

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Cubiertas de planchas lisas de hormigón ultraliviano
impermeabilizadas con caucho reciclado para viviendas
sociales básicas**

AUTOR:

Orellana Coello, Anthony Jesús

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto

Guayaquil, Ecuador

15 de septiembre de 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente Trabajo de Titulación, fue realizado en su totalidad por **Orellana Coello, Anthony Jesús**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

ING. MARTÍNEZ REHPANI, COLÓN GILBERTO, M.Sc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

ING. ALCÍVAR BASTIDAS, STEFANY ESTHER, M.Sc.

Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre de 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Orellana Coello, Anthony Jesús**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Cubiertas de planchas lisas de hormigón ultraliviano impermeabilizadas con caucho reciclado para viviendas sociales básicas** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre de 2020

EL AUTOR:

f. _____
Orellana Coello, Anthony Jesús



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Orellana Coello, Anthony Jesús**

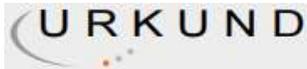
Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Cubiertas de planchas lisas de hormigón ultraliviano impermeabilizadas con caucho reciclado para viviendas sociales básicas**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre de 2020

EL AUTOR:

f. _____
Orellana Coello, Anthony Jesús

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: anthony.orellana.word.docx (D78523703)
Submitted: 9/3/2020 5:47:00 AM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 7 %

Sources included in the report:

TRABAJO TITULACION KARLA AYALA Y JOEL HEREDIA.docx (D55118458)
TESIS COMPORTAMIENTO DE LOSAS ALIVIANADAS DE HORMIGÓN TRADICIONAL MEZCLADO
CON POLI ESTILENO EXPANDIDO.docx (D42446853)
[https://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/
memorias_cong2008/10.pdf](https://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/memorias_cong2008/10.pdf)
<https://pt.slideshare.net/fpvingenieria1/tesis-final-final-61838360>
[https://docplayer.es/98445238-Influencia-del-uso-de-microsilice-en-las-propiedades-en-estado-
fresco-y-endurecido-en-concreto-de-alta-resistencia.html](https://docplayer.es/98445238-Influencia-del-uso-de-microsilice-en-las-propiedades-en-estado-fresco-y-endurecido-en-concreto-de-alta-resistencia.html)

Instances where selected sources appear:

60

AGRADECIMIENTO

Siempre dándole las gracias primero a Dios por brindarme salud y fuerzas para culminar con esta investigación, haberme ayudado cada año hasta esta etapa tan anhelada por todo estudiante universitario.

En segundo lugar, pero no menos importante, quiero agradecerles a mis padres por su cariño, esfuerzo y sacrificio que hicieron para llevarme a este punto de mi carrera como estudiante.

A la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, sus docentes por abrirme las puertas hacia el conocimiento, por forjarme como persona y profesional.

Por último, le doy las gracias a mi tutor de Trabajo de Titulación el Ing. Colón Gilberto Martínez Rehpani por su guía en este paso final de mis estudios de tercer nivel, por su cátedra de valores y principios.

Anthony Orellana Coello

DEDICATORIA

A mi Padre Dios por haber forjado mi camino hasta este momento junto con la ayuda de mis padres, al ser ellos el soporte fundamental en cada parte de mi vida porque desde pequeño me enseñaron valores, a perseguir mis sueños, a cumplir mis metas y desde ese entonces me han acompañado en cada uno de mis logros.

Gracias, padre y madre.

Anthony Orellana Coello



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

f. _____

ING. COLÓN GILBERTO MARTÍNEZ REHPANI, Mg. Sc.

TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. LILIA VALAREZO MORENO, M.S.

DECANA DE LA FACULTAD

f. _____

ING. ALEXANDRA CAMACHO MONAR, M.Sc.

COORDINADORA DE ÁREA

f. _____

ING. STEFANY ALCÍVAR BASTIDAS, M.Sc.

OPONENTE

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	3
PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA	3
1.1 Caracterización del problema	3
1.2 Formulación del problema	3
1.3 Sistematización del problema	4
1.4 Justificación del tema.....	4
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general	5
1.5.2 Objetivos específicos	5
1.6 Hipótesis y variables	6
1.7 Tipo de investigación	6
1.8 Metodología	6
1.9 Alcance	7
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
2.1 Marco Histórico.....	9
2.2 Cubiertas concepto.....	9
2.3 Tipos de cubiertas	10
2.3.1 Según su forma.....	10
2.3.2 Según el material utilizado	11
2.4 Características físicas del fibrocemento	14

2.5	Propiedades mecánicas del fibrocemento	15
2.6	Aplicaciones del fibrocemento	15
2.7	Tipos de cubiertas onduladas de fibrocemento	16
2.8	Materiales para su construcción	16
2.8.1	Cemento.....	16
2.8.2	Silicato de Calcio.....	17
2.8.3	Fibras de refuerzo	17
2.9	Nuevas tecnologías en cubiertas.....	21
2.9.1	Acetato de polivinilo (PVA).....	21
2.9.2	Policarbonato	22
2.9.3	Hormigón liviano.....	22
2.10	Aditivos y su clasificación	35
2.11	Agente espumante en el hormigón.....	36
2.12	Ventajas del hormigón ultraliviano en cubiertas	36
2.13	Reciclaje de neumáticos.....	37
2.14	Impermeabilización en cubiertas	43
2.15	Viviendas sociales	44
2.16	Programa Nacional de Vivienda Social	48
2.17	Normativa legal del proyecto	49
2.17.1	Carta Política de la República del Ecuador del 2008	49
2.17.2	Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.	52
CAPÍTULO III		54
METODOLOGÍA		54

3.1	Cálculo de densidad del hormigón.....	54
3.2	Construcción de encofrado para planchas de hormigón.....	57
3.3	Caracterización de los materiales usados	63
3.3.1	Arcilla expandida.....	64
3.3.2	Cemento Tipo GU	64
3.3.3	Fibras de Abacá	64
3.3.4	Microsílica	65
3.3.5	Aditivo hiperplastificante (superplastificante)	65
3.3.6	Aditivo plastificante.....	66
3.3.7	Aditivo incorporador de aire	66
3.3.8	Aditivo espumante.....	66
3.4	Elaboración de cubos de hormigón ultraliviano	68
CAPÍTULO IV.....		80
RESULTADOS OBTENIDOS.....		80
4.1	Densidad del hormigón	80
4.1.1	Resultados a los 7 días de edad	80
4.1.2	Resultados a los 14 días de edad	81
4.1.3	Resultados a los 28 días de edad	82
4.1.4	Probetas cúbicas utilizadas para el cálculo de densidad	83
4.2	Ensayo de compresión simple	87
CAPÍTULO V.....		90
APLICACIÓN Y ANÁLISIS DEL HORMIGÓN ULTRALIVIANO EN CUBIERTAS		90

5.1	Elaboración de plancha de hormigón ultraliviano	90
5.2	Cubierta para viviendas sociales básicas	93
5.2.1	Diseño de cubierta	94
5.2.2	Análisis de costos.....	96
CAPÍTULO VI.....		98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		98
6.1	Conclusiones	98
6.2	Recomendaciones	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Total de viviendas presentes por tipo de material de cubierta.....	12
Figura 2. Hormigón liviano utilizado en el Panteón de Roma.	22
Figura 3. Estructura de hormigón con agregado liviano.....	24
Figura 4. Clasificación de hormigones livianos según el tipo de árido.	25
Figura 5. Composición de hormigón celular.....	28
Figura 6. Partículas de hormigón sin finos.....	31
Figura 7. Edificio Standard Bank, Johannesburgo (1970).....	33
Figura 8. Edificio Torre Picasso, Madrid (1989).....	34
Figura 9. Bosquejo del Puente Boknasundet (1991).....	34
Figura 10. Quema de neumáticos en Toledo, España.....	38
Figura 11. Recolección de neumáticos en Portoviejo, Manabí.	41
Figura 12. Recolección de neumáticos en Ventanas, Los Ríos.....	41
Figura 13. Recolección de neumáticos en Rocafuerte, Manabí.....	41
Figura 14. Recolección de neumáticos en Milagro, Guayas.	42
Figura 15. Desalojo de neumáticos en San Jacinto, Manabí.....	42
Figura 16. Vivienda social básica en Cañar, Ecuador.....	45
Figura 17. Vivienda social básica en Portoviejo, Ecuador.	45
Figura 18. Plano arquitectónico de vivienda social básica en Portoviejo.	45
Figura 19. Probeta cubica No.1 para hormigón ultraliviano.	55
Figura 20. Probeta cúbica No.2 para hormigón ultraliviano.	56
Figura 21. Relación de tamaños con respecto a los encofrados.....	57
Figura 22. Configuración geométrica de plancha - Parte No.1 del proyecto.	58

Figura 23. Configuración geométrica de plancha - Parte No.2 del proyecto.	59
Figura 24. Vista inferior de plancha - Parte No.1 del proyecto.....	59
Figura 25. Configuración geométrica de nervios - Parte No.1 del proyecto.	60
Figura 26. Configuración geométrica de nervios - Parte No.2 del proyecto.	60
Figura 27. Construcción de encofrado para plancha ultraliviana - Parte 1...	61
Figura 28. Construcción de encofrado para plancha ultraliviana - Parte 2...	61
Figura 29. Construcción de encofrado para plancha ultraliviana - Parte 3...	62
Figura 30. Construcción de encofrado para plancha ultraliviana - Parte 4...	62
Figura 31. Encofrado para plancha de hormigón - Producto final.....	63
Figura 32. Configuración geométrica de encofrado.	63
Figura 33. Agitador de hélices mecánico.	67
Figura 34. Agitador de paletas de laboratorio.	68
Figura 35. Material resultante del proceso de tamizado.	69
Figura 36. Mezcla de arcilla expandida y microsíllica.	72
Figura 37. Adición de cemento a la mezcla.	73
Figura 38. Adición de agua para la formación de espuma.....	74
Figura 39. Adición de aditivo para la formación de espuma.	74
Figura 40. Formación de espuma con agitador de paletas.....	75
Figura 41. Espuma - Producto final.....	75
Figura 42. Adición de agua y aditivos hiperplastificantes a la mezcla.....	76
Figura 43. Adición de espuma a la mezcla.	76
Figura 44. Adición de aditivo secundario a la mezcla.	77
Figura 45. Fibras de abacá de 2cm de longitud.....	77

Figura 46. Adición de fibras de abacá (L=2cm) a la mezcla.	78
Figura 47. Mezcla de hormigón ultraliviano.	78
Figura 48. Hormigón ultraliviano fundido en molde de 10x10x10cm.....	79
Figura 49. Cubo de hormigón ultraliviano fuera del molde.....	79
Figura 50. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.1.	83
Figura 51. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.2.	84
Figura 52. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.3.	84
Figura 53. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.4.	85
Figura 54. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.5.	85
Figura 55. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.6.	86
Figura 56. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.7.	86
Figura 57. Cubos de hormigón ultraliviano con 7 dosificaciones diferentes.	87
Figura 58. Probetas cilíndricas de hormigón ultraliviano.....	87
Figura 59. Laboratorio que participó en la presente investigación.	88
Figura 60. Rotura de probetas.	88
Figura 61. Ensayo de compresión simple realizado.....	89
Figura 62. Espuma para construcción de plancha ultraliviana.....	90
Figura 63. Fundición de plancha ultraliviana para cubierta.....	91
Figura 64. Plancha fundida en encofrado (1.0m x 0.4m x 0.04m).....	91
Figura 65. Aplicación de capa impermeabilizante.....	92
Figura 66. Plancha ultraliviana con harina de llanta reciclada.	92
Figura 67. Plancha ultraliviana con lámina de aluminio.	92
Figura 68. Plancha ultraliviana - Producto final (Vista superior).....	93

Figura 69. Plancha ultraliviana - Producto final (Vista inferior).....	93
Figura 70. Vivienda social con cubiertas de fibrocemento.....	94
Figura 71. Vivienda social con planchas de hormigón ultraliviano.....	94
Figura 72. Configuración geométrica de cubierta con fibrocemento.....	95
Figura 73. Configuración geométrica de cubierta ultraliviana.	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de diferentes agregados livianos.	25
Tabla 2. Criterios de calidad para los agregados.....	26
Tabla 3. Dosificación utilizada en el Puente Boknasundet.....	35
Tabla 4. Requisitos de los asfaltos impermeabilizantes para cubiertas.	44
Tabla 5. Influencia del diseño sobre los usuarios de la vivienda social.	47
Tabla 6. Recursos para mejorar la sustentabilidad en la vivienda social.	47
Tabla 7. Dosificación para 1m ³ de hormigón - Alternativa No.1.....	69
Tabla 8. Dosificación para 1m ³ de hormigón - Alternativa No.2.....	70
Tabla 9. Dosificación para 1m ³ de hormigón - Alternativa No.3.....	70
Tabla 10. Dosificación para 1m ³ de hormigón - Alternativa No.4.....	70
Tabla 11. Dosificación para 1m ³ de hormigón - Alternativa No.5.....	71
Tabla 12. Dosificación para 1m ³ de hormigón - Alternativa No.6.....	71
Tabla 13. Dosificación para 1m ³ de hormigón - Alternativa No.7.....	72
Tabla 14. Propiedades físicas de los cubos de hormigón a los 7 días.....	80
Tabla 15. Propiedades físicas de los cubos de hormigón a los 14 días.....	81
Tabla 16. Propiedades físicas de los cubos de hormigón a los 28 días.....	82
Tabla 17. Precio de plancha ultraliviana.	97

RESUMEN

Este trabajo da continuidad a la siguiente etapa del proyecto realizado por Silva (2020), con el tema “Placa plana de concreto ligero impermeabilizada con caucho reciclado para cubiertas de vivienda social”. Se decidió ampliar esta investigación por los resultados obtenidos en los ensayos elaborados. De igual manera se busca reemplazar la placa ondulada de fibrocemento, pero con un producto de características mejoradas y a menor precio. Se consideró desarrollar un hormigón ultraliviano (densidad $<1200 \text{ kg/m}^3$ y que sea capaz de resistir entre 90 y 180 kg/cm^2), a través de la utilización de nuevos materiales que aporten esas propiedades al concreto. Entre ellos están los aditivos inclusores de aire y los agentes espumantes. El alcance de esta investigación es crear un producto de bajo peso y costo, que sea amigable para el medio ambiente con la finalidad de cuidar el planeta y que otorgue confort a la comunidad ecuatoriana en sus viviendas.

Palabras claves: Fibrocemento, aditivos, inclusores de aire, agentes espumantes, ultraliviano, medio ambiente.

ABSTRACT

This work gives continuity to the next stage of the project carried out by Silva (2020), with the theme "Flat light concrete slab waterproofed with recycled rubber for social housing roofs". It was decided to expand this investigation by the results obtained in the elaborated tests. In the same way, it seeks to replace the corrugated fiber cement plate, but with a product with improved characteristics and at a lower price. It was considered to develop an ultralight concrete (density <math><1200\text{ kg / m}^3</math> and that is capable of resisting between 90 and 180 kg / cm²), using new materials that provide these properties to concrete. These include air-entraining additives and blowing agents. The scope of this research is to create a product of low weight and cost, that is friendly to the environment to take care of the planet and that provides comfort to the Ecuadorian community in their homes.

Keywords: *Fiber cement, additives, air incorporators, foaming agents, ultralight, environment.*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe mucha contaminación a nivel global producida por químicos, emisiones de gases y productos desechados en el mar. Varias empresas buscan crear elementos que sean amigables con el medio ambiente para reducir la polución mundial. Los neumáticos cuya magnitud de contaminación es significativa, son estipulados por el Ministerio del Ambiente (2020) como residuos especiales, puesto que al ser quemados liberan gases como los hidrocarburos. Además, aceleran el deterioro de la capa de ozono y contribuyen a la propagación de enfermedades transmitidas por mosquitos, como el dengue.

El caucho es un elemento altamente impermeable que podría ser utilizado en el desarrollo de cubiertas, el cual permite un paso a la innovación juntamente con un producto eco-amigable. Los techados se caracterizan por ser livianos y resistentes, es por esto que se busca la manera de aligerar el concreto e impermeabilizarlo con caucho reciclado para aplicarlo en cubiertas de viviendas sociales sin perjudicar al medio ambiente.

Esta propuesta ampliará el abanico de soluciones posibles al introducir aire en la masa de hormigón para reducir su peso, además de estar sellado herméticamente con una capa de harina de llanta reciclada. Se tiene así como resultado un producto más versátil y una contribución a la resolución del problema socioambiental de contaminación por neumáticos desechados.

En países como Suiza y Alemania el uso de hormigones ultralivianos es generalizado en comparación con países de América Latina como Ecuador. De todas maneras existe un camino investigativo por recorrer, pese que son pocas las empresas que lo fabrican. Por lo tanto, los estudios y conocimientos que se desarrollen podrán generar un tipo de hormigón, que hoy en día, resulta desconocido para la mayor parte de los proyectistas y constructores ecuatorianos. Esto hace referencia a un material capaz de resolver las crecientes exigencias técnicas y económicas del sector constructivo.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 Caracterización del problema

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos - INEC (2010) especifica que la población de Ecuador aumenta notablemente y de igual manera la pobreza. Muchas personas que no tienen un lugar estable donde vivir sufren cada año, al hacer el esfuerzo para mantener a sus familias. Sin embargo, no todos lo consiguen, quedándose sin recursos y en la calle, tanto en el sector rural como el urbano. Miles de habitantes experimentan estos acontecimientos a diario mientras se consigue generar mayor necesidad de viviendas en Ecuador.

Para solventar este problema el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda - MIDUVI (2019) promocionó a inicios del año 2000 aproximadamente el Programa Nacional de Vivienda Social con la finalidad de cubrir proyectos de viviendas sociales a gran escala y brindar ayuda a aquellas familias de escasos recursos. Generalmente el gobierno construye casas con materiales convencionales económicos. Si bien se proporciona a la comunidad un lugar donde vivir, no siempre se encuentran en óptimas condiciones.

Este proyecto ha generado miles de viviendas cada año, pero ha manifestado inconformidades por parte de los habitantes. Problemas con los servicios básicos, mala distribución de espacios y la climatización del hogar a causa de la cubierta. Estas residencias son construidas normalmente con planchas onduladas de fibrocemento, las más económicas y resistentes del mercado hasta el momento, no obstante, presenta desventajas que afecta al confort de los moradores.

1.2 Formulación del problema

¿Las cubiertas con planchas lisas de hormigón ultraliviano impermeabilizadas

con caucho reciclado podrán entrar al mercado y sustituir a las planchas onduladas de fibrocemento?

1.3 Sistematización del problema

El desarrollo del proyecto responde a las siguientes interrogantes:

¿Cuáles son los materiales eco amigables que se utilizan en la construcción de viviendas sociales básicas?

¿Cuál es el propósito que persigue el tema de investigación?

¿Cuál es la utilidad de las cubiertas con planchas lisas de hormigón ultraliviano?

¿Cuál es la comparación de costos entre las cubiertas con planchas lisas de hormigón ultraliviano impermeabilizadas con caucho reciclado y otra convencional de placas onduladas de fibrocemento?

1.4 Justificación del tema

Para la presente investigación es necesario analizar antecedentes bibliográficos de casos relacionados con la temática de hormigones ultralivianos, donde se exponga los principales avances recientemente logrados en Europa. De tal forma que se estudie su utilización en una futura dosificación adaptada a la problemática local, para el desarrollo de una cubierta con planchas lisas prefabricadas para estructuras residenciales.

Este proyecto investigativo está enfocado en implementar un nuevo tipo de cubierta prefabricada, de baja densidad, fácil instalación, menor transmitancia térmica, impermeable y que reemplace a las placas onduladas de uso común en Ecuador. Además, que puedan ser utilizadas en viviendas sociales por su bajo costo.

De igual manera, plantear una alternativa de mitigación de impactos socioambientales, generados por el lanzamiento indebido de los neumáticos

en extensas áreas de la mayoría de las provincias ecuatorianas. Se ejecutará una revisión de estudios realizados por organismos gubernamentales o privados que, de alguna manera, se relacionen con este tema. Además, para la elaboración de la propuesta final se priorizará la utilización de este material de desecho.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar una nueva alternativa sustentable para cubiertas de vivienda social básica, que utilice hormigón ultraliviano en la masa para la prefabricación de planchas lisas, impermeabilizadas con harina de caucho reciclado.

1.5.2 Objetivos específicos

- Desarrollar una dosificación para hormigón ultraligero, que posea una densidad por debajo de los 1200 kg/m^3 y que sea capaz de alcanzar resistencias finales en el ensayo de compresión simple entre 90 y 180 kg/cm^2 .
- Elaborar planchas de hormigón ultraliviano de $1.0\text{m} \times 0.4\text{m} \times 0.04\text{m}$, con la dosificación desarrollada en el literal anterior, impermeabilizadas con harina de caucho reciclado y que puedan ser usadas en viviendas sociales como elementos de cubierta.
- Desarrollar una propuesta de diseño de una cubierta para vivienda social básica que utilice planchas lisas de hormigón ultraliviano impermeabilizadas con caucho reciclado.
- Realizar una comparación de costos entre una cubierta que utilice planchas lisas de hormigón ultraliviano impermeabilizadas con caucho reciclado y otra convencional que use placas onduladas de fibrocemento y tumbado como aislante térmico.

1.6 Hipótesis y variables

¿La utilización de cubiertas con planchas lisas de hormigón ultraliviano impermeabilizadas con caucho reciclado es una buena alternativa de construcción para viviendas sociales básicas en el Ecuador?

Variables:

Materiales para su producción

Beneficiarios

1.7 Tipo de investigación

Este trabajo desarrolla una investigación de tipo teórica y experimental, debido que se debe buscar información sobre nuevos materiales para diseñar y construir una plancha de cubierta con un hormigón de densidades menores a 1200 kg/m^3 .

1.8 Metodología

En el desarrollo del Trabajo de Titulación se evidenció la disponibilidad de materias primas apropiadas en el mercado ecuatoriano y su facilidad para ser adquiridas, con la finalidad que se fabrique un hormigón ultraliviano local.

A partir de esta información se diseñará un hormigón muy ligero que sirva para la elaboración de planchas lisas para cubiertas donde se obtendrá la densidad y resistencia aparente del nuevo material mediante cálculos básicos.

En el desarrollo del tema investigativo se debe implementar una propuesta de diseño para cubiertas que utilicen planchas lisas de hormigón ultraliviano y que sean adaptables a la estructura que se usa en las viviendas sociales básicas. Estas residencias son construidas con placas onduladas de fibrocemento debido que su empleo es de manera generalizada en Ecuador.

Finalmente, se debe dar importancia al sistema de impermeabilización con caucho reciclado en la cubierta y al ensamble de las planchas. Se concluye con un análisis económico comparativo entre este producto y otro de uso convencional en Ecuador que utilice placas de fibrocemento.

1.9 Alcance

Desarrollar una cubierta a base de materiales reciclados con la finalidad de contribuir a la reducción de la contaminación en el planeta. El principal elemento es la harina de llanta, que debido a sus características es estipulado como un excelente impermeabilizante. Sin embargo, los neumáticos han sido responsables de la degradación del medio ambiente y propagación de enfermedades. Por lo tanto, este trabajo busca mitigar aquellos problemas que conllevan el desecho de este material.

Por otra parte, es común observar desperdicios en obras tanto de bloques de cemento, arcilla, entre otros. El reciclaje de estos elementos sería óptimo para disminuir la polución cada vez que se culmine una obra. La arcilla expandida es un árido que presenta ventajas como su baja densidad, lo cual lo hace un componente ideal para este proyecto. De este modo, se propone reciclar arcilla expandida con la finalidad de reducir los desperdicios en obra y por consiguiente la contaminación medio ambiental.

Por esta razón, parte de la materia prima para desarrollar esta cubierta es proveniente de elementos reciclados lo que genera impactos positivos para el ecosistema, además de que se consigue crear un producto que ayude a mejorar el hábitat de aquellas personas que residen en viviendas sociales básicas.

La trascendencia del presente Trabajo de Titulación propone los siguientes ítems.

- Plantear una nueva alternativa con soluciones sustentables locales, que pueda contribuir en el mediano plazo con la disminución de la contaminación por el uso indebido de los neumáticos después del cumplimiento de su vida útil. Además, el aprovechamiento de materiales que generan un costo ambiental y que no son utilizados por las comunidades.
- Abrir la posibilidad de una nueva patente para la Universidad Católica.
- Generar una posibilidad laboral para el neo profesional a través de su propio Trabajo de Titulación, y donde la Facultad de Ingeniería continúe colocando en el mercado, profesionales con cultura ambiental cuyo ejercicio siga siendo coherente con la Misión de la UCSG, con sus Estatutos y con el Plan Nacional Toda una Vida de la Constitución de la República.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Histórico

En Europa y Estados Unidos existen productos mucho más avanzados, cuentan con hormigones livianos aplicados en la estructura de edificios y casas. Han sido años de estudios e investigaciones por parte de las personas que dedicaron su tiempo y su vida para el desarrollo de la sociedad. Hoy en día es común ver edificaciones con sus columnas y vigas reducidas en tamaño para lo que normalmente deberían de medir, y todo gracias a este nuevo material conocido Hormigón Liviano. En función de su densidad puede ir adoptando otros nombres que se mencionarán más adelante.

Por otro lado, en el Ecuador existe escasez de conocimiento en lo que a hormigones no convencionales se refiere, como el hormigón ultraliviano. Se han desarrollado estudios en Ecuador para llegar a implementar este producto en el mercado, pero no ha tenido éxito. Es por eso que esta investigación busca producir concreto ultraligero con la finalidad de fabricar cubiertas y que estas reemplacen a la placa ondulada de fibrocemento que es de uso generalizado en Ecuador.

2.2 Cubiertas concepto

La cubierta es una pieza constructiva de cualquier edificación, que normalmente está conformada por la agrupación de diferentes materiales (Onofre C. L., 2012).

Muchos años atrás los troncos de palmera y cañiza se utilizaban para hacer cubiertas, las primeras de este tipo. Con el pasar del tiempo fueron evolucionando, con nuevas técnicas y el constante descubrimiento de nuevos materiales, es así como poco a poco se ha ido innovando.

Este elemento desempeña un rol tan importante en la construcción puesto que protege contra los agentes climáticos e inclusive para tener privacidad. No solo les brinda estética a las edificaciones, sino que también se las considera como un componente estructural que resiste su propio peso y su excedente, ya sea debido al viento, la nieve, vibraciones de la calle, sismos, entre otros. De tal manera que para cada sector existe un tipo de cubierta diferente.

El estilo arquitectónico de una vivienda está relacionado directamente con el material que se escoja para la cubierta, pero a su vez depende también de otros factores. Para elegir el tipo de cubierta en una construcción se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones (Spence, 2006).

- Diseño estético
- Resistencia al fuego
- Resistencia a las condiciones climáticas locales (viento, sol, lluvia)
- Garantía del fabricante
- Materiales
- Pendiente

2.3 Tipos de cubiertas

De acuerdo con Cobaleda, Bonilla, & Rivera (1991) las cubiertas se las puede clasificar de dos maneras, según su forma y el material.

2.3.1 Según su forma

2.3.1.1 Cubiertas inclinadas

Este tipo de techados están conformados por vertientes y pendientes, ya sea a una, dos, tres o cuatro aguas, en función del sistema de canalización de aguas lluvias de la vivienda. El número de vertientes será directamente proporcional al tamaño del hogar. Normalmente las cubiertas de las viviendas sociales básicas tienen cubiertas a una agua, por motivos netamente económicos.

2.3.1.2 Cubiertas planas u horizontales

Como su nombre lo indica, estas cubiertas son desarrolladas con una leve inclinación en una estructura horizontal, con el propósito de drenar el agua de la superficie, y así evitar posibles filtraciones.

Como lo especifican Nuño & Collado (2006), la pendiente de estas cubiertas puede variar entre el 1% y el 10%, en función de su uso (p. 155).

Estas cubiertas se determinan por estar constituidas de manera estratificada por una secuencia de láminas en la que cada una realiza una función determinada, por ende, se requiere ser colocados en un orden establecido.

- Formación de pendiente
- Láminas impermeables
- Láminas de separación
- Aislamiento térmico y acústico
- Capa de acabado

A diferencia del hormigón ultraliviano que se desarrollará para esta investigación, contendrá algunas de estas capas tan solo por su composición; lo que lo hará más eficiente al momento de colocarlas.

2.3.1.3 Cubiertas en arco

Las cubiertas en arco tienen múltiples usos, pero son empleadas en su mayor parte en canchas deportivas, parques y lugares donde se necesiten grandes luces decorativas.

2.3.2 Según el material utilizado

Según Cobaleda, Bonilla, & Rivera (1991), las cubiertas de acuerdo con el material utilizado se clasifican de la siguiente manera:

- Artesanales
- Cubierta de teja
- Cubierta de zinc (metálica)
- Cubierta de asbesto-cemento (fibrocemento)
- Cubierta de hormigón

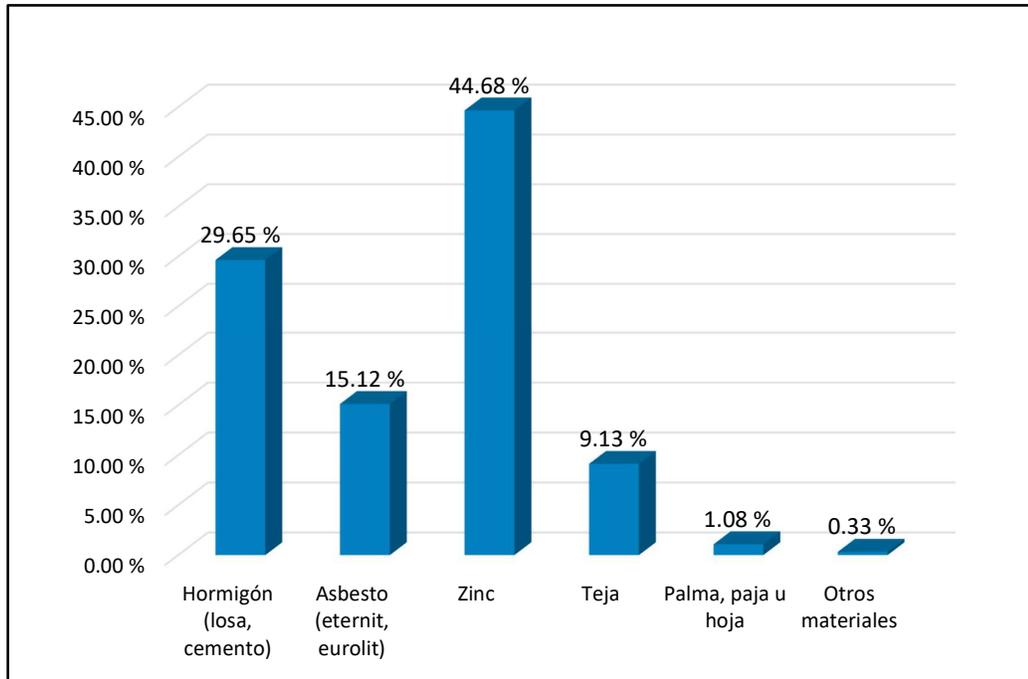


Figura 1. Total de viviendas presentes por tipo de material de cubierta.
Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010

En el Ecuador los techos más utilizados en el sector de la construcción según el Censo de Población y Vivienda (CPV-2010) del Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010) son las cubiertas de zinc y el sustituto más cercano la losa de hormigón. Aunque se debe tomar en cuenta que ciertos materiales como el asbesto y teja, hechos de fibrocemento, son mayormente utilizados en comparación con las cubiertas de paja y otros materiales.

La cubierta de zinc es la más utilizada por la población ecuatoriana debido que posee ventajas como su bajo precio, fácil instalación y es uno de los techos más ligero en el mercado. Las construcciones a gran escala no utilizan

este producto por sus desventajas, principalmente el ruido que provoca con la lluvia, ser desprendida fácilmente por los fuertes vientos a causa de su peso y la apariencia que este brinda a la estructura.

Los techos con losas de hormigón son los más complejos de realizar debido a sus materiales y el tiempo empleado en construirlo; sin embargo, son los segundos más usados a nivel nacional según el INEC (2010). Este tipo de cubierta es la más complicada porque para construirse debe definirse las cualidades físicas del sector con el propósito de determinar el estilo con el que se va a realizar y que finalizará con los cálculos desarrollados por un ingeniero.

Presenta varias ventajas con respecto a los techados anteriores como la resistencia a las condiciones climáticas, resistencia al fuego, durabilidad y aislante térmico. Por otro lado, su precio es muy elevado, existen dificultades en la instalación y su peso es eminente (Cortez & Landázuri, 2011).

2.3.2.1 Cubiertas de fibrocemento

El fibrocemento es un elemento que se utiliza en la construcción, se compone originalmente de dos materiales, cemento y fibras de refuerzo que pueden ser de origen natural o sintético. La utilización del fibrocemento se remonta al siglo XIX, cuando Ludwig Hatschek, ingeniero austríaco, combinó los elementos básicos de la tierra en un proceso de filtración, y que dio lugar a un nuevo material que iba a revolucionar el mercado (Nawrath, 2015).

Estos elementos básicos de la tierra eran tradicionalmente amianto (asbesto), que tras aprovechar sus propiedades físicas y químicas el fibrocemento lograba una gran resistencia (mecánica) además de otras características, entre ellas, incombustibilidad y baja conductividad térmica (Jarabo, 2013).

Cabe recalcar que el fibrocemento ha tenido diferentes usos a lo largo de su historia, pero fue en 1950 que Walter Gropius, prestigioso arquitecto, fue el

primero en disponer de paneles de este material. De esta forma se inició la era de las cubiertas de fibrocemento.

Aunque inicialmente el uso de este elemento haya sido en viviendas económicas, no obstante, en los últimos años se fue abriendo paso en el sector de la edificación, con sus múltiples productos y grandes beneficios (Esquinas, 2019).

Por otro lado, el objetivo de esta investigación es incorporar un producto nuevo al mercado, con la finalidad de poder brindar a aquellas familias de bajos recursos un elemento innovador, que sea más durable, más económico y con un sistema de impermeabilización a base de llantas recicladas, que logre de esta forma un producto eco-amigable.

2.4 Características físicas del fibrocemento

El fibrocemento debido a sus características y composición se ha transformado en uno de los materiales fundamentales para la construcción. Presenta algunas propiedades como: ser un componente ligero y duradero; resistente a cambios de temperatura y agentes químicos; excelente aislante acústico e impermeable; fácil de trabajar, instalar y buenas propiedades mecánicas.

Algunas de las características principales del fibrocemento son las siguientes (Esquinas, 2019, p. 12):

- **Trabajabilidad:** Son placas sencillas de atornillar, clavar, perforar y cortar, además con buenas propiedades de contracción.
- **Versatilidad:** permite la fabricación de revestimientos interiores y exteriores.
- **Resistencia:** es considerado un material altamente resistente.
- **Durabilidad:** Capaz de resistir los cambios de temperatura, la lluvia, el impacto del viento y el fuego.

- Resistencia al impacto: El espesor determina el cumplimiento de las pruebas de resistencia al impacto al que es sometido el material.
- Acabados: Es un material disponible en variedad de acabados.
- Económico: es un material asequible en equiparación con otro tipo de materiales.

2.5 Propiedades mecánicas del fibrocemento

- Módulo elástico: 200000 kg/cm²
- Coeficiente conductividad térmica: 0.23 w/m°C
- Coeficiente dilatación térmica: 0.01 mm/m°C

2.6 Aplicaciones del fibrocemento

El fibrocemento es un material utilizado en el sector de la construcción por sus características que aporta en el diseño de edificaciones y gracias a su versatilidad.

Debido que su estructura es considerada similar al hormigón armado se lo ha podido aplicar en diferentes elementos constructivos (Jarabo C. R., 2013).

- Planchas lisas y onduladas para cubiertas
- Tuberías para agua a presión
- Drenaje
- Alcantarillado por gravedad
- Depósitos de almacenamientos de agua
- Chimeneas
- Canaletas
- Cumbreas

Este material se compone de fibras que ayudan a la resistencia a compresión, mientras que el cemento actúa como endurecedor que genere mayores beneficios para este tipo de construcciones.

El uso del fibrocemento se está expandiendo rápidamente, además está comenzando a abarcar nuevos sectores entre ellos, el mobiliario, luminaria y zonas verdes. Artistas, diseñadores y arquitectos han quedado asombrados con los resultados finales de este material, el que transforma elementos pesados en objetos ligeros (Esquinas, 2019).

2.7 Tipos de cubiertas onduladas de fibrocemento

Los principales tipos de cubiertas de fibrocemento que existen en el mercado son los siguientes (Eternit Ecuador S.A., 2020):

- Cubierta P792: Por sus componentes representa resistencia a la humedad y salinidad de ambiente, a los cambios climáticos y aísla el calor con mayor eficacia.
- Cubierta P7111: Mayor cobertura de área y menor tiempo de instalación debido a su onda extra.
- Cubierta P10: Es la más cotizada en el mercado por su rendimiento en el proceso de instalación.

2.8 Materiales para su construcción

Esquinas (2019) afirma que, “el fibrocemento es un material con varias propiedades y beneficios, a continuación, se presentan los diferentes materiales que lo constituyen” (p. 21).

2.8.1 Cemento

Este material sobresale por su característica de solidificarse y endurecerse después de entrar en contacto con el agua y el entorno. El cemento es el material más utilizado por sus cualidades y ventajas, entre ellas, se encuentra su bajo calor de hidratación, el cual presenta una alta resistencia inicial y su facilidad de moldeo para adquirir cualquier forma.

2.8.2 Silicato de Calcio

Este elemento es un aislante térmico utilizado en la construcción debido a su baja conductividad. Además, permite que mejoren sus características como una mayor resistencia a la compresión, resistencia mecánica, impedimento a la corrosión y la incombustibilidad. Otra de las cualidades que presenta es que gracias a su composición evita su evaporación por el aire.

2.8.3 Fibras de refuerzo

Es un componente de suma importancia por las cualidades que puede brindar incorporándolas en la pasta de cemento, como la resistencia a flexión, fatiga impacto, tenacidad y permeabilidad (Nawrath, 2015).

2.8.3.1 Fibras Naturales

Existen varios tipos de minerales que son extraídos de la naturaleza para fabricar fibras, pero pocas son las que brindan aquellos beneficios que se busca en el producto final.

➤ Amianto

Una de esas es el amianto o asbesto, que proviene de un conjunto de minerales fibrosos de silicatos hidratados que se muestra en la naturaleza de composición cristalina (Jarabo, 2013).

Existen dos tipos principales de amianto:

- Serpentina: También conocido como crisótilo o asbesto blanco, es el más común en las aplicaciones industriales.
- Anfíbola: Es el más peligroso y conlleva a riesgos de salud.

A partir de la revolución industrial, a finales del siglo XIX, se empezó a usar el amianto de forma generalizada por sus características particulares y alcanzó

su máximo nivel de producción en la primera mitad del siglo XX (Mensi & Consonni, 2015).

En 1907, el inglés H. Montague fue la primera persona en suponer los efectos que tenía el amianto contra la salud del ser humano, pero no se había comprobado científicamente. Según la *American Cancer Society* (2015), la inhalación de fibras de asbesto se ha vinculado con un incremento en el riesgo del cáncer de pulmón en varios estudios con trabajadores expuestos ante este mineral; determinan que mientras mayor sea el tiempo de contacto con el amianto, existe un aumento en el riesgo del cáncer de pulmón y de contraer mesotelioma.

A inicios del año 1900 se fundó en Barcelona la primera fábrica de fibrocemento en España, que sirvió como centro de contaminación hasta que cerró sus puertas en 1997. Se realizó un estudio para ver la afectación que tuvo la población por enfermedades relacionadas con el amianto, tanto dentro de la fábrica como en el entorno de la misma (Tarrés, 2009).

Actualmente el amianto está caracterizado como elemento cancerígeno de primera categoría (Tipo A1) dentro de la Unión Europea. Por este motivo todos los países que la conforman ordenaron la prohibición del asbesto como materia prima, la instalación y la distribución de productos que lo contengan. Sin embargo, las estructuras ya existentes que fueron construidas con este material no fueron derrumbadas. Por otra parte, todavía se encuentran países que continúan con la producción del amianto en exceso.

➤ **Fibras de celulosa**

Jarabo (2013) manifiesta que, “para aquellos países que no podían fabricar el fibrocemento por falta de materia prima (asbesto) se vieron en la necesidad de encontrar al sustituto inmediato, pero que no fuese nocivo para la salud del ser humano, además que sea económico y muestre buenos resultados con

respecto a sus propiedades físicas; para ello se enfocaron en fibras provenientes de plantas” (p. 13).

La celulosa es el componente principal de las paredes celulares de los árboles y otras plantas. Es una fibra vegetal de características similares a un cabello humano, que cuenta con una serie de ventajas como abundancia, bajo coste, baja densidad, biodegradabilidad y renovabilidad (Cruz, 2014).

No obstante, entre sus desventajas está la alta capacidad de absorción a la humedad, bajo módulo de elasticidad, baja estabilidad térmica, hinchamiento, susceptibles a ataques biológicos y presentan un poco de inestabilidad en sus resultados finales. Con el pasar del tiempo, la alta permeabilidad y la poca resistencia química derivada de las fibras vegetales le traerá como consecuencia una vida útil por debajo del promedio.

2.8.3.2 Fibras no Naturales

Las fibras no naturales son conocidas por tener involucrada la actividad del hombre y se dividen en artificiales o sintéticas. Fueron creadas con el propósito de incrementar la eficacia en sus propiedades mecánicas, la conductividad eléctrica y la estabilidad térmica, con respecto a las fibras naturales.

➤ Fibras artificiales

Son conocidas porque a partir de una fibra de origen natural se modifican en un proceso industrial para conseguir el producto deseado. El rayón es la fibra artificial más distinguida y se ha obtenido desde la alteración de polímeros naturales denominada celulosa que se encuentran en la vegetación (Martín, 2015).

➤ **Fibras sintéticas**

De acuerdo con Jarabo (2013) “la producción de estas fibras se basa en los polímeros termoplásticos como el polietileno, la poliamida y el poliéster, a través de precursores químicos. Se obtiene como resultado diferentes tipos de fibras sintéticas aplicadas como refuerzo, entre ellas sobresalen las acrílicas, de aramida, de carbono, de nylon, de poliéster, de polietileno y de polipropileno” (p. 13).

Las propiedades mecánicas del fibrocemento, construido a partir de fibras sintéticas, dependen de las características propias del material y de la dosificación que se utilice. Debido a esto es que las fibras compuestas por polímeros han sido responsables de que el fibrocemento haya expandido sus aplicaciones en diferentes sectores.

2.8.3.3 Fibras Inorgánicas

Según Esquinas (2019), el componente principal de estos productos químicos inorgánicos es el boro, silicio y carbono, que a partir de temperaturas elevadas se convierten en fibras. Son derivaciones de filamentos no naturales que poseen propiedades similares, entre ellas, su alta resistencia térmica y mecánica, lo que las convierte en recursos útiles a la hora de solucionar problemas en la construcción. Son reemplazantes de materiales convencionales por las características antes mencionadas (p. 22).

➤ **Fibras de vidrio**

Las fibras de vidrios están compuestas principalmente por sílice, un mineral que se encuentra de forma excesiva en rocas, suelo y arena; a su vez este se combina con varios tipos de óxidos como la alúmina, alcalinos y alcalinotérreos; que en función de sus porcentajes proporcionan las propiedades necesarias a la fibra resultante (Besednjak, 2005).

Son usadas en el refuerzo del hormigón debido a su principal característica que es la durabilidad en un entorno alcalino. Sin embargo, con el tiempo estos

elementos sufren una reducción de resistencia por las siguientes razones (Jarabo, 2013, p. 13):

- La degradación de la fibra por los iones hidroxilos provenientes de la absorción de agua del cemento.
- Precipitación de los productos hidratados, principalmente el hidróxido de calcio.
- Densificación de las cargas minerales en la interfase.

Entre sus principales características se encuentran:

- Buena resistencia mecánica
- Resistencia a agentes atmosféricos
- Resistencia al ataque de agentes químicos
- Baja conductividad térmica
- Incombustibilidad

2.9 Nuevas tecnologías en cubiertas

En vista que en los países europeos y Estados Unidos restringieron el empleo del asbesto para fabricar fibrocemento debido que se lo estipuló como un material riesgoso para la salud; surgió la necesidad de encontrar su sustituto y a su vez desarrollar nuevas tecnologías para suplantar al fibrocemento en su totalidad.

2.9.1 Acetato de polivinilo (PVA)

Cortez y Landázuri (2011) sostienen que, “el PVA o acetato de polivinilo es un polímero totalmente biodegradable que forma emulsionantes y propiedades adhesivas para cubrir materiales porosos, además puede ser aplicado como impermeabilizante. En Europa y USA ya han realizado experimentos con el PVA, y se han conseguido resultados favorables con respecto a su resistencia a la tracción y flexibilidad para ser usados en cubiertas” (p. 8).

2.9.2 Policarbonato

Otro material que se descubrió para la implementación de cubiertas es el policarbonato; que se basa en polímeros asociados por grupos de carbonato. Hoy en día este elemento se lo ha empleado en varios productos además de techados, por su gran facilidad de manejo, moldeo y versatilidad.

2.9.3 Hormigón liviano

El uso de hormigón liviano se remonta al año 3000 a.C. en las ciudades de Mohenjo-Daro y Harappa, en el actual territorio de Pakistán. A partir de ahí se ha venido utilizando, inclusive para obras importantes como en las del Imperio Romano. Un claro ejemplo es la cúpula del Panteón de Roma (118-128 d.C.), donde se usaron áridos ligeros para reducir el peso de la estructura según ascendía la construcción. Sin embargo, en aquella época la producción de agregados livianos solo se podía dar en sectores con actividad volcánica.

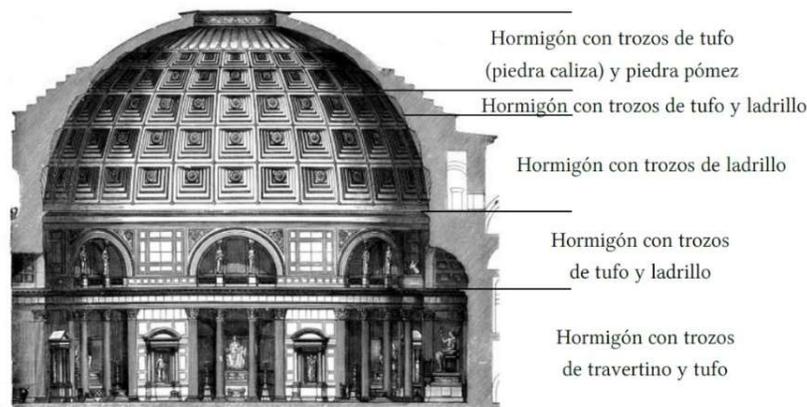


Figura 2. Hormigón liviano utilizado en el Panteón de Roma.

Fuente: González, 2018

Poco a poco se fue investigando este material hasta que empezó a desarrollarse en Europa en el siglo XIX. No solo a través del uso de áridos naturales sino también áridos artificiales manufacturados, como la escoria de alto horno, arcilla y pizarra expandidas. Luego de la Segunda Guerra Mundial este producto comenzó a extender rápidamente su producción por Reino Unido, Holanda y Alemania.

Como señala Iza (2009), el hormigón liviano es un producto de tendencia moderna con el propósito de hacer nuevos materiales de construcción que cumplan las características de ligereza, aislamiento y economía. Se compone de cemento, agregados muy finos como la arcilla expandida, aditivos (incorporador de aire, espumante, gaseoso), fibras (naturales o sintéticas) y agua en proporciones adecuadas en función de las características que se requieran. (p. 2)

Valdez & Suárez (2010) definen al hormigón liviano como “aquellos que obtienen una densidad que fluctúan entre los 1300 kg/m³ y 1900 kg/m³ a diferencia de los convencionales que presentan una densidad normal de 2400 kg/m³” (p. 19).

Un producto ligero presenta varias ventajas al ser menos denso, como la reducción de cargas muertas, mayor rapidez de construcción, menores costos de transporte y una conductividad térmica baja, la cual es directamente proporcional a su densidad, la que genera confort en hogares con ambientes cálidos.

Este tipo de hormigón posee una densidad inferior a 1800 kg/m³. Debe tenerse en cuenta una desventaja importante, debido a que estos concretos tienen la particularidad de reducir su peso específico aunque son afectados finalmente en su firmeza, cuando se aplica la regla de a menor densidad menor resistencia.

Cabe destacar que actualmente su uso en Europa es abundante en comparación con Estados Unidos. En el continente europeo se lo aplica mayormente en viviendas, donde se construyen alrededor de 500.000 casas individuales cada año (Valdez & Suárez, 2010).

En Ecuador no se han realizado investigaciones que conlleven al progreso de este producto a gran escala, sin embargo, una empresa ha desarrollado aditivos que generan este tipo de hormigones.

2.9.3.1 Tipos de hormigones livianos de acuerdo con su producción.

Existen distintos tipos de hormigones livianos según la forma con la que logran reducir su densidad. Para los diferentes sectores constructivos que utilicen hormigón liviano, estos se pueden clasificar en tres grandes grupos de la siguiente manera, como lo expresan Valdez y Suárez (2010).

➤ Hormigón de Agregado Ligero

Este tipo de hormigón usa agregados de baja densidad específica, pues sustituye los agregados naturales que tiene un peso específico promedio de 2600 kg/m^3 . Los áridos ligeros son aquellos que poseen una densidad menor a 2000 kg/m^3 y pueden llegar a valores de 10 kg/m^3 como en el caso de poliestireno expandido o 1250 kg/m^3 en el caso de la escoria del horno. Estos tienen una cualidad que los diferencian de los agregados normales y es la porosidad de la partícula (González, 2018).



Figura 3. Estructura de hormigón con agregado liviano.
Fuente: González, 2018

Existen varios agregados ligeros que se clasifican en naturales y artificiales que son usados para fabricar hormigones menos densos, pero en función de sus propiedades se obtiene la densidad final como lo muestra la figura 4.

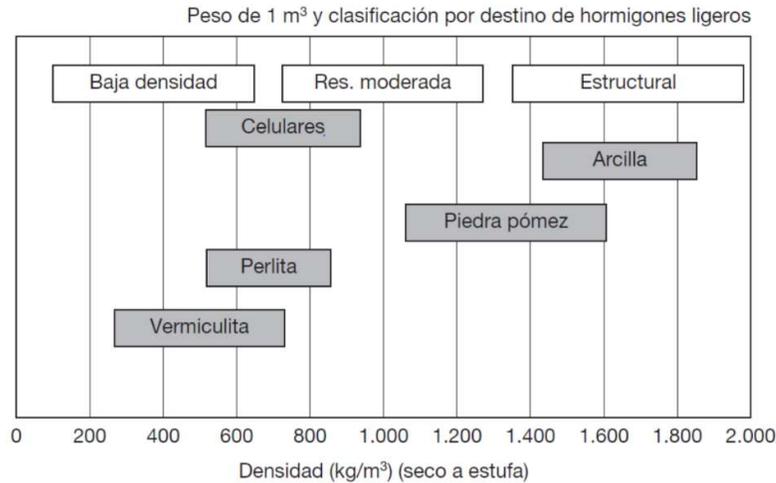


Figura 4. Clasificación de hormigones livianos según el tipo de árido.
Fuente: Instrucción Española de Hormigón Estructural, 2008

Cada agregado posee características únicas como su densidad seca aparente y la capacidad de absorción de agua, entre los cuales la arcilla expandida es la más liviana de esta familia.

Tabla 1. Propiedades de diferentes agregados livianos.

Tipo	Densidad seca aparente (kg/m ³)	Absorción de agua* (% masa)
Arcilla expandida	350-500	12-14
Pizarra expandida	560-720	10-15
Esquisto expandido	500-800	12-14
Pomice	500-880	30-40
Lyttag [®]	800-850	9-15
Escoria de alto horno expandida	850-950	3-5

Lyttag[®]: ceniza volante sinterizada

* Fracción gruesa, la fracción fina es más densa

Fuente: González, 2018

Además, la *American Society for Testing and Materials* – ASTM (2010) posee una serie de normas que se deben cumplir para el uso óptimo de los agregados, como lo muestra la tabla a continuación.

Tabla 2. Criterios de calidad para los agregados.

CRITERIO DE CALIDAD	ESPECIFICACION APLICABLE	Norma ASTM
Abrasión:	Resistencia a la abrasión -agregados finos- Los Ángeles	C-131
Absorción (Po):	Absorción de agregados finos	C-128
Análisis granulométrico:	Análisis granulométrico para agregados finos y gruesos	C-136
Densidad:	Densidad:	D-12
Equivalente de arena:	Análisis de equivalente de arena para agregados finos	D-2419
Finos menos #200 - %:	Materiales más finos que malla No. 200	C-117
Forma de partícula:	Forma de partícula:	D-3398
Gravedad específica:	Gravedad específica para agregados finos	C-126
	Gravedad específica para agregados gruesos	C-127
Impureza de arcilla:	Grumos de arcillas y materiales débiles en agregados	C-142
Impureza orgánica (1-5):	Impureza de materia orgánica en agregados finos	C-87
	Impureza de materia orgánica en agregados finos para H°	C-40
Módulo de finura:	Análisis de módulo de finura	C-125
Muestras:	Reducción de tamaño de muestra	C-702
Partículas planas:	Análisis de partículas planas en agregados gruesos	D-4791
Peso unitario (kg/cm³):	Peso Unitario en agregados	C-28
Propiedades físicas:	Agregados para hormigón	C-33
	Técnicas para análisis de agregados	C E-11

Fuente: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, 2010

➤ **Hormigón Ultraliviano**

Es llamado ultraliviano puesto que las densidades que este elemento puede llegar a conseguir son relativamente menores en comparación con las de un hormigón liviano. Sus consistencias varían de 300 a 1200 kg/m³ aproximadamente, siendo generada de esta manera, mayores alternativas para los sectores constructivos. Existen dos tipos de hormigones ultralivianos en el mercado y se diferencian en el aditivo usado para su fabricación (American Concrete Institute - ACI, 2014).

Hormigón con inclusión de aire

El aire es un componente fundamental para conseguir un hormigón liviano, además de los áridos. Este elemento puede aparecer en el concreto de dos

formas: accidentalmente (aire atrapado) o de manera intencional con la utilización de aditivos.

El aire atrapado se encuentra en todos los hormigones al momento de fabricarlos, no contribuye propiedades favorables, por el contrario, disminuye la calidad del concreto al producirse porosidades y vacíos. Mientras que la incorporación de aire mediante aditivos desarrolla un concreto de características mejoradas, para que esto ocurra la adición de este fluido no debe exceder el valor admisible de 0.10% del peso del cemento (Arcos, 1976).

El aire añadido son burbujas microscópicas contenidas en la mezcla y distribuidas uniformemente a lo largo de la masa, que en efecto cambian notablemente las características del hormigón. Como consecuencia de sus buenos resultados y ventajas, países desarrollados han tomado la iniciativa de sustituir al hormigón convencional.

La inclusión de aire en el hormigón posee beneficios variados, entre los principales están, la trabajabilidad (concreto fresco), durabilidad, eliminación del sangrado (exudación) y la reducción de la densidad con resistencias similares; siempre y cuando se aplique la dosificación que los fabricantes recomiendan. Cabe mencionar que, al no adicionarlo en las proporciones sugeridas las propiedades del concreto se verían afectadas negativamente. Este aditivo tiene características como reducir el contenido de agua utilizado en la mezcla disminuirá la relación agua-cemento y dará como resultado resistencias elevadas.

Hormigón Celular

El ACI (2014) define al hormigón celular como un producto ligero que está compuesto por cemento y limo de material fino silicio, como arena, escoria o ceniza volante, combinados con agua para formar una pasta que tiene una distribución de células vacías uniformes, las partículas de aire se consiguen al contener vacíos resultantes de la reacción química.

Como plantea Arbito (2016) , este un componente de construcción destinado para obras pesadas o livianas; de igual modo está constituido de cemento, agua, árido fino y pequeñas burbujas de aire distribuidas en el hormigón. Adicionalmente, las tecnologías desarrolladas en Europa permitieron que el hormigón celular se elabore con diferentes aditivos y de esta manera se hayan comercializado con el nombre de, “concreto gas” y “concreto espuma” (p. 20).

Cervantes (2008) expresa que, el producto final de la composición de cemento, aditivo y agua es homogéneo y está conformada por millones de micro células de aire lo que genera baja densidad.



Figura 5. Composición de hormigón celular.
Fuente: González, 2018

El hormigón celular se lo puede producir de dos formas diferentes; una de ellas mediante una reacción química y a través de un aditivo espumante, el que genera vacíos en la mezcla, pero con características distintas al aditivo incorporador de aire. La particularidad de estas burbujas adicionadas al hormigón es que su estructura debe resistir al mezclado y la compactación con el propósito de desarrollar su función. Según Garrido (2007) y Arbito (2016), se pueden obtener de la siguiente manera:

Hormigón Gaseoso: Compuesta por reacciones químicas que producen un gas en el mortero fresco de modo que la estabilidad del mismo debe ser de tal manera que permita que el gas se propague, pero no se escape. El que

más uso tiene en este procedimiento es el polvo de aluminio, en proporciones del 0.2% de la masa de cemento puede usarse otros componentes químicos como el polvo de zinc, aleaciones de aluminio o peróxido de hidrógeno.

Hormigón Espumoso: Es producido por la adición de un agente espumoso, como los jabones de resina o proteínas hidrolizadas, al compuesto de cemento y agua. Puede fabricarse sin arena para propósitos no estructurales como el aislamiento, para ello se obtienen densidades entre 200 y 300 kg/m³. Normalmente para morteros hechos con arenas muy finas y ligeras sus consistencias oscilan entre 50 y 1100 kg/m³.

En la fabricación de los hormigones celulares el tiempo desempeña un papel fundamental en la calidad del producto, mientras mayor es la duración de mezclado menor es el peso específico del concreto. Asimismo, la consistencia está en función directa de la resistencia, de modo que existen hormigones espumosos con tenacidades bajas (Arbitó C. G., 2016).

Las propiedades del concreto también dependen de las características de las mezcladoras, como su rapidez de rotación y el diseño sus aspas, debido que este se produce a partir de mezcla obtenida.

Ventajas del hormigón celular

Existe una variedad de ventajas de este producto (Arbitó, 2016, pp. 24-25).

Producción

- Prefabricado de paneles, bloques
- Transporte
- Trabajabilidad
- Muy liviano
- Piezas de mayor tamaño
- Precisión y exactitud dimensional de los elementos prefabricados.

Construcción

- Rapidez de construcción.
- Los elementos pueden ser cortados, aserrados y clavados con facilidad.
- Reducción de mano de obra.
- Facilidad para realizar acabados.
- Disminuye sobrecargas en la estructura, por lo tanto, permite reducir las dimensiones de columnas y vigas.

Habitación

- Menor conductividad térmica, debido a las burbujas de aire incorporadas.
- Aislamiento acústico, lo que mejora el confort del lugar.
- Impermeabilidad, las micro células de aire impiden que las moléculas de agua ingresen.
- Resistencia al fuego
- Biológicamente inerte, no favorece la formación de plagas y hongos.

Desventajas del hormigón celular

Producción

- Más costosa, requiere de maquinaria y equipos.
- Control de calidad más estricto.

Construcción

- Mayor cuidado en el desencofrado.
- Por la presencia de vacíos no se logran resistencias tan elevadas, por ende, el rango de utilidad del producto es limitado.
- Se necesita un sistema de producción más estandarizado.
- Vulnerable a ataques químicos.
- Poca adherencia con el acero de refuerzo.
- El curado debe realizarse en cámaras herméticas y el método varía según el uso que se le dé.
- Mayores deformaciones, debido a su bajo módulo de elasticidad.

➤ Hormigón sin finos

En este tipo de hormigón omite el agregado de áridos finos, por lo que existe agrupamiento de los agregados gruesos; es decir cada partícula se encuentra contenida por la mezcla de cemento en un espesor de 1.3 mm. Este elemento resulta ser el menos liviano por ausencia de un material característico como los agregados finos y aditivos.

En su estructura existen grandes poros, lo que causa resistencias menores, es decir, no hay movimiento capilar dentro del hormigón y esto significa una baja penetración del mismo. La densidad de estos áridos depende de la curva granulométrica del árido grueso, cuando se usan áridos de un mismo tamaño la resistencia disminuye en un 10%, la única condición es que estos áridos deben estar bien gradados y no sean menores a los 5mm.



Figura 6. Partículas de hormigón sin finos.
Fuente: González, 2018

Este tipo de hormigones tiene un valor óptimo de relación agua/cemento para cualquier árido; si esta es mayor a la masa de cemento tenderá a drenarse de las partículas más gruesas y si fuera demasiado baja la mezcla no sería lo suficientemente adhesiva para el compuesto entre áridos y pasta. Generalmente la mezcla eficiente está entre 0.38 y 0.52 en función de la masa de cemento necesaria para recubrir el árido como lo especifica Garrido (2007).

2.9.3.2 Aplicaciones en función de la densidad

Se detallan a continuación las aplicaciones del concreto celular con relación a su peso específico (Arbitto, 2016, pp. 25-26).

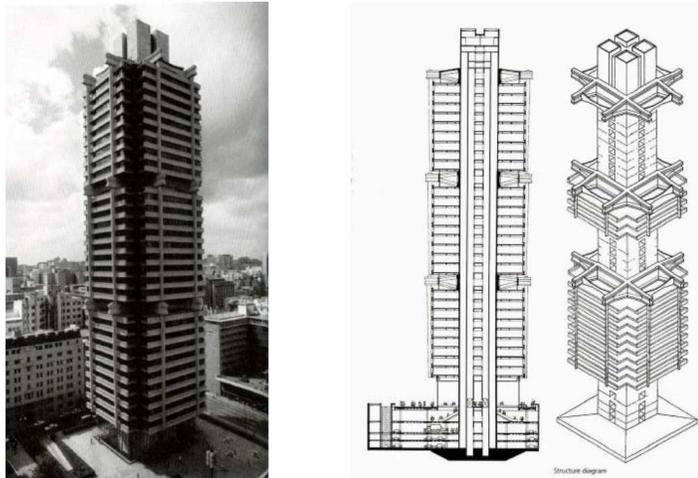
- Hormigón de 250 a 550 kg/m³, utilizado para protección contra incendios y aislamiento térmico.
- Hormigón de 600 a 800 kg/m³ destinada para rellenos, en coberturas ambientales para prevención de derrumbes, cubiertas, impermeabilización, reacondicionamientos de sistemas de alcantarillados, mampostería.
- Hormigón de 800 a 900 kg/m³ utilizado en bloques, rellenos y otros elementos.
- Hormigón de 1100 a 1400 kg/m³ para paredes prefabricadas u hormigonados en sitio, portantes o no portantes, nivelado de pisos.
- Hormigón de 1600 a 1900 kg/m³ para paneles de losas, relleno de placas colaborantes, tabiquería interior.

2.9.3.3 Aplicaciones en estructuras

El uso de hormigón ligero se ha venido dando desde hace muchos años atrás y conforme ha pasado el tiempo sus propiedades han mejorado, tanto así, que hoy en día es un material muy usado para la construcción de edificios, rascacielos y puentes. En estructuras de gran tamaño el concreto liviano desempeña un papel fundamental al reducir el peso propio, las cargas de diseño y por ende su cimentación.

➤ Edificio Standard Bank

Este edificio ubicado en Sudáfrica fue construido en el año 1970, con 130 metros de altura y un total de 30 pisos. Posee un núcleo central de hormigón convencional, el cual sirvió de apoyo para construir las losas de los pisos con concreto liviano con la finalidad de reducir su peso muerto. La mezcla fue diseñada con arcilla expandida, a partir de eso se obtuvo una resistencia de 21 MPa a los 28 días y 1950 kg/m^3 de peso específico (González, 2018).



**Figura 7. Edificio Standard Bank, Johannesburgo (1970).
Fuente: González, 2018**

➤ Torre Picasso

Otra edificación construida con el mismo tipo de hormigón se inauguró en el año 1989, en Madrid, con el nombre de Torre Picasso. Una estructura con una altura de 157 metros, 45 pisos y 5 sótanos. Algunas partes se construyeron con hormigón armado debido que se necesitaban altas resistencias en columnas y vigas. El resto de los elementos se fabricaron a base de concreto con agregados livianos para conseguir una resistencia de 45 MPa y 1650 kg/m^3 de densidad, lo cual permite que la estructura sea ignífuga (González, 2018).



Figura 8. Edificio Torre Picasso, Madrid (1989).
Fuente: www.google.com

➤ **Puente Boknasundet**

Este puente está ubicado en el suroeste de Noruega y fue fabricado en el año 1991. La particularidad de esta estructura es su vano central hecho con hormigón ligero. Al ser este el tramo más largo del puente con 190m y los otros dos de 97.5m, contruidos con concreto convencional. El propietario del puente había propuesto hacerlo de hormigón corriente con medidas de 150m en el vano central, además de 35m y 85m en los extremos. Finalmente terminó escogiendo la alternativa de construirlo con concreto ligero y reducir los costes totales en un 6.5% del proyecto original (González, 2018).

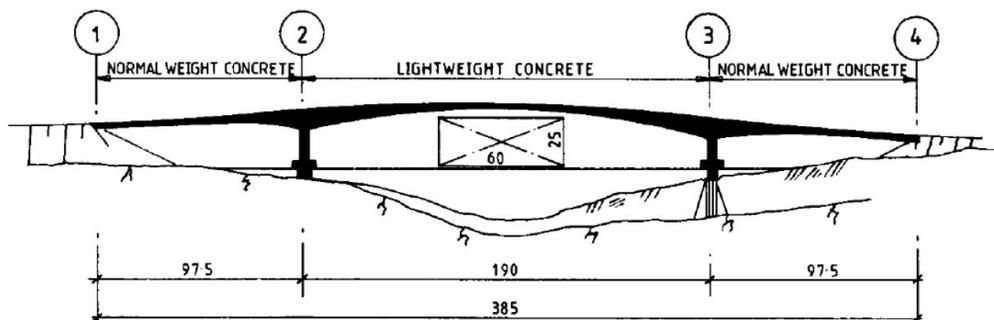


Figura 9. Bosquejo del Puente Boknasundet (1991).
Fuente: González, 2018

A continuación, se muestra los resultados obtenidos en el tramo central del puente.

Tabla 3. Dosificación utilizada en el Puente Boknasundet.

CEM I	Agua	Microsílice	Arena 0-8 mm	Liapor 4-8 mm	Liapor 8-16 mm	Densidad (kg/m ³)	Resistencia (MPa)
430	190	25	680	334	265	1950	63.4

Unidades: kg/m³

Fuente: González, 2018

2.10 Aditivos y su clasificación

Este fluido se define como un elemento distinto del agua y de los áridos que se usa para elaborar morteros u hormigones con características mejoradas (American Concrete Institute - ACI, 2014).

Estos elementos son empleados en la elaboración de hormigones ultralivianos; pueden tener una naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica (químicos) y durante el mezclado son añadidas en pequeñas proporciones que van desde el 0.1% hasta el 5% del peso del cemento, según la actividad que se quiera realizar. Este agente se lo utiliza por su particularidad de modificar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón en estado fresco o endurecido.

Estos aditivos se clasifican de la siguiente manera (Arbitó, 2016, p. 26):

- “Según Norma ASTM C494: Reductores de agua, retardantes, acelerantes, reductor de agua retardante, reductor de agua acelerante, reductor de agua de alto rango, reductor de agua de alto rango retardante, superplastificante, superplastificante retardante, inclusor de aire y de comportamiento específico”.
- “Según Comité 212 del ACI: Acelerantes, reductores de agua y que controlan el fraguado, para inyecciones, inclusores de aire, extractores de aire, formadores de gas, expansivos, minerales finamente molidos, impermeables, reductores de permeabilidad,

pegantes o epóxicos, inhibidores de corrosión, fungicidas o insecticidas, floculadores, colorantes”.

- “Aditivos que alteran el contenido de aire: Inclusores de aire, formadores de gas, formadores de espuma”.

2.11 Agente espumante en el hormigón

Un buen agente espumoso tiene que cumplir con la finalidad de conservar la consistencia de las burbujas sin que esta se rompa durante la producción de espuma, a lo largo de su proceso de mezclado, mientras se vierte del material en el molde y hasta que este haya endurecido, de tal manera que permita al concreto generar esas particularidades que caracterizan a los hormigones ultralivianos (Arbitó, 2016).

Por esta razón, no todos los productos espumosos que se encuentran en el mercado cumplen con este requisito, estrictamente necesario, para producir un hormigón celular. En la actualidad ya existen agentes espumantes en el Ecuador, pero la producción de concreto ultraliviano es baja debido a su demanda.

2.12 Ventajas del hormigón ultraliviano en cubiertas

Una de las principales ventajas es la reducción del peso en el techado de la estructura, además el hormigón ultraliviano mejora el comportamiento de una edificación ante el fuego, por tener características ignífugas, así como también genera un importante aislamiento termoacústico a causa de su baja densidad.

Los áridos livianos junto con el agente espumante pueden proporcionar a este hormigón el bloqueo térmico necesario para prescindir del aislamiento convencional, como el tumbado o un cielo raso. Su uso podría generar un mejor confort en la vivienda y disminuir la necesidad de climatización. Las cubiertas construidas con hormigón ultraliviano tendrían la calidad suficiente

para quedar vistas desde el interior de la edificación, gracias a sus propiedades arquitectónicas. De tal forma que, podría ser mostrada con nuevos acabados de superficie en función de los requerimientos del proyecto. El mismo que, además, creará una atmósfera térmica y acústica aislada, lo que permite adaptar detalles constructivos y físicos a parte de los propios del nuevo material.

Este producto prefabricado con hormigón ultraliviano presenta una alternativa diferente a más de los sistemas tradicionales multicapa o ferrocemento, soluciones tipo sándwich con núcleo de poliestireno expandido o similar o al sistema con placa ondulada de fibrocemento, el más común en el mercado ecuatoriano. Esta nueva opción propone eliminar la necesidad de encofrado y curado del hormigón. Por otra parte, el acabado de la superficie exterior podría ser sólo una película de pintura para tejas, elástica y resistente a los rayos UV, aplicada sobre la capa impermeabilizante con caucho reciclado.

En el aspecto económico, se sabe que, el coste inicial del hormigón ultraligero podría ser más elevado que el del hormigón convencional, información que fue obtenida por las empresas que han investigado y, que actualmente están produciendo este material. Sin embargo, su coste final puede resultar impensado cuando comparativamente sería compensado con detalles más sencillos, por la reducción de algunos rubros involucrados, además de la simplificación del período constructivo de las obras.

Finalmente, el hecho de que se eliminen los trabajos de enlucidos y los de cualquier otro tipo de revestimiento, implicaría la disminución de presupuestos y tiempos de construcción.

2.13 Reciclaje de neumáticos

Como se mencionó anteriormente, los neumáticos contribuyen una parte importante de la contaminación en todo el mundo. Además, de la propagación de enfermedades por el mal almacenaje del mismo. Sin embargo, se conoce

lo fundamental que es para la vida cotidiana, tanto para el transporte de alimentos, como de personas en igual medida. De esta manera, generan ingresos las cadenas de supermercados y permiten que la economía de país se encuentre en constante movimiento.



**Figura 10. Quema de neumáticos en Toledo, España.
Fuente: Sorgato, 2016**

Precisamente, la figura 10 muestra un claro ejemplo de la contaminación que causan los neumáticos. Este acontecimiento ocurrió en el centro de reciclaje más grande de Europa, al consumirse más de cinco millones de llantas (Sorgato, 2016).

El caucho natural y el plástico son los elementos usados en la fabricación de estos productos, sin hacer consciencia del daño que le generan al medio ambiente de forma significativa.

Los neumáticos se componen de un 19% de caucho natural y un 24% de caucho sintético, y este último corresponde a un polímero plástico. El resto está conformado por metales y otros elementos. La producción de neumáticos continúa teniendo efectos negativos, como la deforestación y el uso constante de combustibles fósiles contaminantes para la fabricación de cauchos sintéticos. Hoy en día, para la elaboración de un neumático moderno se requieren 32 litros de petróleo, mientras que, por otro lado, para los neumáticos de camiones se consumen 100 litros (Root, 2019).

Parte de la población a nivel mundial muestra preocupación con respecto al fenómeno del calentamiento global, el cual es producido por el efecto invernadero. Uno de ellos es el biólogo John Weinstein, profesor en la Universidad de Charleston, quién realizó una investigación con sus estudiantes en el año 2014. Esta consistía en buscar microplásticos, es decir, fragmentos pequeños hechos a base de polímeros, los cuales se localizaban en el entorno (Root, 2019).

Estos restos resultaron ser pedazos de neumáticos que se han ido desintegrando gradualmente con el tiempo. Según un estudio del 2017 llevado a cabo por Pieter Jan Kole en la *Open University* de los Países Bajos revela que, estos productos representan aproximadamente el 10% de los desechos microplásticos que se encuentran en los océanos alrededor del mundo, además esta información fue publicada por la Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública en el mismo año (Root, 2019).

A medida que pasa el tiempo, los océanos continúan contaminándose por el desprendimiento de polímeros como resultado del caucho desgastado. Un informe realizado en el año 2013 por *Tire Steward Manitoba*, en Canadá, revela que los ciudadanos norteamericanos son los mayores productores de desgaste en neumáticos per cápita, lo que llega a una cifra aproximada de 1.8 toneladas de microplásticos al año (Root, 2019).

Cuando estos productos llegan al final de su vida útil, las personas no poseen el conocimiento adecuado para darle un buen manejo. Sin embargo, la reutilización de los neumáticos ha aumentado considerablemente del 11% en el año 1990, al 81% en 2017 (Kleine, 2019).

El reciclaje es una medida estrictamente necesaria para reducir la contaminación en el medio ambiente, de tal forma que se pueda mejorar la calidad de vida de los seres humanos. Se pueden utilizar para fabricar parques infantiles, campos deportivos y materiales de construcción, como lo especifica este Trabajo de Titulación. Existe otra manera de reciclar, pero que genera un

impacto negativo en el ambiente y es la quema de neumáticos para obtener energía.

Para este propósito, se construyeron instalaciones bajo las medidas de seguridad correspondientes, diseñadas con la finalidad de conseguir energía relativamente limpia sin perjudicar al entorno, así lo expresa Reto Gieré, científico medioambiental de la Universidad de Pennsylvania (Root, 2019).

Según Kleine (2019), cerca de un 16% de neumáticos que no son reciclados ni quemados terminan en los vertederos. No obstante, en países como España son ilegales los botaderos, lo que estimula a los ciudadanos de alguna u otra manera a reciclar el caucho en productos como zapatos, guantes y césped artificial.

En Ecuador también se está buscando nuevas alternativas que ayuden a la descontaminación del ecosistema. La comunidad ecuatoriana desecha más de dos millones de neumáticos anualmente, los cuales tardan 500 años en deteriorarse. Por lo tanto, se creó el Acuerdo Ministerial 098 que exige la recuperación del 30% de la cantidad importada (Alarcón, 2018).

De igual forma, el Ministerio de Salud Pública - MSP (2020) en conjunto con el Ministerio del Ambiente - MAE (2020), realizaron el Plan de eliminación de neumáticos, que consiste en una medida de prevención de enfermedades y reducción de los niveles de contaminación, regido por el Gobierno Nacional. Cada año se genera una cantidad importante de neumáticos desechados, que la comunidad deja abandonados, situación difícil de controlar para las autoridades del MSP. Sin embargo, no es una tarea imposible y la realizan a diario conjuntamente de llamadas que hace la ciudadanía para notificar los potenciales sectores en los cuales puedan encontrarse desperdicios.



Figura 11. Recolección de neumáticos en Portoviejo, Manabí.
Fuente: Ministerio de Salud Pública, 2020



Figura 12. Recolección de neumáticos en Ventanas, Los Ríos.
Fuente: Ministerio de Salud Pública, 2020



Figura 13. Recolección de neumáticos en Rocafuerte, Manabí.
Fuente: Ministerio de Salud Pública, 2020



Figura 14. Recolección de neumáticos en Milagro, Guayas.
Fuente: Ministerio de Salud Pública, 2020



Figura 15. Desalojo de neumáticos en San Jacinto, Manabí.
Fuente: Ministerio de Salud Pública, 2020

Estas llantas que son desechadas podrían llegar a quebradas, ríos y rellenos sanitarios. Sin embargo, pueden transformarse para mejorar la calidad de vida de las personas. Por ejemplo, la confección de alfombras, fabricación de carreteras y materia prima para la industria textil (Alarcón, 2018).

Para poder elaborar estos productos los neumáticos reciclados tienen que pasar a través de un proceso, donde se ha obtenido polvo de caucho o también llamado harina de llanta. Para ello, se necesitan plantas recicladoras de neumáticos y estas alcanzan un rendimiento de 200 llantas por hora, lo que duplica su capacidad del año anterior. Actualmente se destruyen 22.000 cada mes (Alarcón, 2018).

La harina de llanta es usada a nivel mundial para la elaboración de asfalto modificado. El 10% de las carreteras de España cuentan con este material. A partir del 2013, Ecuador creó una normativa para poder utilizarlo con la misma finalidad. Actualmente, el país tiene dos kilómetros de vías pavimentadas a base de caucho reciclado (Carrasco & Espinosa, 2014).

2.14 Impermeabilización en cubiertas

Los neumáticos reciclados poseen amplias características y pueden ser usados en diferentes sectores industriales. El caucho cuenta con una gran capacidad de impermeabilización, lo que lo hace muy útil para ser aplicado en cubiertas.

Instituto Ecuatoriano de Normalización – INEN (1998) afirma que existen diferentes tipos de asfaltos empleados en techados para sellar porosidades o filtraciones, y los clasifica de la siguiente manera:

- Tipo I: Abarca los asfaltos que son capaces de fluir a temperaturas de cubierta, con excelentes propiedades adhesivas y de curado. Se usan en superficies planas, con pendientes menores a 4.17%.
- Tipo II: Asfaltos moderadamente susceptibles a fluir a altas temperaturas. Se utilizan generalmente en cubierta de edificios, con pendientes comprendidas entre 4.17% y 12.5%.
- Tipo III: Estos asfaltos no son relativamente capaces de fluir a temperaturas de cubierta. Son usados en techados de edificios, con una pendiente mínima de 8.3% y una máxima de 25%.
- Tipo IV: Comprende los asfaltos que son generalmente no susceptibles de fluir a altas temperaturas durante todo el año. También son utilizados en techados de edificios, con pendientes de 16.7% a 50%.

Esta investigación quiere implementar la harina de llanta como capa hermética para la elaboración de cubiertas, para ello, se debe cumplir con los requisitos que exige el INEN (1998). Dentro de las disposiciones generales se encuentra lo siguiente:

- Debe ser preparado a partir del asfalto obtenido del petróleo.
- Debe ser un material homogéneo y libre de agua.

Para los requerimientos fisicoquímicos observar la tabla a continuación.

Tabla 4. Requisitos de los asfaltos impermeabilizantes para cubiertas.

REQUISITOS	UNIDAD	TIPOS								Métodos de Ensayo
		I		II		III		IV		
		Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	
Punto de reblandecimiento	°C	57	66	70	80	85	96	99	107	NTE INEN 920
Punto de inflamación	°C	246	-	246	-	246	-	246	-	NTE INEN 808
Penetración: a 0°C, 200 g, 60 s	1/10 mm	3	-	6	-	3	-	6	-	NTE INEN 917
a 25°C, 100 g, 5 s	1/10 mm	18	60	18	40	15	35	12	25	NTE INEN 917
a 46°C, 50 g, 5 s	1/10 mm	90	180	-	100	-	90	-	75	NTE INEN 917
Ductilidad: a 25°C, 5 cm/min	cm	10,0	-	3,0	-	2,5	-	1,5	-	NTE INEN 916
Solubilidad en tricloroetileno*	% m/m	99	-	99	-	99	-	99	-	NTE INEN 915

* También se puede utilizar el tetracloruro de carbono

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1998

2.15 Viviendas sociales

En términos generales, una vivienda social es un proyecto de tipo habitacional, que favorece la estadía fija o provisional de diferentes familias en función de sus necesidades, lo que proporciona bienestar, seguridad y pulcritud. De igual manera, brindar garantía en cuanto a los materiales que la constituyen, sin dejar de tener en cuenta elementos biodegradables que satisfagan la vida de sus habitantes.



Figura 16. Vivienda social básica en Cañar, Ecuador.
Fuente: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016



Figura 17. Vivienda social básica en Portoviejo, Ecuador.
Fuente: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2008

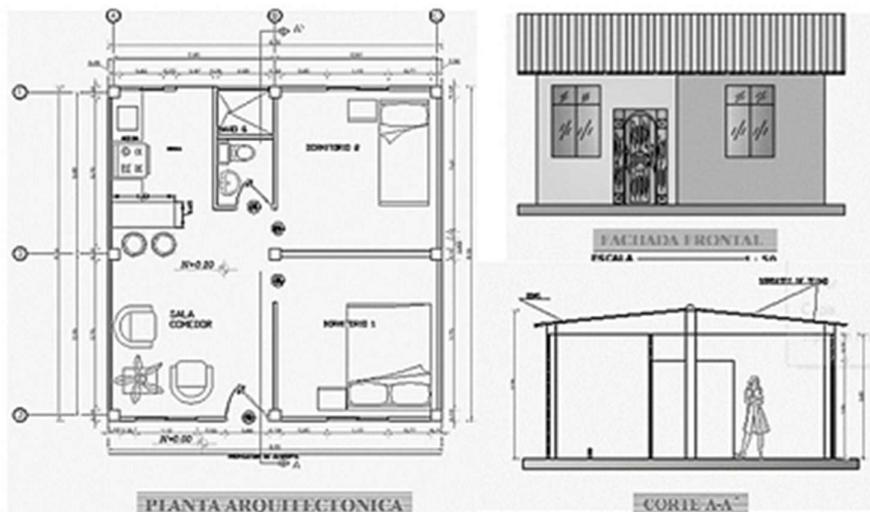


Figura 18. Plano arquitectónico de vivienda social básica en Portoviejo.
Fuente: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2008

El proyecto y la construcción de una arquitectura que pueda adaptarse a las necesidades culturales y económicas del usuario ha llevado a buscar realizarla a partir de elementos sistemáticos repetibles, que articulen el diseño funcional y el diseño constructivo en modelos dinámicos o intercambiables (Arguello & Castellanos, 2015).

En la actualidad, familias de tres o cuatro integrantes, personas de la tercera edad o con discapacidad pueden aplicar para este tipo de vivienda social. Por ello el gobierno busca nuevas formas de ampliar y mejorar estos proyectos, para que más personas puedan tener un hogar, además que disponga de calidad y posea todos los servicios básicos. No obstante, los planes de vivienda no siempre fueron tomados en cuenta de esta manera, en lo que a aspecto sociocultural se refiere. Siempre que se edifiquen construcciones habituales sin un estricto control técnico ni abastecimiento de agua potable o alcantarillado perjudica el bienestar de sus habitantes (MIDUVI, 2019).

Otro detalle por considerar para el buen vivir de las comunidades es la satisfacción plena de los materiales usados, como se ha mencionado anteriormente, por ello este trabajo quiere llegar a implementar una cubierta desarrollada con un hormigón que por sus características propias posee aislamiento térmico y resistencia al fuego, además de darle un uso a los neumáticos desechados, los cuales generan un alto grado de contaminación. De este modo se estaría ayudando al medio ambiente al mismo tiempo que se ofrecería un producto que cumpla las normativas, lo que mejora el hábitat de las personas.

Según el INEC (2010), el país presenta un incremento de habitantes y viviendas desde hace más de 30 años, al mismo tiempo que han aumentado las familias sin hogares. Esto presenta un problema para el gobierno. Sin embargo, lo han podido resolver hasta el momento en su mayoría.

Un estudio desarrollado por Naula (2018) muestra los resultados de una encuesta realizada a tres habitantes de estas viviendas sociales. Para efectos de esta investigación se escogieron dos preguntas.

Tabla 5. Influencia del diseño sobre los usuarios de la vivienda social.

5.- ¿De qué manera influye el diseño sobre los usuarios de la vivienda social?					
PERSONA	CONDUCTA	ESTRUCTURA SOCIAL	COMUNICACIÓN	INTERACCIÓN	CONVIVENCIA
1	X				X
2	X	X	X		X
3		X		X	X

Fuente: Naula, 2018

Como se observa en la tabla 5 la convivencia familiar es el aspecto más afectado por el diseño de estas viviendas, al tenerse como resultado menos comunicación y poco entendimiento entre los miembros. Es evidente que el diseño está causando problemas en la relación intrafamiliar, tanto en la conducta como en la interacción.

Por otro lado, esta pregunta se la hizo a tres profesionales que llevan años desarrollándose en el sector de la construcción, mayormente en viviendas sociales básicas. Con la finalidad de determinar de qué manera podrían ser autosustentable estos hogares.

Tabla 6. Recursos para mejorar la sustentabilidad en la vivienda social.

8.- ¿Cómo se puede mejorar la sustentabilidad en la vivienda social?					
PERSONA	MATERIALES BIODEGRADABLES	ENERGIAS RENOVABLES	COSTOS	TECNOLOGÍA	DISEÑO BIOCLIMÁTICO
1	X		X		X
2	X				X
3	X		X		X

Fuente: Naula, 2018

La manera de mejorar la sustentabilidad en las viviendas sociales, de acuerdo con la tabla 6, es mediante el uso de materiales biodegradables. Estos se presentan con mayor accesibilidad en el mercado y son más durables que los materiales convencionales.

El diseño bioclimático es otra forma de mejorar la calidad de vida de estas personas, el hecho de que sea una vivienda la cual alberque familias de bajos recursos no significa que el diseño no debe de importar, al contrario, se busca ese punto de equilibrio entre el confort y lo económico. Finalmente, el criterio del costo solo fue considerado por dos profesionales, los cuales desean construir con materiales de calidad, junto con un buen diseño, pero a un bajo costo.

Todo se resume a la implementación de esta cubierta de hormigón ultraliviano para estas viviendas sociales, que como se observó anteriormente, la forma más práctica de mejorar la sustentabilidad en estos hogares es mediante el uso de materiales biodegradables, un diseño bioclimático y un costo bajo. Este producto es fabricado con harina de llanta, por lo tanto, lo hace eco amigable. El hormigón ultraligero posee características como aislación térmica, es decir, genera un ambiente libre de altas y bajas temperaturas perfecto para proporcionar un diseño bioclimático. Por último, su bajo coste de producción lo convierte en un producto óptimo para este tipo de proyectos.

2.16 Programa Nacional de Vivienda Social

Este proyecto es ejecutado por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda - MIDUVI (2019), a través de la Subsecretaría de Vivienda a nivel nacional. En los últimos años la población ecuatoriana ha crecido a una tasa promedio anual del 1.95%, lo que aumenta consigo la pobreza tanto en zonas urbanas como rurales. A nivel general, un 35% de los habitantes se encuentra en una situación de escasez de recursos, lo que eleva esta cifra al 59% en el área rural, en tanto que, en el sector urbano un 23%.

Por ese motivo, el Consejo Nacional de Planificación - CPN llevó a cabo el Plan Nacional de Desarrollo - PND desde el año 2007, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de las personas, donde se puedan disminuir desigualdades, inequidades y la exclusión social. El CPN (2017) expresa que “el garantizar una vida digna para todas las personas, además de ser un mandato constitucional, es un imperativo moral. Precisamente, por esto se orienta al ideal de lograr una sociedad más justa y equitativa” (p. 31).

Antes que se desarrollara el PND, Ecuador impuso el Sistema de Incentivos para Vivienda (SIV) para permitir el acceso de un hogar a las personas más pobres, con el propósito de aumentar el porcentaje de viviendas propias. El Gobierno de Ecuador fomentó el SIV como herramienta para cumplir los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo.

A lo largo del tiempo, los problemas de residencia en Ecuador han sido graves, pero a comienzos del siglo XXI fueron obteniendo importantes logros gracias al SIV. En el año 1998 hubo un déficit de vivienda devastador, el cual afectó aproximadamente al 65% de todos los hogares, un tercio mayor que la cifra actual. Cabe destacar que las familias de bajos recursos han mejorado notablemente sus condiciones de habitabilidad. Según el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2019), la cantidad actual presenta una mejoría del 15% con respecto al déficit de viviendas pobres. No obstante, no ha sido suficiente para contrarrestar el ritmo de crecimiento demográfico de Ecuador.

2.17 Normativa legal del proyecto

2.17.1 Carta Política de la República del Ecuador del 2008

En el pleno de la Constitución de la República del Ecuador, el artículo 83 numeral 6 establece lo siguiente:

“Es de vital importancia respetar los derechos de la naturaleza, además de preservar un ambiente ecológico y utilizar los recursos renovables y no renovables de manera racional, sustentable y sostenible” (p. 38).

Consecutivamente, en la sección sexta constituye que el entorno y vivienda descritas en el artículo 30 expresa que “los ciudadanos tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica” (p. 17).

En el artículo 31 menciona que “las personas tienen el derecho de disfrutar de la ciudad y de sus espacios públicos de manera óptima, bajo los principios de sustentabilidad, respeto a las diferentes culturas urbanas y equilibrio entre lo urbano y lo rural” (p. 17).

Además, el artículo 375 sección cuarta estipula que “el Estado, en todos sus niveles de gobierno, garantizará el derecho al hábitat y a la vivienda digna, para lo cual” (p. 114):

Numeral 3. Elaborará, implementará y evaluará políticas, planes y programas de hábitat y de acceso universal a la vivienda, a partir de los principios de universalidad, equidad e interculturalidad, con enfoque en la gestión de riesgos.

Numeral 5. Desarrollará planes y programas de financiamiento para vivienda de interés social, a través de la banca pública y de las instituciones de finanzas populares, con énfasis para las personas de escasos recursos económicos y las mujeres jefas de hogar.

Finalmente, el artículo 376 expresa que “para hacer efectivo el derecho a la vivienda, al hábitat y a la conservación del ambiente, las municipalidades podrán expropiar, reservar y controlar áreas para el desarrollo futuro, de acuerdo con la ley” (p. 114).

El CPN (2017) considera los siguientes objetivos necesarios e indispensables.

- Consolidar el Estado democrático y la construcción del poder popular.

- Patrocinar la igualdad, la cohesión, la inclusión y la equidad social y territorial, en la diversidad.
- Mejorar la calidad de vida de la población.
- Reforzar las capacidades y potencialidades de la ciudadanía.
- Construir espacios de encuentro común y fortalecer la identidad nacional, las identidades diversas, la plurinacionalidad y la interculturalidad.
- Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad territorial y global.

Es importante, recalcar que en la legislación del Ecuador existe una normativa (DUOT-2019-3958) impuesta por la Dirección de Urbanismos, avalúos y ordenamiento territorial que establece la Ordenanza cuya función es la ejecución de proyectos nuevos remodelación de las edificaciones existentes, y el estímulo de la residencia en la zona central de la urbe porteña (Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil, 2019).

En el mismo documento prevalecen los efectos en la realización de políticas concernientes a la protección del medio ambiente y criterios incorporadas al tratamiento de cubiertas, terrazas, fachadas con soluciones que contemplen vegetación viva, un sistema de reutilización de aguas domesticas además de energía limpia renovable con el fin de que sea contributivo y sustentable a la protección del medio ambiente urbano.

Los objetivos de la normativa (DUOT-2019-3958) son las siguientes (Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil, 2019):

- Incentivar el desarrollo de soluciones arquitectónicas y urbanísticas que consideren tecnologías que proporcionen el mejoramiento del hábitat y el ahorro del consumo de energía además de los servicios públicos instalados.

- Reducir los costos en vivienda social, además de contribuir con la elaboración de un producto innovador eco amigable.

Además, el artículo 9 sección 2 del Código Orgánico del Ambiente (2017) establece que, “es deber de todos los niveles del gobierno la incorporación en todas las decisiones y manifestaciones de la administración pública de desarrollos ambientales que incluyen promover la implementación de las mejores prácticas en la producción y el consumo sostenible de bienes y servicios, con el propósito de evitar o reducir la contaminación y optimizar el uso del recurso natural” (p. 14).

La idea de este proyecto de investigación en el área de urbanismo sostenible, está direccionada en la reducción de elementos que originen aumentos en el nivel de contaminación de la ciudad de Guayaquil por la alta población de materiales contaminantes en este caso de materiales reutilizables que pueden servir como materia prima para la elaboración de las cubiertas de hormigón ultralivianos.

2.17.2 Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas

En septiembre del 2015 en la cumbre del Desarrollo Sostenible fue aprobada la Agenda 2030 que contenía 17 objetivos con el propósito de acoger medidas para limitar situaciones de emergencias climáticas y sociales a nivel planetario, lo que compromete directamente a los gobiernos gubernamentales y organizaciones de cualquier índole cumplir estas obligaciones.

De igual manera, dentro de los objetivos en el apartado 17 asociados a la Agenda 2030, permiten la evaluación desde el punto de partida en los países de estrecha marginación y formular ciertas alternativas para conllevar una visión eco amigable directamente con el desarrollo sostenible de los recursos renovables y no renovables.

En definitiva, los Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS son herramientas de gestión y seguimiento en países desarrollados y subdesarrollados, que cuentan con el propósito de contribuir al desarrollo sostenido, inclusivo y armónico del ecosistema mediante las políticas gubernamentales y metodologías de presupuesto, monitoreo y evaluación (Organización de las Naciones Unidas - ONU, 2018).

En cuanto al objetivo 9, el mismo fomenta la construcción de infraestructuras resilientes, aplicación de la industrialización sostenible basada en la innovación, hacer hincapié en que las inversiones en ciertas obras de construcción como el transporte, riego, energía y tecnología de inversión deben ser significativos para cumplir el desarrollo sostenible de las comunidades. De igual forma se reconoce el incremento importante de la productividad tanto de los ingresos como mejoras de opiniones sanitarias y educativas (Naciones Unidas Perú, 2015).

De acuerdo con las Naciones Unidas en el Perú (2015) las metas perseguidas por el objetivo 9 van de la mano con la realización del proyecto en el diseño de cubiertas con planchas lisas de hormigón ultraliviano. Estas se muestran a continuación:

1. El desarrollo de infraestructuras fiables y sostenibles de calidad, donde se incluye el apoyo del desarrollo económico y el bienestar del individuo que pertenece a una sociedad regional.
2. Se intenta modernizar ciertas infraestructuras con la innovación de ciertas industrias de índole sostenible además de ciertos recursos de mayor eficacia y la utilización de tecnologías juntamente con procesos industriales lo que logra que las naciones tomen estas responsabilidades de acuerdo con sus capacidades respectivas.
3. La facilidad de implementar infraestructuras sostenibles en países subdesarrollados mediante un apoyo financiero, tecnológico y técnico.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En este capítulo se desarrolla paso a paso el proceso de elaboración del hormigón ultraliviano, para en consecuencia fabricar la plancha que será usada como cubierta para viviendas sociales básicas. Además, presentar las características de los materiales utilizados para esta investigación.

Para efectos de esta investigación se decidió implementar un laboratorio académico particular que facilite la elaboración de muestras, la realización de ensayos en tiempos de pandemia a partir de la investigación de Arbito (2016).

Se desarrollaron varias dosificaciones con distintos materiales con la finalidad de observar el comportamiento de los materiales que se utilizaron para el progreso de esta investigación y sacar conclusiones al respecto. Dentro del laboratorio académico particular se logró determinar varias características de los nuevos materiales.

3.1 Cálculo de densidad del hormigón

La densidad es una manera de interpretar la cantidad de masa de un cuerpo y el volumen que éste pueda ocupar. Es decir, si dos materias son del mismo tamaño y proporciones pueden presentar densidades diferentes. La fórmula se muestra a continuación.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ : Densidad

m : Masa

V : Volumen

Se armaron moldes de madera de 10x10x10cm con el propósito de fundir cubos de hormigón ultraliviano y posteriormente ser pesados para calcular su densidad.



Figura 19. Probeta cubica No.1 para hormigón ultraliviano.
Fuente: Elaboración propia



Figura 20. Probeta cúbica No.2 para hormigón ultraliviano.
Fuente: Elaboración propia

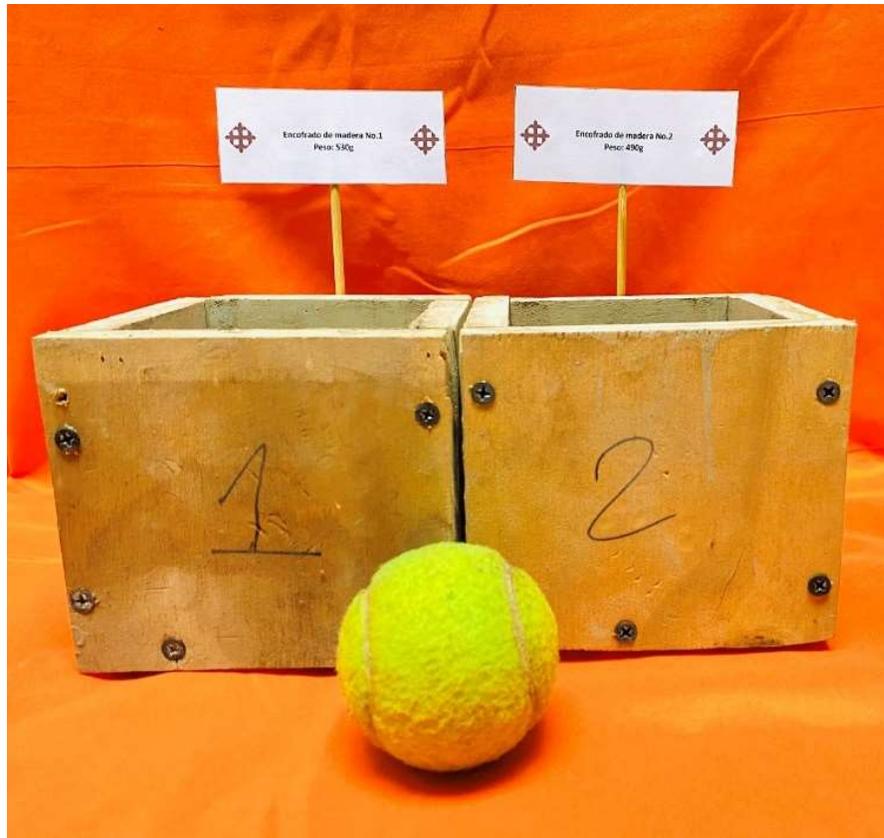


Figura 21. Relación de tamaños con respecto a los encofrados.
Fuente: Elaboración propia

3.2 Construcción de encofrado para planchas de hormigón

El encofrado es un molde temporal formado por distintos materiales, entre ellos, el acero, madera o plástico; su único propósito es contener, resistir y dar forma al hormigón fresco hasta que este complete su proceso de fraguado y por consiguiente, ser desmontado (Beato, 2018).

Es considerado un elemento fundamental para el desarrollo de una obra sin importar el tamaño que esta tenga. Se ha venido usando desde hace varios años, y gracias a él se han logrado construir grandes edificaciones que se conocen hoy en día. Con el fin de que un encofrado sea considerado óptimo para su uso, debe cumplir ciertos requerimientos, como la seguridad, resistencia, durabilidad, impermeabilidad, facilidad de armado y desencofrado.

Por otro lado, para cada construcción existen diferentes tipos de moldes, por ejemplo, el tradicional, modular, deslizante, perdido, entre otros. De tal manera que la decisión y el uso del encofrado idóneo probablemente sea capaz de reducir el tiempo total de la obra, por ende, también el presupuesto final.

Con respecto a las dimensiones del encofrado que se utilizó en este trabajo, se decidió mantener la geometría de la primera parte de la investigación realizada por Silva (2020), con sus 100 cm de longitud, 40 cm de ancho y 4 cm de espesor. Además de tener un elemento de traslape de 2 cm, tanto longitudinal como transversalmente, los cuales no fueron considerados para efectos de este trabajo.

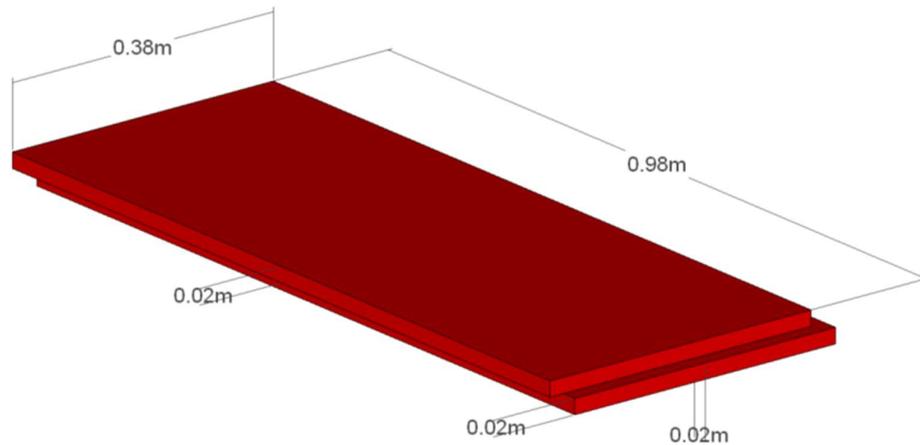


Figura 22. Configuración geométrica de plancha - Parte No.1 del proyecto.
Fuente: Silva, 2020

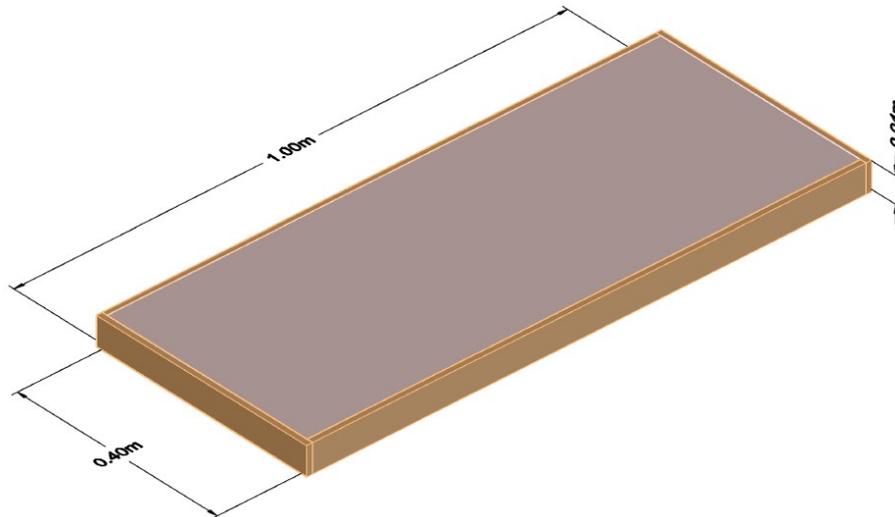


Figura 23. Configuración geométrica de plancha - Parte No.2 del proyecto.
Fuente: Elaboración propia

La figura 23 presenta el molde empleado para fabricar las planchas de hormigón ultraliviano, con una vista superior. Por otra parte, la sección inferior del elemento no es completamente maciza, fue diseñada con un sistema de nervaduras para disminuir su peso para reducir costos. En la primera parte de esta investigación se usaron nervios de 88 cm x 3 cm x 2 cm de espesor como se muestra a continuación.

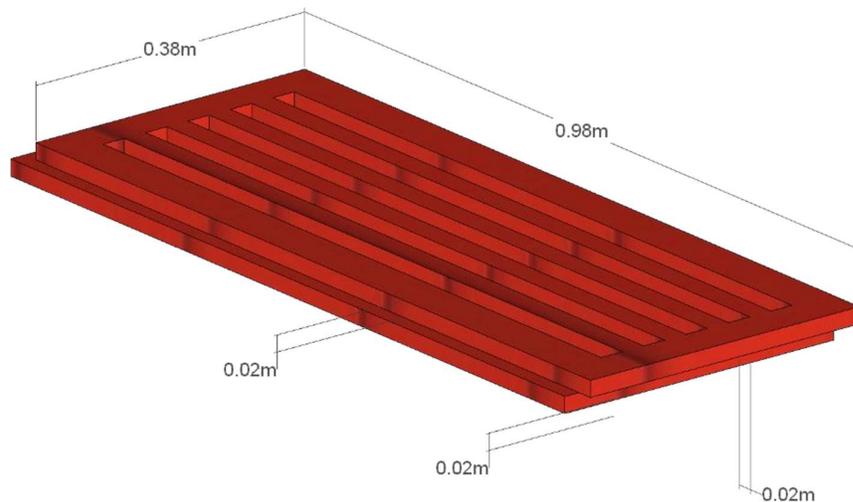


Figura 24. Vista inferior de plancha - Parte No.1 del proyecto.
Fuente: Silva, 2020

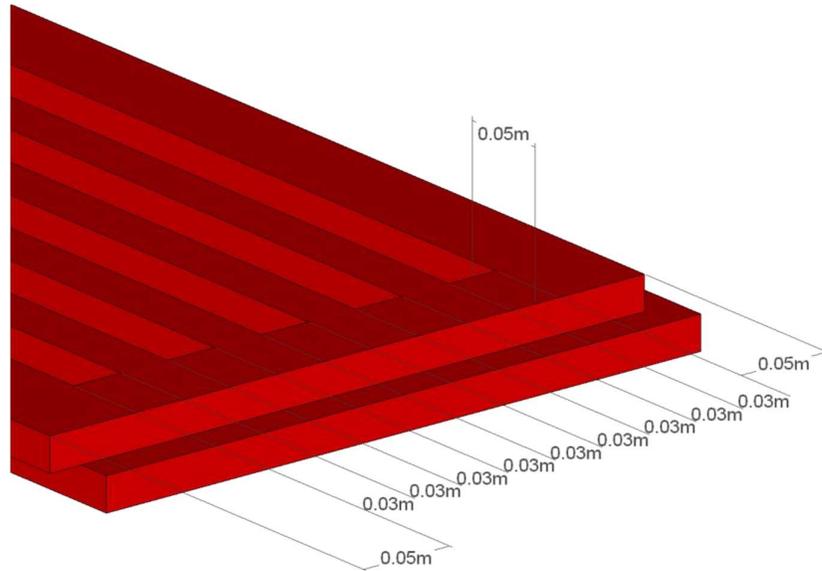


Figura 25. Configuración geométrica de nervios - Parte No.1 del proyecto.
Fuente: Silva, 2020

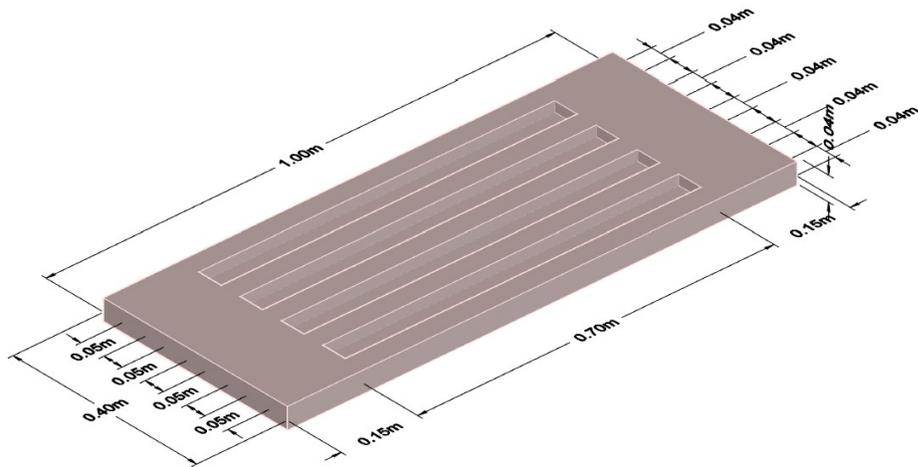


Figura 26. Configuración geométrica de nervios - Parte No.2 del proyecto.
Fuente: Elaboración propia

En la figura 26 se muestra las modificaciones que se realizaron a la plancha con respecto a la anterior, en la que las medidas de sus nervios variaron a 70 cm x 5 cm x 2cm con el objetivo de analizar la influencia de los nervios en la placa para proporcionar sugerencias de cambios que mejorarían su aspecto físico y mecánico.

Para efectos de esta investigación se armó un encofrado tradicional, conformado por madera de pino. A continuación, se muestra paso a paso su proceso de construcción.



Figura 27. Construcción de encofrado para plancha ultraliviana - Parte 1.
Fuente: Elaboración propia



Figura 28. Construcción de encofrado para plancha ultraliviana - Parte 2.
Fuente: Elaboración propia



Figura 29. Construcción de encofrado para plancha ultraliviana - Parte 3.
Fuente: Elaboración propia



Figura 30. Construcción de encofrado para plancha ultraliviana - Parte 4.
Fuente: Elaboración propia



Figura 31. Encofrado para plancha de hormigón - Producto final.
Fuente: Elaboración propia

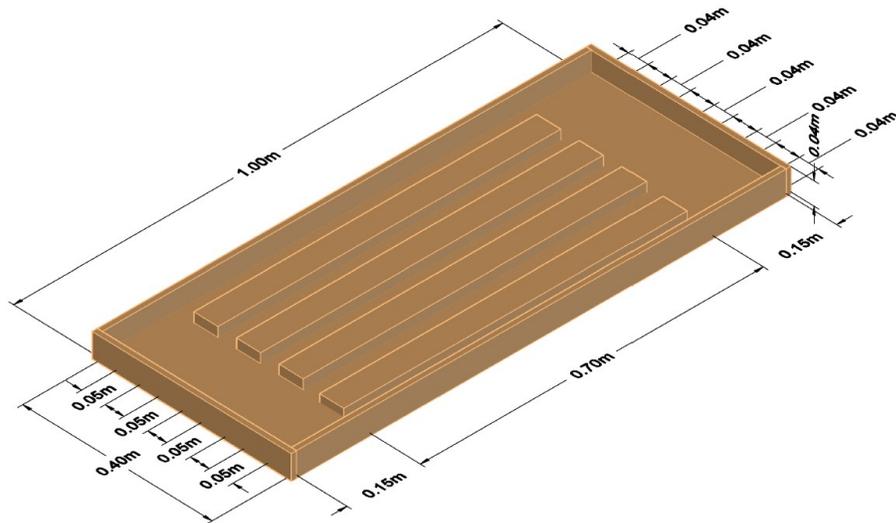


Figura 32. Configuración geométrica de encofrado.
Fuente: Elaboración propia

3.3 Caracterización de los materiales usados

Para este trabajo se buscó implementar el uso de nuevos materiales referentes a la investigación previa, con la finalidad de reducir aún más la densidad del hormigón para conservar su rigidez. Se optó por el empleo de aditivos espumantes, hiperplastificantes, entre otros; se optó por utilizar diversos proveedores con el propósito de poder estudiar su comportamiento en el concreto y observar sus beneficios, en el caso que hubiere.

3.3.1 Arcilla expandida

Este agregado posee la ventaja de ser extremadamente liviano en comparación con otros (Tabla 1), además tiene la capacidad de generar un hormigón ligero debido a su baja densidad seca aparente entre 350 y 500 kg/m³.

Por otro lado, tiene desventajas como un alto porcentaje de absorción y su porosidad. Para el propósito de esta investigación se eliminó completamente el uso de áridos gruesos puesto que no generaba ningún beneficio.

3.3.2 Cemento Tipo GU

Para el desarrollo práctico de este proyecto se escogió un fabricante local de cemento que cumple con los estándares de la norma NTE INEN 2380 (2011).

Relación agua/cemento (a/c)

Es un factor fundamental para la elaboración de un hormigón dado que tiene repercusiones sobre la resistencia y durabilidad del mismo. Siempre es recomendable mantener una baja relación (0.35 – 0.45) para obtener resultados favorables en cuanto a las propiedades del concreto (Arbitó, 2016).

Por el contrario, agregar una cantidad excesiva de agua provoca que el hormigón disminuya su resistencia, pero a su vez mejore la trabajabilidad. Estas sugerencias fueron tomadas en cuenta al momento de crear las dosificaciones para este proyecto. Según Arbitó (2016) la pasta de cemento requiere un valor mínimo de 0.2 (relación a/c), con el fin de generar las reacciones químicas y que logre endurecer.

3.3.3 Fibras de Abacá

Son obtenidas de una planta proveniente de la familia de las Musáceas, el clima cálido es el idóneo para su crecimiento, por ende, Filipinas es el número

uno en su producción y este país es su lugar de origen. Se demostró que Ecuador, por sus temperaturas similares, también es óptimo para el cultivo de este vegetal (Alcívar, 2010).

Tiene varios usos y aplicaciones, inicialmente fueron empleadas en la industria textil, luego en el área de pesca, por ser resistentes a la salinidad, en la producción de bolsas de té, entre otros. No obstante, presentaron grandes resistencias mecánicas, lo que permitió que se opte por incorporarlas al sector de la construcción. Su consistencia y características le brindan al hormigón beneficios como liviandad, al igual que fortaleza.

3.3.4 Microsílica

Es un aditivo en polvo que permite aumentar la resistencia mecánica del hormigón, reduce la porosidad y produce una composición hermética, la cual evita el ingreso de agentes agresivos, por ejemplo, los sulfatos. Se utilizó el producto comercializado por Sika Ecuatoriana S.A. (2020). Este presenta ventajas como el mejoramiento de cohesión, bombeabilidad del concreto y disminución de segregación. Además, cumple con los requerimientos de la norma ASTM C-1240 (2005).

3.3.5 Aditivo hiperplastificante (superplastificante)

Es un líquido que tiene como objetivo reducir la cantidad de agua usada en el hormigón. El Millenium II del proveedor Aditec Ecuador S.A. (2019) fue el que se escogió para el desarrollo de esta investigación. Se lo conoce también como reductor de agua de alto rango y se rige por la norma ASTM C-494 (2008). En cuanto al empleo de este aditivo, el hormigón adquiere variedad de beneficios, entre ellos, mayor trabajabilidad, resistencias mayores al 140% a los 7 días, reducción de agua en un 25% y no produce exudación.

Por otro parte, también se usó el aditivo superplastificante Sikament-115 producido por Sika Ecuatoriana S.A. (2017), su utilización es recomendada

por el fabricante cuando se aplica Sikafume a la mezcla. Al tratarse de la microsíllica como un polvo absorbente, requiere una adición extra de agua. Para que el hormigón no disminuya su resistencia es aconsejable añadir este reductor de agua de alto poder. Arbito (2016) afirma que, el aumento en 0.10 de la relación a/c ocasiona una reducción de resistencia en 100 kg/cm² aproximadamente. Por lo tanto, la adición de Sikament-115 permitiría que se pueda mantener el factor a/c.

3.3.6 Aditivo plastificante

El 100N de la empresa Aditec Ecuador S.A. (2015) es un producto de similares características con respecto al anterior. La diferencia radica en el porcentaje de agua que reducen mediante su aplicación, es decir, este aditivo disminuye entre un 10% y 20% el agua de amasado, mientras que los superplastificantes en un rango del 40%. Este proveedor especifica que se puede lograr aún más el efecto de hiperplasticidad si se aplica con las dosificaciones recomendadas.

3.3.7 Aditivo incorporador de aire

Para esta investigación se escogió el inclusor de aire Airbeton, comercializado por el proveedor Aditec Ecuador S.A. (2015). La característica principal de este aditivo es la producción de burbujas de aire microscópicas cuando entra en contacto con el hormigón. Ideal para fabricar concretos livianos.

3.3.8 Aditivo espumante

La manera de poder disminuir notablemente la densidad del hormigón fue mediante el uso de un aditivo espumante. Este es un líquido el cual se lo coloca en agua y que al mezclarlos forman pequeñas burbujas. Se requirió de tiempo y mucha investigación para encontrar este producto en la localidad, debido que no es comerciable. Por el contrario, en países de Europa se puede conseguir con mucha facilidad. El aditivo utilizado para el desarrollo de este trabajo fue el de la empresa Tecnología en Construcción-TEC247 S.A. (2015).

Generación de espuma

En cuanto a la formación de espuma se la obtuvo a través de la adición del aditivo espumante en agua, a partir de la dosificación sugerida por el fabricante, y posteriormente iniciar el mezclado con un agitador mecánico. Esta máquina se compone de un elemento fundamental que son sus hélices o paletas, las cuales homogenizan dos o más fluidos dentro de un recipiente (Cramix S.A., 2010).



Figura 33. Agitador de hélices mecánico.
Fuente: Cramix S.A.

Para efectos de esta investigación se decidió fabricar un producto similar al que se observa en la figura 33. Como es conocimiento general, un taladro puede realizar movimientos rotativos, por tanto, se aprovechó esa característica de tal forma que se construyó una pieza, la cual se adapta a la sujeción de un taladro para que con su mecanismo realice la misma función que un agitador. Su funcionamiento fue modificado y adaptado para la generación de espuma.

Por otro lado, mezclar los fluidos en tiempo prolongado provoca una inconsistencia en las burbujas, es decir, que algunas pudieran llegar a explotar y perder el aire que llevan dentro, por lo que no cumplirían su principal objetivo que es aligerar el hormigón (Arbito, 2016).



Figura 34. Agitador de paletas de laboratorio.
Fuente: Elaboración propia

3.4 Elaboración de cubos de hormigón ultraliviano

Este trabajo llevó a cabo la producción de cubos de hormigón con medidas de 10x10x10cm, previo a la construcción de las planchas. Se realizó de esta manera para determinar la dosificación óptima, donde por especificación la densidad deberá ser menor a 1200 kg/m³ posterior a los 28 días.

Procedimiento

Como se hizo referencia anteriormente, este trabajo implementa el uso de elementos reciclados tales como la harina de llanta y la arcilla expandida. El agregado tuvo que pasar por un proceso de cribado para separar los áridos finos de los gruesos, como se muestra en la figura 35.



Figura 35. Material resultante del proceso de tamizado.
Fuente: Elaboración propia

Para este proyecto se realizaron múltiples dosificaciones con la finalidad de observar el comportamiento de los diferentes aditivos, mencionados en la sección 3.3. A continuación, se presentan las combinaciones que se desarrollaron para la elaboración de las probetas cúbicas de hormigón.

Tabla 7. Dosificación para 1m³ de hormigón - Alternativa No.1.

Materiales	Cantidad
Cemento	369.60 kg
Agua (mezcla)	200.64 lt
Agua (agente espumante)	264.00 lt
Agente espumante (aditivo)	13.20 lt
Arcilla expandida	488.40 kg
Microsílica	50.42 kg
Fibras de abacá (L=2cm)	2.64 kg
Espuma	15.84 lt
100N	2.38 lt

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Dosificación para 1m³ de hormigón - Alternativa No.2.

Materiales	Cantidad
Cemento	422.40 kg
Agua (mezcla)	63.36 lt
Agua (agente espumante)	264.00 lt
Agente espumante (aditivo)	13.20 lt
Microsílica	52.80 kg
Fibras de abacá (L=2cm)	2.64 kg
Espuma	39.60 lt
Millenium II	2.38 lt

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Dosificación para 1m³ de hormigón - Alternativa No.3.

Materiales	Cantidad
Cemento	422.40 kg
Agua (mezcla)	63.36 lt
Agua (agente espumante)	264.00 lt
Agente espumante (aditivo)	13.20 lt
Fibras de abacá (L=2cm)	2.64 kg
Espuma	47.52 lt
Millenium II	2.38 lt

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Dosificación para 1m³ de hormigón - Alternativa No.4.

Materiales	Cantidad
Cemento	422.40 kg
Agua (mezcla)	132.00 lt
Agua (agente espumante)	264.00 lt
Agente espumante (aditivo)	13.20 lt
Arcilla expandida	79.20 kg
Microsílica	21.12 kg
Fibras de abacá (L=2cm)	2.64 kg
Espuma	31.68 lt
Millenium II	4.22 lt
100N	1.69 lt
Sikament-115	2.11 lt

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Dosificación para 1m³ de hormigón - Alternativa No.5.

Materiales	Cantidad
Cemento	462.00 kg
Agua (mezcla)	237.60 lt
Agua (agente espumante)	264.00 lt
Agente espumante (aditivo)	13.20 lt
Arcilla expandida	396.00 kg
Microsílica	31.68 kg
Fibras de abacá (L=2cm)	2.64 kg
Espuma	15.84 lt
100N	2.38 lt

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Dosificación para 1m³ de hormigón - Alternativa No.6.

Materiales	Cantidad
Cemento	382.80 kg
Agua (mezcla)	237.60 lt
Agua (agente espumante)	264.00 lt
Agente espumante (aditivo)	13.20 lt
Arcilla expandida	475.20 kg
Microsílica	52.80 kg
Espuma	10.56 lt
100N	2.38 lt
Látex	26.40 lt

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Dosificación para 1m³ de hormigón - Alternativa No.7.

Materiales	Cantidad
Cemento	316.80 kg
Agua (mezcla)	158.40 lt
Agua (agente espumante)	264.00 lt
Agente espumante (aditivo)	13.20 lt
Arcilla expandida	422.20 kg
Microsílica	34.32 kg
Fibras de abacá (L=2cm)	2.64 kg
Espuma	26.40 lt
Airbeton	1.06 lt

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber obtenido las dosificaciones, se procedió a realizar las mezclas, como se muestra en las siguientes imágenes. Debido a que son un alto número de fórmulas se propone un procedimiento de forma general.

En primer lugar, se añadieron los agregados, en este caso la arcilla expandida, sin embargo, la microsíllica también fue considerada como un árido, por ende, tuvo que ser incluido y posteriormente mezclados.



Figura 36. Mezcla de arcilla expandida y microsíllica.

Fuente: Elaboración propia

Antes de incorporar el cemento; la arcilla expandida y microsíllica debieron haberse mezclado hasta observar un compuesto homogéneo.



Figura 37. Adición de cemento a la mezcla.
Fuente: Elaboración propia

De igual manera, hay que conseguir una mezcla uniforme antes de adicionar el agua, mientras tanto, se debe preparar la espuma para ser añadida también. Esta se genera con aditivo espumante y agua, la dosificación que recomienda el fabricante es 13cc por cada 250cc respectivamente.

Para propósitos de este trabajo, se utilizaron 500cc de agua en un balde de 20 litros de capacidad, con intención de que las paletas del agitador, que se observa en la figura 34, se encuentren sumergidas por completo y puedan realizar su función.



Figura 38. Adición de agua para la formación de espuma.
Fuente: Elaboración propia

Luego, se agregó la cantidad de aditivo espumante aconsejada, para su óptimo rendimiento. Sin embargo, en esta investigación se desarrollaron algunas dosificaciones a partir de la modificación del volumen, con la finalidad de observar su comportamiento en el hormigón.



Figura 39. Adición de aditivo para la formación de espuma.
Fuente: Elaboración propia

Una vez agregadas las cantidades necesarias se procedió a formar la espuma con el agitador de paletas. Para generar una consistencia óptima, el tiempo de mezclado sugerido para este aditivo fue alrededor de los cuatro minutos y medio. Además, el tiempo máximo para el uso de las burbujas es de diez minutos, luego comenzaría a perder consistencia (Arbitto, 2016).



Figura 40. Formación de espuma con agitador de paletas.
Fuente: Elaboración propia



Figura 41. Espuma - Producto final.
Fuente: Elaboración propia

En algunas alternativas se varió la cantidad de agua, aditivos y espuma a criterio del autor, con el objetivo de encontrar la dosificación ideal. En mezclas con poca adición de agua era evidente que terminarían ligeramente húmedas, por consiguiente, se verificó la formación de grumos hasta que la espuma fuera incorporada en la mezcla.



Figura 42. Adición de agua y aditivos hiperplastificantes a la mezcla.
Fuente: Elaboración propia



Figura 43. Adición de espuma a la mezcla.
Fuente: Elaboración propia

Por recomendación de los fabricantes, si la dosificación cuenta con el uso de dos o más aditivos, estos deben ser añadidos por separado. Por ejemplo, la figura 44 muestra la adición de un último producto a la mezcla.



Figura 44. Adición de aditivo secundario a la mezcla.
Fuente: Elaboración propia

Por último, pero no menos importante, la incorporación de las fibras a la mezcla. Estas le proporcionaron al hormigón una resistencia adicional a la del propio elemento, además redujeron el fisuramiento por retracción.



Figura 45. Fibras de abacá de 2cm de longitud.
Fuente: Elaboración propia



Figura 46. Adición de fibras de abacá (L=2cm) a la mezcla.
Fuente: Elaboración propia



Figura 47. Mezcla de hormigón ultraliviano.
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el hormigón es colocado en el molde para su posterior fraguado y al siguiente día ser desencofrado.



Figura 48. Hormigón ultraliviano fundido en molde de 10x10x10cm.
Fuente: Elaboración propia



Figura 49. Cubo de hormigón ultraliviano fuera del molde.
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS OBTENIDOS

Dentro del laboratorio académico particular se obtuvieron las densidades de cada uno de los cubos de hormigón, a los 7, 14 y 28 días. De esta manera se logró conocer la dosificación óptima para la elaboración de planchas ultralivianas.

4.1 Densidad del hormigón

4.1.1 Resultados a los 7 días de edad

Los primeros resultados se encuentran en la tabla 14, donde se tiene que los cubos 2, 3 y 7 fueron los menos densos de todo el grupo. Estas muestras obtuvieron resistencias evidentemente bajas ya que al ser manipulados desprendían pequeños fragmentos, como se puede observar en las figuras 51, 52 y 56. Es decir que, si bien cumplían con el objetivo de ser livianos, estos no poseían la resistencia necesaria para fabricar una plancha de alta durabilidad.

Tabla 14. Propiedades físicas de los cubos de hormigón a los 7 días.

No.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)
1	10.0	10.0	10.0	0.001	1.21	1210.00
2	9.6	9.8	9.5	0.00089	0.64	719.10
3	9.5	9.9	9.5	0.00089	0.58	651.68
4	9.8	9.6	6.0	0.00056	0.79	1410.71
5	9.9	10.0	9.8	0.00097	1.43	1474.23
6	10.0	10.0	9.9	0.00099	1.44	1454.55
7	10.0	9.8	9.8	0.00096	0.92	958.33

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, las dosificaciones 1, 4, 5 y 6 tienen mayor densidad además de ser macizos, lo que probablemente signifique una resistencia medianamente alta.

Probablemente la baja consistencia de las muestras 2 y 3 se deba a la cantidad de espuma añadida a la mezcla. En el cubo 4 se redujo el volumen de burbujas a criterio del autor, pero se incrementó el número de aditivos lo que probablemente haya provocado una incompatibilidad entre ellos, lo que afectó su altura original. Para contrarrestar este efecto se modificaron las dosificaciones 5 y 6 (Tabla 11 y 12) cuyos resultados de consistencia fueron favorables (Figura 54 y 55). En la muestra No.6 se probó la aplicación del látex en la mezcla con el objetivo de disminuir la absorción del hormigón.

Finalmente, en la muestra No.7 se utilizó el aditivo incorporador de aire del proveedor Aditec, el cual no presentó resultados satisfactorios (baja consistencia) como se muestra en la figura 56.

4.1.2 Resultados a los 14 días de edad

A continuación, se muestran las características de los cubos después de dos semanas de su fundición.

Tabla 15. Propiedades físicas de los cubos de hormigón a los 14 días.

No.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)
1	10.0	10.0	10.0	0.001	1.16	1160.00
2	9.6	9.8	9.5	0.00089	0.55	617.98
3	9.5	9.9	9.5	0.00089	0.51	573.03
4	9.8	9.6	6.0	0.00056	0.74	1321.43
5	9.9	10.0	9.8	0.00097	1.38	1422.68
6	10.0	10.0	9.9	0.00099	1.40	1414.14
7	10.0	9.8	9.8	0.00096	0.88	916.67

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar no presentan variaciones significativas, al comparar las tablas 14 y 15 existe una disminución en el peso desde 4% al 14% en las muestras. Las dosificaciones que más perdieron masa fueron los cubos 2 y 3, con una proporción del 14% y 12% respectivamente.

La alternativa No.1, con una reducción de 50 g, logró el objetivo del presente proyecto dentro de los 14 días, lo que evidenció una densidad baja y consistencia favorable, mientras que en las muestras 2, 3 y 7 no observaron cambios relevantes para el caso.

Por otro lado, las dosificaciones 4, 5 y 6 presentaron mejores características con respecto a la rigidez. Sin embargo, sus densidades sobrepasan la cantidad necesaria para cumplir el objetivo de este trabajo.

4.1.3 Resultados a los 28 días de edad

En esta sección se muestran los resultados finales de los cubos de concreto celular. En consecuencia, como se puede apreciar, la alternativa No.1 demostró ser la dosificación ideal para la producción de planchas de hormigón ultraliviano.

Tabla 16. Propiedades físicas de los cubos de hormigón a los 28 días.

No.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)
1	10.0	10.0	10.0	0.001	1.15	1150.00
2	9.6	9.8	9.5	0.00089	0.55	617.98
3	9.5	9.9	9.5	0.00089	0.50	561.80
4	9.8	9.6	6.0	0.00056	0.74	1321.43
5	9.9	10.0	9.8	0.00097	1.36	1402.06
6	10.0	10.0	9.9	0.00099	1.38	1393.94
7	10.0	9.8	9.8	0.00096	0.87	906.25

Fuente: Elaboración propia

Todos los valores resaltados cumplen con el objetivo de la investigación ($<1200 \text{ kg/m}^3$), sin embargo, los que se encuentran en rojo no lograron las consistencias deseadas. Por el contrario, las muestras 4, 5 y 6 a pesar de aparentar resistencias elevadas no cumplieron con el peso específico requerido.

4.1.4 Probetas cúbicas utilizadas para el cálculo de densidad

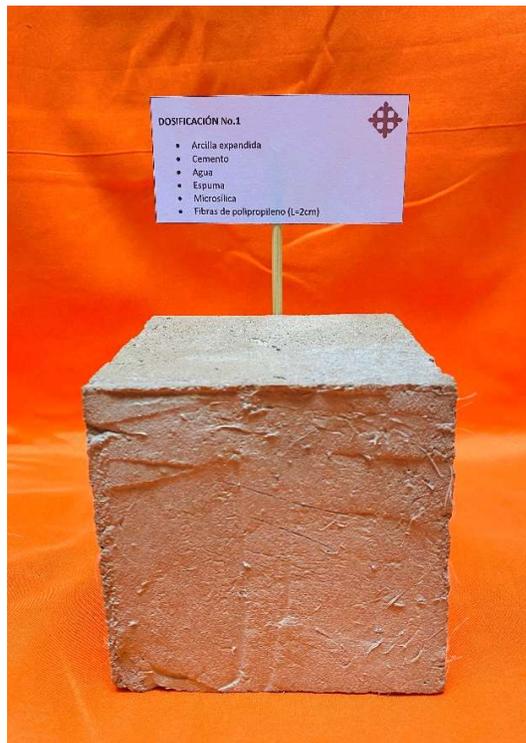


Figura 50. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.1.
Fuente: Elaboración propia

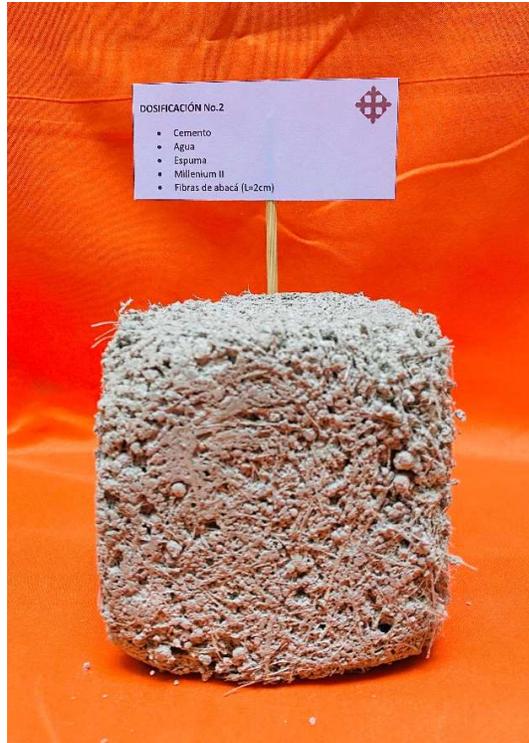


Figura 51. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.2.
Fuente: Elaboración propia

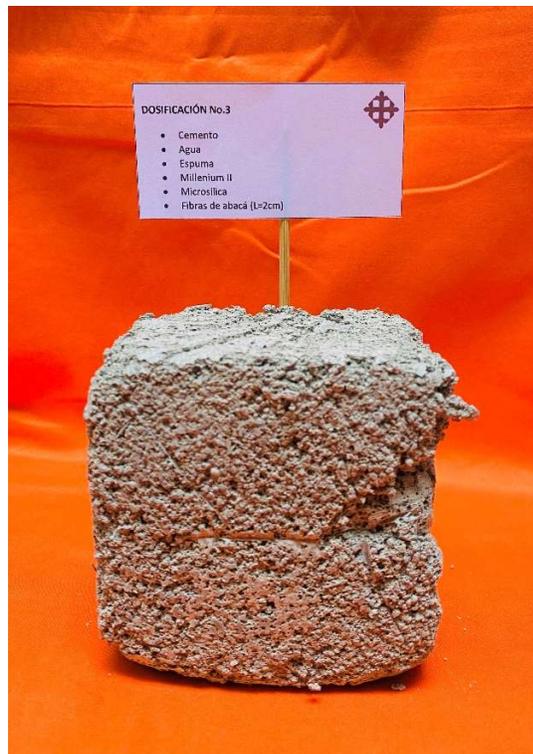


Figura 52. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.3.
Fuente: Elaboración propia

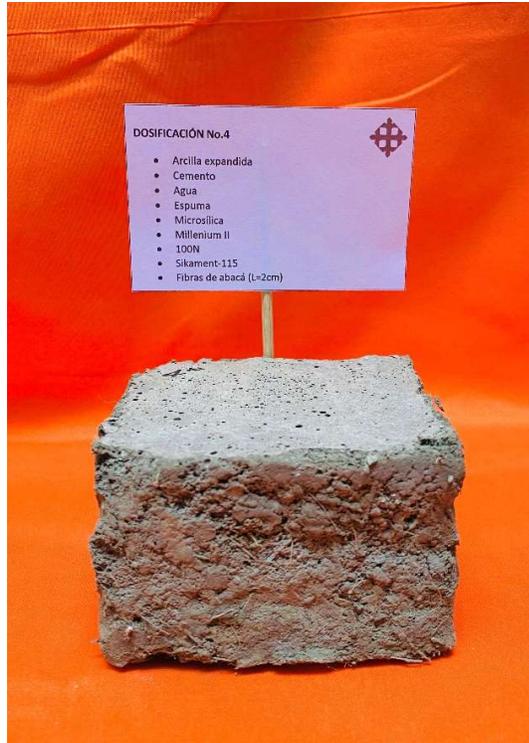


Figura 53. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.4.
Fuente: Elaboración propia



Figura 54. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.5.
Fuente: Elaboración propia



Figura 55. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.6.
Fuente: Elaboración propia

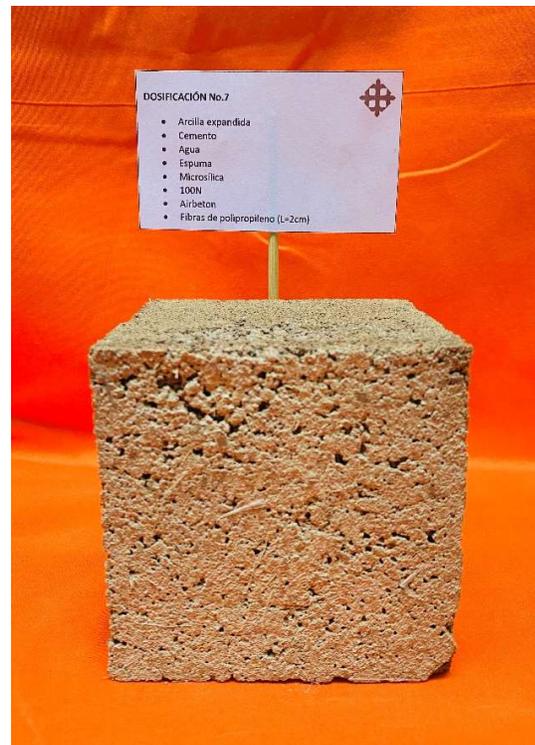


Figura 56. Cubo de hormigón ultraliviano - Dosificación No.7.
Fuente: Elaboración propia



Figura 57. Cubos de hormigón ultraliviano con 7 dosificaciones diferentes.
Fuente: Elaboración propia

4.2 Ensayo de compresión simple

Para realizar las pruebas de resistencia se hicieron probetas cilíndricas de 10cm de diámetro por 20cm de alto, las cuales fueron ensayadas como se muestra en la figura 60.



Figura 58. Probetas cilíndricas de hormigón ultraliviano.
Fuente: Elaboración propia



Figura 59. Laboratorio que participó en la presente investigación.
Fuente: Elaboración propia



Figura 60. Rotura de probetas.
Fuente: Elaboración propia



Figura 61. Ensayo de compresión simple realizado.
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

APLICACIÓN Y ANÁLISIS DEL HORMIGÓN ULTRALIVIANO EN CUBIERTAS

5.1 Elaboración de plancha de hormigón ultraliviano

Al término de 28 días se obtuvo la dosificación óptima (Alternativa No.1) con una densidad de 1150 kg/m^3 , la cual cumple con el objetivo de la investigación, además de que las muestras aparentan una buena resistencia al desgaste. Con esta fórmula se comenzó el proceso de elaboración de la mezcla para fabricar las planchas ultralivianas. El procedimiento es exactamente igual al que se explicó en la sección 3.4, por consiguiente, el método se demostrará a partir de la fundición de la cubierta.

Procedimiento

Para la construcción de este elemento fue necesario preparar una mayor cantidad de todos los materiales en general, entre ellos la espuma, que se muestra en la figura a continuación.



Figura 62. Espuma para construcción de plancha ultraliviana.
Fuente: Elaboración propia

Luego de producir la mezcla se procedió a realizar la fundición de la plancha de hormigón ultraliviano.



Figura 63. Fundición de plancha ultraliviana para cubierta.
Fuente: Elaboración propia



Figura 64. Plancha fundida en encofrado (1.0m x 0.4m x 0.04m)
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente es desencofrada para ser sometida a un proceso de curado y después aplicarle una capa impermeabilizante con harina de caucho reciclada.



Figura 65. Aplicación de capa impermeabilizante.
Fuente: Elaboración propia



Figura 66. Plancha ultraliviana con harina de llanta reciclada.
Fuente: Elaboración propia

Luego, se colocó una lámina de aluminio para proteger a la plancha frente a los rayos UV y además permite la aplicación de pintura en cubiertas.



Figura 67. Plancha ultraliviana con lámina de aluminio.
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, es sometida a un proceso de pintado por razones estéticas.



Figura 68. Plancha ultraliviana - Producto final (Vista superior).
Fuente: Elaboración propia



Figura 69. Plancha ultraliviana - Producto final (Vista inferior).
Fuente: Elaboración propia

5.2 Cubierta para viviendas sociales básicas

En esta sección se detalla en totalidad la culminación del presente Trabajo de Titulación, donde se propuso la construcción (con Alternativa No.1, ver tabla 7) y mejora (densidad menor a 1200 kg/m^3) de una plancha de hormigón ultraliviano, con respecto al proyecto anterior, la cual es destinada a la aplicación de cubiertas para viviendas sociales. Estas deben adaptarse en la misma estructura que contenga placas onduladas de fibrocemento con el propósito de ser reemplazadas debido que la plancha cuenta con mayores beneficios, entre los principales, menor peso, resistencia moderada y mejor costo.

5.2.1 Diseño de cubierta

Para efectos prácticos, se optó por un diseño de cubierta similar a la primera parte de este trabajo con algunas modificaciones, pero con una disposición estructural idéntica para ambos casos como se muestra a continuación.



Figura 70. Vivienda social con cubiertas de fibrocemento.
Fuente: Silva, 2020



Figura 71. Vivienda social con planchas de hormigón ultraliviano.
Fuente: Modificado de Silva, 2020

Luego, la cubierta es extraída para su estudio, donde se presentan sus dimensiones. Además, se procede a calcular su área y cantidad de placas para determinar un análisis de costos entre ambas propuestas.

- Área: 85.60 m²
- Número de placas de fibrocemento por cubierta: 86

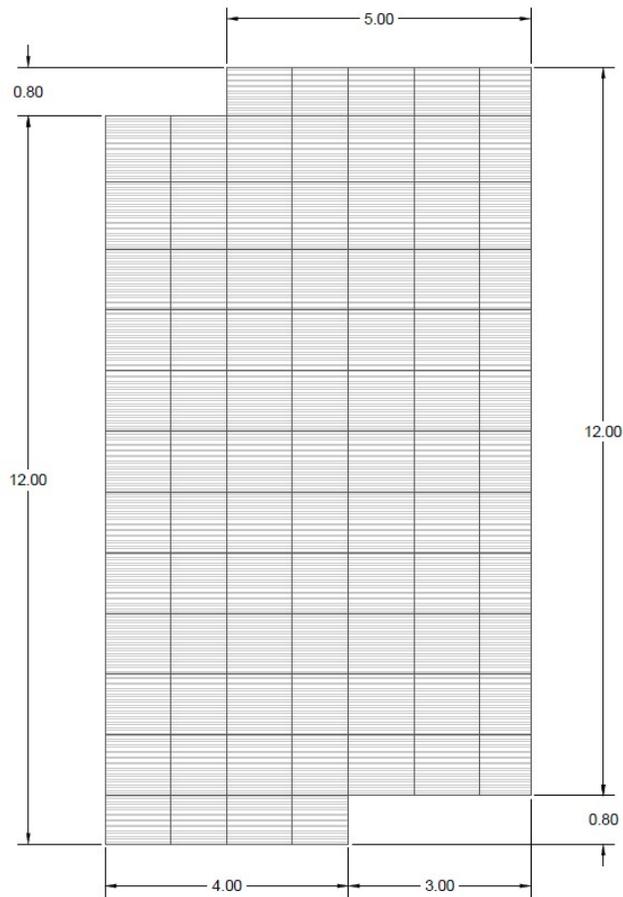


Figura 72. Configuración geométrica de cubierta con fibrocemento.

Fuente: Elaboración propia

- Área: 85.60 m²
- Número de planchas ultralivianas por cubierta: 214

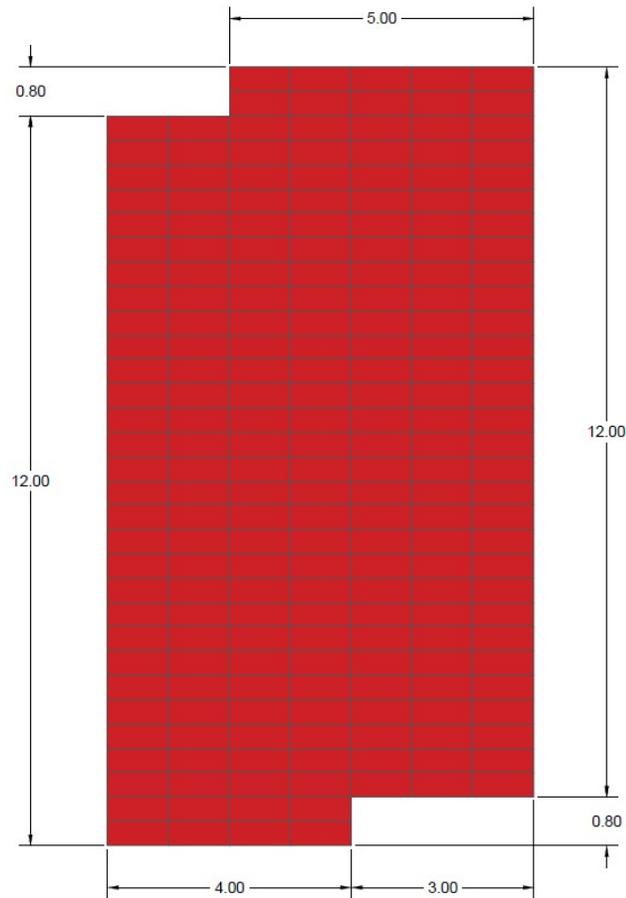


Figura 73. Configuración geométrica de cubierta ultraliviana.
Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Análisis de costos

Al igual que la primera parte de este proyecto se tomó como referencia la placa ondulada de fibrocemento comercializada por el proveedor local.

5.2.2.1 Placa ondulada de fibrocemento

El precio de una placa de 4 pies en el mercado es de \$20.54. Con una cantidad de 86 unidades para la construcción de una cubierta de vivienda social, su precio total es de \$1,766.44 sin incluir el costo de transporte y pintura de la

placa; adicionalmente necesita la instalación de un techado falso interior (tumbado) como aislante térmico.

5.2.2.2 Plancha de hormigón ultraliviano

En la siguiente tabla se muestra el análisis de costos para la fabricación de la nueva plancha en el presente trabajo, donde se obtiene de esta manera su PVP.

Tabla 17. Precio de plancha ultraliviana.

Materiales	Costo
Cemento	\$ 0.66
Agua	\$ 0.01
Aditivo espumante	\$ 1.05
Arcilla expandida	\$ 0.83
Microsílica	\$ 0.60
Fibras de abacá	\$ 0.02
Encofrado	Fab. En serie
Producción	\$ 2.01
Transporte	\$ 1.60
Varios	\$ 0.72
Total	\$ 7.50

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el precio por unidad de esta plancha es de \$7.50 donde ya se considera que su dimensión es menor a una placa de fibrocemento, por lo tanto, para cubrir la misma área de techado usado en este análisis se requiere un total \$1,605.00.

En efecto, el beneficiario generaría un ahorro del 9% aproximadamente, que se traduce en una disminución de \$161.44 en el precio final. Este valor resulta rentable debido incluye el transporte, pintura y una capa térmica por su diseño, de tal manera que no requiere la instalación de un tumbado falso.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Los ensayos realizados muestran que es posible elaborar hormigones ultraligeros, con densidades inferiores a los 1200 kg/m^3 mediante adición en las mezclas de aditivos espumantes, reductores de agua de alto rango e inclusores de aire. Simultáneamente, se verificó que es posible que estos hormigones puedan superar los 90 kg/cm^2 de resistencia al agregar en los diseños arcilla expandida de granulometría corregida y cocción industrial, microsilica y fibras orgánicas de abacá. El autor considera que, con los controles propios de una producción en serie, se podrán mantener dosificaciones estables.

Fueron fabricadas las primeras planchas de hormigón ultraliviano con las medidas $1.0\text{m} \times 0.4\text{m} \times 0.04\text{m}$., y se observó que fue posible el desencofrado a las 24 horas, pese a la utilización de un encofrado rígido de madera. Además, se aplicó el impermeabilizante desarrollado a base de harina de caucho reciclado que actúa como sellador. Con este hecho se concluye que será posible la fabricación en serie de planchas de hormigón ultraligero, de posible utilización en cubiertas de vivienda social.

La adición de fibras de abacá de 2cm de longitud, contribuyó en el control de fisuras, las mismas que al estar protegidas con el proceso de impermeabilización de harina de caucho reciclado, la lámina de aluminio y la pintura de cubiertas no se verán afectadas por la humedad propia de Ecuador.

Se realizó un proceso comparativo teórico que involucró los costos de fabricación de una plancha de hormigón ultraligero y la tradicional placa de fibrocemento que se encuentra a la venta en el mercado local, y se encontró una reducción de costos favorable a la primera. Esto hace presumir que los resultados de la presente investigación contribuirán a que en el futuro, pudiere

fabricarse un nuevo producto en el mercado, orientado hacia las viviendas sociales.

Fue realizada la verificación a nivel de proyecto, que las planchas lisas de hormigón ultraliviano podrán instalarse en una residencia construida o por construirse, utilizando la misma estructura que ya es de uso tradicional y frecuente en el medio ecuatoriano, para viviendas sociales básicas. En el mediano plazo esta propuesta podría contribuir con la disminución de la contaminación por el uso indebido de los neumáticos de desecho, al aprovecharse un material que genera costos ambientales.

6.2 Recomendaciones

Los primeros resultados de la presente investigación son sugestivos para que se continúen desarrollando y probando nuevas dosificaciones que involucren adiciones sólidas livianas, entre ellas, la perlita y los plásticos de reciclaje; así como nuevos aditivos y combinaciones que puedan llevar a resultados satisfactorios y económicos, con posible uso a gran escala.

Nuevas investigaciones que involucren otras composiciones con fibras y arcilla expandida de alta cocción, deberán proponerse para la búsqueda de materias primas locales a los mercados de consumo, que generen soluciones sustentables para las comunidades y la economía de los países.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aditec Ecuador S.A. (2015). *Hoja Técnica 014-2015 Airbeton - Inclusor de aire*. Quito: Aditec-Ec. Obtenido de <http://www.aditec-ec.com/productos/aditivos-para-hormigon/airbeton/ficha-tecnica-airbeton.pdf>
- Aditec Ecuador S.A. (2015). *Hoja Técnica 04-2015 Aditec 100N - Plastificante reductor de agua para hormigón*. Quito: Aditec-Ec. Obtenido de <http://www.aditec-ec.com/productos/aditivos-para-hormigon/100n/ficha-tecnica-100n.pdf>
- Aditec Ecuador S.A. (2019). *Hoja Técnica 091-2019 Millenium II - Hiperplastificante reductor de agua de alto rango*. Quito: Aditec-Ec. Obtenido de <http://www.aditec-ec.com/productos/aditivos-para-el-cemento-y-mortero/millenium/ficha-tecnica-millenium.pdf>
- Alarcón, I. (2018). Las llantas tienen más opciones de reciclaje. *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/tendencias/llantas-reciclaje-materiales-neumaticos-planetaeideas.html>
- Alcívar, S. (2010). *Durabilidad de paredes de mampostería enlucida con mortero reforzado con fibras vegetales - Primera etapa (Tesis de grado)*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- American Cancer Society. (2015). *El asbesto y el riesgo de cáncer*. Georgia: Cancer Organization. Obtenido de <https://www.cancer.org/es/cancer/causas-del-cancer/asbesto.html>
- American Concrete Institute - ACI. (2014). *Guía para hormigones celulares* (523.3R-14 ed.). Michigan: ACI. Obtenido de <https://www.concrete.org/>
- American Society for Testing and Materials - ASTM. (2005). *ASTM C1240-05 - Especificación normalizada para humo de sílice utilizado en mezclas cementicias*. Pensilvania: ASTM Organization. Obtenido de <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C1240-05-SP.htm>

- American Society for Testing and Materials - ASTM. (2008). *ASTM C494/C494M-08a - Especificación normalizada de aditivos químicos para concreto*. Pensilvania: ASTM Organization. Obtenido de <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C494C494M-08A-SP.htm>
- American Society for Testing and Materials - ASTM. (2010). *Normas de calidad para agregados*. Pensilvania: ASTM Organization. Obtenido de <https://la.astm.org/standards/>
- Arbito, G. (2016). *Concreto celular para uso estructural (Tesis de maestría)*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Arcos, C. (1976). Algunos aspectos de los hormigones con aire incorporado. *Informes de la Construcción*, 29(286), 1-5. Obtenido de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>
- Argüello, F., & Castellanos, M. (2015). *Prototipo de vivienda de bajos recursos con material reciclado (modelación Sap. caracterización de los materiales, animación virtual) (Tesis de grado)*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Beato, R. (2018). *Estudio comparativo entre los sistemas de encofrado en República Dominicana y el sistema de España (Tesis de maestría)*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Besednjak, A. (2005). *Materiales compuestos* (Primera ed.). Barcelona: Edicions UPC. Obtenido de <https://books.google.com>.
- Carrasco, S., & Espinosa, P. (2014). *Utilización del polvo de llanta en mezclas asfálticas en frío como alternativa de reciclaje (Tesis de grado)*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Cervantes, A. (2008). *Nuevas Tecnologías en Concretos - Concreto celular - Concreto reforzado con fibra - Concreto ligero estructural* (Primera ed.). Ciudad de México: CYAD.

- Código Orgánico del Ambiente - COA. (2017). *Artículo 9 - Numeral 2.* (Ecuador).
- Consejo Nacional de Planificación - CNP. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo. Quito: Planificación-Ec.* Obtenido de <https://www.planificacion.gob.ec>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Artículo 30.* (Ecuador).
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Artículo 31.* (Ecuador).
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Artículo 375 - Numeral 3 y 5.* (Ecuador).
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Artículo 376.* (Ecuador).
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Artículo 83 - Numeral 6.* (Ecuador).
- Cortez, E., & Landázuri, D. (2011). *Implementación del sistema de control y optimización de la marcación de placas de fibrocemento en la línea de conformado de la planta eternit ecuatoriana (Tesis de grado).* Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Cramix S.A. (2010). *Agitadores industriales. Madrid: Cramix.* Obtenido de <https://cramix.com/productos/agitadores-industriales/>
- Cruz, C. (2014). *Celulosa.* Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Seminario-Celulosa_27101.pdf
- Díaz, R., Bonilla, N., & Rivera, J. (1991). *Cubiertas (Segunda ed.).* Bogotá: Digeneral.
- Esquinas, Á. (2019). *El fibrocemento como recurso material al diseño de productos de uso colectivo (Tesis de maestría).* Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Eternit Ecuador S.A. (2020). *Ficha Técnica - P10.* Quito: *Soluciones para cubiertas.* Obtenido de <https://www.eternit.com.ec/web/eternit->

ecuador/soluciones-integrales/soluciones-para-cubiertas/cubierta-ardex

Eternit Ecuador S.A. (2020). *Ficha Técnica - P7 111. Quito: Soluciones para cubiertas*. Obtenido de <https://www.eternit.com.ec/web/eternit-ecuador/soluciones-integrales/soluciones-para-cubiertas/cubierta-ardex>

Eternit Ecuador S.A. (2020). *Ficha Técnica - P7 92. Quito: Soluciones para cubiertas*. Obtenido de <https://www.eternit.com.ec/web/eternit-ecuador/soluciones-integrales/soluciones-para-cubiertas/cubierta-ardex>

Garrido, A. (2007). *Materiales de construcción II*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. Obtenido de https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6203/mod_resource/content/1/Hormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf

González, J. (2018). *Estudio sobre cinco tipos de hormigones con propiedades especiales (Tesis de maestría)*. Santander: Universidad de Cantabria.

Instituto Ecuatoriano de Normalización - INEN. (1998). *NTE INEN 2 086 - Productos derivados del petróleo. Asfalto. Impermeabilizantes para cubiertas. Requisitos*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2086.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización - INEN. (2011). *NTE INEN 2380 - Cemento Hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2380.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Censos - INEC. (2010). *Censo de Población y Vivienda (CVP-2010). Quito: Ecuador en cifras*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>

- Instrucción Española de Hormigón Estructural - EHE. (2008). *Normativa española sobre el cálculo y seguridad en estructuras de hormigón*. Obtenido de <http://www.philae.es/docs/instrucciones/EHE.pdf>
- Iza, D. (2009). *Hormigón liviano con agregado de origen volcánico y aditivo incorporador de aire (Tesis de grado)*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Jarabo, R. (2013). *Efecto de la sepiolita y de nuevas fibras alternativas celulósicas en el comportamiento de suspensiones de fibrocemento (Tesis doctoral)*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Kleine, K. (2019). *Acción nacional para crecer y desarrollar nuevos mercados de neumáticos sostenibles. EE.UU.: US Tires Organization*. Obtenido de <https://www.ustires.org/ustma-urges-nationwide-action-grow-and-develop-new-sustainable-circular-scrap-tire-markets>
- Martín, A. (2015). *Análisis de proyectos de construcción* (Quinta ed.). Madrid: Elearning S.L. Obtenido de <https://books.google.com>
- Mensi, C., & Consonni, D. (2015). Asbesto sigue matando. *Cogitare*, 20(4), 642-646. Obtenido de <https://revistas.ufpr.br/cogitare/article/viewFile/44537/27115>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda - MIDUVI. (2008). *Programa de viviendas sociales. Portoviejo: Hábitat y Vivienda*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/programa-de-vivienda-urbana-2008/>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda - MIDUVI. (2016). *Programa de viviendas sociales. Cañar: Hábitat y Vivienda*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/programa-de-vivienda-urbana-2016/>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda - MIDUVI. (2019). *Programa Nacional de Vivienda Social. Quito: Hábitat y Vivienda*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/programa-nacional-de-vivienda-social-sav-bid/>

- Ministerio de Salud Pública. (2020). *Plan de eliminación de neumáticos*. Quito: *Sistema de Salud Pública*. Obtenido de <https://www.salud.gob.ec/msp-y-mae-trabajan-conjuntamente-en-evacuacion-de-neumaticos-2/>
- Ministerio del Ambiente. (2020). *Plan nacional de movilización de neumáticos*. Quito: *Ambiente y Agua*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/ministerio-del-ambiente-promueve-el-plan-nacional-de-movilizacion-de-neumaticos/>
- Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil. (2019). *Dirección de Urbanismo, Avalúos y Ordenamiento Territorial. Ordenanza DUOT-2019-3958*. Guayaquil. Obtenido de <https://guayaquil.gob.ec/direcci%C3%B3n-de-urbanismo-y-ordenamiento-territorial>
- Naciones Unidas Perú. (2015). *Objetivo de Desarrollo Sostenible 9. Lima: Industria, innovación e infraestructura*. Obtenido de <https://peru.un.org/es/sdgs/9>
- Naula, E. (2018). *Funcionalidad de los espacios interiores de la vivienda social en Ecuador (Tesis de grado)*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Nawrath, S. (2015). *Estudio de la sepiola y PVA en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de fibrocemento reforzado con fibra de Ulex Europaeus (Tesis de grado)*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Nuño, D., & Collado, P. (2006). *Supervisión de ejecución de acabados, revestimientos y cubiertas* (Primera ed.). Valladolid: Lex Nova. Obtenido de <https://books.google.com.ec/>
- Onofre, L. (2012). *Comparación técnica y económica de diferentes tipos de cubiertas utilizadas en viviendas (Tesis de grado)*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Organización de las Naciones Unidas - ONU. (2018). *Objetivos de Desarrollo. Guatemala: ONU Organization*. Obtenido de <https://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/>

- Root, T. (2019). *Los neumáticos también son responsables de la contaminación plástica*. EE.UU.: National Geographic. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.com/medio-ambiente/neumaticos-contaminacion-plastica>
- Sika Ecuatoriana S.A. (2017). *Hoja Técnica 03-2017 Sikament-115 - Superplastificante reductor de agua de alto poder*. Quito: Ecu-Sika. Obtenido de <https://ecu.sika.com/content/dam/dms/ec01/a/Sikament-115.pdf>
- Sika Ecuatoriana S.A. (2020). *Hoja Técnica 01-2020 Sikafume - Aditivo en polvo con base a sílica-fume*. Quito: Ecu-Sika. Obtenido de https://ecu.sika.com/content/dam/dms/ec01/0/sikafume_.pdf
- Silva, J. (2020). *Placa plana de concreto ligero impermeabilizada con caucho reciclado para cubiertas de vivienda social (Tesis de grado)*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Sorgato, V. (2016). Llantas, un desecho peligroso y reciclable. *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/tendencias/llantas-desecho-reciclaje-contaminacion-medioambiente.html>
- Spence, W. (2006). *Cubiertas. Materiales e Instalación* (Primera ed.). Barcelona: Sterling Publishing Co. Obtenido de <https://books.google.com>
- Tarrés, J. (2009). Enfermedad por amianto en una población próxima a una fábrica de fibrocemento. *Science Direct*, 45(9), 429-434. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300289609002233>
- Tecnología en Construcción - TEC247 S.A. (2015). *Hoja Técnica 04-2015 Aditivo espumante - Reductor de peso*. Quito: Tecnología. Obtenido de <http://www.tecnologia247.com/>
- Valdez, L., & Suárez, G. (2010). *Hormigones Livianos (Tesis de grado)*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Orellana Coello, Anthony Jesús**, con C.C: # **0928957547** autor del Trabajo de Titulación: **Cubiertas de planchas lisas de hormigón ultraliviano impermeabilizadas con caucho reciclado para viviendas sociales básicas** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido Trabajo de Titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido Trabajo de Titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **15 de septiembre de 2020**

f. _____

Nombre: **Orellana Coello, Anthony Jesús**

C.C: **0928957547**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	CUBIERTAS DE PLANCHAS LISAS DE HORMIGÓN ULTRALIVIANO IMPERMEABILIZADAS CON CAUCHO RECICLADO PARA VIVIENDAS SOCIALES BÁSICAS		
AUTOR	Orellana Coello, Anthony Jesús		
REVISOR/TUTOR	Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	15 de septiembre de 2020	No. DE PÁGINAS:	127
ÁREAS TEMÁTICAS:	Producto eco-amigable, Confort de habitantes y Construcciones sostenibles.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Fibrocemento, aditivos, inclusores de aire, agentes espumantes, ultraliviano, medio ambiente.		

RESUMEN/ABSTRACT:

Este trabajo da continuidad a la siguiente etapa del proyecto realizado por Silva (2020), con el tema "Placa plana de concreto ligero impermeabilizada con caucho reciclado para cubiertas de vivienda social". Se decidió ampliar esta investigación por los resultados obtenidos en los ensayos elaborados. De igual manera se busca reemplazar la placa ondulada de fibrocemento, pero con un producto de características mejoradas y a menor precio. Se consideró desarrollar un hormigón ultraliviano (densidad $<1200 \text{ kg/m}^3$ y que sea capaz de resistir entre 90 y 180 kg/cm^2), a través de la utilización de nuevos materiales que aporten esas propiedades al concreto. Entre ellos están los aditivos inclusores de aire y los agentes espumantes. El alcance de esta investigación es crear un producto de bajo peso y costo, que sea amigable para el medio ambiente con la finalidad de cuidar el planeta y que otorgue confort a la comunidad ecuatoriana en sus viviendas.

This work gives continuity to the next stage of the project carried out by Silva (2020), with the theme "Flat light concrete slab waterproofed with recycled rubber for social housing roofs". It was decided to expand this investigation by the results obtained in the elaborated tests. In the same way, it seeks to replace the corrugated fiber cement plate, but with a product with improved characteristics and at a lower price. It was considered to develop an ultralight concrete (density $<1200 \text{ kg / m}^3$ and that is capable of resisting between 90 and 180 kg / cm^2), using new materials



that provide these properties to concrete. These include air-entraining additives and blowing agents. The scope of this research is to create a product of low weight and cost, that is friendly to the environment to take care of the planet and that provides comfort to the Ecuadorian community in their homes.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR:	Teléfono: +593-98-590-1571	E-mail: aj-orellana@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Glas Cevallos, Clara Catalina	
	Teléfono: +593-4 -2206956	
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		