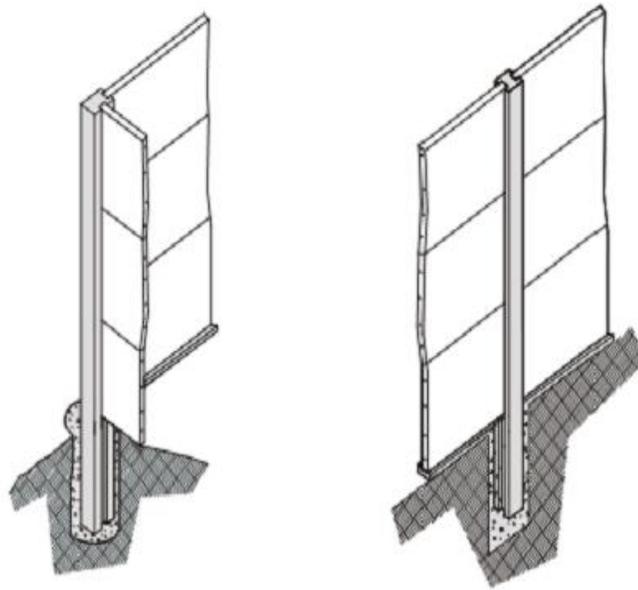
Figura 2.1.- Sistema Paneli



Fuente: <http://www.escosa-construccion.com/sistemas-constructivos/sistema-paneli>

Sistema Contec: Paneles de concreto cuyo peso oscila entre 45 y 85 Kg por pieza. El montaje en obra es muy similar al Sistema Paneli. No obstante, se trata de un panel con refuerzo metálico cuya disminución de peso se logra a partir de la utilización de concreto celular o aireado. El concreto celular o aireado consiste en una mezcla compuesta de arena, agua, cemento y espuma y tiene una densidad entre 350 kg/m³ y 900 kg/m³. Este sistema aplica uno de los recursos, en nuestra opinión, más importante en lo que respecta a los sistemas prefabricados como es la disminución del peso. (Villarroel, 2011)

Figura 2.2.- Sistema Contec



Fuente: <http://hrbldg.com/technology.html>.

Sistema de paneles de hormigón y perfiles metálicos: Utiliza paneles de hormigón armado y una cubierta de madera con planchas acanaladas metálicas. Los bordes superior e inferior de los paneles forman una junta en V que se sella con mortero luego del montaje. (Villarreal, 2011)

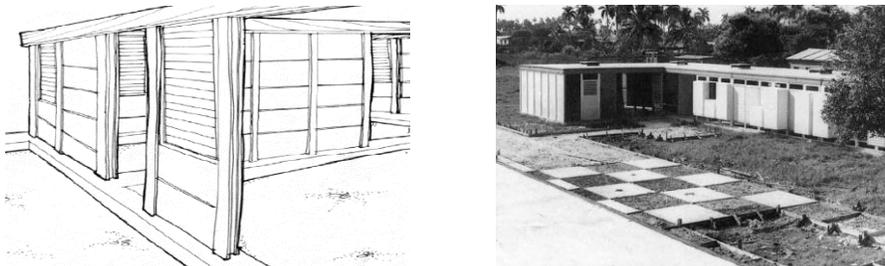
Figura 2.3.- Sistemas de paneles de hormigón y perfiles metálicos



Fuente: <http://hrbldg.com/technology.html>.

Sistema Sandino: En este caso los paneles son de hormigón simple y las columnas de hormigón pretensado. El cerramiento es en todos los casos con soluciones de hormigón armado monolítico. Para los entrepisos y techos se han utilizado diversas variantes in situ y prefabricadas, ligeras y pesadas. Recientemente se ha desarrollado una versión denominada «Simplex» en el que se han mejorado las soluciones de los paneles, reduciendo el consumo de cemento, su peso e introduciendo terminaciones integrales. Se basa en paredes compuestas por pequeñas columnas de 11 x 11cm y paneles prefabricados de concreto cuyo peso es de 65 Kg. (Villarroel, 2011)

Figura 2.4.- Sistema Constructivo Sandino

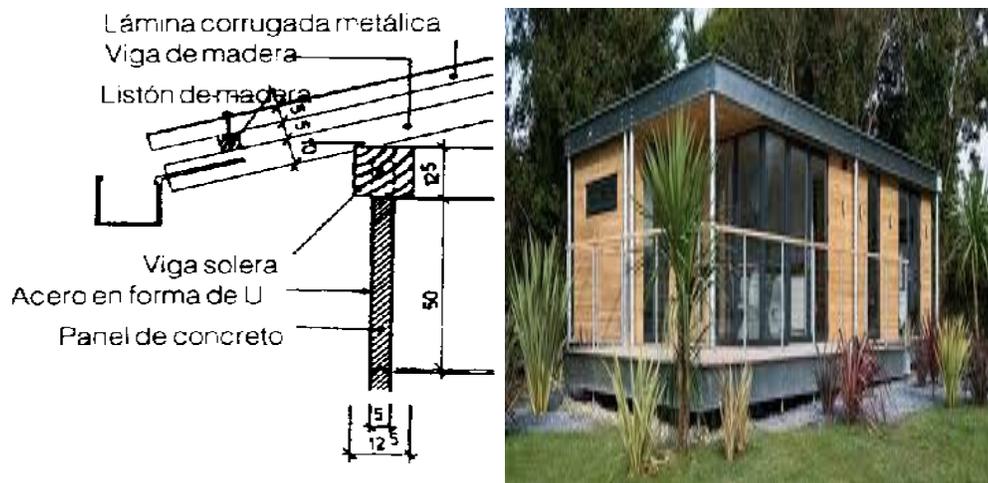


Fuente: (Mendoza, 2008)

Aunque Villarroel se refiere al panel Sandino como un panel de hormigón simple, realmente este presenta tres barras de acero lisas de 3/8" comúnmente denominado alambroón, espaciadas a 30 centímetros, que garantizan su resistencia a la flexión que pueda ser originada por excentricidades en el replanteo de sus columnas, que se sitúan a 1.04 metros a eje entre ellas, distancia inexacta que genera dificultades a la hora de replantear con piola de nylon.

Sistema Tangram: Sistema formado por puntales prefabricados de concreto reforzado alejadas a 76 cm y pequeños paneles cerámicos de cierre de muy bajo peso. A diferencia de otros sistemas posee cimientos aislados y zapatas prefabricadas. Uno de los aspectos más relevantes de este sistema es la posibilidad de prefabricación total, desde las fundaciones, columnas, paneles y elementos de la cubierta, íntegro de modo artesanal. (Villarroel, 2011)

Figura 2.5.- Sistema Tangram



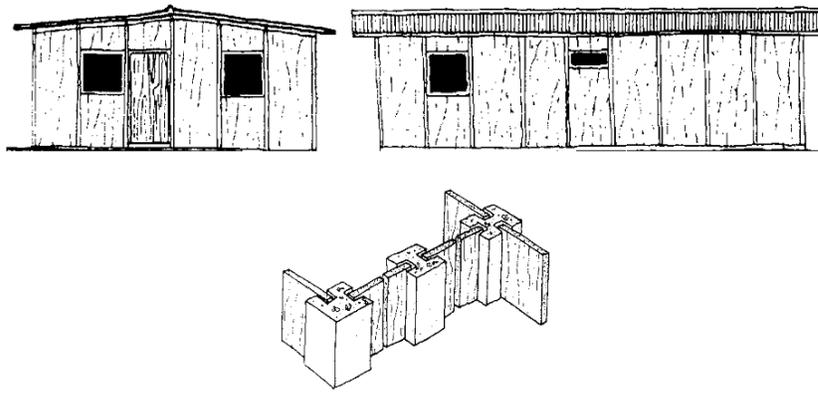
Fuente: (Villarroel, 2011)

Sistema Serviendas: (Figura 2.6) Está formado por placas de piso a techo, de hormigón ligero reforzado con acero estructural de alta resistencia, que van embalsadas en columnas de concreto reforzado. Utiliza una cimentación corrida y una solera de cerramiento. Utiliza una cubierta ligera. (Villarroel, 2011)

Sistema PREFA: (Figura 2.7) Consiste en un Sistema prefabricado con paneles semipesados de largo variable y columnas ranuradas, ambos de hormigón pretensado. Cimientos aislados con empotramiento de las columnas. Las placas se colocan sobre el piso. El cerramiento o solera es de madera. El montaje se efectúa en forma manual por cuatro personas. (Villarroel, 2011)

Este no es en realidad un sistema, sino una adaptación del Sandino, pues conserva exactamente las mismas columnas (C1, C2, C3, C4) del anterior, variando únicamente las vigas de cerramiento y la panelería.

Figura 2.6.- Sistema Serviviendas



Fuente: (Villarroel, 2011)

Figura 2.7.- Sistema PREFA



Fuente: (Villarroel, 2011)

Sistema de paneles prefabricados de junta seca y estructura ligera (ELS): Se trata de armazones o marcos en acero galvanizado constituido por perfiles IPE-140. Estos marcos se apoyan sobre zapatas aisladas fijadas a estas a través de pernos. La pequeña separación entre los marcos permite la utilización de perfiles de pequeñas dimensiones lo que facilita sobremanera la ejecución en obra. Los cerramientos están constituidos por

paneles macizos de concreto prefabricado, los cuales se fijan a la estructura de marcos a través de pernos. La estructura de marcos, losa de piso losa de techo y paneles es totalmente desarmable. (Villarroel, 2011)

Figura 2.8.- Sistema de paneles prefabricados de junta seca y estructura ligera (ELS)

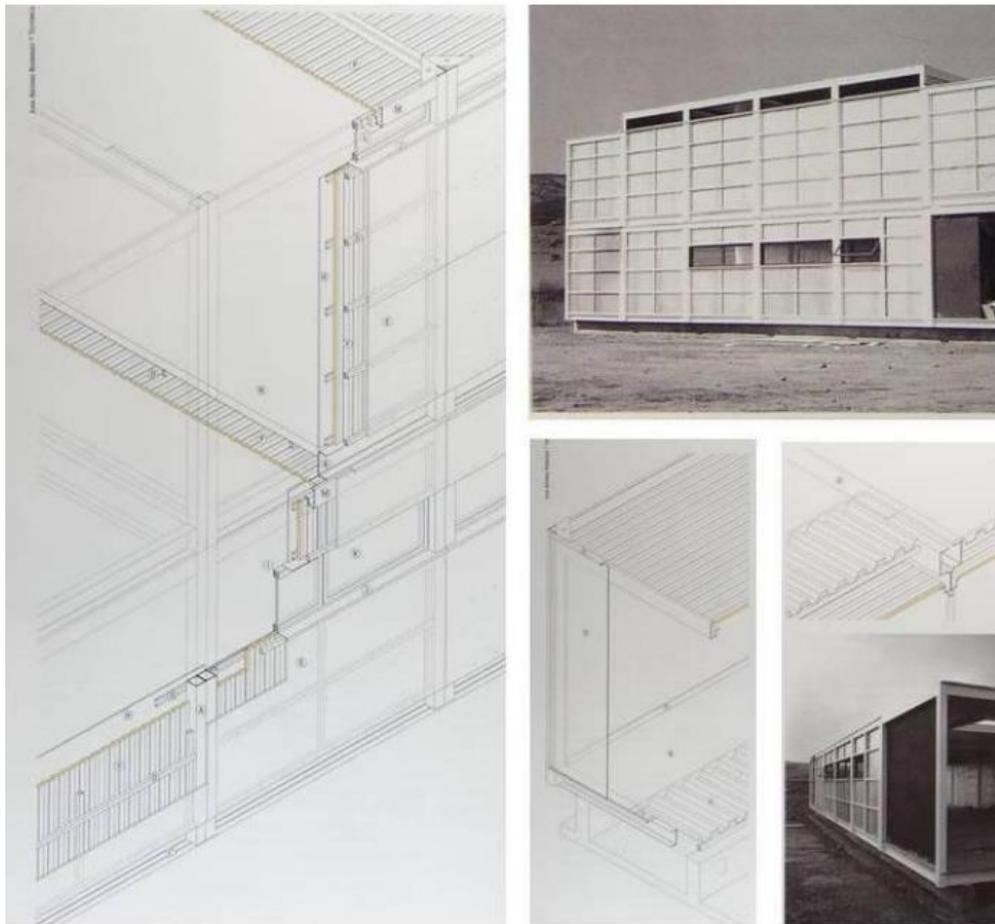


Fuente: (Villarroel, 2011)

Sistema de Armadura de Acero con Cerramientos Livianos: Se trata de una estructura principal constituida por montantes de acero conformados en frio de 100 x 100 x 3mm y vigas en perfiles UPN-220 y UPN 160. A la estructura principal se apoya una subestructura constituida de tubos de acero

de 40 x 30 x 2mm que sirve de base para la colocación de paneles prefabricados livianos. El sistema de fijación de paneles y de toda la estructura es a través de pernos, aspecto que permite desarmar totalmente el conjunto. (Villarroel, 2011)

Figura 2.9.- Sistema de Armadura de Acero con Cerramientos Livianos



Fuente: (Villarroel, 2011)

Vale destacar que en todos los casos anteriormente citados se trata de sistemas de junta seca, o sea, sin hormigonado en las juntas, que en su

mayoría han sido utilizados en múltiples países del área latinoamericana, destacándose principalmente Cuba, México, Colombia, Argentina y Chile.

2.2. Árido reciclado.

Se denomina árido reciclado a aquella materia que se obtiene mediante el proceso de trituración de residuos de hormigón en plantas desarrolladas a este propósito, con el fin de ser reutilizado en la industria de la construcción. Existen diferentes normativas en cuanto a la composición de estos áridos, pero por lo general se establece que contemplen un contenido mínimo relativo al 80% del hormigón triturado y procesado y presente densidades superiores a 2100kg/m³. De acuerdo a su origen o materia de escombros reciclada se definen en:

Árido reciclado de hormigón: Árido derivado de la trituración, cribado y procesamiento de residuos de concreto de cemento Portland y áridos naturales en Plantas de reciclaje.

Árido reciclado cerámico: Árido provenientes del proceso realizado a residuos con presencia preponderante de material cerámico. Según la normativa holandesa, la densidad del 85% de este árido debe superar los 1600kg/m³ para controlar la porosidad y ligereza en demasía.

Árido reciclado mixto: Árido precisado por la normativa holandesa con un contenido de hormigón superior al 50%, y con densidad seca

por encima de 2100kg/m^3 y jamás se debe exceder la presencia de materiales pétreos reciclados de diferente naturaleza al hormigón del 50%, encerrando también al material cerámico en esta composición, con una densidad seca superior a 1600kg/m^3 . (Rueda Páramo, 2011)

En cuanto a la normativa sobre su uso, diferentes países han realizado ensayos de resistencia y propiedades de material reciclado a base de estos áridos, estableciendo parámetros que a la vez condicionan su utilización.

La siguiente tabla contiene un resumen de estas características por países y por grupos en dependencia de los ensayos realizados.

Tabla 2.1.- Normas internacionales para áridos reciclados.

REQUISITOS	RILEM			Japón			Bélgica		Hong Kong	Alemania				Reino Unido		Australia	Brasil	España
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	GBSB I	GBSB II		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	RCA	RA			
Densidad seca (kg/m ³)	≥1500	≥2000	≥2400	≥2200			≥160	≥2100	≥2000	≥2000		≥1800	≥1500	-	-	≥2100	-	-
Absorción (%)	≤20	≤10	≤3	≤3	≤5	≤7	≤18	≤9	≤10	≤10	≤15	≤20	-	-	-	≤	≤12	≤7
Contenido de material de densidad <2200kg/m ³ (%)	-	≤10	≤10					≤10										
Contenido de material de densidad <1800kg/m ³ (%)	≤10	≤1	≤1				≤10	≤1										
Contenido de material de densidad <1000kg/m ³ (%)	≤1	≤0,5	≤0,5				≤1	≤0,5	≤0,5					≤0,5	≤1			≤1
Contenido de materiales extraños (metales, vidrios) (%)	≤5	≤1	≤1				≤1		≤1					≤1	≤1	≤2	≤3	≤1
Índice de lajas									≤40									
Índice de trituración																<30		
Índice del 10% de finos									100 kN									
Contenido de metales (%)	≤1	≤1	≤1															
Contenido de materia orgánica (%)	≤1	≤0,5	≤0,5				≤0,5											
Contenido de finos (<0,063mm) (%)	≤3	≤2	≤2				<5	<3	<4	<4			<5	<3				
Pérdida por limpieza (%)				≤1												<1		
Resistencia a las heladas (%)				≤12	≤40 / ≤12	-												
Contenido de arenas (<4mm) (%)	≤5								<5									≤5
Contenido de sulfatos (SO ₃) (%)	≤1						<1		<1					≤1	≤1		≤1	≤0,8
Contenido de cloruros (%)							<0,06		<0,05	<0,04		<0,15					≤1	≤0,05
Contenido de asfalto (%)										≤1			≤5	≤10				≤1
Contenido de material cerámico (%)	≤100						≤100			≤30	≤80		≤100	≤100				≤5
Desclasificados inferiores (%)																		≤10

Fuente: (Rueda Páramo, 2011)

2.2.1. Producción del árido reciclado.

Los procesos involucrados en la producción de árido reciclado se llevan a cabo en plantas de tratamiento muy similares a las concebidas para el tratamiento de árido natural, pero con la inclusión de elementos necesarios para realizar la separación de toda impureza o elemento contaminante que pueda presentar el árido recopilado. Como parte de estos procesos se encuentran la selección, la separación y la clasificación del residuo, teniendo en cuenta su composición, volumen y otras características.

2.2.2. Procesamiento.

Los procesos para la separación y obtención del árido reciclado final pueden ser catalogados en cinco puntos fundamentales que plantean los autores mexicanos Jorge Arturo Cruz García y Ramón Velázquez Yáñez en su tesis “Concreto Reciclado”:

Limpieza preliminar y reducción de tamaño: El escombros que se lleva al sistema de reciclado está compuesto en su mayor parte por trozos de concreto con incrustaciones de varillas de refuerzo o malla de alambre. Además, contiene cantidades considerables de madera y en otras cantidades, yeso, plástico y vidrio. En la etapa de limpieza preliminar, mediante la utilización de uno o más bulldozers, se procede a separar las piezas grandes que no constituyen concreto y a través de la utilización de martillos hidráulicos, se reducen los escombros seleccionados.

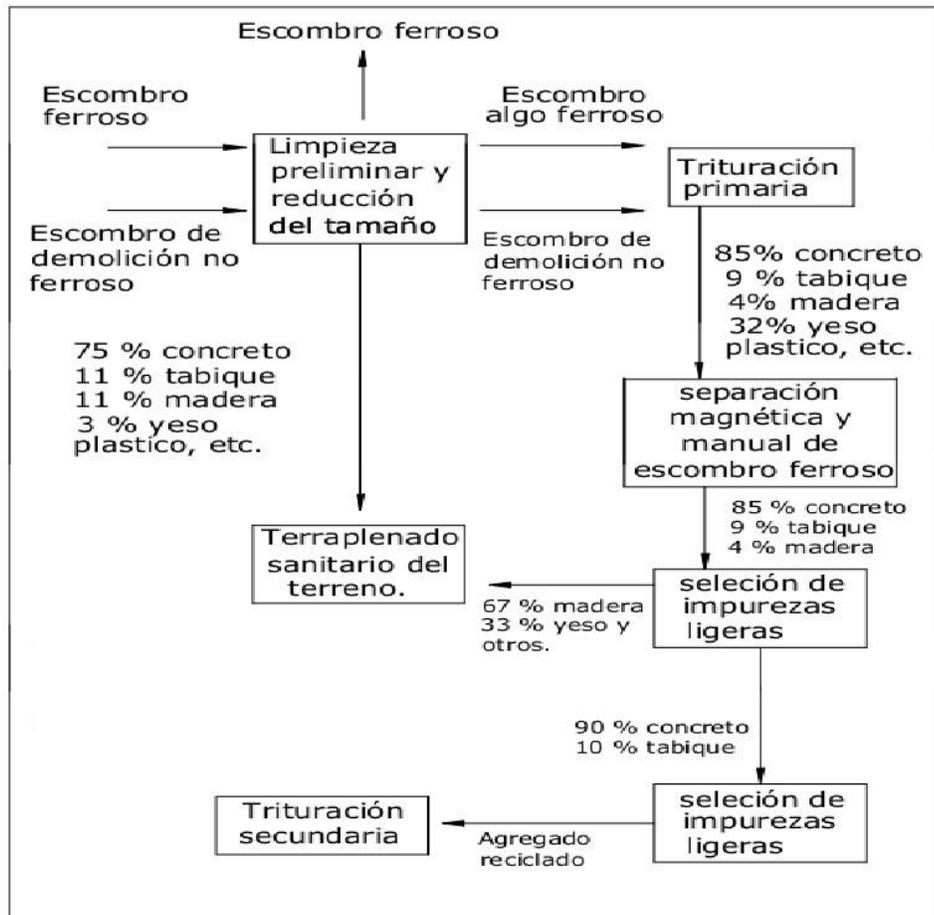
Triturado primario: Al concluir la limpieza preliminar y la reducción de tamaño, se deposita el escombros dentro de una tolva, de la cual se pasa a un tamiz que lo separa en dos categorías: mayores de 10 cm para triturado primario y menores de 10 cm que no lo necesitan. A partir de aquí se comienza la trituración para lo cual las varillas de acero existentes se separan físicamente.

Separación manual y magnética de fragmentos ferrosos: Después del triturado primario, se selecciona manualmente cualquier fragmento ferroso que haya quedado o pasado desapercibido en el proceso anterior y aquellas partículas que no puedan ser percibidas visualmente, se separan mediante la utilización de poleas magnéticas instaladas en las bandas transportadoras.

Selección de impurezas ligeras: Estas comprenden principalmente yeso, en la forma generalmente usada en la construcción, trozos de madera y de plástico. Para la selección se adoptan algunos de los procesos utilizados en la industria de los agregados, por ejemplo, el escurridor helicoidal que separa y selecciona simultáneamente las impurezas ligeras mientras escurre el agregado lavado para que este último pueda pasar directamente al triturado secundario.

Triturado Secundario: Después de salir del escurridor helicoidal, el agregado entra en un tamiz de 3,8 cm y va directo al triturador de cono que se encarga de reducir aún más su tamaño. (Cruz García, Yáñez, & Ramón, 2004)

Figura 2.10.- Procesos de producción de áridos reciclados



Fuente: (Cruz García, Yáñez, & Ramón, 2004)

2.2.3. Demolición selectiva.

La demolición selectiva se encuentra presente en casi todos los procesos de producción de áridos reciclados. En los primeros pasos de limpieza y reducción como se explicó anteriormente, los escombros se separan mediante el uso de martillos neumáticos, disminuyendo su tamaño para garantizar su paso por la primera trituradora en la que a su vez, disminuye su tamaño y termina de separar todas las partículas ferrosas o no, que no

formen parte del concreto granulado a tamizar en próximos pasos. Esta demolición garantiza que el árido esté libre de elementos de vidrio, madera, papel, plástico, entre otros.

2.2.4. Plantas de producción de árido reciclado.

Los áridos reciclados son procesados en dos tipos de plantas: las fijas y las móviles. Por lo general, el trabajo de las plantas consiste en obtener un material granular inferior a 40 mm. En el caso de las plantas fijas, la capacidad de producción en algunos casos supera las 600 toneladas por hora, mientras que las móviles pueden procesar entre 150 y 200 toneladas en el mismo período de tiempo.

Figura 2.11.- Planta de producción de árido reciclado fija.



Fuente: (Rueda Páramo, 2011)

Figura 2.12.- Planta de áridos reciclados móvil.



Fuente: (Rueda Páramo, 2011)

El proceso de producción del árido reciclado en una planta fija puede resumirse en 8 pasos fundamentales, los cuales se describen a continuación, según valoración del autor Rueda Páramo.

1. El residuo mezclado llega en un contenedor. Es descargado en el suelo donde las piezas grandes de madera, paredes aislantes o metales pueden ser extraídos con una grúa. Los bloques grandes se fraccionan con un martillo para conseguir un tamaño adecuado.
2. Transporte del material con las cintas hasta la boca de alimentación.

3. Transporte del material con las cintas hasta el tambor de cribado y separación.

4. Separación de las fracciones 00-40 y 40-80 con el tambor.

5. Separación magnética de la fracción férrea. Cribado fin que separa las fracciones 0-10 y 10-40.

6. Se criban las fracciones 10-40 y 40-80 y se trituran por impacto. Las fracciones ligeras como papel, plástico, poliestireno expandido y goma espuma son separadas con aire y se reúnen en la central de extracción de polvo.

7. Separación manual de la fracción >80. Los materiales separados (metales, papel, cartón, yeso, materiales de aislamiento o plásticos) se pasan a contenedores.

8. Instalación de eliminación de polvo. (Rueda Páramo, 2011)

Estos procesos constituyen una desagregación de los cinco pasos fundamentales planteados por los mexicanos (Cruz García, Yáñez, & Ramón, 2004) y que están presentes en la mayoría de las plantas fijas existentes en la actualidad. Por su parte, las plantas móviles resumen estos procesos a la

trituration y tamización de los áridos, realizándose los procesos de selección y limpieza de forma manual, por lo que obviamente, su capacidad instalada los pone en desventaja con respecto a las plantas fijas. Sin embargo, resulta válido señalar que estas plantas presentan la ventaja de poder trasladarse desde los lugares de acopio hasta la entrega, por lo que resultan bastante eficientes en casos de baja demanda.

2.2.5. Estimación de impurezas.

El reciclaje de áridos requiere en todos los casos una previa determinación de impurezas de las muestras, dado los volúmenes del material y las resistencias solicitadas acorde a los propósitos de reutilización. La presencia de impurezas y contaminantes pueden influir de forma negativa en las propiedades físico mecánicas del hormigón. Estos contaminantes, por lo general, presentan formas y características muy variadas, pero en síntesis se resumen en plásticos, yeso, madera, ladrillo, materia orgánica, vidrio, aluminio, asfalto, entre otros.

Tabla 2.2.- Máximo contenido de impurezas permisible acorde al tipo de elemento.

Elementos	Máximo contenido de la impurezas % total del peso de la muestra
Material cerámico	5
Partículas ligeras	1
Asfalto	1
Otros materiales(Vidrios, Plásticos, Metales, entre otros)	1

Fuente: (HOLCIM, 2011)

De acuerdo con el autor Andrés Rueda Páramo, los procesos de eliminación de impurezas ya catalogadas, se realizan en plantas mediante la utilización de los siguientes equipos y técnicas:

Pantallas: Permiten la separación de los materiales por su tamaño. Para ello, tienen una malla en la superficie de la pantalla a través de la cual los materiales pasan debido a la vibración o la pendiente del equipo.

Clasificación manual: Proceso de selección utilizado principalmente para rechazar las impurezas. Permite seleccionar y apartar los contaminantes de mayor tamaño.

Cribas: Se utilizan para la eliminación de tierra, papel, plástico y otros contaminantes de los residuos para dejar un stock de material pétreo limpio. Mediante el cribado se eliminan las impurezas más pequeñas y se podrán realizar en varias etapas para que resulte más efectivo.

Ventiladores: Utilizados para la eliminación de materiales más ligeros como papel, madera, plástico o cartón mediante uso de herramientas neumáticas. Se pueden aplicar dos variantes: una corriente de aire horizontal que arrastra los materiales ligeros y una corriente vertical con el mismo propósito.

Ciclones: Consiste en la centrifugación para la separación de los elementos más ligeros como papel, madera, plástico y cartón.

Flotación: Separación por vía húmeda efectuada en un baño de agua. Se utiliza el sistema Aquamotor, que hace pasar los materiales a contracorriente.

Separación por infrarrojos: Proceso de selección muy preciso de los materiales no deseados, se realizan mediante la utilización de sensores infrarrojos cercanos (Rueda Páramo, 2011).

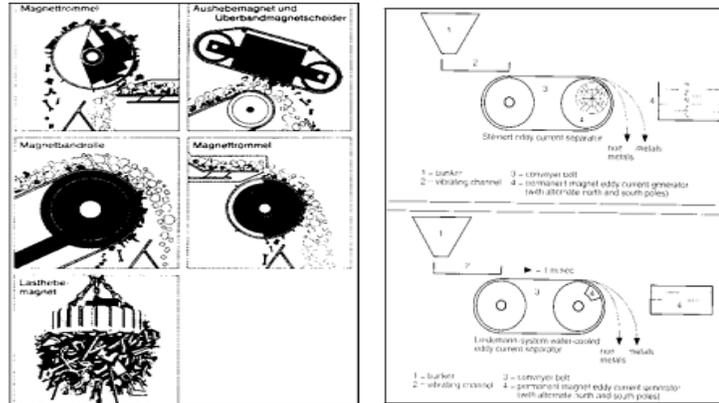
Separación magnética: Se pretende detectar y eliminar los materiales ferrosos debido a que los residuos de demolición contienen importantes cantidades de acero. La separación suele tener lugar justo después de la trituración para que el acero no pueda dañar las cintas transportadoras. El material triturado se transporta por una primera cinta hasta un magneto rotatorio o fijo (Magneto Steinert).

Figura 2.13.- Proceso de eliminación de impurezas por infrarrojo.



Fuente: (Rueda Páramo, 2011)

Figura 2.14.- Magneto de Steinert y separadores de Foucault



Fuente: (Rueda Páramo, 2011)

Separación por Corrientes de Foucault: Entre los residuos ferrosos se pueden encontrar material no magnético como el aluminio, cobre, plomo, zinc y aleaciones. Estos metales se separan mediante corrientes de Foucault, procedimiento que consiste en provocar campos magnéticos variables que crean corrientes de aire, produciéndose la separación por repulsión metales no magnéticos (

Figura 2.14.-).

Recirculación de los agregados: Permite que los agregados que no son de la medida agregada sean devueltos a un punto anterior del proceso para obtener la granulometría idónea o la limpieza adecuada (Rueda Páramo, 2011).

2.2.6. Almacenamiento.

El almacenamiento o acopio de los áridos reciclados se realiza en dos etapas teniendo en cuenta la fase o proceso en la que se encuentre, primero se transporta y almacena en una zona de la planta donde se realiza una inspección previa para determinar la calidad de la materia recuperada, así como la composición aparente y los contaminantes que puedan ser separados manualmente. Luego de los procesos de limpieza, triturado, cribado, magnetización; el material resultante se transporta y concentra en las zonas de acopio, cuidando que no se alteren las características físico-mecánicas y la composición química del árido. Se apila según medidas, o sea, granulometría resultante y dejando lugares de tránsito para camiones y cargadores.

Figura 2.15.- Zona de acopio de áridos reciclados



Fuente: (Banco de Ideas de Negocios Ambientales Sostenibles, 2012)

2.2.7. Sistemas de trituración y cribado.

Se pueden definir los procesos de cribado y trituración del árido en dos pasos fundamentales: primario y secundario. Según el autor Andrés Rueda Páramo, la mayoría de las plantas de tratamiento de áridos realizan estos procesos enfocados en una serie de operaciones descritas a continuación.

Tratamiento primario:

Alimentación al proceso: El material depositado en la tolva es transportado por un alimentador primario hasta el pre-cribado.

Pre-cribado: Separa el material de 0-150 mm del de superior tamaño. El de tamaño inferior cae sobre una cinta primaria y el de tamaño superior avanza hacia el plato de selección.

Selección de voluminosos: El material de tamaño mayor a 150 mm se sitúa sobre un plato de selección donde el personal manipula un brazo grúa para realizar la elección del material de desecho voluminoso y colocarlo según su naturaleza en los contenedores de rechazo.

Molino de impactos: realiza la trituración del material mayor a 150 mm que no ha pasado por las rejillas del cribado en curso o no ha sido

rechazado. El material que sale del molino se incorpora a la cinta primaria junto con el resto.

Over-band: Situada al final de la cinta primaria, realiza la separación de los posibles componentes metálicos del resto de elementos gracias a un campo magnético. El material no imantado pasa al silo de almacenamiento intermedio.

Almacenamiento intermedio: Silo de 100 m³ para la acumulación del material triturado, ya que la velocidad del proceso primario (100 t / h) es superior a la del proceso secundario (75 t / h) y por lo tanto, se hace necesario un regulador para ambos procesos. (Rueda Páramo, 2011)

Sin embargo, Rueda Páramo describe las velocidades teniendo en cuenta la velocidad instalada de las plantas investigadas por él en su tesis. Es necesario señalar que en la actualidad las velocidades de los procesos primario y secundario han aumentado gracias a la incorporación de maquinarias más potente y trituradoras de rotor y cono, así como cintas de cribado capaces de alcanzar mayores revoluciones por minuto.

Tratamiento secundario:

Trommel inicial: Realiza dos cribados: un primero de 00 a 60 mm y un segundo de 60-120 mm.

Selección manual: El material que pasa a través del cribado del trommel inicial, es decir, de tamaño superior a 120 mm se hace pasar por una cinta donde manualmente el personal de producción separa el material de desecho según su naturaleza en tres contenedores (madera, banales y metal). El material restante es nuevamente enviado a la entrada del molino de impactos para volver a triturar hasta llegar al tamaño de salida del sistema.

Trommel final: Realiza un segundo cribado de 20-60 mm en el material de 0-60 mm procedente del primer trommel.

Separadores de aire: Los diferentes materiales obtenidos (20-60 mm y grava de 60-120 mm) se limpian de partículas ligeras mediante separadores de aire o agua. Los fines no se limpian, quedando como material de desecho (0-20 mm).

Separadores por flotación: El material procedente del separador de aire es sumergido en un baño de agua para la eliminación del material menos denso.

Cinta de transporte final: Conduce las diferentes fracciones al lugar de acopio correspondiente. (Rueda Páramo, 2011)

Figura 2.16.- Cintas de cribado y transportación de áridos



Fuente: (Banco de Ideas de Negocios Ambientales Sostenibles, 2012)

Figura 2.17.- Trituradora de rotor y trituradora de cono



Fuente: (Banco de Ideas de Negocios Ambientales Sostenibles, 2012)

2.2.8. Caracterización del árido reciclado.

El árido reciclado se puede caracterizar atendiendo a diferentes parámetros entre los que se cuentan como principales: granulometría, forma y textura superficial, así como sus propiedades físicas, mecánicas o químicas.

2.2.8.1. Granulometría.

Según los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio por diversos investigadores del tema, se demuestra que las granulometrías logradas pueden llegar a ser similares a las del árido natural. Las investigaciones de Mendoza (2008) muestran distribuciones granulométricas obtenidas con trituradoras de cono y rotor con escombros de concreto y albañilería, mostradas a continuación en tablas.

Tabla 2.3- Distribución granulométrica y % de partículas finas en el triturado de escombros de concreto

Fraccionado de desechos de concreto		Moledora de cono	Moledora de rotor
No de clase	Dp (cm)	Partículas finas (%)	Partículas finas (%)
1	0.95	100	100
2	0.476	100	100
3	0.238	88	89
4	0.119	66	70
5	0.059	45	48
6	0.029	25	28
7	0.015	7	9
Promedio de partículas finas		1.75%	2.05%

Fuente: (Mendoza, 2008)

Tabla 2.4.- Distribución granulométrica y % de partículas finas en el triturado de escombros de albañilería

Triturado de escombros de albañilería		Trituradora de cono	Trituradora de rotor
No de clase	Dp (mm)	Vi (%)	Vi (%)
1	9.520	100	100
2	4.760	100	100
3	2.380	89	93
4	1.190	67	76
5	0.590	46	53
6	0.297	28	34
7	0.149	12	15
Promedio de partículas finas		3.14%	4.04%

Fuente: (Mendoza, 2008)

Los coeficientes Dp se refieren a la distribución granulométrica promedio de cada muestra, mientras que Vi hace referencia al porcentaje de material retenido en los tamices según el tipo de trituradora.

2.2.8.2. Forma y textura superficial.

Producto del contenido de mortero adherido en el árido reciclado, su coeficiente de forma es mayor que el del árido natural, con la tendencia a resultar más redondos. De acuerdo al ensayo de índice de lajas, estos presentan valores inferiores que los naturales, producto de que la pasta de mortero que permanece pegada en las caras tiende a aumentar su densidad, disminuyendo los valores del índice hasta valores de 7-9%, ubicados en rango óptimo de acuerdo con las especificaciones de la EHE que fija los valores máximos en un 35%.

La forma determina la manejabilidad de las mezclas, por lo que el árido resultante con forma redonda propicia mezclas más dóciles con mayores resistencias. En este caso, los áridos machacados resultan menos manejables pero garantizan mayores resistencias a flexotracción, característica que los convierte en idóneos para el uso en elementos verticales como vigas, losas o elementos horizontales como el caso de paneles sometidos a estos esfuerzos por el largo de su cara principal.

2.2.8.3. Propiedades físicas.

En investigaciones recientes, se ha llegado a demostrar que las propiedades físicas del hormigón elaborado con adiciones de árido reciclado, garantizan resistencias mayores a esfuerzos como la flexotracción, debido a los altos índices de adherencia que estos adquieren como resultante de los procesos de reciclaje. No obstante, a estos efectos la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN 872: 2011) en su primera revisión específica las concordancias ideales de acuerdo a las características físicas por composición de árido reciclado contra el tipo o ubicación de elementos de hormigón.

Tabla 2.5.- Límites para sustancias perjudiciales y requerimientos de propiedades físicas para el árido grueso del hormigón.

Designación de clase	Tipo o ubicación de la construcción de hormigón	Máximo permisible, %						
		Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	Chert ^D (gr. esp. SSS menor de 2,40)	Total de terrones de arcilla, partículas desmenuzables y chert (gr. esp. SSS menor de 2,40)	Material más fino que 75 µm	Carbón y lignito	Valor de la degradación (%) ^A	Solidez de los áridos mediante el sulfato de magnesio (5 ciclos) ^B
Condición de intemperismo severo								
1S	Zapatas, fundaciones, columnas y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10,0	---	---	1,0 ^C	1,0	50	---
2S	Pisos interiores sin revestimiento	5,0	---	---	1,0 ^C	0,5	50	---
3S	Muros de fundación sobre el nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5,0	5,0	7,0	1,0 ^C	0,5	50	18
4S	Pavimentos, tableros de puentes, caminos y bordillos, senderos, patios, pisos de garaje, pisos expuestos y terrazas o estructuras frente al agua, sujetas a humedecimiento continuo.	3,0	5,0	5,0	1,0 ^C	0,5	50	18
5S	Hormigón arquitectónico expuesto	2,0	3,0	3,0	1,0 ^C	0,5	50	18
Condición de intemperismo moderado								
1M	Zapatas, fundaciones, columnas, y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10,0	---	---	1,0 ^C	1,0	50	---
2M	Pisos interiores sin revestimiento	5,0	---	---	1,0 ^C	0,5	50	---
3M	Muros de fundación sobre el nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5,0	8,0	10,0	1,0 ^C	0,5	50	18
4M	Pavimentos, tableros de puentes, caminos y bordillos, senderos, patios, pisos de garaje, pisos expuestos y terrazas o estructuras frente al agua, sujetas a humedecimiento continuo	5,0	5,0	7,0	1,0 ^C	0,5	50	18
5M	Hormigón arquitectónico expuesto	3,0	3,0	5,0	1,0 ^C	0,5	50	18
Condición de intemperismo nulo								
1N	Losas sujetas a la abrasión del tráfico, tableros de puentes, pisos, senderos, pavimentos	5,0	---	---	1,0 ^C	0,5	50	---
2N	Todas las demás clases de hormigón	10,0	---	---	1,0 ^C	1,0	50	---

^A Se excluyen de los requisitos del valor de la degradación de la escoria de altos hornos enfiada al aire y triturada. La masa unitaria de escoria de altos hornos enfiada al aire y triturada, obtenida mediante el procedimiento por varillado o mediante el procedimiento por sacudidas, no debe ser menor que 1 120 kg/m³. La granulometría de la escoria utilizada en el ensayo de masa unitaria debe ajustarse a la granulometría que se utilizará en el hormigón. Se debe determinar el valor de la degradación de la grava, grava triturada o piedra triturada en el tamaño o tamaños de ensayo más aproximados con la granulometría o granulometrías que se utilizarán en el hormigón. Cuando se vaya a utilizar más de una granulometría, se debe aplicar el límite del valor de la degradación a cada una.

^B El límite admisible para la solidez, cuando se utiliza sulfato de sodio, debe ser de 12%.

^C Este porcentaje bajo cualquiera de las siguientes condiciones: (1) puede ser aumentado en 1,5 si el material está esencialmente libre de arcilla o lutita o (2) si se conoce que la fuente del árido fino que va a ser utilizado en el hormigón contiene menos que la cantidad máxima especificada que pasa el tamiz de 75 µm (ver tabla 1). Se puede aumentar el límite del porcentaje (L) de la cantidad en el árido grueso a $L = 1 + [(P)/(100 - P)](T - A)$, donde P = porcentaje de arena en el hormigón como un porcentaje del árido total, T = límite indicado en la tabla 1 para la cantidad permitida en el árido fino y A = cantidad real en el árido fino. (Esto proporciona un cálculo ponderado diseñado para limitar la cantidad máxima de material que pasa el tamiz de 75 µm en el hormigón, a aquel que se obtendría si los áridos, fino y grueso, fueran suministrados con el porcentaje máximo tabulado para cada uno de estos ingredientes).

^D También conocido como Horsteno.

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)

Por otra parte, de acuerdo con la investigación de la Dra. Martínez Fernández:

Las propiedades físicas de los áridos reciclados se relacionan directamente con el producto del hormigón que tras el proceso de molido, es una mezcla de áridos gruesos y finos. La obtención de árido grueso oscila del 70% al 90% de la masa total del hormigón inicial. La fracción gruesa cumple con la distribución granulométrica adecuada para casi todas las aplicaciones constructivas de material granular, hasta en la producción de un nuevo hormigón, aunque suelen presentar un mayor porcentaje de desclasificados inferiores. Los áridos reciclados tienen semejante coeficiente de forma al de los áridos naturales. (Martínez Fernández, 2013)

2.2.8.4. Propiedades mecánicas.

Las principales características que definen las propiedades mecánicas de un hormigón elaborado con árido reciclado son la absorción, porosidad y resistencia mecánica que pueda presentar el material. A estos efectos se realizan una serie de ensayos encaminados a determinar el grado de asentamiento de la mezcla mediante el cono de Abrahams y la resistencia a través de prensado de probetas seleccionadas en obra realizado en diferentes etapas de fraguado de la mezcla.

Figura 2.18- Ensayos de asentamiento y resistencia de muestras.



Fuente: (Lomas, m. 2014)

De acuerdo con las investigaciones realizadas en el 2011 por la ingeniera chilena Julie Anne Chauveinc:

Los áridos reciclados tienen como propiedad crítica principal su alto nivel de absorción: la demanda de agua y el consumo de cemento del hormigón fresco con árido reciclado son siempre mayores que los de hormigón hecho con grava natural. Esto se debe a la presencia de mortero y otras sustancias adheridas a la superficie de las partículas del árido, que tienden a aumentar la absorción de los áridos al ser menos puros. De hecho, el antiguo mortero que queda pegado a la superficie del árido virgen es la principal causa de muchas de las debilidades del árido reciclado. En relación con la porosidad y la absorción del hormigón hecho con una misma dosificación, estas dos propiedades aumentan en el hormigón reciclado, dependiendo de la porosidad y de la absorción del hormigón del cual provienen los áridos reciclados. No obstante, de manera general, se considera que el árido reciclado incluye material más poroso que un árido normal, debido a su formación y a la presencia de mortero adherido a su

superficie. Por otra parte, la densidad del hormigón con áridos reciclados es siempre inferior (hasta un 20% menor) que la del hormigón de referencia, tanto como el módulo de elasticidad (entre un 15 y un 40%). Finalmente, la resistencia a la compresión no varía de manera significativa si se reemplaza menos de un 30% del árido natural por árido reciclado; si se incorpora una fracción mayor de árido reciclado estos parámetros pueden disminuir hasta en un 20%. De la misma manera, reemplazando hasta un 20% del árido, la retracción y la fluencia no varían significativamente, aunque pueden aumentar hasta un 50% en promedio si el 100% del árido es reciclado. (Chauveinc, 2011)

2.2.8.5. Propiedades químicas.

Las principales propiedades químicas de los áridos reciclados están dadas por los contenidos de cloruros, dióxido de carbono, azufre y alcalinos en el cemento adherido en las partículas. Se ha logrado determinar a través de ensayos, que las muestras de mayor tamaño presentan menores contenidos de estos que los residuos pequeños que dada sus altas concentraciones resultan menos provechosos para la elaboración de hormigones (Mendoza, 2008).

Los áridos reciclados contienen elevadas cantidades de sulfatos, dada la añadidura del mortero adherido, así como los remanentes de materia contaminante como el yeso, cuando el hormigón procede de demoliciones en edificaciones con altos contenidos del mismo. Al respecto, Mendoza (2008) expone lo siguiente:

El empleo de áridos reciclados puede beneficiar las reacciones álcali-árido en el concreto, puesto que, la pasta de cemento adherida en al árido reciclado aporta mayor contenido de álcalis. Por otra parte, se dificulta el control de la reactividad en los áridos, debido a la heterogeneidad y múltiple procedencia de este tipo de áridos, por lo que se deberá conocer el origen de los áridos reciclados para utilizarlos en ambientes húmedos que favorezcan este tipo de reacción.

Incuestionablemente atendiendo a la clase de impureza, otras reacciones químicas pudieran ocurrir como el ataque por sulfatos (yeso), la reacción álcali-árido (vidrio), elevada retracción (suelos arcillosos), desconchados superficiales (madera o papel), o inadecuado comportamiento ante las heladas (algunos cerámicos). (Mendoza, 2008)

2.3. Poliestireno expandido.

El poliestireno fue aislado originalmente en el año 1831 a través de la elaboración industrial de la corteza de árboles. El proceso de obtención de este material ha ido evolucionando con el desarrollo de la industria petrolera, recurso del cual se obtiene hoy en día mediante procesos de síntesis que tienen sus antecedentes en la empresa alemana BASF, que por iniciativa del Dr. F. Stastny decidió comenzar la producción en serie del poliestireno expandido en la década de 1950, con el fin de ser utilizado como aislante dentro de la misma planta, al percatarse de que a pesar de su ligereza, el

compuesto presentaba características óptimas para el aislamiento acústico y térmico.

2.3.1. Definiciones.

El término original en inglés utilizado para el poliestireno fue EPS por sus siglas *Expanded PolyStyrene*, técnicamente se le conoce como “material plástico celular y rígido, fabricado a partir del modelo de perlas pre-expandidas de poliestireno expandible” (Environmental Protection Agency, 1995).

Al someter las perlas pre-expandidas a elevadas temperaturas a través del vapor de agua, el pentano pasa a su estado gaseoso expandiendo las perlas hasta 50 veces su volumen inicial, en un primer ciclo. Luego de ser almacenadas, las perlas pre -expandidas, en una segunda etapa se imponen a vapor confinadas en moldes herméticos, expandiéndose nuevamente hasta fundirse entre sí para formar piezas específicas, según los moldes, resultando listo para su inserción en el mercado. (Martínez Martínez, 2012)

Este material desde su creación ha presentado una gran variedad de usos que le ha concedido popularidad en múltiples industrias, entre las que se cuenta la construcción. Dada su diversidad de aplicaciones ha recibido diferentes denominaciones en el área hispanoparlante, siendo algunas de ellas Telgopor en Argentina, Plastoformo en Bolivia, Isopor en Brasil, Icopor en Colombia, Estereofón en Costa Rica, Plumavit en Chile, Poliespuma en

Cuba, Espuma-flex en Ecuador, Durapax en El Salvador, Poliespan en España, Poliestireno en México, entre otros (NOVA Chemicals, 2005).

Figura 2.19.- Poliestireno expandido



Fuente: (NOVA Chemicals, 2005)

2.3.2. Obtención de materia prima.

El proceso de obtención del poliestireno expandido resulta a partir de la transformación del poliestireno expandible. Este material plástico celular y rígido contiene altos índices de pentano, que actúa como agente expansor. Al igual que el resto de los plásticos, es un derivado del petróleo y el gas natural que procesados dan lugar al etileno y diversos compuestos aromáticos, de los cuales se obtiene el estireno, monómero que junto al pentano comienza un proceso de polimerización reactiva en presencia de agua, originando el poliestireno expandible.

2.3.3. Proceso de evolución para transformar el poliestireno expandido.

Martínez (2012) simplifica el proceso de transformación del poliestireno expandible en cuatro pasos fundamentales (Figura 2.20):

1°: Pre expansión

La materia prima es enardecida en las máquinas pre-expansoras, utilizando el vapor de agua a temperaturas entre 80 – 100 ° C. Según la temperatura y el tiempo de exposición a la misma, la densidad aparente del material se reduce de 630 kg/m³ a valores comprendidos entre 10 – 30 kg/m³. Durante la pre expansión, las perlas compactas de la materia prima se transforman en perlas de plástico celular con pequeñas celdillas cerradas rellenas de aire en su interior.

2°: Reposo intermedio y estabilización

Durante el proceso de enfriamiento, al interior de las partículas recién expandidas se crea un vacío que es necesario compensar a través de la introducción de aire por difusión. Para ello, se mantiene el material en silos ventilados al menos durante 12 horas. De este modo las perlas mejoran tanto su estabilidad mecánica, como su capacidad de expansión, situación favorable para la próxima etapa de transformación. La materia prima pre expandida puede someterse a una segunda pre-expansión o pasar directamente al proceso de transformación en dependencia de la densidad aparente alcanzada.

3°: Proceso de transformación

Bloque

La perla expandida se somete a un proceso de fusión, que se consigue mediante la introducción de vapor de agua durante un periodo variable según la densidad aparente de la pieza a obtener. Este proceso se logra en una autoclave, de la cual después de un proceso de estabilización sale de la máquina un bloque.

Moldeado

El moldeado es un proceso análogo al del bloque, solo que en éste en molde tiene la forma exacta de la pieza que se desea fabricar. En este proceso el material se vierte en el molde y es fusionado a través del incremento de temperatura.

4°: Corte mecanizado

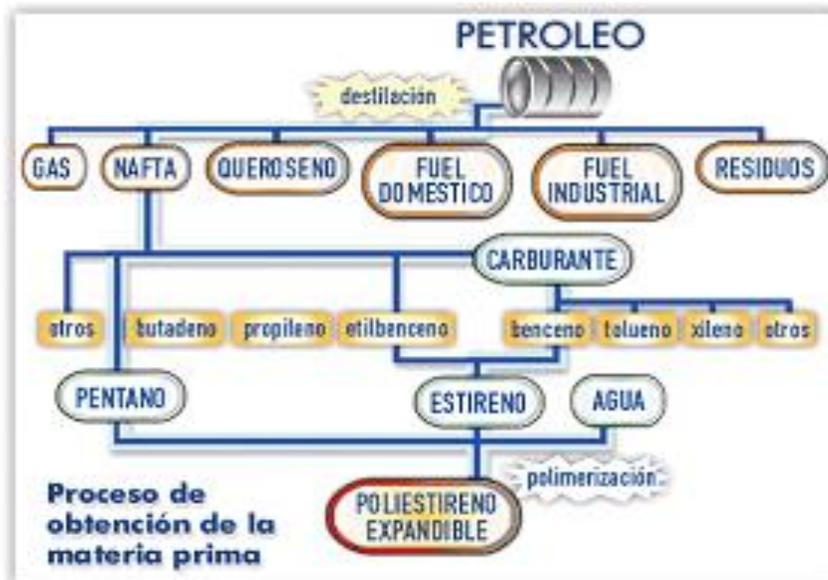
Corte en recto

Los bloques de poliestireno expandido obtenidos se rebanan en planchas como fase culminante del proceso de fabricación para ofrecer el producto al consumidor. Dicho proceso ejecuta en una mesa de corte que acciona en tres dimensiones utilizando la disposición de un sistema de hilos calientes que rebana en planchas como sea posible según las medidas requeridas. El tamaño final de cada plancha se ajusta a las necesidades de los clientes.

Corte en formas

Para los cortes en formas complejas, el bloque se labra en pantógrafos de control numérico, mediante los cuales se ejecutan cortes en dos dimensiones. (Martínez Martínez, 2012)

Figura 2.20.- Proceso de obtención del poliestireno expandido



Fuente: (Martínez Martínez, 2012)

2.3.4. Propiedades físicas.

Dentro de las propiedades físicas fundamentales del poliestireno, se encuentran la densidad y color fundamentalmente. Con respecto a la primera, este compuesto posee la característica de ser ligero, pero resistente y puede ser clasificado de la manera siguiente:

El poliestireno se cataloga en función de la aplicación según su densidad, que oscila entre 10 kg/m^3 hasta 35 kg/m^3 . Una serie de tipos se normalizan en la UNE 92.110 que se establecen en función de la densidad. En números romanos se instituye la clasificación según su tipo, son análogo a las franjas de coloración verde, azul, amarilla y negra; de igual forma los números inferiores permiten diferenciarlos por su densidad. Mediante la presencia de franjas de color rojo se indica su reacción ante el fuego, en este caso M1 auto-extinguible según la norma UNE 23727 (Martínez Martínez, 2012).

Figura 2.21.- Clasificación del poliestireno expandido teniendo en cuenta su densidad.



Fuente: (Martínez Martínez, 2012)

Con respecto al color natural, el poliestireno expandido, en toda su variedad, presenta coloración blanca, dado el alto índice de refracción luminosa.

Producto de esta característica, es conocido en muchas ocasiones como “corcho blanco”.

2.3.5. Propiedades mecánicas.

La principal propiedad mecánica a evaluar en el caso del poliestireno es su resistencia. Esta se estudia generalmente teniendo en cuenta los siguientes indicadores:

- Resistencia a compresión para una deformación del 10%.
- Resistencia a tracción.
- Resistencia a flexión.
- Resistencia a la cizalladura o esfuerzo cortante. (NOVA Chemicals, 2005)

Las propiedades anteriores son chequeadas para productos de poliestireno que trabajen en presencia de diferentes tipos de carga. Algunos de estos productos se elaboran con función de suelos, paneles para muros, bovedillas para cubierta y relleno en cimientos en forma de balsa.

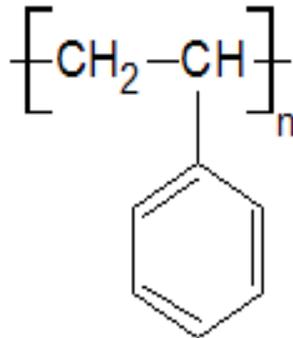
La experiencia demuestra que la deformación del EPS en estas aplicaciones es menor al 10 % exigido. Este parámetro se seleccionó para tener repetitividad en los resultados ya que la deformación por fluencia de compresión de los productos de EPS no superan el 2 %, después de 50 años, siempre que la tensión permanente de

compresión sea de 0,30 Kpa. Para cada tipo de materia prima, las propiedades mecánicas y la densidad del material tienen relación directa. (Martínez Martínez, 2012)

2.3.6. Propiedades químicas.

Químicamente el poliestireno se comporta de manera estable frente a muchos productos. Su representación se muestra como sigue:

Figura 2.22.- Representación química del poliestireno expandido.



Fuente: (NOVA Chemicals, 2005)

A continuación se muestra una tabla con información detallada sobre el comportamiento y la estabilidad química del poliestireno expandido.

Tabla 2.6.- Estabilidad química del poliestireno frente a varias sustancias

Sustancia		Sustancia		Sustancia	
Agua	+	Ácidos débiles:		Acrilonitrilo	-
Agua del mar	+	Ácido carbónico	+	Cetonas	-
Lejías:		Ácido crítico	+	Diluyentes para lacas	-
Agua amonacal	+	Ácido húmico	+	Dimetilformamida	-
Agua de cal	+	Ácido láctico	+	Ester	-
Lejías blanqueantes	+	Ácido tartárico	+	Eter	-
Potasa cáustica	+	Gases:		Hidrocarburos	-
Soluciones jabonosas	+	a)Inorgánicos:		Halógenos	-
Sosa cáustica	+	Amoniacó	-	Tetrahidrofurano	-
Ácido diluidos:		Bromo	-	Mat.Const.Inorgánicos:	
Ácido acético,50%	+	Cloro	-	Anhidrita	+
Ácido clorhídrico,7%	+	Dióxido de azufre	-	Arena	+
Ácido clorhídrico,18%	+	b)Orgánicos		Cal	+
Ácido fluorhídrico,4%	+	Butadieno	-	Cemento	+
Ácido fluorhídrico,40%	+	Butano	-	Yeso	+
Ácido fórmico,50%	+	Buteno	-	Mat.Const.Órganicos:	
Ácido fosfórico,7%	+	Etano	+	Bitumen	+
Ácido fosfórico,50%	+	Eteno	+	Bitumen frio	+
Ácido nítrico,13%	+	Etino	+	Masilla base acuosa	+
Ácido nítrico,50%	+	Gas natural	+	Masilla base disolvente	-
Ácido sulfúrico,10%	+	Metano	+	Hidrocar.aromáticos:	
Ácido sulfúrico,50%	+	Óxido de propileno	-	Benceno	-
Ácidos concentrados:		Propano	+	Cumeno	-
Ácido acético,96%	-	Propeno	+	Estireno	-
Ácido clorhídrico,36%	+	Gases licuados:		Etibenceno	-
Ácidos fórmico,99%	+	a)Inorgánicos:		Fenol,sol.Acu 1%	+

Ácido nítrico, 65%	+	Amoniaco	+	Fenol, sol. Acu 33%	+
Ácido propiónico, 99%	-	Dióxido de azufre	-	Tolueno	-
Ácido sulfúrico, 98%	+	Gases nobles	+	Xileno	-
Ácido fumantes:		Hidrógeno	+	Vapores de:	
Ácido nítrico	-	Nitrógeno	+	Alcanfor	-
Ácido sulfúrico	-	Oxígeno	+	Naftalina	-
Anhídridos:		b) Orgánicos:			
Anhídrico acético	-	Butano	-		
Dióxido de carbono	+	Buteno	-		
Trióxido de azufre	-	Butadieno	-		
		Etano	+		

+ Sin variación

- Fuerte variación

Fuente: (Martínez Martínez, 2012)

2.3.7. Propiedades biológicas.

Una de las principales características biológicas del poliestireno expandido, es su imputrescibilidad, pues no constituye fuente nutritiva para microorganismos, aunque vale destacar que la suciedad acumulada en sus superficies puede servir de asentamiento para colonias de insectos y microorganismos.

Además, resulta inmune al ataque de bacterias, por lo que todos los productos de poliestireno resultan respetuosos con las normas de higiene y sanidad establecidas. Característica por la cual se suele utilizar en la fabricación de embalajes de bienes comestibles.

Otro de los beneficios que presenta es su estabilidad estructural frente al aumento de temperatura, resulta indeformable ante temperaturas inferiores a los 85°C. No se descompone y tampoco produce emisión de gases tóxicos.

2.3.8. Resistencia al fuego.

El poliestireno está compuesto como ya se mencionó, por polímeros del estireno, conteniendo mezclas de hidrocarburos con bajos puntos de ebullición. A pesar de estos bajos puntos, resultan materiales combustibles, pues sus hidrocarburos pueden volatilizarse durante los procesos de transformación.

En cuanto al cuidado y prevención de posibles contracciones, por aumentos excesivos de temperatura, la autora Martínez (2012) resume:

De ser necesario el uso de estos productos antes de cumplir esta fase de almacenamiento, se tomarán medidas de prevención contra incendios. La exposición a temperaturas superiores a 100°C, de los productos de poliestireno expandido, produce el reblandecimiento lento y la contracción, y finalmente su fundición con un mayor incremento de la temperatura. La exposición prolongada a estas temperaturas, produce la emisión de productos de descomposición de tipo gaseoso e inflamable. Estos productos de descomposición térmica no se inflaman mientras no se alcancen temperaturas superiores a 400°C. La amplitud, la intensidad y duración del incendio se relacionan directamente con los diferentes tipos de

materia prima utilizadas en la fabricación de poliestireno expandido, y con sus propiedades concretas, y a su vez estas determinan el comportamiento ante el fuego del producto final. Es entonces que se pueden clasificar según dos grupos: el de tipo estándar (M4) y el auto extingible (M1). El primer grupo comprende a los materiales de poliestireno tratados con productos ignífugos, y que al exponerse al fuego, en principio se contrae. Se incendiará exclusivamente por la exposición prolongada y la velocidad de propagación será muy baja y de manera superficial. Un material con clasificación M4, es un material combustible y fácilmente inflamables, con elevado coeficiente de combustibilidad y emite gases que causan que el material prenda con alta probabilidad. Para calibrar las diferentes situaciones de riesgo ante los incendios que comporta el uso del poliestireno expandido, deben tenerse en cuenta factores derivados de sus contenido, forma y entorno. Así, se modifica favorablemente este comportamiento utilizando otros productos con diferente comportamiento en recubrimientos y revestimientos. Hecho de común aplicación en el mundo de la construcción. (Martínez Martínez, 2012).

2.4. Hipótesis

Para la presente investigación se plantea la siguiente hipótesis:

La utilización de escombros y desperdicios de construcción, combinados con poliestireno expandido resulta factible para el diseño y elaboración de paneles prefabricados de bajo costo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y ESTUDIO EXPERIMENTAL

3.1. Metodología

Para la mejor comprensión de esta investigación del desarrollo de un panel prefabricado para la construcción a partir de agregados reciclados de residuos y escombros de construcción y demolición, (RCD) con poliestireno expandido, a continuación se describen los pasos realizados que han servido como base para alcanzar los objetivos esperados.

Los residuos y escombros de construcción y demolición fueron provenientes de mamposterías de bloques de concreto, ladrillos y arcillas, combinados con poliestireno expandido, así como de elementos de concreto estructural para su uso como agregados gruesos en la elaboración de paneles prefabricados.

Este trabajo se inicia con la elaboración de varias mezclas, en primer lugar sin aditivos.

Se partió de mezclas que ya han sido probadas en el medio como por ejemplo en el Laboratorio “Ing. Dr. Arnaldo Ruffilli”, de la Universidad de Guayaquil, en donde se realizaron algunas experiencias a cargo de la Dra. Carmen Terreros de Varela quién ha ensayado mezclas para hormigones

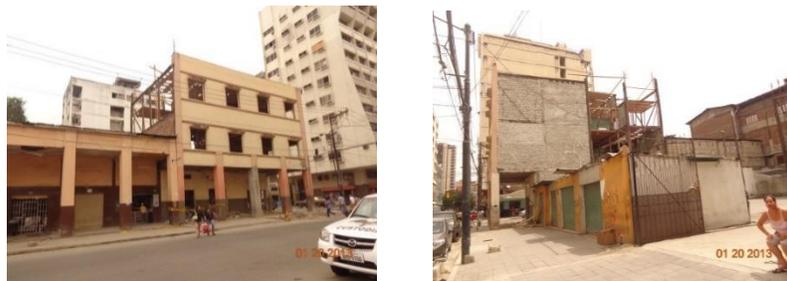
ligeros con dosificaciones 1:3:3 Cemento: Arena: Piedra Pómez (T.M.A.: 1”, obteniendo f'c (90 días) 154.00 k/cm², utilizando 12,5 kg de cemento y 13 litros de agua. Libro de Materiales de Construcción, Ing. Carmen Terreros Junio 2006.

Figura 3.1.- El Edificio del Ministerio de Agricultura en Guayaquil que fue demolido y sus escombros transportados en volquetas hacia áreas periféricas de Durán.



Fuente : (Lomas, m. (2014))

Figura 3.2.- Edificación Mixta en demolición



Fuente: (Lomas, m. (2014))

Figura 3.3.- Triturado manual de los escombros de demoliciones y construcciones



Fuente: (Lomas, m. (2014)

Figura 3.4.- Muestras de escombros luego del triturado manual



Fuente: (Lomas, m. (2014)

En éste trabajo se usó la misma dosificación 1:3:3 que en volumen corresponde a 1 parte de cemento ($12,5 \text{ Kg/M}^3$), 3 partes de arena normalizada ($37,5 \text{ Kg/M}^3$) y las 3 partes del agregado grueso natural es reemplazado por 25 kg/M^3 de escombros y $12,5 \text{ kg/M}^3$ de poliestireno expandido.

Para el desarrollo de esta investigación se realizó un proceso que se puede clasificar en varias etapas:

1. Identificar la materia prima que se obtuvo de la demolición de residuos y escombros de construcción combinados con poliestireno expandido.

2. Transformación de la materia prima para obtención del árido grueso a utilizar en la elaboración del hormigón, caracterizándola física y químicamente.
3. Diseño de mezclas de hormigón con RCD combinados con poliestireno expandido para caracterizarlo, sin aditivo y con aditivo y luego evaluar cuál es la más apropiada en cuanto a resistencia a diversos esfuerzos así como también a la manipulación, traslado, apilamiento y colocación.
4. Elaboración de los paneles prefabricados utilizando las mezclas de hormigones con RCD y poliestireno expandido.
5. Evaluación de los resultados obtenidos y selección de las mezclas idóneas no sólo en cuanto a resistencias a diversos esfuerzos sino también a aislamiento térmico.
6. Elaboración de un análisis comparativo de costos entre los paneles prefabricados que se comercializan en nuestro medio (DITELME) y el nuevo panel RCD con poliestireno expandido.

Se procedió entonces a probar con la dosificación 1:3:3, que corresponde a 1 parte de cemento, 3 partes de arena normalizada y las 3 partes del agregado grueso natural se las compartió con un 66,66 % de escombros de demoliciones y construcciones, primero en un 100 % y luego de acuerdo a los resultados que se obtuvieron en los diferentes ensayos se fue disminuyendo paulatinamente ese 100% de escombros a un 75, 50 y 25 %.

El otro 33,34 % del agregado grueso natural se lo reemplazó con poliestireno expandido. Este porcentaje sí se lo mantuvo en todas las combinaciones que se realizaron, pues las características que aporta el poliestireno expandido al hormigón son el aislamiento térmico y acústico, características que tenían que ser aprovechadas en nuestro panel.

Para la experimentación se solicitó el apoyo de los laboratorios RUFILLI, ESPOL y CTH, y se comenzó a probar diferentes mezclas para evaluar después cuál era la idónea para ser utilizada para fabricar el panel para pared.

A continuación de muestra cómo se hicieron dichas combinaciones. Es necesario recalcar que el material de escombros que se utilizó como materia prima se procedió a triturar manualmente, obteniéndose tamaños entre 4 y 19 mm aproximadamente y posteriormente se los ensayó según la Norma ASTM C 39/C39M-01 para la prueba de compresión.

Cuadro 3.1.- Ensayo 1 por volumen 1:3:3

FECHA	PESO	DENSIDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ROTURA			OBSERVACIÓN
			CARGA kg	σ kg/cm ²	$\sigma^*1.1$	
DE MOLDEO: 24/05/2014	gr	kg/m ³				*Se usó Plywood
3 DIAS 27/05/2014	3125	1,989	1960	24,955	27,45098	
7 DIAS 31/05/2014	3133	1,995	2700	34,377	37,81513	
14 DIAS 07/06/2014	-	-	-	-	-	
23 DIAS 16/06/2014	3194 3186	2,033 2,028	2376,6 2805	30,260 35,714	33,28571 39,28571	
28 DIAS 21/06/2014	3156 3132	2,009 1,994	3488,4 3763,8	44,416 47,922	48,85714 52,71429	
42 DIAS 05/07/2014	3188,8 3186,8	2,030 2,029	3430 3710	43,672 47,237	48,03922 51,96078	
60 DIAS 23/07/2014	3157,5	2,010	4,100	52,200	57,42	

Fuente: (Lomas, m. 2014)

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Descripción.- Resultados de cilindros de la mezcla 1: cemento, arena normalizada, escombros de demoliciones de mampostería de ladrillo, poliestireno y agua. Rev. = 4,6 cm

Cuadro 3.2.- Ensayo 2 por volumen 1:3:3

FECHA	PESO	DENSIDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ROTURA			OBSERVACIÓN
			CARGA kg	σ kg/cm ²	$\sigma^{*1.1}$	
DE MOLDEO: 31/05/2014	gr	kg/m ³				*Se usó Plywood
3 DIAS 03/06/2014	3066,7	1,952	1998	25,439	27,98319	
16 DIAS 16/06/2014	3096,5 3100	1,971 1,974	3406,8 3457,8	43,377 44,026	47,71429 48,42857	
23 DIAS 23/06/2014	3102 3112	1,975 1,981	3937,2 3437,4	50,130 43,766	55,14286 48,14286	
28 DIAS 28/06/2014	3115,9 3089,5	1,984 1,967	3400 3750	43,290 47,746	47,61905 52,52101	
60 DIAS 30/07/2014	3060,3	1,948	3351,8	42,676	46,94398	

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Descripción.- Resultados de ensayos de cilindros de la mezcla 1: cemento, arena normalizada, escombros de demoliciones de mampostería de ladrillo, poliestireno y agua. Rev. = 5,5 cm

Cuadro 3.3.- Ensayo 3 por volumen 1:3:3

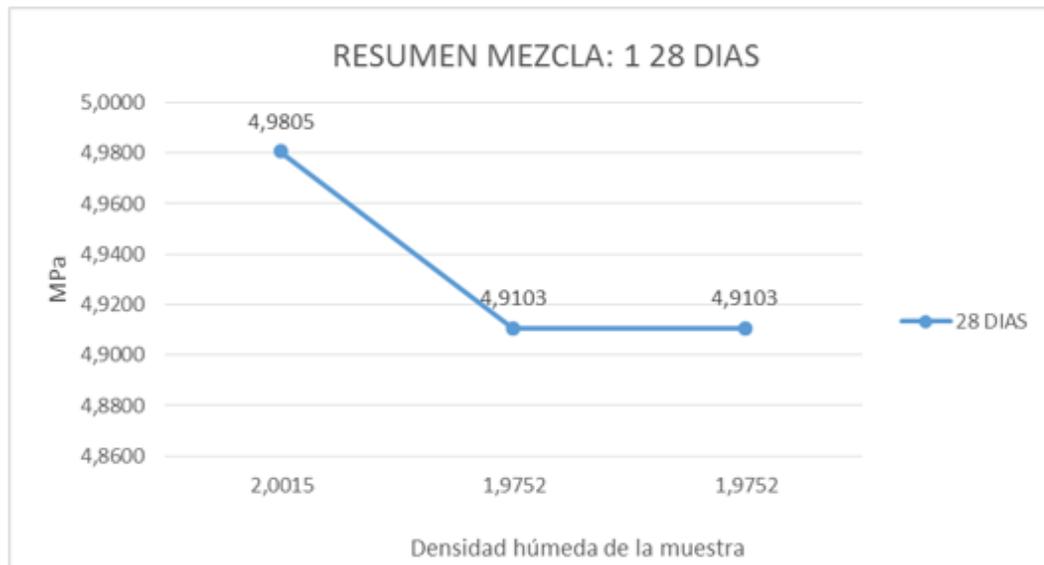
FECHA	PESO	DENSIDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ROTURA			OBSERVACIÓN
			CARGA kg	σ kg/cm ²	$\sigma^{*1.1}$	
DE MOLDEO: 21/06/2014	gr	kg/m ³				*Se usó Plywood
3 DIAS 24/06/2014	-	-	-	-	-	
7 DIAS 28/06/2014	3096,5 3100	1,971 1,974	3406,8 3457,8	43,377 44,026	47,71429 48,42857	
14 DIAS 05/07/2014	3096,5 3100	1,971 1,974	3406,8 3457,8	43,377 44,026	47,71429 48,42857	
21 DIAS 12/07/2014	3102 3112	1,975 1,981	3937,2 3437,4	50,130 43,766	55,14286 48,14286	
28 DIAS 19/07/2014	3115,9 3089,5	1,984 1,967	3400 3750	43,290 47,746	47,61905 52,52101	

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Descripción.- Resultados de ensayos de cilindros de mezcla 1: cemento, arena normalizada, escombros de demoliciones de mampostería de ladrillo, poliestireno y agua. Rev. = 5 cm

Cuadro 3.4.- Resumen de mezcla



Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Como se puede observar las resistencias a la compresión obtenidas a los 28 días son similares para una misma mezcla. Lo mismo se sucedió con los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para los siguientes tipos de mezclas:

MEZCLA 2: CEMENTO, ARENA NORMALIZADA, ESCOMBROS DE MAMPOSTERIA DE BLOQUE DE CONCRETO, ELEMENTOS ESTRUCTURALES, POLIESTIRENO Y AGUA.

MEZCLA 3: CEMENTO, ARENA NORMALIZADA, ESCOMBROS DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLOS, DE BLOQUES DE CONCRETO, ELEMENTOS ESTRUCTURALES, POLIESTIRENO Y AGUA.

Esto permitió confirmar la idea que se tenía de que se puede fabricar artesanalmente estos hormigones a base de escombros de demoliciones y construcciones siguiendo eso sí las pautas esenciales, lo que sería de mucho beneficio si se los quisiera fabricar en zonas geográficas que no cuenten con la infraestructura física (maquinaria) necesaria; es decir, el camino sería por autogestión.

Para el diseño de la mezcla del hormigón combinado con poliestireno expandido se utilizó el método por volumen absoluto, donde se determinó el peso específico de: cemento, arena, grava, la relación agua y el cemento en peso, el módulo de finura del agregado fino y la clasificación por tamaño del agregado grueso. De esta manera se procedió a elaborar cada una de ellas, para lo cual se planteó un esquema de ensayos que permitió al final definir las características de cada mezcla tanto sin aditivo como con aditivo.

3.2 Materiales usados

En esta investigación los materiales utilizados fueron:

- 1.- Cemento.
- 2.- Arena normalizada de Canteras Calizas Huayco
- 3.- Agua.

- 4.- Escombros de ladrillos.
- 5.- Escombros de bloques de concreto.
- 6.- Escombros de elementos estructurales.
- 7.- Poliestireno expandido.

En lo relacionado a los áridos: finos naturales y gruesos reciclados, los ensayos a que se los sometieron son: de granulometría, densidad y absorción de áridos finos, densidad y absorción de áridos gruesos naturales, densidad y absorción de áridos gruesos reciclados; los ensayos de éstos últimos son los mismos que para los áridos gruesos naturales. Los resultados de estos ensayos fueron comparados con los de los áridos gruesos naturales alcanzando grandes similitudes que hacen palpable que, a pesar de que existen diferencias considerables con los áridos naturales, las características físicas de los áridos reciclados combinados con poliestireno expandido hacen permisible la fabricación de hormigones.

En las mezclas realizadas, los procesos que se realizaron corresponden a ensayos para obtener propiedades físicas (densidad, durabilidad y absorción) y propiedades mecánicas (resistencia a la compresión, tracción y flexión) y de conductividad térmica. Los resultados de estos ensayos al igual que en los de los áridos reciclados fueron comparados con los de una mezcla de hormigón convencional.

Las pruebas físicas que se realizaron a los áridos son:

- Granulometría del agregado fino. Norma INEN 696 (ASTM)

- Granulometría del agregado grueso reciclado. Norma INEN 696 (ASTM)
- Granulometría del agregado grueso natural. Norma INEN 696 (ASTM)
- Gravedad específica y absorción, tanto del agregado fino como del agregado grueso reciclado.
- Gravedad específica y absorción del agregado grueso natural.
- Peso volumétrico suelto del agregado fino.
- Peso unitario suelto del agregado grueso reciclado.
- Peso unitario varillado del agregado grueso reciclado.
- Peso unitario suelto del agregado grueso natural.
- Peso unitario varillado del agregado grueso reciclado natural.

Figura 3.5.- Se somete a los escombros de mamposterías de ladrillos, bloques de concreto, elementos estructurales y arena normalizada al ensayo de granulometría



Fuente: (Lomas, m. 2014)

Figura 3.6.- Determinación de los Pesos Volumétricos Suelos y Varillados De los áridos reciclados



Fuente: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 3.5. Ensayo granulométrico del agregado fino

Universidad de Guayaquil																																									
<i>Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas</i>																																									
<i>Laboratorio de Suelos y Materiales Ing. Dr. Arnaldo Ruffilli</i>																																									
<i>Av. Kennedy S/N y Av. Delta. Tel. 2 640828 Cel. 098 282897.</i>																																									
ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO																																									
Proyecto:	Maestría en Tecnologías de Edificación																																								
Fiscalizador:				Contratista:	Arq. Mirian Iomas																																				
Fuente de Material:	Arena normalizada, Cantera calizas Huayco			Fecha:	20-oct-14																																				
Tamiz	Peso Parcial grs.	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificación ASTM - C - 33																																				
3/8"	0	0,00	0,0	100,0	100																																				
No. 4	8,6	0,86	0,86	99,14	95 - 100																																				
No. 8	197,5	19,78	20,64	79,36	80 - 100																																				
No. 16	242,7	24,31	44,95	55,05	50 - 85																																				
No. 30	201,6	20,19	65,14	34,86	25 - 60																																				
No. 50	146,4	14,66	79,81	20,19	10 - 30																																				
No.100	83,9	8,40	88,21	11,79	2 - 10																																				
FONDO	117,7	11,79	100,00	0,00	0																																				
TOTAL	998,4	100,0																																							
<h3>Ensayo de Agregado Fino</h3> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <caption>Datos del Gráfico de Agregado Fino</caption> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>ENSAYO (%)</th> <th>TEORCO 1 (%)</th> <th>TEORCO 2 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>FONDO</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>Nº100</td><td>8,40</td><td>8,40</td><td>8,40</td></tr> <tr><td>Nº50</td><td>14,66</td><td>14,66</td><td>14,66</td></tr> <tr><td>Nº30</td><td>20,19</td><td>20,19</td><td>20,19</td></tr> <tr><td>Nº16</td><td>24,31</td><td>24,31</td><td>24,31</td></tr> <tr><td>Nº8</td><td>34,86</td><td>34,86</td><td>34,86</td></tr> <tr><td>Nº4</td><td>55,05</td><td>55,05</td><td>55,05</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>79,36</td><td>79,36</td><td>79,36</td></tr> </tbody> </table>						Tamiz	ENSAYO (%)	TEORCO 1 (%)	TEORCO 2 (%)	FONDO	0,00	0,00	0,00	Nº100	8,40	8,40	8,40	Nº50	14,66	14,66	14,66	Nº30	20,19	20,19	20,19	Nº16	24,31	24,31	24,31	Nº8	34,86	34,86	34,86	Nº4	55,05	55,05	55,05	3/8"	79,36	79,36	79,36
Tamiz	ENSAYO (%)	TEORCO 1 (%)	TEORCO 2 (%)																																						
FONDO	0,00	0,00	0,00																																						
Nº100	8,40	8,40	8,40																																						
Nº50	14,66	14,66	14,66																																						
Nº30	20,19	20,19	20,19																																						
Nº16	24,31	24,31	24,31																																						
Nº8	34,86	34,86	34,86																																						
Nº4	55,05	55,05	55,05																																						
3/8"	79,36	79,36	79,36																																						
Densidad Saturada Superficialmente Seca:		2659,6 Kg/m ³																																							
Peso Volumétrico Suelto:		1466,5 Kg/m ³	Módulo de finura:		3																																				
Observaciones:																																									

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA				D.S.S.S.
Peso de la arena	W	=	500	gr.
Vol. Inicial (agua)	Vi	=	210	cm ³
Vol. final (agua + arena)	Vf	=	398	cm ³
D.S.S.S.	W / (Vf - Vi) =		2659,6	Kg/m³
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO				
Vol. del recipiente	V. recp.	=	2800	cm ³
Peso (recipiente + arena)	Wf	=	6618,1	gr.
Peso recipiente	Wi	=	2512	gr.
P.V.S.	(Wf - Wi) / V. recp. =		1466,5	Kg/m³
ABSORCIÓN				
Peso recipiente		=	73,9	gr.
Peso (arena S.S.S.)		=	500	gr.
Peso del recipiente + arena seca		=	553,2	gr.
Peso seco de la arena	Ws	=	479,3	gr.
Absorción		=	4,32	%
MÓDULO DE FINURA				
$M.f. = \frac{\sum_{4}^{100} \text{Tamiz}_{\%} \text{retenido}_{\text{acumulado}}}{100}$				
M.f.		=	3,00	

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 3.6. Ensayo granulométrico de los escombros de demolición de mampostería de ladrillo

Universidad de Guayaquil																																
<i>Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas</i>																																
<i>Laboratorio de Suelos y Materiales Ing. Dr. Arnaldo Ruffilli</i>																																
<i>Av. Kennedy S/N y Av. Delta. Tel. 2 640828 Cel. 098 282897.</i>																																
ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO																																
Proyecto:	Maestría en Tecnologías de Edificación																															
Ubicación:																																
Fuente de Material:	Laboratorio Dr. Arnaldo Ruffilli	Fecha:	20-oct-14																													
Tipo de Material:	Escombros de demolición de mampostería de ladrillos																															
Tamiz	Peso Parcial grs.	% Retenido	% Que Pasa	Especificación ASTM - C - 33																												
2 1/2"				-																												
2"				-																												
1 1/2"				100																												
1"	0	0,00	100,00	-																												
3/4"	72	1,36	98,64	90 - 100																												
1/2"				-																												
3/8"	2148	40,59	58,05	20 - 50																												
No. 4	1752	33,11	24,94	0 - 10																												
No. 8	157	2,97	21,98	0 - 5																												
Fondo	1163	21,98	0,00	0																												
TOTAL	5292	100,00																														
<h3>Ensayo de Agregado Grueso</h3> <table border="1"> <caption>Datos del Gráfico de Pasante Acumulado</caption> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>% Pasante Acumulado (Ensayo)</th> <th>% Pasante Acumulado (Teórico 1)</th> <th>% Pasante Acumulado (Teórico 2)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FONDO</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>N°8</td> <td>2,97</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>N°4</td> <td>24,94</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>58,05</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>98,64</td> <td>90</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>					Tamiz	% Pasante Acumulado (Ensayo)	% Pasante Acumulado (Teórico 1)	% Pasante Acumulado (Teórico 2)	FONDO	0	0	0	N°8	2,97	0	0	N°4	24,94	0	0	3/8"	58,05	20	20	3/4"	98,64	90	90	1"	100	100	100
Tamiz	% Pasante Acumulado (Ensayo)	% Pasante Acumulado (Teórico 1)	% Pasante Acumulado (Teórico 2)																													
FONDO	0	0	0																													
N°8	2,97	0	0																													
N°4	24,94	0	0																													
3/8"	58,05	20	20																													
3/4"	98,64	90	90																													
1"	100	100	100																													
D.s.s.s.	=	1625,5	P.v.v.	=	925,3	P.v.s.	=	763,0																								
Observaciones:																																

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA D.S.S.S.			
Peso del material	W_{sss}	=	1000 gr.
Peso de la canasta	W_{cnt}	=	1804,2 gr.
Peso de la canasta + material (sumergido)	$W_{sss+cnt}$	=	2189 gr.
D.S.S.S.	$W_{sss} / (W_{sss} - ((W_{sss+cnt}) - W_{cnt}))$	=	1625,5 Kg/m³
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO			
Vol. del recipiente	$V. \text{ recp.}$	=	0,014 m ³
Peso (recipiente + material)	W_f	=	41 libras
Peso recipiente	W_i	=	17,5 libras
P.V.S.	$(W_f - W_i) / V. \text{ recp.}$	=	763,0 Kg/m³
PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO			
Vol. del recipiente	$V. \text{ recp.}$	=	0,014 m ³
Peso (recipiente + material)	W_f	=	46 libras
Peso recipiente	W_i	=	17,5 libras
P.V.V.	$(W_f - W_i) / V. \text{ recp.}$	=	925,3 Kg/m³
ABSORCIÓN			
Peso recipiente		=	141,8 gr.
Peso del material húmedo		=	1000 gr.
Peso del recipiente + el material seco		=	930,9 gr.
Peso seco del material	W_s	=	789,1 gr.
Absorción		=	26,73 %

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 3.7. Ensayo granulométrico de demolición de los escombros de mampostería de bloques de concreto.

Universidad de Guayaquil				
<i>Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas</i>				
<i>Laboratorio de Suelos y Materiales Ing. Dr. Arnaldo Ruffilli</i>				
<i>Av. Kennedy S/N y Av. Delta. Tel. 2 640828 Cel. 098 282897.</i>				
ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO				
Proyecto:	Maestría en Tecnologías de Edificación			
Ubicación:				
Fuente de Material:	Laboratorio Dr. Arnaldo Ruffilli	Fecha:	20-oct-14	
Tipo de Material:	Escombros. B. Conc			
Tamiz	Peso Parcial grs.	% Retenido	% Que Pasa	Especificación ASTM - C - 33
2 1/2"				-
2"				-
1 1/2"				100
1"	0	0,00	100,00	-
3/4"	418	6,35	93,65	90 - 100
1/2"				-
3/8"	4485	68,09	25,57	20 - 50
No. 4	1040	15,79	9,78	0 - 10
No. 8	161	2,44	7,33	0 - 5
Fondo	483	7,33	0,00	0
TOTAL	6587	100,00		
<h3 style="margin: 0;">Ensayo de Agregado Grueso</h3>				
D.s.s.s =	2702,7	P.v.v. =	1789,0	P.v.s = 1717,5
Observaciones:				

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA D.S.S.S.			
Peso del material	W_{sss}	=	1000 gr.
Peso de la canasta	W_{cnt}	=	1995 gr.
Peso de la canasta + material (sumergido)	$W_{sss+cnt}$	=	2625 gr.
D.S.S.S.	$W_{sss} / (W_{sss} - ((W_{sss+cnt}) - W_{cnt}))$		= 2702,7 Kg/m³
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO			
Vol. del recipiente	$V. \text{recp.}$	=	0,014 m ³
Peso (recipiente + material)	W_f	=	70,4 libras
Peso recipiente	W_i	=	17,5 libras
P.V.S.	$(W_f - W_i) / V. \text{recp.}$		= 1717,5 Kg/m³
PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO			
Vol. del recipiente	$V. \text{recp.}$	=	0,014 m ³
Peso (recipiente + material)	W_f	=	72,6 libras
Peso recipiente	W_i	=	17,5 libras
P.V.V.	$(W_f - W_i) / V. \text{recp.}$		= 1789,0 Kg/m³
ABSORCIÓN			
Peso recipiente	=	141,8 gr.	
Peso del material húmedo	=	1000 gr.	
Peso del recipiente + el material seco	=	990,9 gr.	
Peso seco del material	W_s	=	849,1 gr.
Absorción	=	17,77 %	

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 3.8. Ensayo granulométrico de los escombros de demolición de elementos estructurales de hormigón

Universidad de Guayaquil																																
<i>Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas</i>																																
<i>Laboratorio de Suelos y Materiales Ing. Dr. Arnaldo Ruffilli</i>																																
<i>Av. Kennedy S/N y Av. Delta. Tel. 2 640828 Cel. 098 282897.</i>																																
ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO																																
Proyecto:																																
Ubicación:																																
Fuente de Material:			Fecha: 20-oct-14																													
Tipo de Material: Escombros Element Estructurales																																
Tamiz	Peso Parcial grs.	% Retenido	% Que Pasa	Especificación ASTM - C - 33																												
2 1/2"				-																												
2"				-																												
1 1/2"				100																												
1"	0	0,00	100,00	-																												
3/4"	328	2,87	97,13	90 - 100																												
1/2"				-																												
3/8"	8663	75,71	21,42	20 - 50																												
No. 4	2043	17,86	3,57	0 - 10																												
No. 8	219	1,91	1,65	0 - 5																												
Fondo	189	1,65	0,00	0																												
TOTAL	11442	100,00																														
<h3>Ensayo de Agregado Grueso</h3> <table border="1" style="display: none;"> <caption>Datos del Gráfico de Agregado Grueso</caption> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>% Pasante Acumulado (ENSAYO)</th> <th>% Pasante Acumulado (TEÓRICO 1)</th> <th>% Pasante Acumulado (TEÓRICO 2)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FONDO</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>N°8</td> <td>1,65</td> <td>1,65</td> <td>1,65</td> </tr> <tr> <td>N°4</td> <td>1,91</td> <td>1,91</td> <td>1,91</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>21,42</td> <td>21,42</td> <td>21,42</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>97,13</td> <td>97,13</td> <td>97,13</td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> </tbody> </table>					Tamiz	% Pasante Acumulado (ENSAYO)	% Pasante Acumulado (TEÓRICO 1)	% Pasante Acumulado (TEÓRICO 2)	FONDO	0	0	0	N°8	1,65	1,65	1,65	N°4	1,91	1,91	1,91	3/8"	21,42	21,42	21,42	3/4"	97,13	97,13	97,13	1"	100,00	100,00	100,00
Tamiz	% Pasante Acumulado (ENSAYO)	% Pasante Acumulado (TEÓRICO 1)	% Pasante Acumulado (TEÓRICO 2)																													
FONDO	0	0	0																													
N°8	1,65	1,65	1,65																													
N°4	1,91	1,91	1,91																													
3/8"	21,42	21,42	21,42																													
3/4"	97,13	97,13	97,13																													
1"	100,00	100,00	100,00																													
D.s.s.s. = 2702,7 P.v.v. = 1789,0 P.v.s. = 1717,5																																
Observaciones:																																

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA D.S.S.S.			
Peso del material	W_{sss}	=	1000 gr.
Peso de la canasta	W_{cnt}	=	1995 gr.
Peso de la canasta + material (sumergido)	$W_{sss+cnt}$	=	2625 gr.
D.S.S.S.	$W_{sss} / (W_{sss} - ((W_{sss+cnt}) - W_{cnt}))$		= 2702,7 Kg/m³
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO			
Vol. del recipiente	$V. \text{recp.}$	=	0,014 m ³
Peso (recipiente + material)	W_f	=	70,4 libras
Peso recipiente	W_i	=	17,5 libras
P.V.S.	$(W_f - W_i) / V. \text{recp.}$		= 1717,5 Kg/m³
PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO			
Vol. del recipiente	$V. \text{recp.}$	=	0,014 m ³
Peso (recipiente + material)	W_f	=	72,6 libras
Peso recipiente	W_i	=	17,5 libras
P.V.V.	$(W_f - W_i) / V. \text{recp.}$		= 1789,0 Kg/m³
ABSORCIÓN			
Peso recipiente		=	141,8 gr.
Peso del material húmedo		=	1000 gr.
Peso del recipiente + el material seco		=	1059,6 gr.
Peso seco del material	W_s	=	917,8 gr.
Absorción		=	8,96 %

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 3.9. Ensayo granulométrico de grava

Universidad de Guayaquil																																
<i>Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas</i>																																
<i>Laboratorio de Suelos y Materiales Ing. Dr. Arnaldo Ruffilli</i>																																
<i>Av. Kennedy S/N y Av. Delta, Tel. 2 640828 Cel. 098 282897.</i>																																
ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO																																
Proyecto:																																
Ubicación:																																
Fuente de Material:			Fecha: 13-oct-14																													
Tipo de Material: Grava																																
Tamiz	Peso Parcial grs.	% Retenido	% Que Pasa	Especificación ASTM - C - 33																												
2 1/2"				-																												
2"				-																												
1 1/2"				100																												
1"	0	0,00	100,00	-																												
3/4"	554	5,41	94,59	90 - 100																												
1/2"				-																												
3/8"	8124	79,41	15,18	20 - 50																												
No. 4	1290	12,61	2,57	0 - 10																												
No. 8	102	1,00	1,57	0 - 5																												
Fondo	161	1,57	0,00	0																												
TOTAL	10231	100,00																														
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <h3 align="center">Ensayo de Agregado Grueso</h3> <table border="1" style="display: none;"> <caption>Data for Ensayo de Agregado Grueso Graph</caption> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>ENSAYO (%)</th> <th>TEORICO 1 (%)</th> <th>TEORICO 2 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>FONDO</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>N°8</td><td>1.57</td><td>1.57</td><td>1.57</td></tr> <tr><td>N°4</td><td>12.61</td><td>12.61</td><td>12.61</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>15.18</td><td>15.18</td><td>15.18</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>94.59</td><td>94.59</td><td>94.59</td></tr> <tr><td>1"</td><td>100.00</td><td>100.00</td><td>100.00</td></tr> </tbody> </table> </div>					Tamiz	ENSAYO (%)	TEORICO 1 (%)	TEORICO 2 (%)	FONDO	0	0	0	N°8	1.57	1.57	1.57	N°4	12.61	12.61	12.61	3/8"	15.18	15.18	15.18	3/4"	94.59	94.59	94.59	1"	100.00	100.00	100.00
Tamiz	ENSAYO (%)	TEORICO 1 (%)	TEORICO 2 (%)																													
FONDO	0	0	0																													
N°8	1.57	1.57	1.57																													
N°4	12.61	12.61	12.61																													
3/8"	15.18	15.18	15.18																													
3/4"	94.59	94.59	94.59																													
1"	100.00	100.00	100.00																													
D.s.s.s. = 2702,7 P.v.v. = 1789,0 P.v.s. = 1717,5																																
Observaciones:																																

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA D.S.S.S.			
Peso del material	W_{sss}	=	1000 gr.
Peso de la canasta	W_{cnt}	=	1995 gr.
Peso de la canasta + material (sumergido)	$W_{sss+cnt}$	=	2625 gr.
D.S.S.S.	$W_{sss} / (W_{sss} - (W_{sss+cnt} - W_{cnt}))$		= 2702,7 Kg/m³
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO			
Vol. del recipiente	$V. \text{recp.}$	=	0,014 m ³
Peso (recipiente + material)	W_f	=	70,4 libras
Peso recipiente	W_i	=	17,5 libras
P.V.S.	$(W_f - W_i) / V. \text{recp.}$		= 1717,5 Kg/m³
PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO			
Vol. del recipiente	$V. \text{recp.}$	=	0,014 m ³
Peso (recipiente + material)	W_f	=	72,6 libras
Peso recipiente	W_i	=	17,5 libras
P.V.V.	$(W_f - W_i) / V. \text{recp.}$		= 1789,0 Kg/m³
ABSORCIÓN			
Peso recipiente		=	141,8 gr.
Peso del material húmedo		=	1000 gr.
Peso del recipiente + el material seco		=	1113,1 gr.
Peso seco del material	W_s	=	971,3 gr.
Absorción		=	2,95 %

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Durante los ensayos granulométricos, los materiales utilizados fueron:

1. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

Se utilizó Arena normalizada, Cantera calizas Huayco.

2. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

Se usó Escombros de demolición de mampostería de ladrillos.

3. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

Aquí fue usado Escombros de demolición de mampostería de bloques de concreto.

4. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

En este ensayo fue utilizado Escombros de elementos estructurales de hormigón.

5. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

Para este ensayo se utilizó grava.

3. 3. Procedimientos y fabricación

En el estudio fueron medidos los siguientes parámetros:

1. Resistencia a la compresión
2. Densidad
3. Absorción.
4. Resistencia a la Tracción: fue medida por compresión diametral.
5. Durabilidad.
6. Conductividad térmica.
7. Flexión.

3.3.1. Hormigones

El objetivo es elaborar hormigones, a escala industrial, con áridos gruesos reciclados combinados con poliestireno expandido y verificar el comportamiento de dichos hormigones.

Elección del árido fino natural: Los áridos finos que se utilizaron fueron los que normalmente se emplean en un hormigón convencional.

Elección del árido grueso reciclado: El árido grueso reciclado combinado con poliestireno expandido fue suministrado de las demoliciones y escombros de construcción.

La dosificación que se manejó fue en volumen 1:3:3; 1 parte de cemento, 3 partes de arena normalizada, 2 partes de escombros (ladrillos, bloques de concreto, elementos estructurales de hormigón) 1 partes de poliestireno expandido. También se trabajó con un hormigón convencional preparado en la misma dosificación que la de los hormigones con áridos gruesos reciclados para su comparación.

3.3.2. Mezclado

Figura 3.7.- Mezclas con aditivo



Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Figura 3.8.- MEZCLAS SIN ADITIVO



Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Se procedió a incluir en las diferentes mezclas un aditivo plastificante para mejorar la trabajabilidad sin agregar más agua (Polyheed R1 - 719).

3.3.3. Moldeo

Las mezclas se las ensayaron con base a la norma ASTM C 39/C39M – 01 para la prueba de compresión, norma ASTM C 496 – 96 para la prueba de tracción por compresión diametral, norma AS IRAM 10524 - 10514 para prueba de durabilidad por humedecimiento y secado, y para la prueba de flexión la norma C789/C78M – 10 1. Se realizaron también ensayos de absorción y conductividad térmica.

Los objetivos del ensayo fueron:

1. Determinar la densidad de los hormigones con áridos reciclados más poliestireno expandido.
2. Determinar la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días, de los cilindros preparados con los hormigones. En las pruebas de compresión y tracción por compresión diametral. La fecha de moldeo del primer ensayo fue el 24 de octubre 2014, la rotura a los 7 días el 31 de octubre del 2014 y a los 28 días el 21 de Noviembre del 2014.
3. Elaborar mezclas de hormigones con áridos gruesos reciclados más poliestireno expandido y de hormigón con árido grueso natural, sin aditivos y con aditivos

4. Elaborar mezclas de hormigones con áridos gruesos reciclados más poliestireno expandido, pero con un porcentaje menor; 75 %, 50% y 25 % de la cantidad propuesta al comienzo para el árido grueso reciclado.

Los equipos empleados fueron:

Recipiente $V=0,0028 \text{ m}^3$
 Pala
 Martillo
 Cilindro de 10 x 20 cm
 Varilla punta redondeada
 Martillo de hule
 Enrasadora
 Bailejo
 Cuchareta
 Balanza de precisión

Los materiales utilizados fueron:

Cuadro 3.10.- Cantidades en partes de volumen en las diferentes mezclas de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido sin aditivo y con aditivo

Mezcla 1: 100% Sin Aditivo	Mezcla 1: 100% Con Aditivo
Cemento Portland Gu (1 p. de vol.)	Cemento Portland Gu (1 p. de vol.)
Arena normalizada (3 p. de vol.)	Arena normalizada (3 p. de vol.)
Esc. de ladrillos (2 p. de vol.)	Esc. de ladrillos (2 p. de vol.)
Poliestireno expandido (1 p. de vol.)	Poliestireno expandido: (1 p. de vol.)
Agua	Polyheed R1- 719 (1% peso cemento)
	Agua

<p>Mezcla 2: 100% Sin Aditivo</p> <p>Cemento Portland Gu (1 p. de vol.) Arena normalizada (3 p. de vol.) Esc. de bloques de concr. (1 p. de vol.) Esc. de elem. estruc. de Ho. (1 p. de vol.) Poliestireno expandido (1 p. de vol.) Agua</p>	<p>Mezcla 2: 100% Con Aditivo</p> <p>Cemento Portland Gu (1 p. de vol.) Arena normalizada (3 p. de vol.) Esc. de bloques de concr. (1 p. de vol.) Esc. de elem. estruc. De Ho. (1 p. de vol.) Poliestireno expandido (1 p. de vol.) Agua Polyheed R1 – 719 (1% peso cemento)</p>
<p>Mezcla 3: 100% Sin Aditivo</p> <p>Cemento Portland Gu (1 p. de vol.) Arena normalizada (3 p. de vol.)</p>	<p>Mezcla 3: 100% Con Aditivo</p> <p>Cemento Portland Gu (1 p. de vol.) Arena normalizada (3 p. de vol.)</p>
<p>Esc. de ladrillos (0,66 p. de vol.) Esc. de bloques de concr. (0,66 p. de vol.) Esc. de elem. estruc. de Ho(0,66 p. de vol.) Poliestireno expandido (1 p. de vol.) Agua</p>	<p>Esc. de ladrillos (0,66 p. de vol.) Esc. de bloques de concr. (0,66 p. de vol.) Esc. de elem. estruc. de Ho. (0,66 p. de vol.) Poliestireno expandido (1 p. de vol.) Polyheed R1 - 719 (1 % peso Cemento) Agua</p>
<p>Mezcla 4: 100% Sin Aditivo</p> <p>Cemento Portland Gu (1 p. de vol.) Arena normalizada (3 p. de vol.) Esc. de bloques de concr. (2 p. de vol.) Poliestireno expandido (1 p. de vol.) Agua</p>	<p>Mezcla 4: 100% Con Aditivo</p> <p>Cemento Portland Gu (1 p. de vol.) Arena normalizada (3 p. de vol.) Esc. de bloques de concr. (2 p. de vol.) Poliestireno expandido (1 p. de vol.) Polyheed R1 – 719 (1% peso Cemento) Agua</p>
<p>Mezcla 5: 100% Sin Aditivo</p> <p>Cemento Portland Gu (1 p. de vol.) Arena normalizada (3 p. de vol.) Esc. de elem. estruc. de Ho. (2 p. de vol.) Poliestireno expandido (1 p. de vol.) Agua</p>	<p>Mezcla 5: 100% Con Aditivo</p> <p>Cemento Portland Gu (1 p. de vol.) Arena normalizada (3 p. de vol.) Esc. de elem. estruc. de Ho. (2 p. de vol.) Poliestireno expandido (1 p. de vol.) Polyheed R1 – 719 (1% peso Cemento) Agua</p>
<p>Mezcla 6: Sin aditivo</p> <p>Cemento Portland Gu (1 p. de vol.) Arena normalizada (3 p. de vol.) Grava (3 p. de vol.) Agua</p>	<p>Mezcla 6: Con aditivo</p> <p>Cemento Portland Gu (1 p. de vol.) Arena normalizada (3 p. de vol.) Grava (3 p. de vol.) Polyheed R1 – 719 (1% peso de cemento) Agua</p>

Se dosificó para 10 cilindros. El procedimiento consistió en medir por volúmenes todos los materiales que intervienen en cada una de los tipos de mezclas. El agua se colocó en la medida que la mezcla lo necesitó. Al final se puso el poliestireno expandido previamente humedecido para que no salieran volando.

Figura 3.9.- Procedimiento para determinar la densidad de la mezclas



Fuente: (Lomas, m. 2014)

Para comprobar la densidad de las mezclas se usó un recipiente normado de laboratorio cuya capacidad es de $V = 0,0028 \text{ m}^3$, en él se colocó el hormigón, en dos capas, se lo varilló con 25 golpes por cada capa, y adicionalmente se le dio golpes al recipiente con el martillo de hule.

A continuación se lo pesó. A este peso se le restó el peso del recipiente que es de 2.512 gr. Este resultado se divide para 0,0028 m³. Con este dato se puede calcular la densidad del material.

Se procedió a llenar los cilindros de 10 cm x 20 cm con el hormigón obtenido, se los llena en dos capas, se los apisonó 25 veces cada capa, se le dio unos golpes con el martillo de hule, en el exterior del cilindro, al final se lo enrasó. Se moldearon 10 cilindros para cada tipo de mezcla.

El hormigón moldeado se lo dejó fraguar por 24 horas, se lo desencofró, rotuló y se lo curó en una piscina de agua saturada con cal hasta su rotura correspondiente de 7 y 28 días.

En las mezclas con aditivo, se incorporó el Polyheed RI - 179, exactamente el 6% del peso del cemento, esto es para proporcionarle más trabajabilidad a las mezclas.

Figura 3.10.- Aditivo



Fuente:(Lomas, m. 2014)

Figura 3.11.- Procedimiento de moldeos de cilindros



Fuente: (Lomas, m. 2014)

Del mismo modo se procedió a moldear los cilindros con los diferentes tipos de hormigones, pero con un menor porcentaje de áridos gruesos reciclados, en esta ocasión con un 75, 50 y 25% de las dos partes del volumen que le estábamos asignando. La otra parte de volumen le sigue correspondiendo al poliestireno expandido.

Figura 3.12.- Mezcla de hormigones con áridos reciclados al 75, 50 y 25 %



Fuente: (Lomas, m. 2014)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

4.1. Resultados de los ensayos de Compresión

Al término de los 7 y 28 días se realizó la rotura por compresión de los cilindros moldeados.

EQUIPO

Balanza de precisión

Máquina de ensayo

Se extrajeron los cilindros de la piscina, 30 minutos antes de la prueba, para que estén superficialmente secos. Como se moldearon 10 cilindros por cada tipo de mezcla se definió que 2 cilindros se probarían a la compresión a los 7 días, 2 cilindros a la tracción por compresión diametral a los 7 días, 2 cilindros para el ensayo de durabilidad también a los 7 días, 2 cilindros a la compresión a los 28 días, 2 cilindros a la tracción por compresión diametral a los 28 días, sumando en total los 10 cilindros moldeados.

Para el ensayo de absorción se utilizarían los escombros de los cilindros rotos a compresión a los 28 días.

Para los ensayos de conductividad térmica y de flexión se tenían que fabricar paneles con cada uno de los tipos de mezclas.

Se determinaron las masas de los cilindros moldeados, midiéndoseles los diámetros y las alturas registrándose dichas mediciones.

Inmediatamente se los colocó en la máquina para presionarlos contra la placa aplicándose la carga uniformemente hasta que fallaron. Se anotó la carga máxima aplicada.

Figura 4.1.- Ensayo de cilindros a compresión



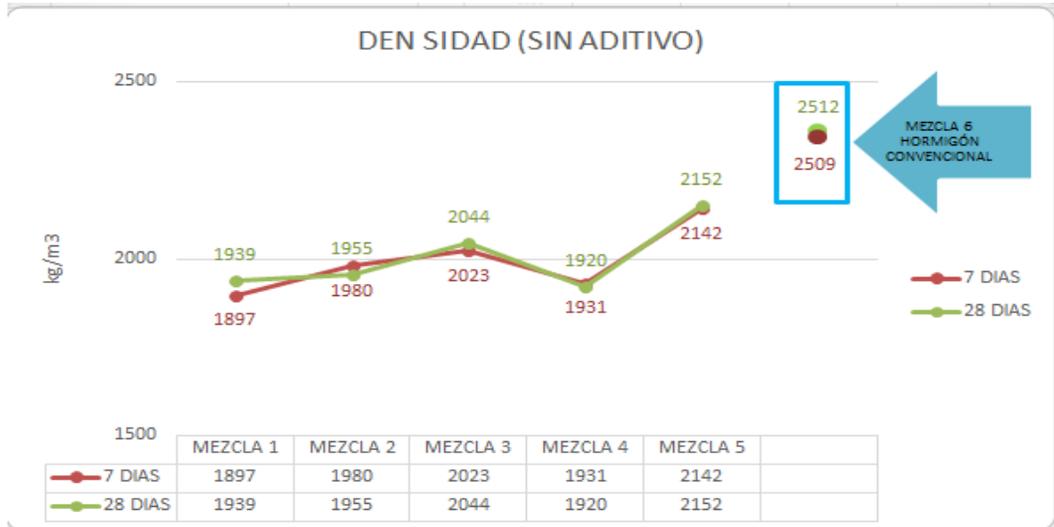
Fuente: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.1.- Resumen de resultados de densidades de cilindros de hormigones con áridos reciclados y poliestireno expandido

MEZCLA				DENSIDAD				PROMEDIO	
				7 DIAS		28 DIAS		kg/m3	
				PESO gr	ρ' kg/m3	PESO gr	ρ' kg/m3	7 DIAS	28 DIAS
1	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + POLIESTIRENO EXPANDIDO	SIN ADITIVO	1	2991,9	1905	3043,29	1937	1897	1939
			2	2968,4	1890	3048,6	1941		
		CON ADITIVO	1	3041,4	1936	3118,3	1985	1941	1957
			2	3056,7	1946	3028,8	1928		
2	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SIN ADITIVO	1	3115,3	1983	3036,2	1933	1980	1955
			2	3106,4	1978	3105,7	1977		
		CON ADITIVO	1	3147,4	2004	3134	1995	2015	2009
			2	3182,6	2026	3177	2023		
3	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + ESC. BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO	SIN ADITIVO	1	3244,2	2065	3276,5	2086	2023	2044
			2	3110,1	1980	3146,4	2003		
		CON ADITIVO	1	3303,6	2103	3323,4	2116	2112	2107
			2	3330,8	2120	3297,2	2099		

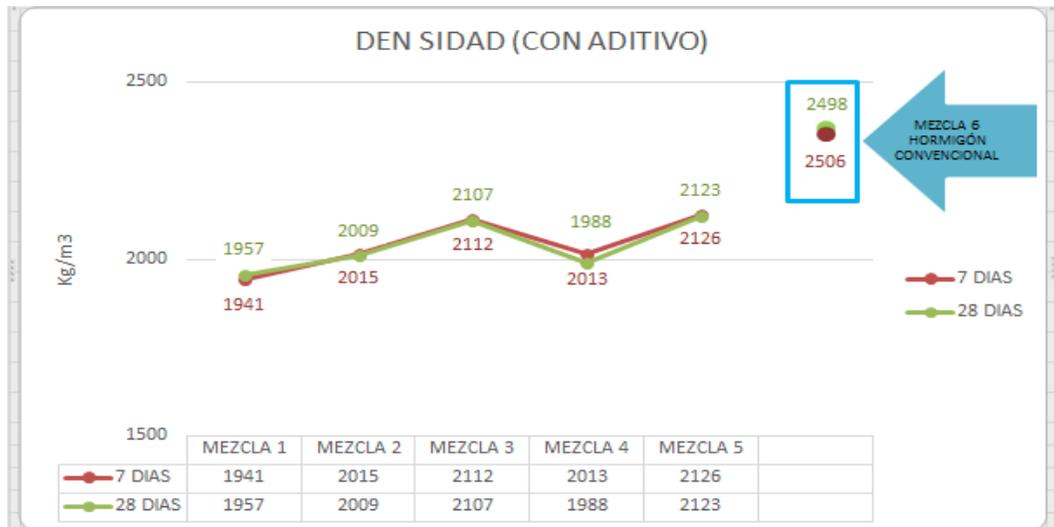
Fuente: Datos del experimento
Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.2.- Densidades de las mezclas de hormigón con áridos reciclados y poliestireno expandido sin aditivo



Fuente: Datos del experimento
 Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.3.- Densidades de las mezcla de hormigón con áridos reciclados y poliestireno expandido con aditivo



Fuente: Datos del experimento
 Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

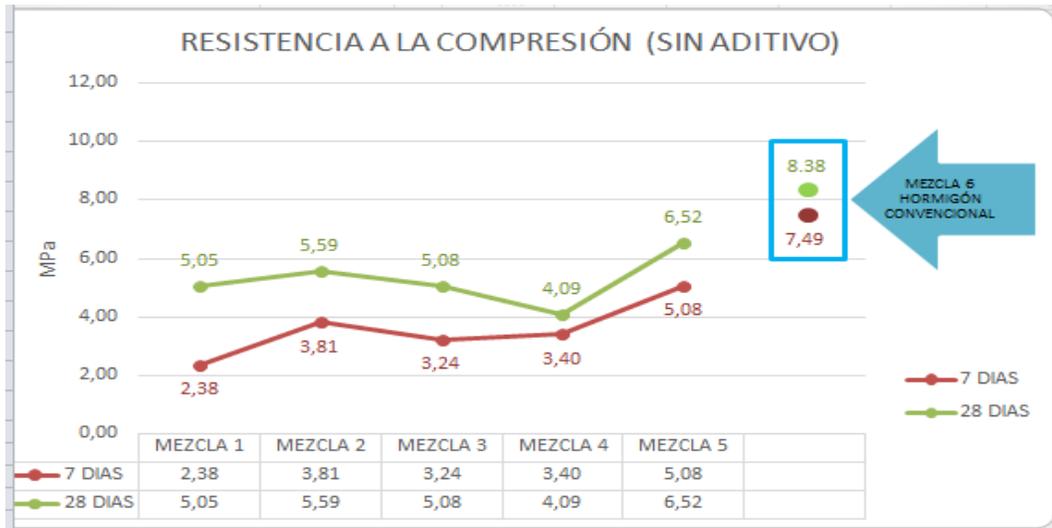
Cuadro 4.4.- Resumen de resultados de ensayos de cilindros

MEZCLA				RESISTENCIA				PROMEDIO	
				7 DIAS		28 DIAS		MPa	
				CARGA kg	σ MPa	CARGA kg	σ MPa	7 DIAS	28 DIAS
1	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + POLIESTIRENO EXPANDIDO	SIN ADITIVO	1	1700	2,33	3900	5,36	2,38	5,05
			2	1760	2,42	3450	4,74		
		CON ADITIVO	1	3500	4,81	3800	5,22	5,18	6,04
			2	4050	5,56	5000	6,87		
2	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SIN ADITIVO	1	2750	3,78	4150	5,70	3,81	5,59
			2	2800	3,85	3990	5,48		
		CON ADITIVO	1	4300	5,91	5950	8,17	5,94	8,38
			2	4350	5,97	6250	8,58		
3	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + ESC. BLOQUES DE CONCRETO+ ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO	SIN ADITIVO	1	2400	3,30	3400	4,67	3,24	5,08
			2	2320	3,19	4000	5,49		
		CON ADITIVO	1	4500	6,18	7200	9,89	6,32	10,10
			2	4700	6,46	7500	10,30		
4	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. BLOQUES DE CONCRETO + POLIESTIRENO EXPANDIDO	SIN ADITIVO	1	3000	4,12	2800	3,85	3,40	4,09
			2	1950	2,68	3150	4,33		
		CON ADITIVO	1	4400	6,04	6000	8,24	6,03	8,41
			2	4380	6,02	6250	8,58		
5	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO EXPANDIDO	SIN ADITIVO	1	3600	4,94	5000	6,87	5,08	6,52
			2	3800	5,22	4500	6,18		
		CON ADITIVO	1	2750	3,78	4200	5,77	4,09	6,11
			2	3200	4,40	4700	6,46		
6	CEMENTO + ARENA NORMALIZADA+ AGREGADOS NATURALES Y AGUA.	SIN ADITIVO	1	5700	7,83	7000	9,61	7,49	8,38
			2	5200	7,14	5200	7,14		
		CON ADITIVO	1	6250	8,58	7750	10,64	8,55	12,02
			2	6200	8,52	9750	13,39		

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

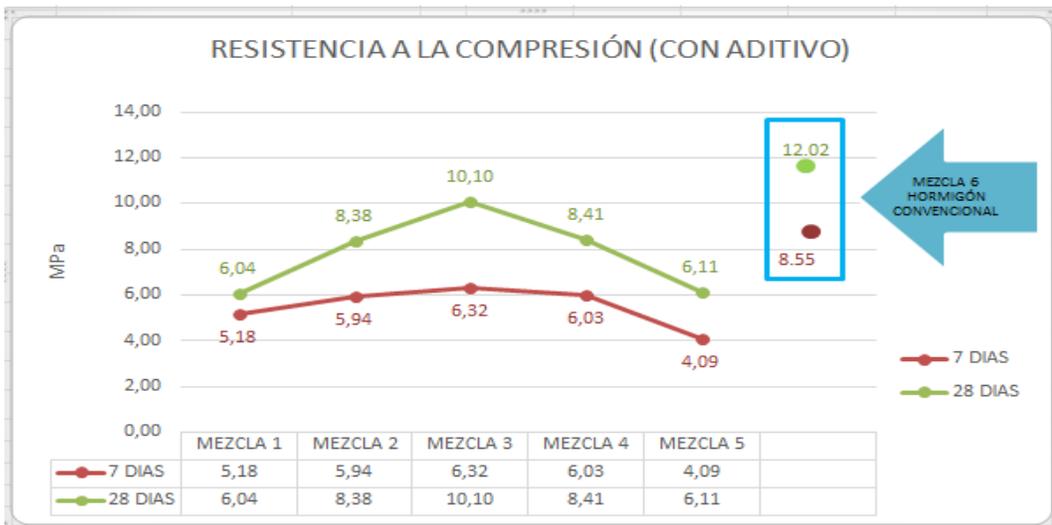
Cuadro 4.5.- Resistencia a la compresión de mezclas sin aditivo



Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.6.- Resistencia a la compresión de mezclas con aditivo

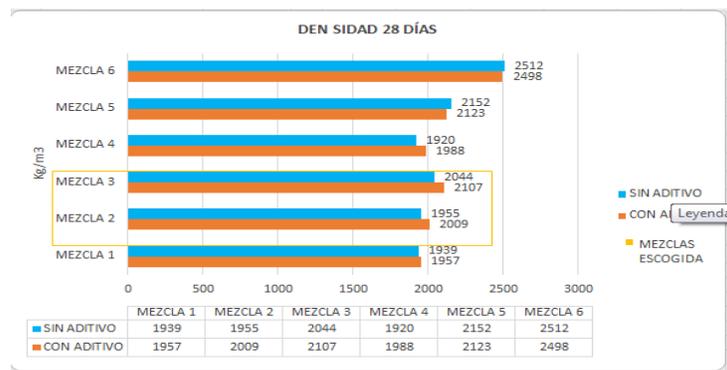


Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Se puede observar que es la mezcla 1 sin aditivo la que presenta la menor densidad de las cinco que se trabajaron con áridos reciclados más poliestireno expandido; esto se explica por los escombros a base ladrillos que la constituye; sin embargo no ocurre lo mismo con relación a la resistencia a la compresión, siendo la mejor, la mezcla 3 con aditivo, aunque subiendo un poco su densidad, lo que nos lleva a afirmar que la densidad es proporcional a la resistencia.

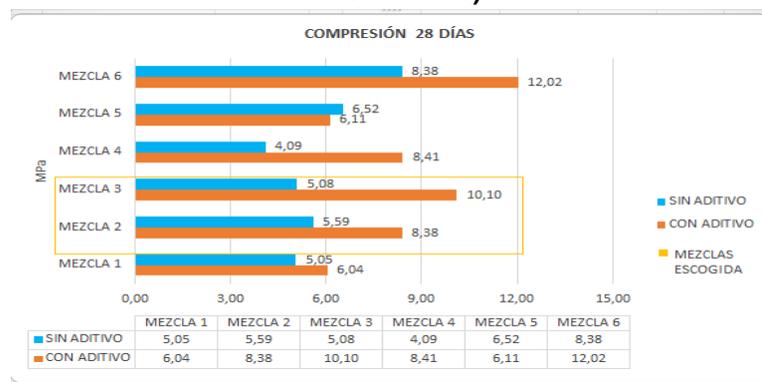
Cuadro 4.7.- Elección de mezclas por su densidad (100% de escombros)



Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.8.- Elección de mezclas por su resistencia a la compresión (100% de escombros)

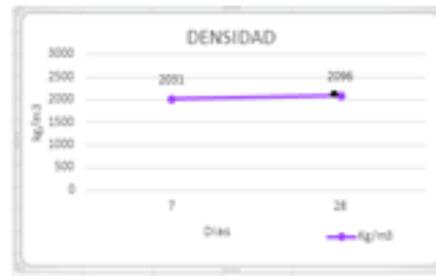


Fuente: Datos del experimento

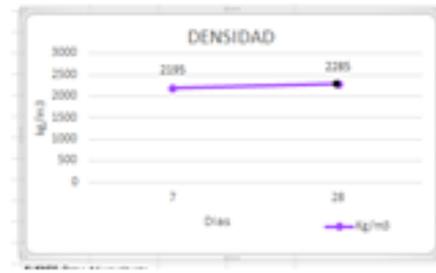
Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.9.- Resultados de ensayos de cilindros de hormigón de Mezcla 1 con áridos reciclados y poliestireno expandido a la compresión y densidad (75 %, 50 %, 25 % de escombros), sin aditivo.

Mezcla 1 al 75 %



Mezcla 1 al 50 %



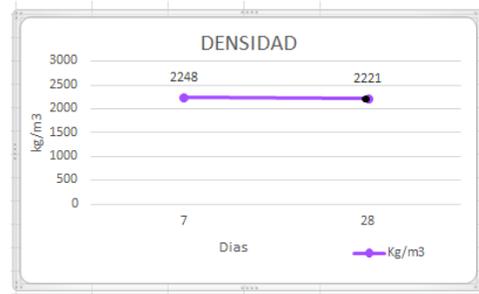
Mezcla 1 al 25 %



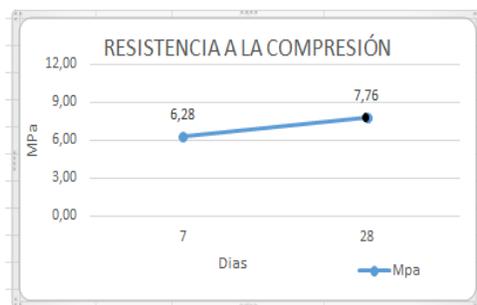
Fuente: Datos del experimento
 Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.10.- Resultados de ensayos de cilindros de hormigón de Mezcla 2 con áridos reciclados y poliestireno expandido a la compresión y Densidad (75 %, 50 %, 25 % de escombros), sin aditivo

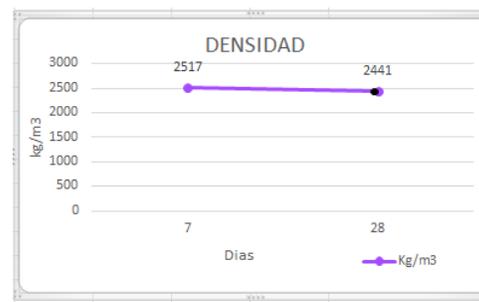
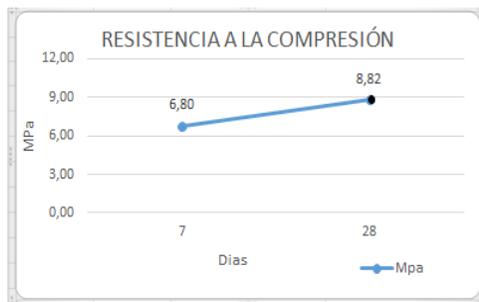
Mezcla 2 al 75 %



Mezcla 2 al 50 %



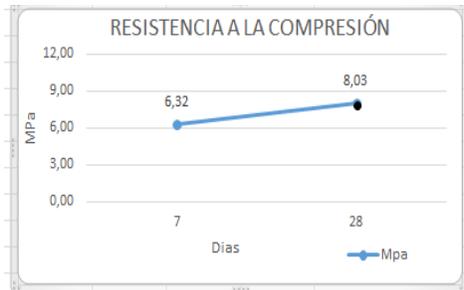
Mezcla 2 al 25 %



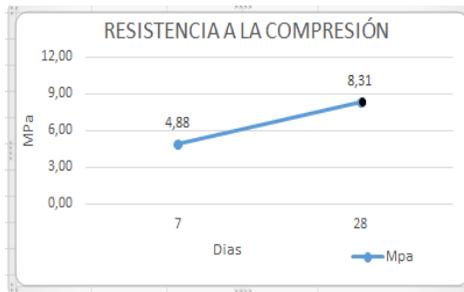
Fuente: Datos del experimento
 Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.11. Resultados de ensayos de cilindros de hormigón de Mezcla 3 con áridos reciclados y poliestireno expandido a la compresión y densidad (75 %, 50 %, 25 %) sin aditivo

Mezcla 3 al 75 %



Mezcla 3 al 50 %



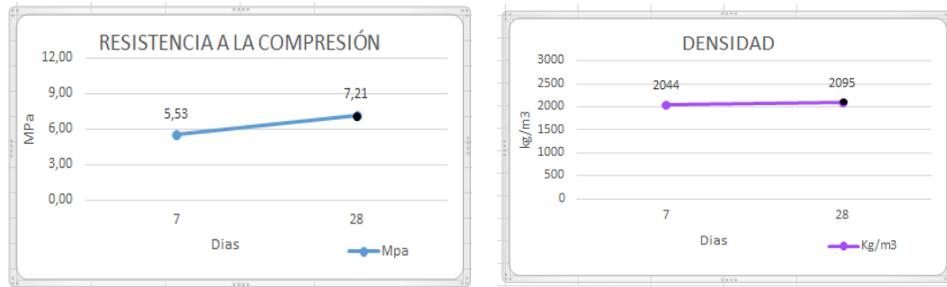
Mezcla 3 al 25 %



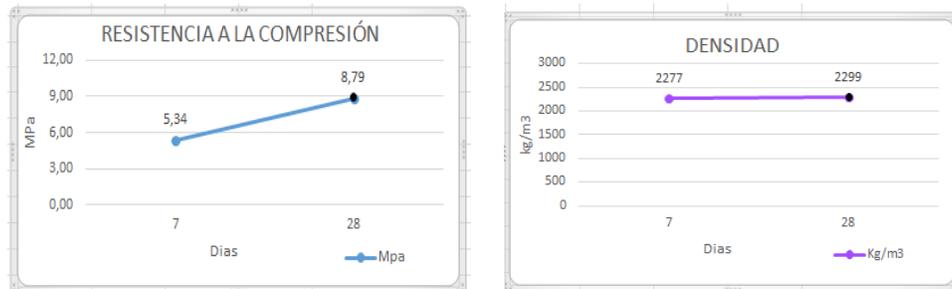
Fuente: Datos del experimento
 Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.12. Resultados de ensayos de cilindros de hormigón de Mezcla 4 de áridos reciclados y poliestireno expandido a la compresión y densidad (75 %, 50 %, 25 %) sin aditivo

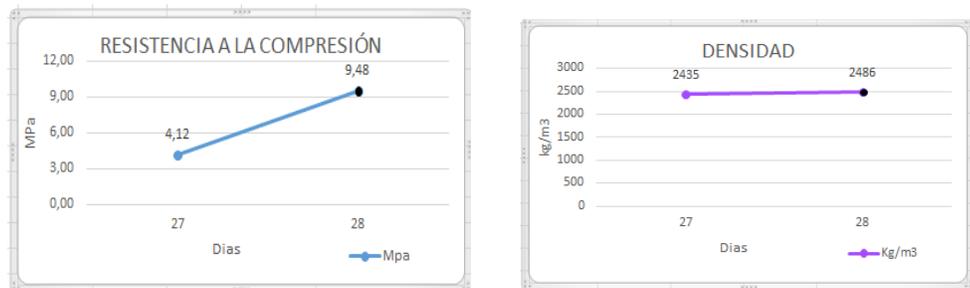
Mezcla 4 al 75 %



Mezcla 4 al 50 %



Mezcla 4 al 25 %

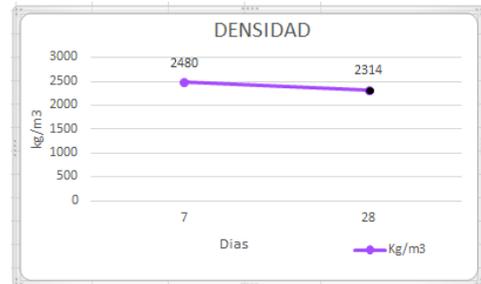
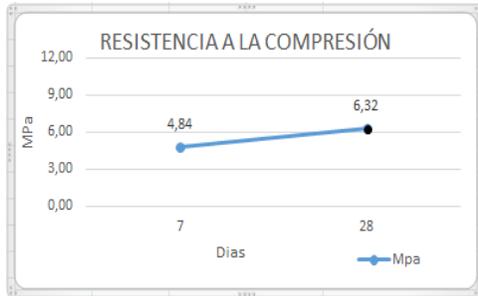


Fuente: Datos del experimento

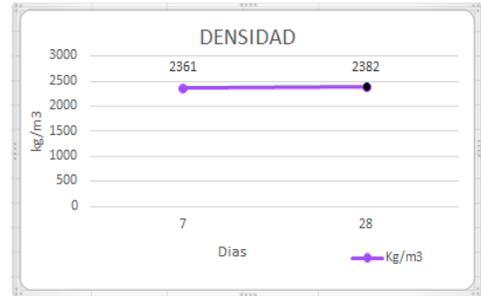
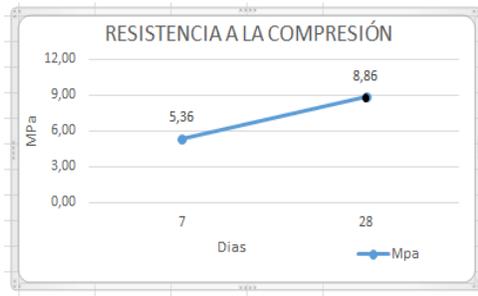
Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.13.- Resultados de ensayos de cilindros de hormigón de Mezcla 5 de Áridos reciclados y poliestireno expandido a la compresión y Densidad (75 %, 50 %, 25 %) sin aditivo

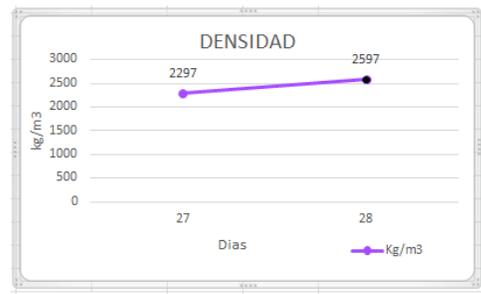
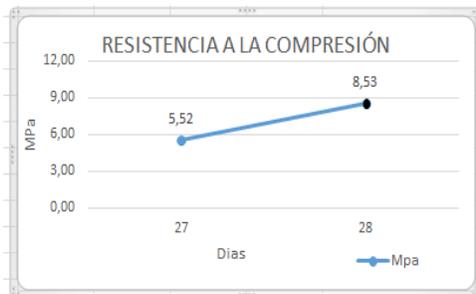
Mezcla 5 al 75 %



Mezcla 5 al 50 %



Mezcla 5 al 25 %



Fuente: Datos del experimento
Elaborado por. (Lomas, m. 2014)

En todas las mezclas de hormigones con áridos reciclados y poliestireno expandido a medida que se reduce el porcentaje de escombros, se produce el aumento de resistencia a la compresión así, como de su densidad, acercándose estos cada vez más a la del hormigón convencional.

4.2 Resultados de los ensayos de Tracción por Compresión Diametral

A continuación se sometió a los cilindros a las pruebas de tracción por compresión diametral, colocándolos en la máquina de prueba con su eje horizontal entre las platinas e incrementando la carga hasta que fallen por separación a lo largo del diámetro vertical.

Figura 4.2.- Ensayo de cilindros a tracción por compresión diametral



Fuente: (Lomas, m. 2014)

Se observa que una vez que se aplica la máxima carga los cilindros no se rompen, sino que fallaban porque se aplastaban.

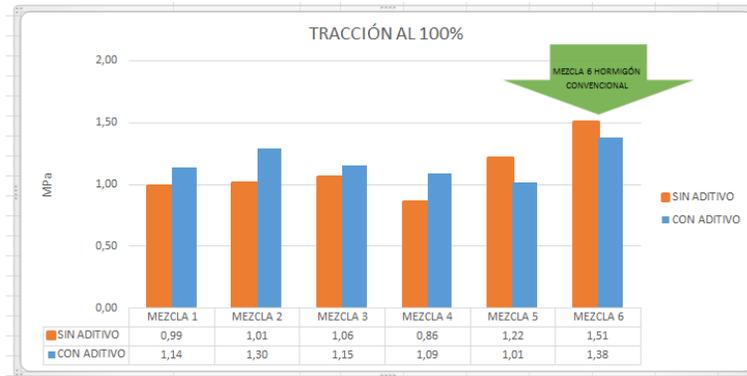
Cuadro 4.14.- Resumen de resultados de ensayos de cilindros de hormigones con áridos reciclados y poliestireno expandido a la tracción por compresión diametral

MEZCLA	MUESTRA		PESO	DENSIDAD	L	D	P	TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL				
	FECHA DE MOLDEO	nº						gr	kg/m3	(mm)	(mm)	(kg)
											kg/cm2	MPa
1ra. MEZCLA	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + POLIESTIRENO EXPANDIDO	07/11/2014	1	3052,1	1943	200	100	3200	10,19	1,00	10,11	0,99
		05/12/2014	2	3002,7	1912	200	100	3150	10,03	0,98		
	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + POLIESTIRENO EXPANDIDO + ADITIVO	08/11/2014	1	3004,6	1913	200	100	3700	11,78	1,15	11,62	1,14
		06/12/2014	2	3014,5	1919	200	100	3600	11,46	1,12		
2da. MEZCLA	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO	08/11/2014	1	3112,4	1981	200	100	3400	10,82	1,06	10,35	1,01
		06/12/2014	2	3104,5	1976	200	100	3100	9,87	0,97		
	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO + ADITIVO	24/10/2014	1	3167	2016	200	100	3500	11,14	1,09	13,21	1,30
		21/11/2014	2	3241	2063	200	100	4800	15,28	1,50		
3da. MEZCLA	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + ESC. BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO	07/11/2014	1	3218,8	2049	200	100	3300	10,50	1,03	10,82	1,06
		05/12/2014	2	3992,8	2542	200	100	3500	11,14	1,09		
	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + ESC. BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO + ADITIVO	24/10/2014	1	3318,5	2113	200	100	4000	12,73	1,25	11,78	1,15
		21/11/2014	2	3311,4	2108	200	100	3400	10,82	1,06		
4ta. MEZCLA	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + POLIESTIRENO EXPANDIDO	11/11/2014	1	3011,1	1917	200	100	2500	7,96	0,78	8,75	0,86
		10/12/2014	2	3021,9	1924	200	100	3000	9,55	0,94		
	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + POLIESTIRENO EXPANDIDO + ADITIVO	12/11/2014	1	3100,4	1974	200	100	3400	10,82	1,06	11,14	1,09
		10/12/2014	2	3075,3	1958	200	100	3600	11,46	1,12		
5ta. MEZCLA	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO EXPANDIDO	11/11/2014	1	3271,5	2083	200	100	3700	11,78	1,15	12,41	1,22
		10/12/2014	2	3358,9	2138	200	100	4100	13,05	1,28		
	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO EXPANDIDO + ADITIVO	12/11/2014	1	3397,6	2163	200	100	2500	7,96	0,78	10,35	1,01
		11/12/2014	2	3337,2	2125	200	100	4000	12,73	1,25		
6ta. MEZCLA	CEMENTO + ARENA + AGUA	14/11/2014	1	3399,5	2164	200	100	5200	16,55	1,62	15,36	1,51
		12/12/2014	2	4000	2546	200	100	4450	14,16	1,39		
	CEMENTO + ARENA + AGUA + ADITIVO	14/11/2014	1	3929	2501	200	100	4100	13,05	1,28	14,09	1,38
		12/12/2014	2	3901	2483	200	100	4750	15,12	1,48		

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.15.- Resumen de ensayos de cilindros de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido a la tracción por Compresión diametral, de las mezclas al 100 % de escombros Sin y con aditivo

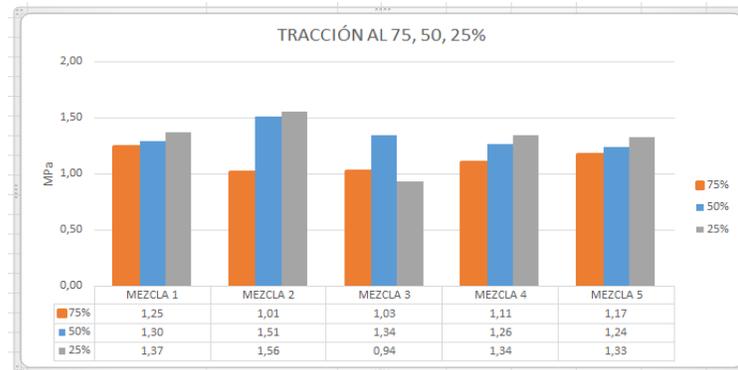


Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Se puede observar que las mezclas 2 y 3, tanto sin aditivo como con aditivo son las mejores, pues presentan las mayores resistencias a la tracción por compresión diametral, aunque también sus densidades aumentan un poco.

Cuadro 4.16.- Resumen de ensayos de cilindros de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido a la tracción por compresión diametral, de las mezcla al 75 %, 50 %, 25 %, de esc. sin aditivo

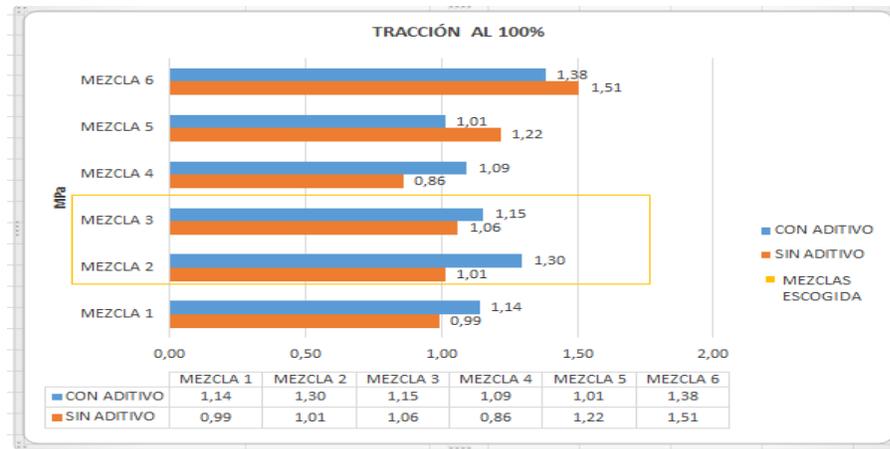


Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

En las mezclas de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido, se observa que a medida que el porcentaje de escombros va disminuyendo se aprecia un aumento de sus resistencias a la tracción por compresión diametral.

Cuadro 4.17.- Elección de Mezclas de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido por su resistencia a la Tracción por compresión diametral al 100 % de escombros sin y con aditivo



Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

4.3. Resultados de los ensayos de flexión

Para realizar estos ensayos, se fabricaron los paneles con los diferentes tipos de mezclas de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido, sin y con aditivos, en moldes metálicos de 1 m x 0,50 m x 4 cm de espesor (Medida estándar que se maneja en el mercado) y de 1 m x 0,50 m x 6 cm de espesor. A los 3 meses de su fabricación se los cortó en probetas de 15 cm x 53,46 cm y por los respectivos espesores, en forma de viga para poder ensayarlos a flexión.

La resistencia a la flexión se expresa como el módulo de ruta (MR) en Lb/pulg² y se determina mediante los métodos ASTM C 78, -cargada en los puntos tercios- que da los resultados más bajos (hasta 15 %) ó ASTM C 293 –cargada en el punto central. MR es cerca del 10 al 20 % de la resistencia a la compresión.

Previo a los ensayos, se colocaron las probetas en agua 24 horas antes, para evitar la caída brusca de la resistencia a la flexión.

Figura 4.3.- Preparación de los paneles, obtención y medición de probetas para ser ensayadas al esfuerzo de flexión



Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Figura 4.4.- Probetas de paneles de hormigón con áridos gruesos reciclados y Poliestireno expandido al 100 % de escombros ensayadas al esfuerzo de flexión.

Mezcla 1 de 4 y 6 cm de espesor



Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Al llegar a la máxima aplicación de las cargas, las probetas se rompieron entre los 15 cm marcados en el centro por el operador del Centro Técnico del Hormigón de la HOLCIM.

Cuadro 4.18.- Resistencia a la flexión en paneles de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido

CODIGO	NUMERO	FECHA MOLDE	FECHA ROTURA	EDAD	B (mm)	D (mm)	L (mm)	P (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO	
PANEL MEZCLA 1	1	e=4 cms/a	07-nov-14	05-feb	90	152,54	41,44	450	0,53	0,910	0,73
		07-nov-14	05-feb	90	152,27	41,14	450	0,32	0,559		
	2	e=6 cms/a	07-nov-14	05-feb	90	151,30	69,71	450	1,01	0,618	0,52
		07-nov-14	05-feb	90	152,53	68,95	450	0,67	0,416		
	3	e=4 cmc/a	08-nov-14	06-feb	90	152,30	42,45	450	0,83	1,361	1,33
		08-nov-14	06-feb	90	151,54	41,81	450	0,77	1,308		
PANEL MEZCLA 2	1	e=4 cms/a	24-oct-14	22-ene	90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	1,39
		24-oct-14	22-ene	90	154,38	36,64	450	0,64	1,390		
	2	e=6 cms/a	24-oct-14	22-ene	90	153,08	65,22	450	0,89	0,615	0,74
		24-oct-14	22-ene	90	150,79	62,06	450	1,11	0,860		
	3	e=4 cmc/a	14-nov-14	12-feb	90	154,57	49,85	450	1,15	1,347	1,30
		14-nov-14	12-feb	90	151,59	48,50	450	1,00	1,262		
PANEL MEZCLA 3	1	e=4 cms/a	07-nov-14	05-feb	90	154,56	52,01	450	0,97	1,044	1,00
		07-nov-14	05-feb	90	152,24	53,36	450	0,92	0,955		
	2	e=6 cms/a	07-nov-14	05-feb	90	152,77	62,75	450	1,01	1,077	0,89
		07-nov-14	05-feb	90	154,82	59,33	450	1,44	0,710		
	3	e=4 cmc/a	08-nov-14	06-feb	90	147,57	41,02	450	0,86	1,704	1,29
		08-nov-14	06-feb	90	150,05	42,64	450	0,94	0,874		
PANEL MEZCLA 4	1	e=4 cms/a	11-nov-14	09-feb	90	151,30	40,44	450	0,53	1,109	1,41
		11-nov-14	09-feb	90	152,92	41,23	450	0,61	1,714		
	2	e=6 cms/a	11-nov-14	09-feb	90	155,28	66,56	450	0,99	0,249	0,34
		11-nov-14	09-feb	90	154,35	66,31	450	0,38	0,431		
	3	e=4 cmc/a	12-nov-14	10-feb	90	152,81	35,43	450	0,65	1,947	1,72
		12-nov-14	10-feb	90	149,14	40,90	450	0,83	1,497		

Página 1/2, Fecha : 12 de Febrero del 2015

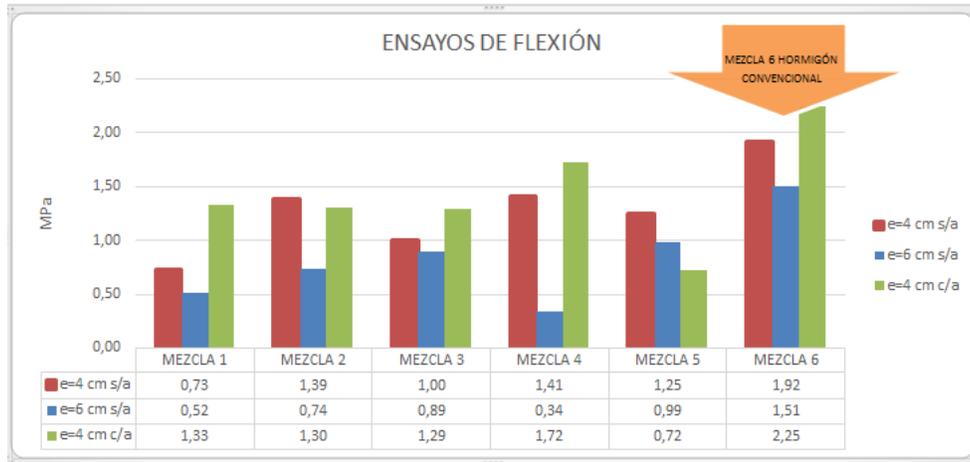
CODIGO	NUMERO	FECHA MOLDE	FECHA ROTURA	EDAD	B (mm)	D (mm)	L (mm)	P (kN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO	
PANEL MEZCLA 5	1	e=4 cms/a	11-nov-14	09-feb	90	141,56	42,18	450	0,69	1,233	1,25
		11-nov-14	09-feb	90	149,83	41,80	450	0,74	1,272		
	2	e=6 cms/a	11-nov-14	09-feb	90	151,32	60,13	450	1,49	1,226	0,99
		11-nov-14	09-feb	90	150,13	61,22	450	0,94	0,752		
	3	e=4 cmc/a	12-nov-14	10-feb	90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,72
		12-nov-14	10-feb	90	149,37	45,73	450	0,50	0,720		
PANEL MEZCLA 6	1	e=4 cms/a	14-nov-14	12-feb	90	151,95	39,78	450	1,13	2,115	1,92
		14-nov-14	12-feb	90	152,64	40,84	450	0,98	1,732		
	2	e=6 cms/a	14-nov-14	12-feb	90	155,29	78,44	450	2,70	1,272	1,51
		14-nov-14	12-feb	90	151,48	67,50	450	2,67	1,741		
	3	e=4 cmc/a	14-nov-14	12-feb	90	152,57	44,56	450	1,53	2,273	2,25
		14-nov-14	12-feb	90	151,42	45,09	450	1,52	2,222		

Página 2/2, Fecha : 12 de Febrero del 2015

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Figura 4.5.- Resumen de ensayos a flexión en paneles de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido de 4 y 6 cm de espesor

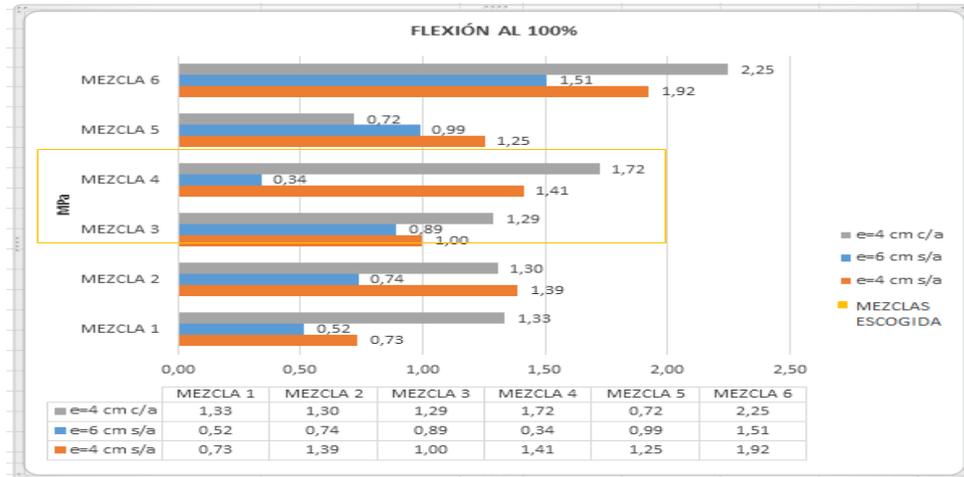


Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: Lomas, m. 2014

Se observa que la cuarta y la segunda mezcla se presentan como las de mayor resistencia a la flexión, las mismas que fueron preparadas con hormigones de áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido, sin aditivo (de 4 y 6cm de espesor, y con aditivo de (4cm de espesor) resistiendo al esfuerzo de flexión más allá de la décima parte de su resistencia a la compresión.

Cuadro 4.19.- Elección de las mezclas por su resistencia a la flexión en paneles de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno al 100 %



Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

4.4. Resultados de los ensayos de absorción

Una vez que se rompieron a compresión a los 28 días de habérselos moldeados, los cilindros de hormigón de áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido, se cogen los pedazos, se los rotula y se los pesa en la balanza de precisión para luego llevarlos al horno y someterlos a temperaturas de 105 grados centígrados durante 24 horas. Al término de ese tiempo se los saca del horno y se los vuelve a pesar.

La diferencia del peso húmedo menos peso seco y dividido para el peso seco, y el resultado multiplicado por 100, es lo que se conoce como absorción.

Figura 4.6.- Ensayo de absorción en hormigones de áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido



Fuente: Datos del experimento
Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

4.4.1. Resultados de los ensayos de absorción

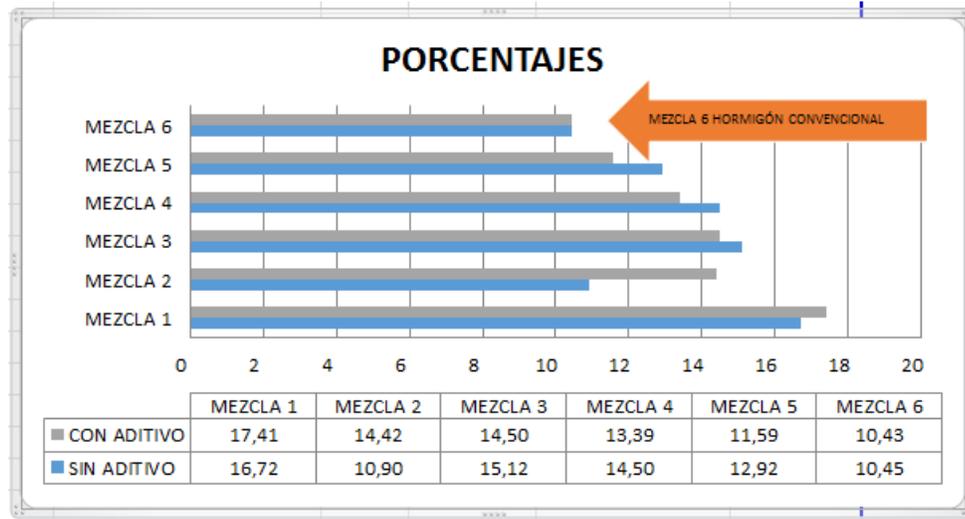
Cuadro 4.20.- Resumen de resultados de ensayos de absorción de hormigones de áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido al 100 %

MEZCLA		PROBETA	PESO HUMEDO	PESO SECO SECO A 24 HORAS DE ESTAR EN EL HORNO (105±)	ABSORCIÓN	PROMEDIO
		nº	(kg)	(mm)	%	%
1ra. MEZCLA	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + POLIESTIRENO EXPANDIDO	1	1435,75	1228,7	16,85	16,72
		2	1683,77	1444,1	16,60	
	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + POLIESTIRENO EXPANDIDO + ADITIVO	1	733,2	615,2	19,18	17,41
		2	1238,8	1071,2	15,65	
2da. MEZCLA	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO	1	1578,8	1434,1	10,09	10,90
		2	725,6	649,5	11,72	
	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO + ADITIVO	1	387,6	335,1	15,67	14,42
		2	780,9	690	13,17	
3da. MEZCLA	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + ESC. BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO	1	951,5	828,3	14,87	15,12
		2	1082	937,9	15,36	
	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + ESC. BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO + ADITIVO	1	677,4	599,2	13,05	14,50
		2	1034,1	891,8	15,96	
4ta. MEZCLA	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + POLIESTIRENO EXPANDIDO	1	1545,1	1340,5	15,26	14,50
		2	1863	1638	13,74	
	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + POLIESTIRENO EXPANDIDO + ADITIVO	1	1084	953,2	13,72	13,39
		2	1298,5	1148,5	13,06	
5ta. MEZCLA	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO EXPANDIDO	1	1643,9	1455,2	12,97	12,92
		2	1306,9	1157,9	12,87	
	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO EXPANDIDO + ADITIVO	1	1107,7	981,3	12,88	11,59
		2	2001,9	1815	10,30	
6ta. MEZCLA	CEMENTO + ARENA + AGUA	1	711,7	645,1	10,32	10,45
		2	1283	1160,3	10,57	
	CEMENTO + ARENA + AGUA + ADITIVO	1	924,5	837,8	10,35	10,43
		2	652,1	590,1	10,51	

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.21.- Resumen de resultados de ensayos de absorción en Mezclas de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido al 100 % de escombros

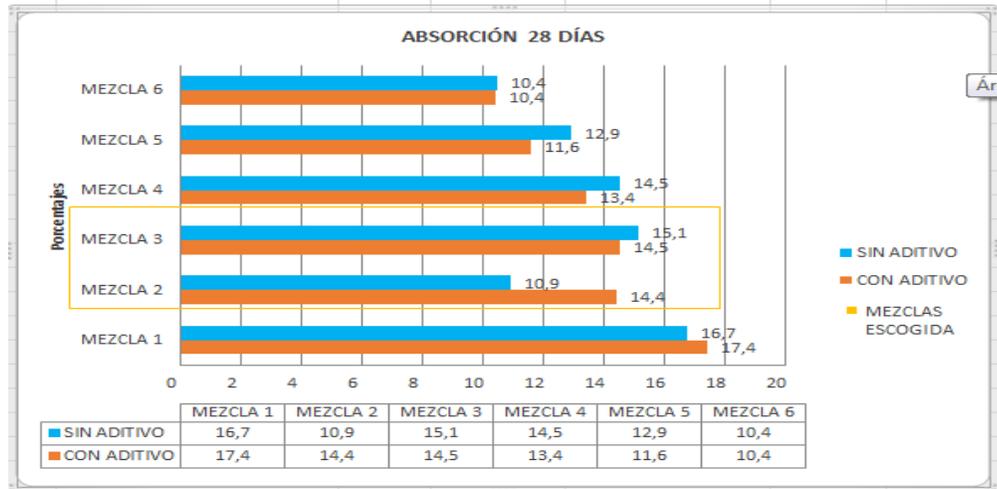


Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

En el cuadro de resumen se puede ver claramente que el más bajo porcentaje de absorción la tiene la mezcla 2 sin aditivo siguiéndole los pasos la mezcla 4 con aditivo, aproximándose al porcentaje de absorción de la sexta mezcla que corresponde a la de un hormigón convencional. Esto resultaría beneficioso en caso de exposición de los paneles de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido a un medio húmedo, mejorándolo con un aditivo impermeabilizante.

Cuadro 4.22.- Elección de mezclas de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido al 100 % por su menor absorción



Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

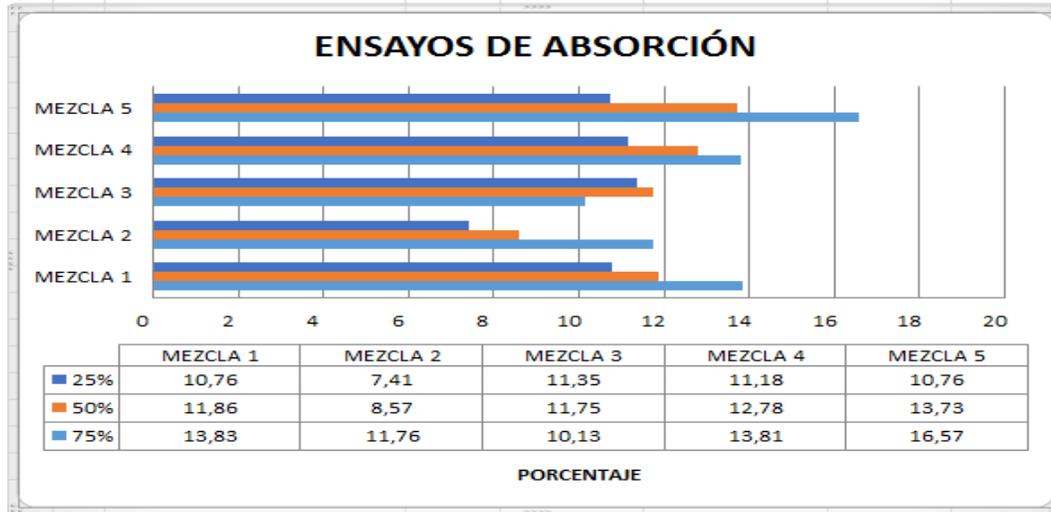
Cuadro 4.23.- Resumen de resultados de ensayos de absorción de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido al 75 %, 50 % y 25 % de escombros sin aditivo

MEZCLA			PROBETA	PESO HUMEDO	PESO SECO SECO A 24 HORAS DE ESTAR EN EL HORNO (105±)	ABSORCIÓN	PROMEDIO
			nº	(kg)	(mm)	%	%
1ra. MEZCLA	75%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + POLIESTIRENO EXPANDIDO	1	918	810,7	13,24	13,83
			2	741,5	648	14,43	
	50%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + POLIESTIRENO EXPANDIDO	1	593,4	529	12,17	11,86
			2	980	878,6	11,54	
	25%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + POLIESTIRENO EXPANDIDO	1	792,3	710,3	11,54	10,76
			2	1015,2	923,1	9,98	
2da. Mezcla	75%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO	1	1413,9	1261,3	12,10	11,76
			2	1248,6	1120,6	11,42	
	50%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO	1	881,8	817,3	7,89	8,57
			2	1112,9	1018,6	9,26	
	25%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO	1	1294,4	1205,1	7,41	7,41
			2	1380,1	-	-	
3ra. Mezcla	75%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + ESC. BLOQUES DE CONCRETO+ ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO	1	1338,9	1222,1	9,56	10,13
			2	1037,6	937,3	10,70	
	50%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + ESC. BLOQUES DE CONCRETO+ ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO	1	834,4	745,1	11,98	11,75
			2	1098	984,6	11,52	
	25%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE LADRILLOS + ESC. BLOQUES DE CONCRETO+ ESC. ELEMENTOS ESTRUCTURALES + POLIESTIRENO	1	1657,5	1489,8	11,26	11,35
			2	1226,5	1100,6	11,44	
4ta. Mezcla	75%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + POLIESTIRENO EXPANDIDO	1	1338,6	1168,3	14,58	13,81
			2	980	867	13,03	
	50%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + POLIESTIRENO EXPANDIDO	1	1367	1201,4	13,78	12,78
			2	1435,4	1284,2	11,77	
	25%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + POLIESTIRENO EXPANDIDO	1	1278	1155,1	10,64	11,18
			2	1747,4	1564,2	11,71	
5ta. MEZCLA	75%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + POLIESTIRENO EXPANDIDO	1	965,3	837,3	15,29	16,57
			2	644,5	546,9	17,85	
	50%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + POLIESTIRENO EXPANDIDO	1	1359,5	1204,1	12,91	13,73
			2	1529,3	1335	14,55	
	25%	CEMENTO + ARENA + AGUA + ESC. DE BLOQUES DE CONCRETO + POLIESTIRENO EXPANDIDO	1	1442,3	1303,2	10,67	10,76
			2	1120,6	1011	10,84	

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.24.- Resumen de resultados de ensayos de absorción en hormigones de áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido al 75 %, 50 %, 25 % de escombros sin aditivo



Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Los resultados de los ensayos de absorción más bajos se dan en las mezclas 2 y 3, de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido sin aditivo y con un 25 % de escombros.

4.5. Resultados de ensayos de durabilidad

Los dos cilindros que se destinaron a los ensayos de durabilidad por humedecimiento – secado, son retirados de la piscina a los 7 días de habérselos moldeados y se los escurrió.

A continuación se los llevó al horno sometiéndoselos a 110 grados centígrados durante 19 horas. Luego se los sacó del horno y se los midió y pesó (WSi). Se los cepilló 14 veces en sus caras laterales con un cepillo

metálico y en sus bases 4 veces. Se sacudió con una brocha los residuos y se los volvió a medir y pesar (WSI).

Se los vuelve a sumergir en agua 5 horas para luego introducirlos en el horno por 19 horas. Se repitió el proceso 12 veces. Finalmente se determinaron las pérdidas de peso totales referidos a los pesos iniciales de los cilindros.

Figura 4.7.- Ensayo de Durabilidad por humedecimiento – secado de hormigones de áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido



Fuente: Datos del experimento
Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.25.- Ensayos de durabilidad por humedecimiento – secado en cilindros de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido

		DURABILIDAD HUMEDECIDO- SECADO						HORNO 105° C			FECHA DE INICIO 01/07/2014			Nº PAS. EN LAS BASES 4					
								Nº PASADAS LONGITUDINALI 18-20			EDAD DEL HORMIGÓN 7 DIAS			MUESTRA SUMERG. 5 HORAS					
		01/07/2014		02/07/2014		03/07/2014		04/07/2014		05/07/2014		07/07/2014							
		CICLO1		CICLO2		CICLO3		CICLO4		CICLO5		CICLO6							
		P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.	P.		
		SECO	CEPILLADO	S.S.S	SECO	CEPILLADO	S.S.S	SECO	CEPILLADO	S.S.S	SECO	CEPILLADO	S.S.S	SECO	CEPILLADO	S.S.S	SECO	CEPILLADO	S.S.S
MEZCLA1	A	2866	2855,4	3044	2821	2807,6	3024	2802	2727	3010	2780	2769,7	2997	2709	2696,7	2978	2645	2634,7	2967
	B	2853	2843,4	3033	2757	2742,3	3013	2742	2728,2	2999	2693	2680,2	2981	2667	2649,4	2959	2640	2624,5	2949
MEZCLA2	A	3025	3009,8	3194	2918	2905,9	3176	2892	2877,8	3158	2852	2822,2	3144	2822	2801,3	3124	2781	2756,7	3111
	B	3060	3049,8	3216	3020	2932,2	3199	2899	2886,9	3181	2883	2886,6	3168	2869	2858,3	3147	2856	2841,1	3136
MEZCLA3	A	3084	3067,7	3211	2960	2942,3	3184	2911	2897	3170	2814	2803,7	3148	2767	2783,1	3132	2767	2754,5	3117
	B	2963	2948,9	3116	2895	2986,7	3088	2833	2769,8	3067	2806	2997,2	3057	2773	2761,6	3038	2752	2743,2	3020

		DURABILIDAD HUMEDECIDO- SECADO						HORNO 105° C			FECHA DE INICIO 01/07/2014			Nº PAS. EN LAS BASES 4						
								Nº PASADAS LONGITUDINALI 18-20			EDAD DEL HORMIGÓN 7 DIAS			MUESTRA SUMERG. 5 HORAS						
		08/07/2014		09/07/2014		10/07/2014		11/07/2014		12/07/2014		14/07/2014		DESGASTE						
		CICLO7		CICLO8		CICLO9		CICLO10		CICLO11		CICLO12		FINAL %						
		P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.	P.			
		SECO	CEPILLADO	S.S.S	SECO	CEPILLADO	S.S.S	SECO	CEPILLADO	S.S.S	SECO	CEPILLADO	S.S.S	SECO	CEPILLADO	S.S.S	SECO	CEPILLADO	S.S.S	
MEZCLA1	A	2621	2617,9	2958	2626	2617,4	2945	2582	2576,9	2933	2576	2570,6	2929	2568	2665,2	2828	2482	2475,1	2793,8	13,6241
	B	2620	2610,8	2910	2603	2595,2	2889	2570	2563,3	2887	2559	2552,4	2890	2550	2546,1	2882	2524	2518	2801,7	11,7266
MEZCLA2	A	2751	2744,5	3101	2742	2734,7	3072	2697	2689,7	3038	2686	2681,2	3025	2680	2677,5	3021	2675	2671,4	3006,3	11,6747
	B	2834	2816,1	3107	2815	2805,5	3053	2723	2716,4	3063	2703	2698,3	3070	2697	2690,8	3001	2666	2659	2988,7	13,0989
MEZCLA3	A	2753	2746,3	3011	2750	2738,9	3087	2728	2717	3073	2713	2705,3	3069	2705	2698,8	3052	2679	2669	3031,6	13,4537
	B	2741	2734,7	3126	2711	2674,2	2995	2651	2642,3	2984	2639	2630,3	2981	2629	2621,9	2972	2607	2594,7	2938,3	12,4359

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

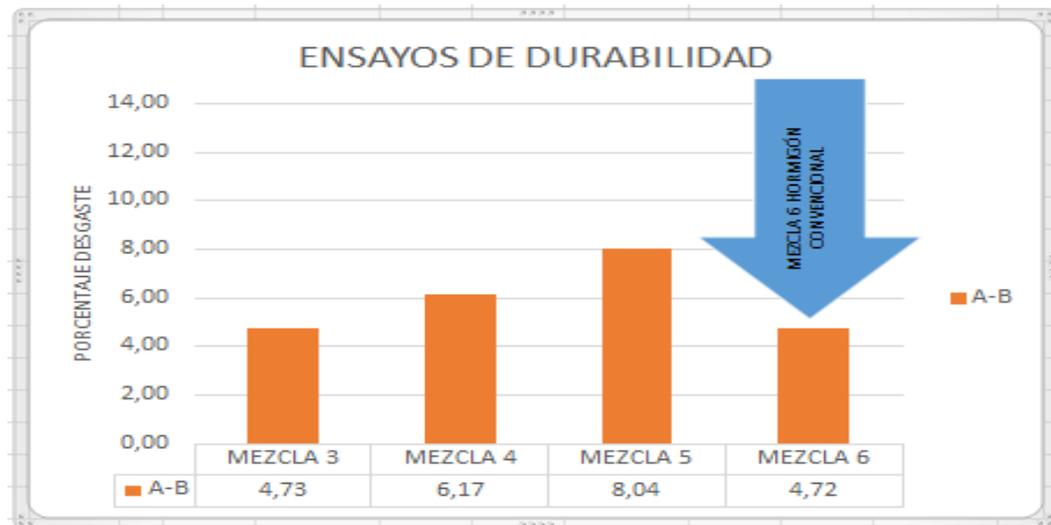
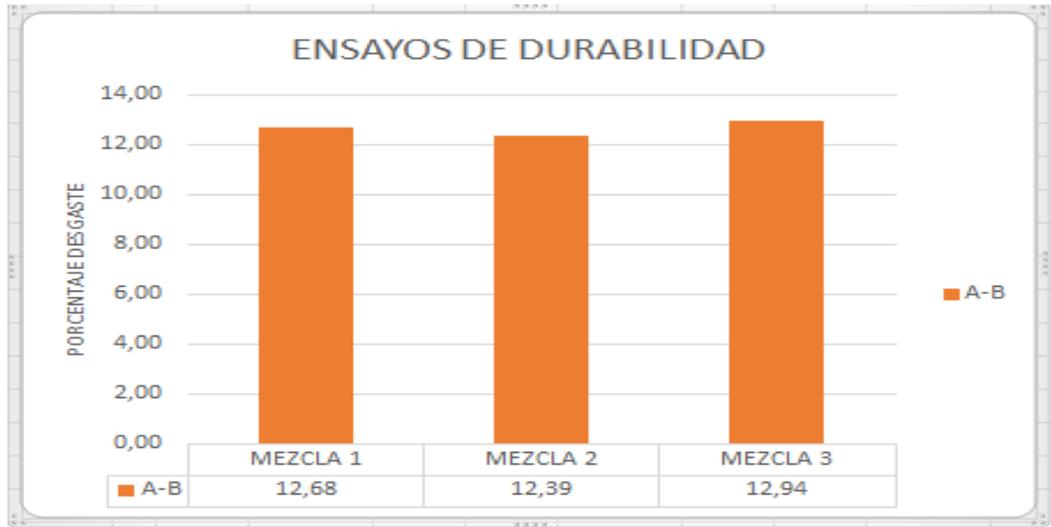
Cuadro 4.26.- Ensayos de durabilidad humedecimiento – secado en cilindros de hormigón con áridos reciclados y poliestireno expandido

		DURABILIDAD HUMEDECIDO- SECADO									HORNO 105° C		FECHA DE INICIO 08/12/2014		Nº PAS. EN LAS BASES 4				
											Nº PASADAS LONGITUDINALI 18-20		EDAD DEL HORMIGÓN 7 DIAS		MUESTRA SUMERG. 5 HORAS				
		08/12/2014			09/12/2014			10/12/2014			11/12/2014			12/12/2014			13/12/2014		
		CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3			CICLO 4			CICLO 5			CICLO 6		
		P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.
		SECO	CEPILLADO	S. S. S	SECO	CEPILLADO	S. S. S	SECO	CEPILLADO	S. S. S	SECO	CEPILLADO	S. S. S	SECO	CEPILLADO	S. S. S	SECO	CEPILLADO	S. S. S
MEZCLA 3 (g)	A	3074	3053,4	3411	3053	3037,2	3340	3036	3021,4	3370	3022	3010,6	3359	3011	3000,1	3352	3000	2986,3	3341
	B	3084	3069,1	3423	3068	3073,1	3402	3072	3061,5	3360	3061	3048,3	3344	3049	3033,3	3319	3033	3015,9	3311
MEZCLA 4 (g)	A	2653	2648,3	2939	2647	2637,7	2934	2639	2633	2929	2680	2572,1	2915	2571	2566,1	2904	2568	2559,2	2881
	B	2754	2750,6	2994	2749	2740,3	2991	2722	2717,3	2986	2644	2638,2	2990	2636	2530,8	2977	2631	2619,2	2949
MEZCLA 5 (g)	A	3118	3110,6	3373	3110	3102,9	3360	3069	3064,3	3358	3037	2991	3344	3024	3013,6	3275	3020	2559,2	2881
	B	3083	3078,4	3329	3075	3065,1	3310	3043	3037,6	3312	2981	2945,1	3301	2974	2958,6	33281	2967	2619,2	2949
MEZCLA 6 (g)	A	3885	3869,9	4183	3870	3853,1	4131	3853	3837,2	4093	3838	3821,6	4061	3823	3806,8	4010	3807	3792,9	4000
	B	3974	3961,7	4198	3960	3942,6	4138	3942	3931,7	4102	3932	3915,8	4093	3919	3904,1	4068	3906	3890,6	4040

		DURABILIDAD HUMEDECIDO- SECADO									HORNO 105° C		FECHA DE INICIO 08/12/2014		Nº PAS. EN LAS BASES 4					
											Nº PASADAS LONGITUDINALI 18-20		EDAD DEL HORMIGÓN 7 DIAS		MUESTRA SUMERG. 5 HORAS					
		15/12/2014			16/12/2014			17/12/2014			18/12/2014			19/12/2014			20/12/2014			DESGASTE FINAL %
		CICLO 7			CICLO 8			CICLO 9			CICLO 10			CICLO 11			CICLO 12			
		P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.	P	P.	P.	
		SECO	CEPILLADO	S. S. S	SECO	CEPILLADO	S. S. S	SECO	CEPILLADO	S. S. S	SECO	CEPILLADO	S. S. S	SECO	CEPILLADO	S. S. S	SECO	CEPILLADO	S. S. S	
MEZCLA 3 (g)	A	2986	2970,8	3298	2971	2963,9	3280	2963	2954,8	3278	2954	2940,2	3277	2940	2933,6	3966	2933	2923,6	3235,9	4,9
	B	3016	3000,6	3300	3000	2988,6	3282	2988	2976,2	3269	2976	2962,5	3248	2962	2951,9	3271	2952	2942,3	3272	4,6
MEZCLA 4 (g)	A	2563	2558,2	2868	2557	2540,6	2860	2542	2532,6	2848	2531	2525,7	2869	2517	2510,2	2832	2512	2506,3	2809,6	5,5
	B	2629	2625,6	2947	2629	2620,4	2920	2619	2632,6	2898	2596	2592,7	2948	2583	2574,6	2904	2574	2566,8	2874,4	6,8
MEZCLA 5 (g)	A	2563	3003,7	3306	2960	2957,4	3264	2959	2954	3250	2953	2948,8	3291	2840	2833,1	3111	2833	2825,4	3079,8	9,4
	B	2629	2960,2	3268	2960	2921,3	3248	2924	2910,3	3211	2907	2902,1	3252	2892	2883,4	3171	2883	2876,6	3099,6	6,7
MEZCLA 6 (g)	A	3793	3778,3	3988	3778	3757,4	3968	3757	3740,8	3960	3740	3720,8	3949	3720	3702,4	3940	3702	3685,1	3937	5,1
	B	3890	3870,9	4020	3871	3859,9	4004	3859	3844,6	3989	3844	3833,6	3977	3833	3820,2	3969	3820	3802,9	3968	4,3

Fuente: Datos del experimento
Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.27.- Resumen de resultados de ensayos de durabilidad por humedecimiento – secado de cilindros de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido

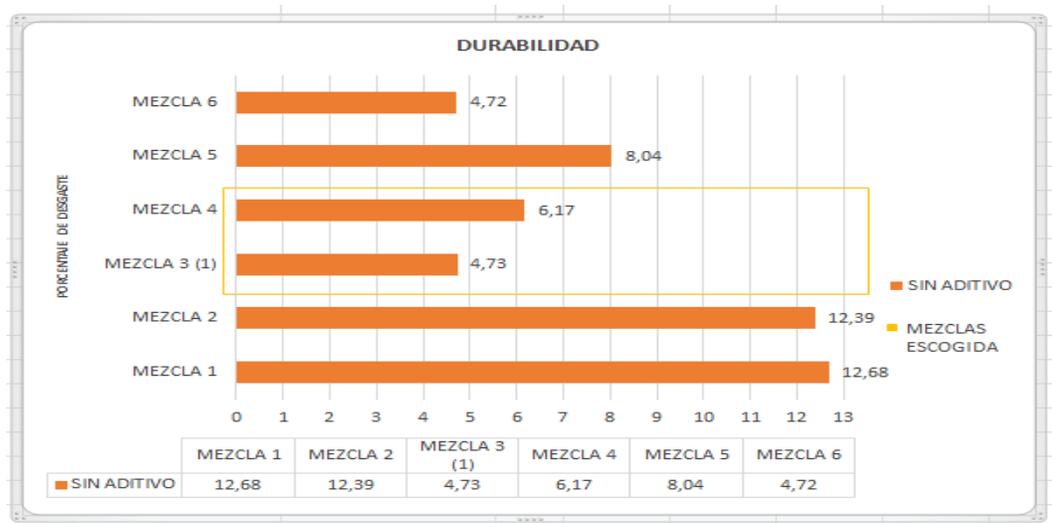


Fuente: Datos del experimento
 Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

La mezcla que menor porcentaje de desgaste presenta es la 3, con un 4,73% similar al de la mezcla 6 que corresponde a la de un hormigón convencional.

Además el máximo porcentaje de desgaste por humedecimiento – secado, según la norma IRAM 10524 y 10414 es de 14%.

Cuadro 4.28.- Elección de mezclas de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido por su durabilidad (humedecimiento–secado)



Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2014)

4.6 Elaboración de paneles prefabricados con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido

Los paneles prefabricados empezaron a moldearse el 24 de Octubre del 2014, para ello se hizo fabricar moldes metálicos de las mismas dimensiones de los paneles 1m x 0,50 m x 0.04 m y 1m x 0,50 m x 0.06 m.

Los objetivos fueron:

- Moldear tres paneles por cada mezcla de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido; sin aditivo (espesor de 4 y 6cms) y con aditivo (espesor de 4 cm). En total 15 paneles.
- Moldear tres paneles con hormigón convencional; sin aditivo (espesor de 4 y 6 cm) con aditivo (espesor de 4 cm).
- Determinar la resistencia de los paneles preparados con estos hormigones.
- Determinar la correcta manipulación, traslado, aplilamiento y colocación de los paneles.
- Determinar la resistencia a la flexión en vigas cortadas de los paneles.
- Determinar la conductividad térmica de los paneles.

Equipo utilizado:

Recipiente normado de laboratorio $V=0,0028 \text{ m}^3$

Pala

Bailejo

Carretilla

Balde

Varilla de punta redondeada

Martillo de hule

Martillo

Enrasadora

Balanza de precisión

Moldes metálicos para paneles

Materiales:

Cemento Portland Gu

Arena normalizada

Escombros de ladrillos

Escombros de bloques de concreto

Escombros de elementos estructurales

Poliestireno expandido

Aditivo Polyheed R1 – 719

Se procedió a moldear los paneles con los diferentes tipos de hormigones, en tres capas y a cada uno se le aplicó 56 varilladas como si fuesen viga, Se prepararon los materiales en volúmenes.

Figura 4.8.- Preparación de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido para la elaboración de los paneles; control de revenimiento y medición de peso húmedo



Fuente: (Lomas, m. 2014)

Figura 4.9.- Elaboración de paneles de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido



Fuente: (Lomas, m. 2014)

4.7. Determinación de la Conductividad Térmica

El calor puede ser transferido de un punto a otro mediante tres procesos distintos: conducción, convección y radiación. De lo que aquí se trata es medir la cantidad de calor transferida por conducción.

En la conducción el calor se transmite a través de un medio material (en este caso a través del material en estudio) y no hay transporte de materia. La velocidad a la que se transfiere el calor a través del material (dQ/dt) se representa por la letra H , y se denomina flujo de calor.

Empíricamente se halló que el flujo de calor es proporcional al área transversal a la dirección del flujo (A), a la diferencia de temperatura a ambos lados del material.

LEY DE FOURIER: Determinada por esta ley, la conducción térmica, establece que el flujo de transferencia de calor por conducción en un medio isótropo es correspondiente y de sentido inverso al gradiente de temperatura de dicha dirección.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{kA}{x}(T_1 - T_2)$$

Dónde:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

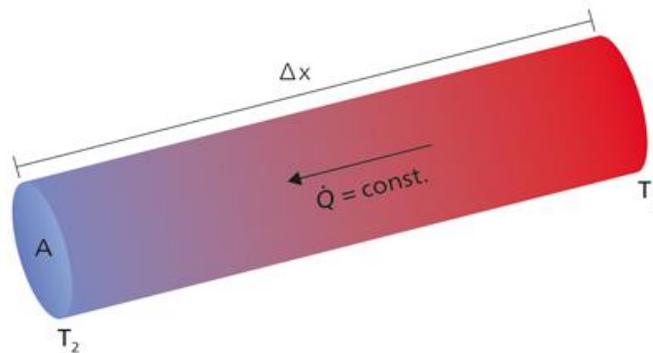
es el calor transferido en una unidad de tiempo.

k (o λ) es la variable que indica la conductividad térmica.

A representa el área de la zona de contacto.

$(T_1 - T_2)$ significa el contraste de temperatura entre el foco caliente y el frío.

x simboliza el grosor del material.



El factor de conductividad térmica (k) enuncia la cuantía o flujo de calor que transita a través de la unidad de superficie de una porción infinita del material, caras plano paralelas y grosor unidad; si entre dichas caras se crea un contraste de temperaturas equivalente a la unidad, en circunstancias estacionarias.

La conductividad térmica se enuncia en unidades de $W/m \cdot K$ ($J/s \cdot m \cdot ^\circ C$).

Esta también puede formularse en unidades de British thermal units por hora por pie por grado Fahrenheit ($Btu/h \cdot ft \cdot ^\circ F$). Dichas unidades pueden transmutarse a $W/m \cdot K$ utilizando el factor de transformación: $1 Btu/h \cdot ft \cdot ^\circ F = 1,731 W/m \cdot K$.

Procedimiento experimental:

Mezcla 1: Cemento Portland, escombros de ladrillos, poliestireno expandido, arena normalizada y agua.

Mezcla 2: Cemento Portland, restos de bloques de hormigón, poliestireno expandido, desechos de elementos estructurales de hormigón, arena normalizada y agua.

Mezcla 3: Cemento Portland, escombros de ladrillos, restos de bloques de hormigón, poliestireno expandido, desechos de elementos estructurales de hormigón, arena normalizada y agua.

Mezcla 4: Cemento Portland, restos de bloques de hormigón, poliestireno expandido, arena normalizada y agua.

Mezcla 5: Cemento Portland, desechos de elementos estructurales de hormigón, poliestireno expandido, arena normalizada y agua.

Para el siguiente procedimiento se comienza con una mezcla cuyo valor de conductividad térmica es conocido:

Muestra 6: Cemento Portland, grava, arena normalizada y agua.

En dicha mezcla, el valor de la conductividad térmica es de 1.6 W/m.°C para una densidad entre 2400 y 2600 kg/m³. Normas NTE INEN 2 506: 2009, NCh853 – 2007 o la NBE-CT-79.

Obtención del Flujo de calor neto mediante el panel de 6 cm de grosor de la mezcla 6, emanado por la fuente de calor del reflector de 500 W.

Primeramente se sitúa el panel verticalmente a 10 cm de distancia de la fuente de calor consistente en un reflector de 25 cm de ancho por 15 cm de alto y 12 cm de profundidad, con una potencia de 500 W.

La diferencia de temperatura entre las superficies se determina mediante la colocación de termómetros en cada superficie, correspondiendo T1 a la temperatura en la superficie “caliente” y T2 a la temperatura en la superficie “fría”.

La primera medición se realiza durante 10 minutos y luego se prende el reflector y luego de 5 minutos se comienzan las mediciones. Se toman medidas de temperatura durante 10 minutos y luego se apaga el reflector y se continúa tomando medidas hasta que las temperaturas de ambas superficies de igualen. Posteriormente se tabulan en el Cuadro 4.30.

Se aplica la fórmula de la Ley de Fourier considerando que el coeficiente de conductividad térmica es un dato conocido y se calcula el vector de flujo de

calor por unidad de superficie (W m²) mediante la fórmula: $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$

Determinado el valor del Flujo de calor que pasa por conducción de la “superficie caliente” hasta la “superficie fría”, procedemos con los paneles de las mezclas de la 1 a la 5.

Considerando el flujo de calor calculado como dato empírico dado, calculamos el valor de k para cada mezcla panel y se tabula en el Cuadro 4.30.

Para la medición de la conductividad térmica de los paneles se utilizó un procedimiento experimental validado por los resultados. Norma IRAM 11559.

Figura 4.10.- Preparación de los paneles de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido. Conductividad Térmica



Fuente: (Lomas, m. 2014)

Figura 4.11.- Equipo empleado para las pruebas de conductividad térmica de paneles de escombros de mamposterías de ladrillos, bloques de concreto, elementos estructurales y poliestireno expandido



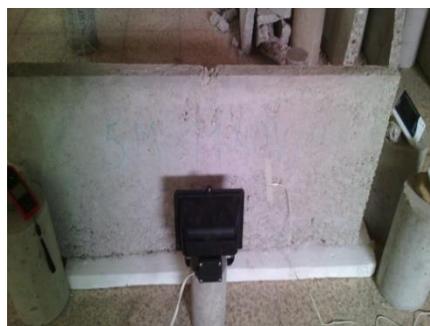
Fuente: (Lomas, m. 2014)

Figura 4.12.- Toma de datos en pruebas de conductividad térmica de paneles de hormigón con áridos reciclados y poliestireno expandido



Fuente: (Lomas, m. 2014)

Figura 4.13.- Pruebas de conductividad térmica de paneles de hormigón con áridos gruesos reciclados y póliestireno expandido



Fuente: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 4.29.- Cálculo de Flujo de calor a través de una mezcla de Hormigón de 2400kg/m³ de un panel de espesor = 6 cm, sin aditivo

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA							
DIMENSIONES					FECHA DE INICIO:		
ESPESOR (m)	0,06				HORA :		
LARGO (m)	0,50				CONDUCTIVIDAD TÉRMICA: MEZCLA 6 = 1,6 W/m.°C		
ANCHO (m)	0,38				CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVÉS DE UNA MUESTRA DE HORMIGÓN DE 2400Kg/m ³		
TEMPERATURA DE SUPERFICIE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE T2 (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m ³	AREA DE MUESTRA m ²	DATOS DE K W/m.°C	(T2-T1) (°C)	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = H = k * A * \Delta T \div (\Delta x)$ W	Hpromedio W
33,1	29,8	2512,0	0,19	1,60	3,30	16,72	33,12
35,1	29,8	2512,0	0,19	1,60	5,30	26,85	
36,3	29,8	2512,0	0,19	1,60	6,50	32,93	
37,1	29,8	2512,0	0,19	1,60	7,30	36,99	
37,8	29,8	2512,0	0,19	1,60	8,00	40,53	
38,4	29,8	2512,0	0,19	1,60	8,60	43,57	
39,0	29,9	2512,0	0,19	1,60	9,10	46,11	
39,5	29,9	2512,0	0,19	1,60	9,60	48,64	
40,1	29,8	2512,0	0,19	1,60	10,30	52,19	
40,5	29,8	2512,0	0,19	1,60	10,70	54,21	
41,2	29,9	2512,0	0,19	1,60	11,30	57,25	
41,6	29,9	2512,0	0,19	1,60	11,70	59,28	
42,0	30,1	2512,0	0,19	1,60	11,90	60,29	
42,0	30,1	2512,0	0,19	1,60	11,90	60,29	
39,3	30,2	2512,0	0,19	1,60	9,10	46,11	
37,1	30,2	2512,0	0,19	1,60	6,90	34,96	
36,0	30,3	2512,0	0,19	1,60	5,70	28,88	
35,2	30,4	2512,0	0,19	1,60	4,80	24,32	
34,7	30,4	2512,0	0,19	1,60	4,30	21,79	
34,2	30,5	2512,0	0,19	1,60	3,70	18,75	
34,1	30,5	2512,0	0,19	1,60	3,60	18,24	
33,8	30,5	2512,0	0,19	1,60	3,30	16,72	
33,5	30,6	2512,0	0,19	1,60	2,90	14,69	
33,3	30,8	2512,0	0,19	1,60	2,50	12,67	
33,0	30,8	2512,0	0,19	1,60	2,20	11,15	
32,9	30,9	2512,0	0,19	1,60	2,00	10,13	

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.30.- Cálculo de flujo de calor a través de mezcla de hormigón de 2500 kg/m³ de un panel de espesor de 6 cm, con aditivo

CON ADITIVO							
DIMENSIONES				FECHA DE INICIO:			
ESPESOR (m)	0,06			HORA :			
LARGO (m)	0,50			CONDUCTIVIDAD TÉRMICA: MEZCLA 6 = 1,6 W/m.°C			
ANCHO (m)	0,38			CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVÉS DE UNA MUESTRA DE HORMIGÓN DE 2500Kg/m ³			
TEMPERATURA DE SUPERFICIE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE T2 (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m ³	AREA DE MUESTRA m ²	DATOS DE K W/m.°C	(T2-T1) (°C)	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = H = k * A * \Delta T \div (\Delta x)$ W	Hpromedio W
30,9	29,6	2512,0	0,19	1,60	1,30	6,59	22,75
32,1	29,6	2512,0	0,19	1,60	2,50	12,67	
32,7	29,8	2512,0	0,19	1,60	2,90	14,69	
34,6	29,8	2512,0	0,19	1,60	4,80	24,32	
35,2	29,9	2512,0	0,19	1,60	5,30	26,85	
35,7	30,0	2512,0	0,19	1,60	5,70	28,88	
36,1	30,1	2512,0	0,19	1,60	6,00	30,40	
36,5	30,2	2512,0	0,19	1,60	6,30	31,92	
36,8	30,1	2512,0	0,19	1,60	6,70	33,95	
37,2	30,2	2512,0	0,19	1,60	7,00	35,47	
37,4	30,5	2512,0	0,19	1,60	6,90	34,96	
37,7	30,5	2512,0	0,19	1,60	7,20	36,48	
38,3	31,1	2512,0	0,19	1,60	7,20	36,48	
38,7	31,2	2512,0	0,19	1,60	7,50	38,00	
36,4	31,4	2512,0	0,19	1,60	5,00	25,33	
35,1	31,5	2512,0	0,19	1,60	3,60	18,24	
34,2	31,7	2512,0	0,19	1,60	2,50	12,67	
33,9	31,8	2512,0	0,19	1,60	2,10	10,64	
33,5	31,9	2512,0	0,19	1,60	1,60	8,11	
33,3	32,1	2512,0	0,19	1,60	1,20	6,08	
33,1	32,1	2512,0	0,19	1,60	1,00	5,07	

Fuente. Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.31.- Cálculo de Flujo de calor a través de la mezcla 6 de hormigón de 2400kg/m³ de un panel de 4 cm de espesor, sin aditivo

DIMENSIONES					FECHA DE INICIO:		
ESPESOR (m)	0,04				HORA :		
LARGO (m)	0,50				CONDUCTIVIDAD TÉRMICA: MEZCLA 6 = 1,6 W/m.°C		
ANCHO (m)	0,38				CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVÉS DE UNA MUESTRA DE HORMIGÓN DE 2400Kg/m ³		
TEMPERATURA DE SUPERFICIE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE T2 (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m ³	AREA DE MUESTRA m ²	DATOS DE K W/m.°C	(T2-T1) (°C)	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = H = k * A * \Delta T) \div (\Delta x)$ W	Hpromedio W
36,2	34,4	2400,0	0,19	1,80	1,80	15,39	47,37
37,5	34,4	2400,0	0,19	1,80	3,10	26,51	
39,5	34,4	2400,0	0,19	1,80	5,10	43,61	
40,9	34,5	2400,0	0,19	1,80	6,40	54,72	
41,9	34,7	2400,0	0,19	1,80	7,20	61,56	
44,0	34,5	2400,0	0,19	1,80	9,50	81,23	
43,5	34,8	2400,0	0,19	1,80	8,70	74,39	
44,1	34,8	2400,0	0,19	1,80	9,30	79,52	
44,7	35,1	2400,0	0,19	1,80	9,60	82,08	
45,2	35,2	2400,0	0,19	1,80	10,00	85,50	
45,6	35,2	2400,0	0,19	1,80	10,40	88,92	
46,2	35,6	2400,0	0,19	1,80	10,60	90,63	
46,5	35,8	2400,0	0,19	1,80	10,70	91,49	
44,0	36,5	2400,0	0,19	1,80	7,50	64,13	
42,1	36,8	2400,0	0,19	1,80	5,30	45,32	
40,8	36,9	2400,0	0,19	1,80	3,90	33,35	
40,1	37,3	2400,0	0,19	1,80	2,80	23,94	
39,4	37,3	2400,0	0,19	1,80	2,10	17,96	
39,1	37,5	2400,0	0,19	1,80	1,60	13,68	

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.32.- Cálculo de flujo de calor a través de la Mezcla 6 de hormigón de 2400kg/m3 de un panel de 4 cm de espesor, con aditivo

DIMENSIONES					FECHA DE INICIO:		
ESPESOR (m)	0,04				HORA :		
LARGO (m)	0,50				CONDUCTIVIDAD TÉRMICA: MEZCLA 6 = 1,6 W/m.°C		
ANCHO (m)	0,38				CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVÉS DE UNA MUESTRA DE HORMIGÓN DE 2400Kg/m ³		
TEMPERATURA DE SUPERFICIE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE T2 (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m ³	AREA DE MUESTRA m ²	DATOS DEK W/m.°C	(T2-T1) (°C)	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = H = k * A * \Delta T \div (\Delta x)$ W	Hpromedio W
30,9	29,6	2400,0	0,19	1,80	1,30	11,12	39,89
32,1	29,6	2400,0	0,19	1,80	2,50	21,38	
32,7	29,8	2400,0	0,19	1,80	2,90	24,80	
34,6	29,8	2400,0	0,19	1,80	4,80	41,04	
35,2	29,9	2400,0	0,19	1,80	5,30	45,32	
35,7	30,0	2400,0	0,19	1,80	5,70	48,74	
36,1	30,1	2400,0	0,19	1,80	6,00	51,30	
36,5	30,2	2400,0	0,19	1,80	6,30	53,87	
36,8	30,1	2400,0	0,19	1,80	6,70	57,29	
37,2	30,2	2400,0	0,19	1,80	7,00	59,85	
37,4	30,5	2400,0	0,19	1,80	6,90	59,00	
37,7	30,5	2400,0	0,19	1,80	7,20	61,56	
38,3	31,1	2400,0	0,19	1,80	7,20	61,56	
38,7	31,2	2400,0	0,19	1,80	7,50	64,13	
36,4	31,4	2400,0	0,19	1,80	5,00	42,75	
35,1	31,5	2400,0	0,19	1,80	3,60	30,78	
34,2	31,7	2400,0	0,19	1,80	2,50	21,38	
33,9	31,8	2400,0	0,19	1,80	2,10	17,96	
33,5	31,9	2400,0	0,19	1,80	1,60	13,68	
33,3	32,1	2400,0	0,19	1,80	1,20	10,26	

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.33.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles de mezcla 1 sin y con aditivo, de 4 cm de espesor

MUESTRA 1 SIN ADITIVO											
DIMENSIONES				FECHA DE INICIO: 24/12/2014							
ESPESOR (m)	0,04			HORA : 10h08							
LARGO (m)	0,50			CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:							
ANCHO (m)	0,38			MEZCLA 1 - SIN ADITIVO							
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRÍA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA m²	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m³	K CALCULADO W/m°C $k = (Q\Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m°C				
34	32,5	0,19	47,37	1,5	1939	6,649	2,3179				
35,7	32,6			3,1		3,217					
37,2	32,6			4,6		2,168					
37,5	32,6			4,9		2,035					
38,9	32,6			6,3		1,583					
39,4	32,6			6,8		1,467					
40,1	32,6			7,5		1,330					
40,6	32			8,6		1,160					
41,2	32,8			8,4		1,187					
41,5	32,8			8,7		1,146					
42,1	32,9			9,2		1,084					
42,5	33,1			9,4		1,061					
42,7	33,2			9,5		1,050					
42,9	33,4			9,5		1,050					
43,4	33,5			9,9		1,007					
42,5	33,8			8,7		1,146					
40,5	33,9			6,6		1,511					
39,3	34,2			5,1		1,956					
38,4	34,4			4		2,493					
37,6	34,5			3,1		3,217					
37,3	34,9			2,4		4,156					
36,9	34,9			2		4,987					
36,5	35			1,5		6,649					
MUESTRA 1 CON ADITIVO											
DIMENSIONES				FECHA DE INICIO: 24/12/2014							
ESPESOR (m)	0,04			HORA : 10h08							
LARGO (m)	0,50			CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:							
ANCHO (m)	0,38			MEZCLA 1 - CON ADITIVO							
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRÍA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA m²	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m³	K CALCULADO W/m°C $k = (Q\Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m°C				
36,5	34,3	0,19	39,89	2,2	1939	3,817	1,478				
38,6	34,5			4,1		2,048					
39,9	34,5			5,4		1,555					
40,7	34,5			6,2		1,354					
41,5	34,3			7,2		1,166					
42,2	34,5			7,7		1,091					
42,9	34,5			8,4		1,000					
43,4	34,8			8,6		0,976					
44,2	34,8			9,4		0,893					
44,4	35			9,4		0,893					
44,9	35,2			9,7		0,866					
45,4	35,2			10,2		0,823					
45,5	35,4			10,1		0,831					
46,3	35,8			10,5		0,800					
46,3	35,8			10,5		0,800					
44,2	36			8,2		1,024					
42,2	36,2			6,0		1,400					
40,8	36,5			4,3		1,953					
40,5	36,8			3,7		2,269					
39,2	37,1			2,1		3,999					

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.34.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles de Mezcla 2, sin y con aditivo, de 4 cm de espesor

MUESTRA 2 SIN ADITIVO							
DIMENSIONES				FECHA DE INICIO: 24/12/2014			
ESPESOR (m)	0,04			HORA : 10h08			
LARGO (m)	0,50			CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:			
ANCHO (m)	0,38			MEZCLA 2 - SIN ADITIVO			
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRÍA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA (m²)	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA (Kg/m³)	K CALCULADO W/m°C $k = (Q \Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m°C
31,5	29,8	0,19	47,37	1,7	1955	5,867	2,2032
32,8	29,9			2,9		3,439	
34,1	29,9			4,2		2,375	
34,6	29,8			4,8		2,078	
35,6	29,9			5,7		1,750	
36,2	30,1			6,1		1,635	
36,8	30,1			6,7		1,489	
37,3	30,3			7,0		1,425	
37,8	30,3			7,5		1,330	
38,4	30,5			7,9		1,262	
38,8	30,9			7,9		1,262	
39,2	31,1			8,1		1,231	
39,4	31,3			8,1		1,231	
39,8	31,6			8,2		1,216	
40,1	32,0			8,1		1,231	
38,3	32,2			6,1		1,635	
36,8	32,5			4,3		2,319	
35,9	32,8			3,1		3,217	
34,9	33,2			1,7		5,867	
MUESTRA 2 CON ADITIVO							
DIMENSIONES				FECHA DE INICIO: 24/12/2014			
ESPESOR (m)	0,04			HORA : 10h08			
LARGO (m)	0,50			CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:			
ANCHO (m)	0,38			MEZCLA 2 - CON ADITIVO			
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRÍA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA (m²)	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA (Kg/m³)	K CALCULADO W/m°C $k = (Q \Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m°C
37,9	34,6	0,19	39,89	3,3	2009	2,545	1,120
39,6	34,6			5,0		1,679	
40,7	34,8			5,9		1,423	
41,8	34,8			7,0		1,200	
42,4	34,9			7,5		1,120	
43,1	34,9			8,2		1,024	
43,5	34,9			8,6		0,976	
44,1	35,1			9,0		0,933	
44,3	35,2			9,1		0,923	
44,8	35,2			9,6		0,875	
45,2	35,4			9,8		0,857	
45,4	35,5			9,9		0,848	
45,7	35,8			9,9		0,848	
46,2	35,9			10,3		0,815	
46,5	36,5			10,0		0,840	
44,4	36,4			8,0		1,050	
42,3	36,4			5,9		1,423	
40,9	36,5			4,4		1,908	
40,1	36,8			3,3		2,545	

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.35.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles de Mezcla 3, sin y con aditivo, de 4 cm de espesor

MUESTRA 3 SIN ADITIVO							
DIMENSIONES				FECHA DE INICIO: 24/12/2014			
ESPEJOR (m)	0,04			HORA : 10h08			
LARGO (m)	0,50			CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:			
ANCHO (m)	0,38			MEZCLA 3 SIN ADITIVO			
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRIA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA m²	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m³	K CALCULADO W/m²C $k = (Q\Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m²C
32,7	30,5	0,19	47,37	2,2	2086	4,533	2,024
34,1	30,6			3,5		2,850	
34,9	30,6			4,3		2,319	
35,7	30,6			5,1		1,956	
36,3	30,7			5,6		1,781	
36,9	30,7			6,2		1,609	
37,4	30,8			6,6		1,511	
38,0	30,8			7,2		1,385	
38,2	31,0			7,2		1,385	
38,6	31,1			7,5		1,330	
38,9	31,2			7,7		1,295	
39,5	31,3			8,2		1,216	
39,8	31,5			8,3		1,202	
40,0	31,7			8,3		1,202	
40,2	31,8			8,4		1,187	
39,9	32,2			7,7		1,295	
37,5	32,4			5,1		1,956	
36,5	32,8			3,7		2,696	
35,8	32,9			2,9		3,439	
35,4	33,1			2,3		4,336	
MUESTRA 3 CON ADITIVO							
DIMENSIONES				FECHA DE INICIO: 24/12/2014			
ESPEJOR (m)	0,04			HORA : 10h08			
LARGO (m)	0,50			CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:			
ANCHO (m)	0,38			MEZCLA 3 CON ADITIVO			
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRIA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA m²	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m³	K CALCULADO W/m²C $k = (Q\Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m²C
37,1	33,3	0,19	39,89	3,8	2099	2,210	1,215
38,8	33,3			5,5		1,527	
40,3	33,3			7		1,200	
41,3	33,3			8		1,050	
42,2	33,3			8,9		0,943	
42,8	33,5			9,3		0,903	
43,4	33,7			9,7		0,866	
44	33,9			10,1		0,831	
44,5	34,1			10,4		0,807	
45,1	34,2			10,9		0,770	
45,5	34,5			11		0,763	
46	34,8			11,2		0,750	
46,5	35,2			11,3		0,743	
47	35,4			11,6		0,724	
47,5	35,8			11,7		0,718	
46,2	36,1			10,1		0,831	
43,1	36,4			6,7		1,253	
42,1	36,5			5,6		1,499	
41	36,8			4,2		1,999	
40,4	36,8			3,6		2,333	
39,8	36,8	3	2,799				

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.36.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles de mezcla 4, sin y con aditivo, de 4 cm de espesor

MUESTRA 4 SIN ADITIVO							
DIMENSIONES					FECHA DE INICIO: 10/01/2015		
ESPESOR (m)	0,04				HORA : 12h39		
LARGO (m)	0,50				CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:		
ANCHO (m)	0,38				MEZCLA 4 - SIN ADITIVO		
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRÍA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA m²	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m³	K CALCULADO W/m°C $k = (Q\Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m°C
36,3	31,7	0,19	47,37	4,6	1920	2,168	1,344
37,2	31,7			5,5		1,813	
38,2	31,8			6,4		1,558	
39,0	31,8			7,2		1,385	
39,7	31,9			7,8		1,279	
40,2	31,9			8,3		1,202	
40,7	32,1			8,6		1,160	
41,2	32,2			9,0		1,108	
42,0	32,2			9,8		1,018	
42,1	32,5			9,6		1,039	
42,2	32,6			9,6		1,039	
42,9	32,7			10,2		0,978	
43,2	32,9			10,3		0,968	
43,4	32,9			10,5		0,950	
41,3	32,2			9,1		1,096	
39,4	33,4			6,0		1,662	
38,2	33,6			4,6		2,168	
37,6	33,9			3,7		2,696	
37,3	33,9			3,4		2,933	
MUESTRA 4 CON ADITIVO							
DIMENSIONES					FECHA DE INICIO: 10/01/2015		
ESPESOR (m)	0,04				HORA : 11h56		
LARGO (m)	0,50				CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:		
ANCHO (m)	0,38				MEZCLA 4 - CON ADITIVO		
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRÍA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA m²	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m³	K CALCULADO W/m°C $k = (Q\Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m°C
34,3	30,4	0,19	39,89	3,9	1988	2,153	1,383
35,5	30,5			5,0		1,679	
36,4	30,5			5,9		1,423	
37,3	30,8			6,5		1,292	
37,7	31			6,7		1,253	
38,4	31,1			7,3		1,150	
38,9	31,2			7,7		1,091	
39,4	31,4			8,0		1,050	
39,9	31,8			8,1		1,037	
40,4	32,1			8,3		1,012	
40,9	32,2			8,7		0,965	
41,2	32,7			8,5		0,988	
41,6	33,1			8,5		0,988	
39,8	33,3			6,5		1,292	
37,9	33,8			4,1		2,048	
37,1	34			3,1		2,709	

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.37.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles de mezcla 5, sin y con aditivo, de espesor de 4 cm

MUESTRA 5 SIN ADITIVO							
DIMENSIONES					FECHA DE INICIO: 10/01/2015		
ESPESOR (m)	0,04				HORA : 12h39		
LARGO (m)	0,50				CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:		
ANCHO (m)	0,38				MEZCLA 5 - SIN ADITIVO		
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRIA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA m²	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m³	K CALCULADO W/m°C $k = (Q \Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m°C
32,8	30,9	0,19	47,37	1,9	1920	5,249	1,555
35,7	30,9			4,8		2,078	
37,4	30,9			6,5		1,534	
38,4	30,9			7,5		1,330	
39,4	31,1			8,3		1,202	
40,4	31,1			9,3		1,072	
41,0	31,1			9,9		1,007	
41,9	31,2			10,7		0,932	
42,4	31,5			10,9		0,915	
42,9	31,6			11,3		0,883	
43,3	31,8			11,5		0,867	
43,9	31,9			12,0		0,831	
44,4	32,2			12,2		0,818	
44,5	32,2			12,3		0,811	
44,8	32,3			12,5		0,798	
44,1	32,5			11,6		0,860	
41,1	32,8			8,3		1,202	
39,0	33,1			5,9		1,690	
37,9	33,2			4,7		2,122	
37,1	33,3			3,8		2,625	
36,4	33,8	2,6	3,836				
MUESTRA 5 CON ADITIVO							
DIMENSIONES					FECHA DE INICIO: 10/01/2015		
ESPESOR (m)	0,04				HORA : 11h56		
LARGO (m)	0,50				CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:		
ANCHO (m)	0,38				MEZCLA 5 - CON ADITIVO		
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRIA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA m²	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m³	K CALCULADO W/m°C $k = (Q \Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m°C
34,1	30,9	0,19	39,89	3,2	1920	2,624	1,694
34,3	30,9			3,4		2,470	
34,8	30,9			3,9		2,153	
35,2	30,9			4,3		1,953	
35,6	30,9			4,7		1,787	
36,1	30,9			5,2		1,615	
36,4	31,2			5,2		1,615	
36,9	31,5			5,4		1,555	
37,2	31,2			6,0		1,400	
37,7	31,2			6,5		1,292	
38,1	31,2			6,9		1,217	
38,4	31,4			7,0		1,200	
38,5	31,5			7,0		1,200	
38,7	31,7			7,0		1,200	
39,1	31,7			7,4		1,135	
37,9	31,8			6,1		1,377	
36,8	31,4			5,4		1,555	
35,9	32,1			3,8		2,210	
35,4	32,2			3,2		2,624	

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.38.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles de mezcla 1 y 2, sin Aditivo, de 6 cm de espesor

MUESTRA 1 SIN ADITIVO											
DIMENSIONES				FECHA DE INICIO: 10/01/2015							
ESPESOR (m)	0,06			HORA : 12h39							
LARGO (m)	0,50			CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:							
ANCHO (m)	0,38			MEZCLA 1(2) - SIN ADITIVO							
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRIA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA m²	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m³	K CALCULADO W/m²°C $k = (Q\Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m²°C				
33,1	29,8	0,19	33,12	3,3	1939	3,169	1,576				
34,8	29,8			5,0		2,092					
36,2	29,8			6,4		1,634					
37,5	29,9			7,6		1,376					
38,2	29,9			8,3		1,260					
39,1	29,9			9,2		1,137					
39,8	30,5			9,3		1,125					
40,3	29,9			10,4		1,006					
41	29,9			11,1		0,942					
41,4	29,9			11,5		0,910					
42	29,9			12,1		0,864					
42,4	30,1			12,3		0,850					
42,8	30,1			12,7		0,824					
43	30,2			12,8		0,817					
43,4	30,1			13,3		0,786					
43,1	30,2			12,9		0,811					
41,5	30,2			11,3		0,926					
38,9	30,2			8,7		1,202					
37,5	30,2			7,3		1,433					
36,4	30,2			6,2		1,687					
35,5	30,4			5,1		2,051					
35,1	30,5			4,6		2,274					
34,5	30,5			4,0		2,615					
34,2	30,5			3,7		2,827					
34	30,5			3,5		2,988					
33,8	30,7			3,1		3,374					
MUESTRA 2 SIN ADITIVO											
DIMENSIONES				FECHA DE INICIO: 10/01/2015							
ESPESOR (m)	0,06			HORA : 12h39							
LARGO (m)	0,50			CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:							
ANCHO (m)	0,38			MEZCLA 2 - SIN ADITIVO							
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRIA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA m²	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m³	K CALCULADO W/m²°C $k = (Q\Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m²°C				
33,2	30,8	0,19	33,12	2,4	1955	4,358	2,335				
34,2	30,8			3,4		3,076					
34,57	30,9			3,7		2,850					
35,2	30,9			4,3		2,432					
35,6	30,8			4,8		2,179					
36,1	30,9			5,2		2,011					
36,5	30,9			5,6		1,868					
36,9	30,9			6,0		1,743					
37,3	31,1			6,2		1,687					
37,6	31,1			6,5		1,609					
37,9	31,1			6,8		1,538					
38,2	31,2			7,0		1,494					
38,4	31,2			7,2		1,453					
38,5	31,3			7,2		1,453					
37,2	31,3			5,9		1,773					
35,9	31,3			4,6		2,274					
35	31,4			3,6		2,905					
34,4	31,4			3,0		3,486					
34,1	31,6			2,5		4,184					

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.39.- Cálculos de Conductividad Térmica de paneles de mezclas 3 y 4, Sin aditivo, de 6 cm de espesor

MUESTRA 3 SIN ADITIVO											
DIMENSIONES				FECHA DE INICIO: 10/01/2015							
ESPESOR (m)	0,06			HORA : 12h39							
LARGO (m)	0,50			CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:							
ANCHO (m)	0,38			MEZCLA 5 - SIN ADITIVO							
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRIA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA m²	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m³	K CALCULADO W/m°C $k = (Q \Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m°C				
36,4	30,4	0,19	33,12	6,0	2086	1,743	1,172				
37,6	30,4			7,2		1,453					
38,8	30,4			8,4		1,245					
39,1	30,4			8,7		1,202					
39,5	30,4			9,1		1,149					
40,2	30,4			9,8		1,067					
40,6	30,4			10,2		1,025					
41,2	30,4			10,8		0,968					
41,5	30,4			11,1		0,942					
42,0	30,4			11,6		0,902					
42,4	30,8			11,6		0,902					
42,8	30,5			12,3		0,850					
43,3	30,4			12,9		0,811					
43,9	30,4			13,5		0,775					
44,3	30,4			13,9		0,752					
42,5	30,4			12,1		0,864					
39,1	30,4			8,7		1,202					
37,4	30,5			6,9		1,516					
36,4	30,7			5,7		1,835					
35,5	30,8			4,7		2,225					
MUESTRA 4 SIN ADITIVO											
DIMENSIONES				FECHA DE INICIO: 10/01/2015							
ESPESOR (m)	0,06			HORA : 13h56							
LARGO (m)	0,50			CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:							
ANCHO (m)	0,38			MEZCLA 4 - SIN ADITIVO							
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRIA T2 (°C)			AREA DE MUESTRA m²		Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)		ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m³	K CALCULADO W/m°C $k = (Q \Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m°C
34,4	28,1			0,19		33,12		6,3	1920	1,660	1,327
35,2	28,1							7,1		1,473	
35,7	28,1	7,6	1,376								
36,2	28,1	8,1	1,291								
37,5	28,2	9,3	1,125								
37,9	28,2	9,7	1,078								
38,3	28,3	10,0	1,046								
38,8	28,2	10,6	0,987								
39,1	28,3	10,8	0,968								
39,5	28,4	11,1	0,942								
40,0	28,4	11,6	0,902								
37,6	28,4	9,2	1,137								
35,9	28,4	7,5	1,395								
34,5	28,5	6,0	1,743								
34,0	28,7	5,3	1,973								
33,5	28,6	4,9	2,135								

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.40.- Cálculo de Conductividad Térmica de panel de mezcla 5, sin Aditivo, de 6 cm de espesor

MUESTRA 5 SIN ADITIVO							
DIMENSIONES				FECHA DE INICIO: 10/01/2015			
ESPESOR (m)	0,06			HORA : 12h39			
LARGO (m)	0,50			CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:			
ANCHO (m)	0,38			MEZCLA 5 - SIN ADITIVO			
TEMPERATURA DE SUPERFICIE CALIENTE T1 (°C)	TEMPERATURA DE SUPERFICIE FRÍA T2 (°C)	AREA DE MUESTRA m²	Q FLUJO DE CALOR CONDUCCION AREA (W)	ΔT (T1-T2) (°C)	DENSIDAD DE LA MUESTRA Kg/m³	K CALCULADO W/m°C $k = (Q \Delta x) \div (A * \Delta T)$	k VALOR PROMEDIO W/m°C
33,5	28,5	0,19	33,12	5,0	1920	2,092	1,275
34,6	28,5			6,1		1,715	
35,8	28,7			7,1		1,473	
36,4	28,8			7,6		1,376	
36,9	28,7			8,2		1,276	
38,1	28,7			9,4		1,113	
38,5	28,7			9,8		1,067	
38,8	28,7			10,1		1,036	
39,3	28,8			10,5		0,996	
39,9	28,9			11,0		0,951	
40,2	29,8			10,4		1,006	
40,4	29,2			11,2		0,934	
40,7	29,2			11,5		0,910	
41,2	29,3			11,9		0,877	
40,7	29,2			11,5		0,910	
38,0	29,4			8,6		1,213	
36,8	29,3			7,5		1,395	
35,5	29,4			6,1		1,715	
34,5	29,7			4,8		2,179	

Fuente: Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

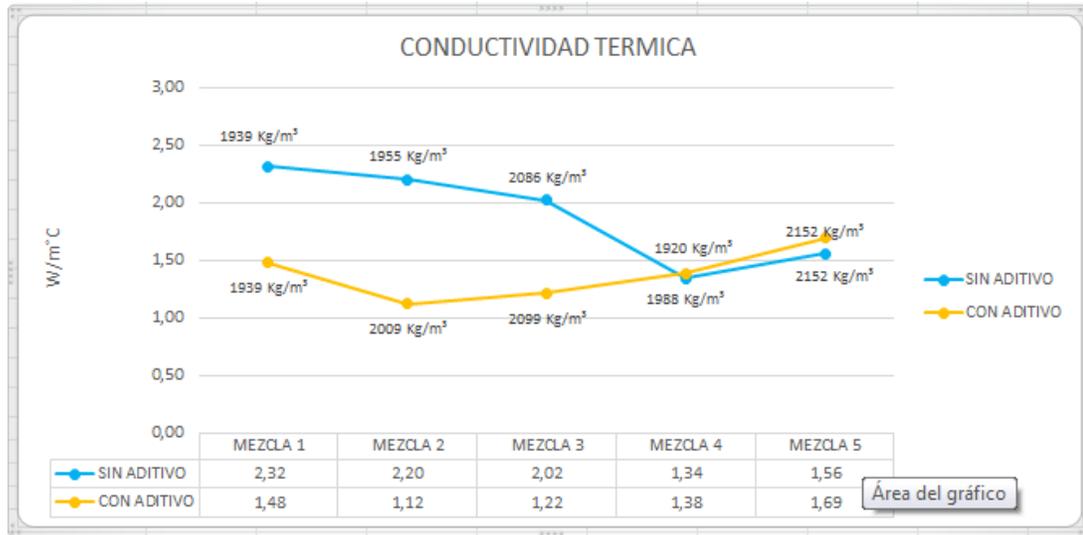
Cuadro 4.41.- Resumen de resultados de cálculos de conductividad térmica y Densidades de mezclas en paneles de espesor de 4 cm

	MEZCLA 1 SIN ADITIVO	MEZCLA 1 CON ADITIVO	MEZCLA 2 SIN ADITIVO	MEZCLA 2 CON ADITIVO	MEZCLA 3 SIN ADITIVO	MEZCLA 3 CON ADITIVO	MEZCLA 4 SIN ADITIVO	MEZCLA 4 CON ADITIVO	MEZCLA 5 SIN ADITIVO	MEZCLA 5 CON ADITIVO
CONDUCTIVIDAD TERMICA W/m°C	2,3179	1,4779	2,2032	1,1203	2,0242	1,2152	1,3438	1,3831	1,5553	1,6936
DENSIDAD Kg/m³	1939	1939	1955	2009	2086	2099	1920	1988	2152	2152

Fuente : Datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.42.- Resumen de resultados de conductividad térmica de mezclas en paneles de espesor de 4 cm, sin y con aditivo



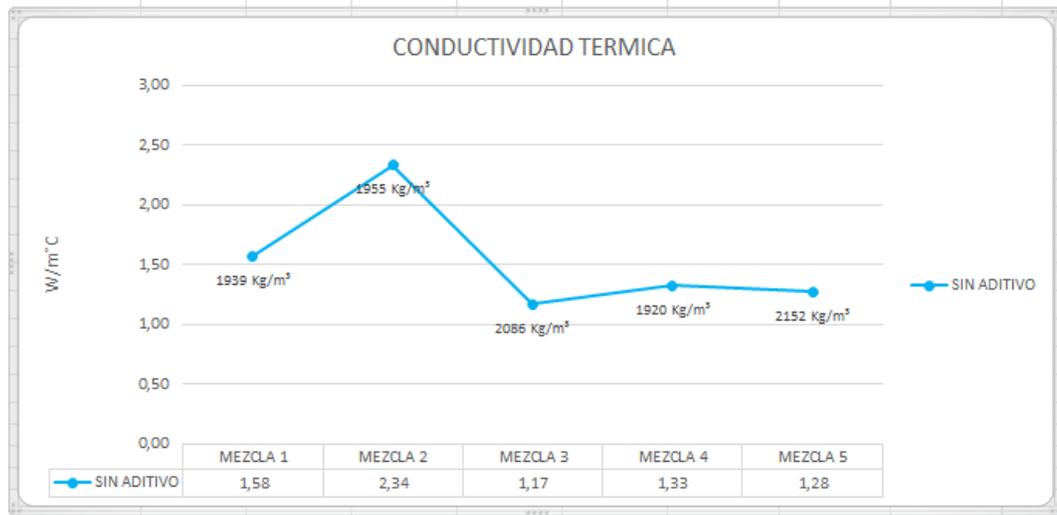
Fuente: Datos del experimento
 Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.43.- Resumen de resultados de cálculos de conductividad térmica y densidades de mezclas en paneles de espesor de 6 cm de espesor

	MEZCLA 1 SIN ADITIVO	MEZCLA 2 SIN ADITIVO	MEZCLA 3 SIN ADITIVO	MEZCLA 4 SIN ADITIVO	MEZCLA 5 SIN ADITIVO
CONDUCTIVIDAD TERMICA W/m°C	1,5761	2,3355	1,1715	1,3270	1,2753
DENSIDAD Kg/m³	1939	1955	2086	1920	2152

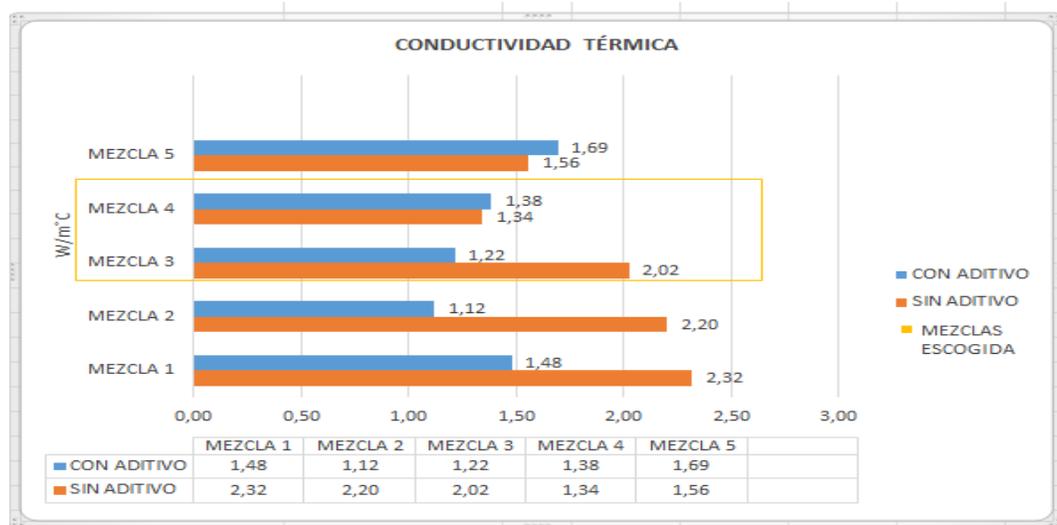
Fuente: datos del experimento
 Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.44.- Resumen de resultados de conductividad térmica de mezclas en paneles de espesor de 6 cm, sin aditivo



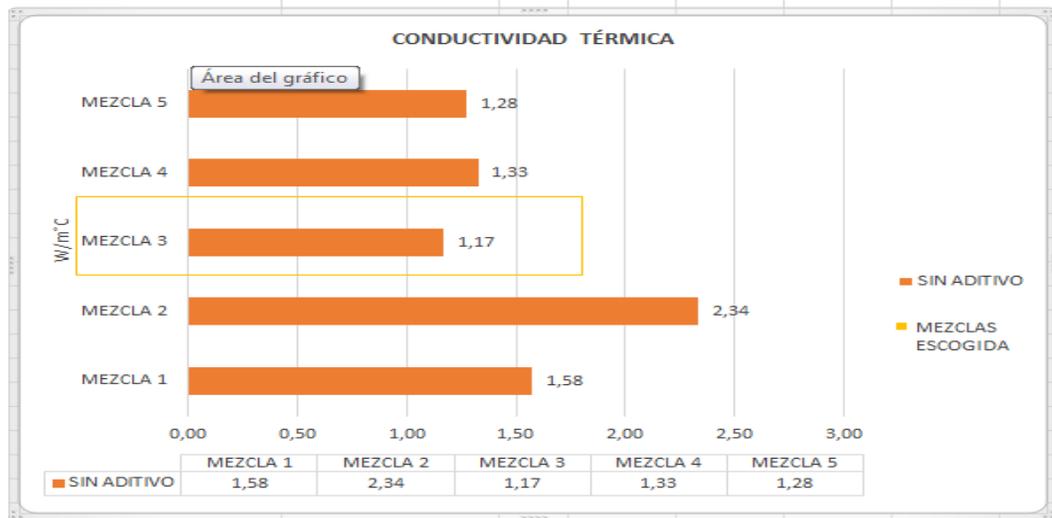
Fuente: Datos del experimento
Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.45.- Elección de mezclas de paneles de 4 cm de espesor, sin y con aditivo, por su menor conductividad térmica



Fuente: Datos del experimento
Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Cuadro 4.46.- Elección de mezclas de paneles de 6 cm de espesor, sin aditivo, por su menor conductividad térmica



Fuente: datos del experimento

Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

Se puede observar por los resultados obtenidos, que las mezclas segunda y tercera con aditivo en paneles de 4 cm de espesor y la tercera de 6 cm de espesor, sin aditivo son las que tienen las menores conductividades térmicas; por lo que proponemos, ahora sí y también en base a los resultados de los demás ensayos realizados, que efectivamente son esas las mezclas que esta investigación ha encontrado idóneas para ser utilizadas en la fabricación de paneles de hormigones con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido.

El panel de 6 cm de espesor podría servir para las paredes perimetrales de la edificación y el panel de 4 cm de espesor para las paredes interiores.

Cuadro 4.47: Resumen de hormigones de áridos gruesos reciclados (1:3:3) al 100 % de escombros

Cuadro 4.48: HORMIGONES CON ÁRIDOS GRUESOS RECICLADOS Y POLIESTIRENO EXPANDIDO (1:3:3) al 100 % de Escombros										
	MEZCLA 1		MEZCLA 2		MEZCLA 3		MEZCLA 4		MEZCLA 5	
	SA	CA								
Resistencia a la compresión	5,05MPa	6,04MPa	5,59MPa	8,38MPa	5,08MPa	10,10MPa	4,09MPa	8,41MPa	6,52MPa	6,11MPa
Densidad	1.939 kg/m ³	1.959 kg/m ³	1.955 kg/m ³	2.009 kg/m ³	2.044 kg/m ³	2.107 kg/m ³	1.920 kg/m ³	1.988 kg/m ³	2.152 kg/m ³	2.133 kg/m ³
Absorción	16,70%	17,40%	10,90%	14,40%	15,50%	14,50%	14,50%	13,40%	12,90%	11,60%
Resistencia a la tracción por compresión diametr.	0,39MPa	1,14MPa	1,01MPa	1,3MPa	1,06MPa	1,15MPa	0,86MPa	1,09MPa	1,22MPa	1,01MPa
Durabilidad Humedecimiento-Secado	12,08%		12,39%		4,73%		6,17%		8,04%	
Conductividad térmica	e(4cm)=2,32 W/m C	e(4cm)=1,48 W/m C	e(4cm)=2,20 W/m C	e(4cm)=1,12 W/m C	e(4cm)=2,02 W/m C	e(4cm)=1,22 W/m C	e(4cm)=1,34 W/m C	e(4cm)=1,38 W/m C	e(4cm)=1,56 W/m C	e(4cm)=1,68 W/m C
	e(6cm)=1,58 W/m C		e(6cm)=2,34 W/m C		e(6cm)=1,17 W/m C		e(6cm)=1,33 W/m C		e(6cm)=1,28 W/m C	
Resistencia a la flexión	e(4cm)=0,73MPa	e(4cm)=1,33MPa	e(4cm)=1,39MPa	e(4cm)=1,30MPa	e(4cm)=1,0MPa	e(4cm)=1,29MPa	e(4cm)=1,41MPa	e(4cm)=1,72MPa	e(4cm)=1,25MPa	e(4cm)=0,72MPa
	e(6cm)=0,52MPa		e(6cm)=0,74MPa		e(6cm)=0,89MPa		e(6cm)=0,34MPa		e(6cm)=0,99MPa	

Fuente: Datos de los experimentos
Elaborado por: (Lomas, m. 2015)

No se tienen datos de paneles de 6 cm de espesor con aditivo, pero por la tendencia en los de espesor de 4 cm con respecto de los de 6 cm sin aditivo, se puede esperar una disminución de la conductividad térmica en los hormigones de los diferentes tipos de mezclas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Análisis comparativo de los costos de un panel con hormigón convencional y otro de hormigón con áridos gruesos reciclados reciclados y poliestireno expandido

Cuadro 5.1.- Costos de m3 de Hormigón Mezcla 2, de áridos grueso reciclados y poliestireno expandido, con aditivo, densidad: 2009 kg/m3

Materiales	Panel: 1mx0,5mx0,04m (0,02 m3)	kg/m3	Cantidad		Costo unitario	Costo Total
Cemento	5,77 kg	288,5	5,76	sacos	7,25	\$ 41,47
Arena normalizada	24,27 kg	1.213,50	1,213	m3	15,63	\$ 18,95
Esc. de bloques de concreto	4,49 kg	224,5	0,224	m3		
Esc. De elementos estruct. Ho.	5,74 kg	287	0,287	m3		
Poliestireno expandido	0,048 kg	2,4	2,4	kg	16,13	\$ 38,71
Polyheed R1 - 719	0,057 kg	2,85	2,85	kg	5	\$ 14,25
Agua	5,72 lts	286 lts	0,286	m3	0,7	\$ 0,20
						\$ 113,58/m3

Fuente: (Lomas, m. 2014)

Costo de materiales para paneles de pared sin contar con mano de obra ni maquinaria a diciembre 2014.

Observación. No se incluye el costo por transporte de material, porque la idea es poner la escombrera en el mismo sitio de la fábrica.

Cuadro 5.2.- Costos de m3 de Hormigón Mezcla 3, de áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido, con aditivo, densidad 2107 kg/m3

Material	Panel: 1mx0,5mx0,04m (0,02 m3)	kg/m3	Cantidad		Costo unitario	Costo Total
Cemento	5,77 kg	288,5	5,76	sacos	7,25	\$ 41,47
Arena normalizada	24,27 kg	1.213,50	1,213	m3	15,63	\$ 18,95
Esc. de Ladrillos	2,48 kg	124,00	0,124	m3		
Esc. de bloques de concreto	4,49 kg	149,5	0,149	m3		
Esc. De elementos estruct. Ho.	5,74 kg	191,5	0,191	m3		
Poliestireno expandido	0,048 kg	2,4	2,4	kg	16,13	\$ 38,71
Polyheed R1 - 719	0,057 kg	2,85	2,85	kg	5,0	\$ 14,25
Agua	5,72 lts	286	0,286	m3	0,7	\$ 0,20
						\$ 113,58/m3

Fuente: (Lomas, m. 2014)

Cuadro 5.3.- Costos por m3 de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido al 100 %, con aditivo

Mezcla 2	2009 kg/m3	\$ 147,65
Mezcla 3	2107 kg/m3	\$ 147,65

Fuente: (Lomas, m. 2014)

Al costo de material se le incrementó un 30 %, por concepto de mano de obra y equipos.

Un panel de 1 m x 0,5 m x 0,04 m, que se comercializa en nuestro medio y que corresponde a un volumen de 0,02 m3, cuesta \$ 6,50 (Fuente DITELME).

El nuevo panel de 1m x 0,50 m x 0,04 m; con hormigón de áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido, que corresponde a un volumen de 0,02 m3, cuesta \$ 2,94. (Materiales, mano de obra, equipo y herramientas).

5.2 Comportamiento frente al fuego

Las condiciones que debe mantener cualquier elemento constructivo cuando se expone a la acción del fuego son las siguientes:

- 1.- Estabilidad o capacidad portante;
- 2.- Ausencia de emisiones de gases inflamables por la cara no expuesta;
- 3.- Estanqueidad al paso de llamas o gases calientes;
- 4.- Resistencia térmica suficiente para impedir que se produzca en la cara no expuesta temperaturas superiores.

Los tiempos en que se dan estas condiciones define el comportamiento del elemento frente a la acción del fuego.

Nuestro panel es una combinación de varios materiales, resultando un hormigón en donde está presente el poliestireno expandido.

Los agregados de mejor resistencia al fuego son los livianos. Esto se debe a que la mayoría de partículas de agregado ligero son manufacturadas por un proceso que involucra altas temperaturas.

En un ensayo de resistencia al fuego hecho por la BASF-Chile de una pared de hormigón liviano expandido de 10 cm de espesor, se obtuvo que en un lado de la pared se llegó hasta 980°C en un lapso de 90 minutos, y al otro lado de la pared la temperatura era de 25 °C en el mismo lapso de tiempo **(BASF 2000)**.

5.3 Comportamiento Sismo Resistente

Existen varias experiencias del buen comportamiento de hormigones con poliestireno expandido frente a terremotos como el ocurrido en Chile en el 2010 con una magnitud de 8.8, en la escala de Richter. Al observar las 130 casas de Villa El Sauce en Dichato, de la comuna de Tomé (Chile), que fueron construidas con el Sistema de Vivienda Exacta: Hormigón Armado aislado (Ladrillos livianos de poliestireno expandido que se rellenan de hormigón armado), se pudo comprobar después del terremoto que no se habían registrado daños estructurales.

En Chile se construyen viviendas prefabricadas utilizando paredes de hormigón con poliestireno expandido con otro SISTEMA CONSTRUCTIVO llamado ENMEDUE, el mismo que se basa en un conjunto de paneles estructurales de poliestireno expandido ondulado con una armadura básica adosada en sus caras, constituida por mallas de acero galvanizado de alta resistencia, vinculadas entre sí por conectores de acero electro-soldadas a las que se le proyecta un micro hormigón y que también ha sido probado a terremotos de gran magnitud como los ocurridos en Perú, Chile recientemente en el 2014.

Ensayos como: de corte diagonal, ensayo al cortante entre muro y losa, ensayo de compresión excéntrica, ensayo de vibración sísmica, ensayo de compresión centrada, ensayo de resistencia al impacto, son necesarios realizar a nuestro panel previamente a su análisis sísmico resistente.

5.4 Análisis del ciclo de vida del panel

Todas las edificaciones cuyas estructuras son de hormigón armado y sus mamposterías de bloques de concreto o de ladrillos, son fuente inagotable de los agregados (RCD); siendo su transporte el mayor responsable de consumo de energía.

Nuestra propuesta es un panel que tiene como materiales constituyentes, el cemento portland, arena normalizada, RCA (Agregados reciclados de construcciones y demoliciones de elementos estructurales y de mamposterías de bloques de concreto, y de ladrillos), poliestireno expandido y agua.

El análisis del ciclo de vida de todo material debe considerar las siguientes etapas:

1. La transformación del medio cuando se lo extrae
2. En las emisiones que generan y el consumo de energía cuando se lo produce.
3. Cuando se los traslada de lugares muy distantes hay un mayor consumo de energía.
4. Los peligros sobre la salud humana al colocárselos en obra y los desperdicios que generan.
5. Las emisiones contaminantes y los cambios del entorno, al eliminárselo.

El impacto que ocasiona en cada una de las fases la vida del panel hecho a base de un hormigón con RAC más poliestireno expandido se cuantifican en magnitudes, por ejemplo las emisiones de gases invernaderos se traducen

en cantidades equivalentes de CO₂. Conociendo esto para proceder a compararlo y así facilitar su selección.

Siendo que nuestro panel está constituido de agregados gruesos reciclados de construcciones y demoliciones, esto es una ventaja porque no tiene que extraérselos de la naturaleza, utilizando para ello una menor cantidad de energía, reducida al mínimo si es que la planta se encuentra cerca de una escombrera, además del ahorro de energía en el transporte.

El hormigón con agregados gruesos reciclados se mejora aún más cuando se le añade un aislante térmico como el poliestireno expandido que aporta en la reducción del consumo de energía para los sistemas de aire acondicionado y calefacción.

Se debe recordar que también el poliestireno es susceptible de reciclar contribuyendo a la reducción de los sólidos de los basureros municipales

Según el economista Herman Daly, los principios básicos que permiten avanzar hacia un desarrollo sostenible son:

1. Para una fuente de recursos renovable, no consumirla a una velocidad superior a la de su renovación natural.
2. Para una fuente de recursos no renovable, no consumirla sin dedicar la parte necesaria de la energía resultante en desarrollar una nueva "fuente" que, agotada la primera, le permita a los usuarios continuar disfrutando de las mismas prestaciones.

Nuestro panel pretende aportar al segundo principio, contribuyendo al desarrollo de la sociedad en un marco de sostenibilidad.

5.5. Criterios de Impacto Ambiental

CRITERIOS DE IMPACTOS AMBIENTALES PROVOCADOS POR LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN

La EMISIÓN de contaminantes y la producción de residuos de todo tipo afectan el entorno natural

Las edificaciones, así como las vías de comunicación e infraestructura relacionada a estas ocupan y transforman todo el medio disponible a su alcance

La fabricación de MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN implica el agotamiento de RECURSOS NO RENOVABLES a causa de la extracción ilimitada de materias primas y del consumo de RECURSOS FÓSILES.

Se necesita más de 2 toneladas de MATERIAS PRIMAS por cada m² de vivienda que se construye.

La producción de RESIDUOS de la construcción y la DEMOLICIÓN supera la tonelada anual por habitante

LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN PUEDE REDUCIRSE A TRES ASPECTOS:

- * la vigilancia del agotamiento de recursos,
- * la reducción de las emisiones contaminantes, y
- * la adecuada gestión y la reducción de los desechos que se generan a lo largo del proceso constructivo.

Sin embargo, para poder alcanzar estas metas y contribuir desarrollo sostenible,

será imprescindible:

Contar con la colaboración del conjunto de agentes que intervienen en las diferentes etapas del ciclo de vida de una obra de construcción (desde la extracción de las materias primas, hasta la demolición de un edificio etc.). **Si la responsabilidad es compartida entre cada uno de ellos**, será posible aplicar estrategias para la prevención y la minimización del impacto ambiental.

Considerar los residuos como materia prima reutilizándolos, y reincorporándolos en el proceso productivo, imitando en cierta forma a los ciclos naturales.

RECICLAR RESIDUOS: Realizar una clasificación correcta para favorecer esta acción. En este aspecto se concentran los esfuerzos de este trabajo para reducir el IMPACTO NEGATIVO del proceso de construcción en el Ecuador.

5.6. Futuras líneas de investigación

- Experimentar la posibilidad de obtener hormigones con las propiedades mecánicas necesarias que se puedan utilizar como hormigón no estructural con el uso de menor cantidad de cemento.
- Estudiar la posibilidad de utilizar arena reciclada como sustituta de la arena natural en la fabricación de hormigones, para obtener hormigones de una mayor resistencia.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en la resistencia a tracción de los hormigones con áridos gruesos reciclados combinados con poliestireno expandido, sería conveniente analizar como las fracciones finas pueden mejorar las propiedades del hormigón.

Conclusiones finales y recomendaciones

Conclusiones finales

Después de realizar la fase experimental y de analizar los resultados obtenidos, las conclusiones que se desprenden son:

- Para todos los hormigones fabricados, a medida que se aumenta la sustitución de árido grueso natural por árido grueso reciclado combinado con poliestireno expandido, la densidad del hormigón aumenta.
- Todos los ensayos realizados con los áridos gruesos reciclados combinados con poliestireno expandido fueron correctos y adecuados para su utilización en el desarrollo de la investigación, pues sus características son similares a los áridos convencionales.
- Para la correcta utilización de las mezclas se debe hacer un análisis detallado de la granulometría de los áridos gruesos reciclados.
- Los resultados obtenidos en cuanto a la comprensión y flexión demuestran que el remplazo de los áridos gruesos reciclados combinados con poliestireno expandido alcanzan adecuados niveles de resistencia para paneles de pared.

Recomendaciones

- Utilizar los hormigones con áridos gruesos reciclados combinados con poliestireno expandido para disminuir los costos.
- Para la fabricación de hormigones con material reciclado de la construcción, es recomendable que la materia prima que se utilice esté libre de impurezas para no afectar los ensayos de resistencia.
- Se recomienda a este proyecto como uno de gran impacto social, ya que se reciclaría gran cantidad de material que afectan en gran medida la estabilidad del ambiente donde se encuentre.
- Hacer una implementación del proyecto en cada una de los municipios del país, asegurando la salida del producto al mercado, así como la recuperación de la inversión.
- Implementar los avances tecnológicos en cuanto maquinaria para demoliciones de construcciones se refiere, así como la infraestructura necesaria para la producción de áridos reciclados en procura de un mejor aprovechamiento de los escombros como también tener un menor impacto ambiental.

Bibliografía

- Balat Módulos prefabricados. (8 de Junio de 2014). *Balat Módulos prefabricados*. Obtenido de <http://www.balatecuador.com/>
- Banco de Ideas de Negocios Ambientales Sostenibles. (2012). *Planta de áridos reciclados*. Tenerife: Cabildo de Tenerife.
- Benévolo, L. (2002). *Historia de la arquitectura moderna* (Octava Edición ed.). Barcelona: Gustavo Gili.
- Chauveinc, J. A. (2011). *Estudio experimental de propiedades mecánicas de hormigones con árido reciclado mediante la modificación del método de mezclado del hormigón*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Cruz García, J. A., Yáñez, V., & Ramón. (2004). *Concreto reciclado*. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- DITELME. (15 de Octubre de 2014). *Distribuidora de elementos estructurales*. Obtenido de <http://www.ditelme.com/bodegas-prefabricadas.html>
- El Comercio. (9 de Febrero de 2013). Aumenta el porcentaje de escombros generados por la construcción. *El Comercio*, págs. 10-11.
- Environmental Protection Agency. (1995). *Polystyrene*. Londres: Environmental Protection Agency.
- GAD Municipal Cuenca. (2010). *Logros de la EMAC*. Cuenca: GAD Municipal Cuenca.
- HOLCIN. (2011). *Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción*. San José: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales .
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Áridos para hormigón. Requisitos. NTE INEN 872: 2011*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

- Lepe, J., & L.E.M. (2007). *Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción en viviendas*. México: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Martínez Fernández, L. (2013). *Utilización de áridos reciclados para la fabricación de hormigón hidráulico*. Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Martínez Martínez, N. (2012). *Construcción con Paneles de Poliestireno Expandido*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Mendoza, I. (2008). *Diseño de planta para reciclado de escombros*. Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (14 de Septiembre de 2012). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. Obtenido de <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/>
- Negrín, A. (2004). *Estructuras prefabricadas*. Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- NOVA Chemicals. (2005). *Poliestireno expandible. Guía para el almacenamiento y manejo*. Washington D.C: Consejo Americano de Química.
- Pérez Jiménez, J. (2004). *Del Menhir al Pretensado: Hacia una arquitectura sostenible*. Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Memorias del ELEA.
- Rueda Páramo, A. (2011). *Tipología de áridos reciclados en Cataluña y su aplicabilidad*. Barcelona: Universidad Técnica de Cataluña.
- Villarroel, J. M. (2011). *Producción de Componentes Prefabricados para la Construcción a partir de Concreto Elaborado con Agregados Reciclados de RCD*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.

ANEXOS DE LABORATORIO