



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA  
Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO**

**PROPUESTA DE REVESTIMIENTO EXTERIOR DE BAJO  
IMPACTO AMBIENTAL EN BASE A RCD COMO ESTRATEGIA  
PASIVA PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO  
DE LA VIVIENDA EN LA CIUDAD DE CUENCA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE ARQUITECTO**

**AUTOR: ANTHONY CRISTOPHER MATUTE ARICHABALA**

**MICHAEL MANOLO ORDÓÑEZ VILLAGÓMEZ**

**DIRECTOR: ARQ. JOSÉ PESÁNTEZ PESÁNTEZ**

**CUENCA - ECUADOR**

**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO**

**PROPUESTA DE REVESTIMIENTO EXTERIOR DE BAJO  
IMPACTO AMBIENTAL EN BASE A RCD COMO  
ESTRATEGIA PASIVA PARA MEJORAR EL  
COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA VIVIENDA EN LA  
CIUDAD DE CUENCA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE ARQUITECTO**

**AUTORES: ANTHONY CRISTOPHER MATUTE ARICHABALA  
MICHAEL MANOLO ORDÓÑEZ VILLAGÓMEZ**

**DIRECTOR: ARQ. JOSÉ PESÁNTEZ PESÁNTEZ**

**CUENCA - ECUADOR**

**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

**Anthony Cristopher Matute Arichabala y Michael Manolo Ordóñez Villagómez** portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0104646252** y **0106412331**. Declaramos ser autores de la obra: **“Propuesta de revestimiento exterior de bajo impacto ambiental en base a RCD como estrategia pasiva para mejorar el comportamiento térmico de la vivienda en la ciudad de Cuenca”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **3 de marzo de 2022**



F: .....

Anthony Cristopher Matute Arichabala  
0104646252



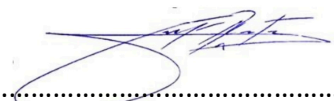
F: .....

Michael Manolo Ordóñez Villagómez  
0106412331

## Certificación

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de ARQUITECTO con el título: **“Propuesta de revestimiento exterior de bajo impacto ambiental en base a RCD como estrategia pasiva para mejorar el comportamiento térmico de la vivienda en la ciudad de Cuenca”** ha sido elaborado por los estudiantes **Anthony Cristopher Matute Arichabala y Michael Manolo Ordóñez Villagómez**, mismo que ha sido realizado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

F:   
Arq. José Pesántez Pesántez

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres Marcos Matute y Aracely Arichabala por concederme el mejor regalo que se puede entregar a un hijo, un estudio de calidad; a mi familia y amigos que creyeron en mí y me brindaron ayuda y aliento en algún momento durante mi carrera. Y a mi novia y equipo la Ingeniera Astrid Alvarez por su apoyo incondicional en esta etapa y en mi vida en general. A mis hermanos para que tomen este trabajo como fuente de inspiración y ejemplo de que con esfuerzo podrán lograr todo lo que se propongan realizar tanto profesional como personalmente. Por último, la facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca, por infundirme la responsabilidad de generar un cambio positivo en la sociedad, la misma que durante mis años de carrera me llenó de confianza y me incentivó a llevar a cabo todos los proyectos y materializar mis ideas.

**Cristopher Matute**

Este trabajo lo dedico a Dios por ser mi guía y por darme la sabiduría para terminar este proyecto. A mis padres por su apoyo incondicional y por su gran esfuerzo para que yo alcance cada una de mis metas.

**Michael Ordóñez**

## **Agradecimientos**

Agradecemos a Dios por permitirnos tener la oportunidad de cursar esta bella carrera; a nuestra alma Mater la Universidad Católica de Cuenca, por ser nuestro segundo hogar durante estos últimos años y a nuestros docentes que día a día aportaron con su conocimiento para nuestro beneficio.

Al Arq. José Pesántes y Arq. Jefferson Torres por su consejo, asesoría y equipos, sin los cuales no hubiera sido posible llevar a cabo esta tesis, al Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT) y al Laboratorio de Ensayos Térmicos de la ESPOL, en la cual se obtuvieron parte de los datos para la validación del trabajo de titulación.

**Los autores**

Los RCD son residuos generados por diferentes actividades de construcción y demolición. Su proceso de reciclaje permite su utilización como áridos artificiales, aprovechables en la fabricación de elementos de baja solicitación físico mecánica como son los revestimientos de mampostería. Estos elementos conforman una estrategia pasiva para mejorar el confort de los usuarios en la edificación de forma respetuosa con el medio ambiente.

Esta investigación busca dar solución a los problemas existentes relacionados con el déficit térmico de las viviendas ubicadas en Cuenca. Propone un prototipo de revestimiento exterior como una estrategia pasiva capaz de modificar positivamente las gradientes paramétricas de transferencia térmica de un muro y a su vez aprovechar al RCD como materia prima base.

En los ensayos de laboratorio los resultados obtenidos tienen como objetivo validar las diferentes dosificaciones que utilizan el RCD como material alternativo al agregado tradicional de arena, un recurso natural sobreexplotado y no renovable, buscando conformar un revestimiento resistente y ecoamigable. También se estudiará el comportamiento térmico del sistema constructivo propuesto con y sin el uso del revestimiento, para examinar las posibles ganancias térmicas que podrían obtenerse en edificaciones ya construidas en la ciudad.

*Palabras clave:* RCD, reutilización, estrategia pasiva, comportamiento térmico, sistema constructivo.

## Abstract

CDW is waste generated by different construction and demolition activities. Its recycling process allows its reuse as artificial aggregates, which can be used in the manufacture of low physical and mechanical stress elements such as masonry cladding. These elements form a passive strategy to improve the comfort of users in the building in an environmentally friendly way. This research seeks to provide a solution to the existing problems related to the thermal deficit of houses located in Cuenca. It proposes an exterior cladding prototype as a passive strategy capable of positively modifying the parametric gradients of thermal transfer of a wall and at the same time taking advantage of CDW as a base raw material. The results obtained in laboratory tests of different dosages aim to validate the use of CDW as an alternative material to traditional sand aggregate, an overexploited and non-renewable natural resource, seeking to form a resistant and eco-friendly cladding. The thermal behavior of the proposed construction system with and without the use of the cladding will also be studied to examine the possible thermal gains that could be obtained in buildings already constructed in the city.

*Keywords:* CDW, reuse, passive strategy, thermal behavior, construction system

# Índice de Contenidos

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Abstract	IV
Índice de contenidos	V
Índice de figuras	IX
Índice de tablas	XII
Introducción	XIV
Problemática	XVI
Objetivos	XIX
Justificación	XX
Metodología	XXII
<b>1 Antecedentes, revisión y análisis de casos similares</b>	<b>1</b>
1.1 Historia y materialidad de la arquitectura cuencana . . . . .	1
1.2 Impacto de la producción de los materiales sobre el medio ambiente . . . . .	5
1.3 La gestión del RCD en Cuenca . . . . .	8
1.3.1 Ordenanzas nacionales . . . . .	9
1.3.2 Ordenanzas cantonales . . . . .	10
1.4 Transferencia de calor . . . . .	14
1.4.1 Tipos de transferencia de calor . . . . .	14

---

1.5	Propiedades térmicas de los materiales constructivos para muros . . . . .	15
1.6	Confort térmico . . . . .	16
1.6.1	Parámetros del usuario . . . . .	16
1.6.2	Parámetros y elementos del clima . . . . .	17
1.7	Normativa del Ecuador sobre confort térmico . . . . .	18
1.8	La arquitectura bioclimática y sus estrategias . . . . .	21
1.8.1	Revestimiento arquitectónico como estrategia pasiva . . . . .	24
1.8.2	Revestimiento arquitectónico predominante en Cuenca . . . . .	26
1.9	Estudio de casos similares . . . . .	27
1.9.1	Placas para cubiertas de vivienda social en base a RCD . . . . .	27
1.9.2	Paneles prefabricados en base a RCD mixto . . . . .	29
1.9.3	Paneles de hormigón reforzado con fibra de vidrio (GRC) . . . . .	31
1.9.4	Placas premoldeadas de micro hormigón aparente . . . . .	32
1.9.5	Panel prefabricado de hormigón alivianado a base de papel periódico y cartón reciclado, destinado a vivienda de interés social . . . . .	34
1.10	Cuadro de resumen de casos similares . . . . .	37
<b>2</b>	<b>Propuesta de revestimiento y análisis de pruebas de laboratorio</b>	<b>39</b>
2.1	Selección de materias primas . . . . .	39
2.1.1	Agregados pétreos . . . . .	39
2.1.2	Aglutinantes . . . . .	44
2.1.3	Agua potable . . . . .	44
2.1.4	Pigmentos . . . . .	44
2.1.5	Aditivos impermeabilizantes . . . . .	45
2.2	Requisitos previos al diseño de la mezcla . . . . .	45
2.2.1	Resistencia a la compresión requerida (UNE-EN-998-1:2010) . . . . .	45
2.2.2	Resistencia a la flexión requerida (UNE-EN-12467:2006) . . . . .	46
2.3	Propiedades, diseño y pruebas de laboratorio del mortero . . . . .	46
2.3.1	Determinación de la densidad y absorción de los áridos. (NTE INEN 856:2010) . . . . .	46
2.3.2	Contenido de humedad de los áridos (ASTM C566) . . . . .	49
2.3.3	Análisis granulométrico módulo de finura (NTE INEN 696:2011) . . . . .	49
2.3.4	Diseño y dosificación de la mezcla (Tecnología del concreto y del mortero de Sánchez de Guzmán, 2001) . . . . .	52

---

2.3.5	Ensayo de compresión simple (UNE-EN 998-1:2018) . . . . .	56
2.3.6	Ensayo de resistencia a flexión (UNE-EN-12467:2006) . . . . .	59
2.4	Configuración y fabricación del revestimiento . . . . .	61
2.4.1	Parámetros para la generación de un molde para el prototipo de panel	61
2.4.2	Elaboración de molde . . . . .	62
2.4.3	Mezcla, fraguado y desencofrado . . . . .	63
2.4.4	Sellado . . . . .	64
2.4.5	Presentación del panel . . . . .	65
2.4.6	Precio unitario de m <sup>2</sup> de revestimiento . . . . .	66
2.5	Transmitancia térmica de los paquetes constructivos deficientes en Cuenca, con la aplicación del revestimiento propuesto . . . . .	68
2.5.1	Determinación de conductividad térmica de revestimiento propues- to . . . . .	68
2.5.2	Determinación de transmitancia térmica de paquetes constructivos seleccionados con y sin revestimiento propuesto . . . . .	69
2.6	Ensayo de campo con celda experimental . . . . .	73
2.6.1	Selección de paquete constructivo para celda experimental. . . . .	74
2.6.2	Diseño y construcción de celda experimental . . . . .	74
2.6.3	Cálculo de transmitancia térmica de la celda experimental (Nch 853:2007 e IRAM 11601) . . . . .	78
2.7	Ensayo de comportamiento térmico de campo . . . . .	78
2.7.1	Consideraciones previas al ensayo . . . . .	78
2.7.2	Primera fase: Celda con revestimiento . . . . .	79
2.7.3	Segunda fase: Celda sin revestimiento . . . . .	80
<b>3</b>	<b>Construcción y montaje del sistema constructivo de revestimiento</b>	<b>82</b>
3.1	Consideraciones previas al desarrollo del sistema constructivo . . . . .	82
3.2	Detalle constructivo propuesta de montaje A . . . . .	84
3.3	Detalle constructivo propuesta de montaje B . . . . .	85
3.4	Análisis de precios unitarios del sistema de montaje B . . . . .	86
3.5	Fotomontaje digital . . . . .	89
	<b>Conclusiones</b>	<b>91</b>
	<b>Recomendaciones</b>	<b>92</b>

---

---

<b>Referencias</b>	<b>93</b>
Referencias Bibliográficas . . . . .	93
<b>Glosario</b>	<b>101</b>
<b>Anexos</b>	<b>103</b>

## Lista de Figuras

Figura 1.1:	Arquitectura Colonial, Republicana y Contemporánea de Cuenca . . . .	3
Figura 1.2:	Material Predominante por Unidad de Superficie Construida ( $m^2$ ) Durante el Periodo 2002 - 2015 . . . . .	4
Figura 1.3:	Tipos de Residuos Generados por Empresas de Construcción en Cuenca	9
Figura 1.4:	Escombrera Temporal Ucubamba Alto . . . . .	11
Figura 1.5:	Despojo Ilegal de Escombros en Diferentes Sectores de la Ciudad de Cuenca . . . . .	11
Figura 1.6:	Jerarquía de las Acciones de Gestión para la Minimización de los Residuos . . . . .	13
Figura 1.7:	Tipos de Transmisión de Energía en una Vivienda . . . . .	15
Figura 1.8:	El Confort y la Arquitectura . . . . .	16
Figura 1.9:	Características de los Usuarios del Espacio . . . . .	17
Figura 1.10:	Mapa de Zonas Climáticas del Ecuador . . . . .	18
Figura 1.11:	Objetivos de la Arquitectura Bioclimática . . . . .	21
Figura 1.12:	Aspectos Intrínsecos de la Arquitectura Bioclimática . . . . .	22
Figura 1.13:	Subclasificación de las Estrategias Pasivas en la Arquitectura Bioclimática . . . . .	24
Figura 1.14:	Materiales de revestimiento en edificaciones de la ciudad de Cuenca . .	26
Figura 1.15:	Vertido de la Mezcla en Molde . . . . .	28
Figura 1.16:	Impermeabilización de la Placa . . . . .	28
Figura 1.17:	Placa de Techo Terminada . . . . .	29
Figura 1.18:	Proceso de Moldeo y Curado de los "Muros Prefabricados en Base a RCD Mixto" . . . . .	30
Figura 1.19:	Muro Prefabricado Terminado . . . . .	30
Figura 1.20:	Instalación y Montaje en Obra del Muro Prefabricado . . . . .	31
Figura 1.21:	Elementos del Sistema de Anclaje de Fachada de Hormigón Reforzado con Fibra de Vidrio . . . . .	31
Figura 1.22:	Presentación Paneles GRC . . . . .	32

---

Figura 1.23: Forma Correcta de Colocar Pegamento Cementico y Placa ZATOH . . .	33
Figura 1.24: Pasos para Colocar Placa ZATOH en Muro . . . . .	33
Figura 1.25: Placa ZATOH de Micro Hormigón y su Aplicación en Muro Interno . .	34
Figura 1.26: Homogeneización de los Residuos . . . . .	34
Figura 1.27: Proceso de Elaboración del Panel . . . . .	35
Figura 1.28: Detalle del Machimbrado del Panel . . . . .	36
Figura 2.1: Ladrillo Hueco Tipo F . . . . .	41
Figura 2.2: Trituración Manual del RCD de Ladrillo . . . . .	42
Figura 2.3: Tamizado del Material Triturado . . . . .	42
Figura 2.4: Proceso de Muestreo . . . . .	47
Figura 2.5: Gráfico Resumen del Procedimiento Gravimétrico . . . . .	48
Figura 2.6: Ensayo Granulométrico de los Áridos . . . . .	50
Figura 2.7: Curvas Granulométricas de los Áridos Ensayados. . . . .	52
Figura 2.8: Elaboración de las Probetas para el Ensayo de Compresión . . . . .	56
Figura 2.9: Ruptura de Probetas a Compresión . . . . .	57
Figura 2.10: Gráfica de Resultados para la Resistencia a la Compresión . . . . .	58
Figura 2.11: Carga Puntual Aplicada para el Ensayo de Flexión . . . . .	59
Figura 2.12: Ruptura de Probetas a Flexión . . . . .	59
Figura 2.13: Gráfica de Resultados para la Resistencia a la Flexión . . . . .	61
Figura 2.14: Molde para Panel de Revestimiento . . . . .	63
Figura 2.15: Proceso Exitoso de Fabricación de Panel . . . . .	64
Figura 2.16: Sellado del Panel . . . . .	65
Figura 2.17: Revestimientos Terminados . . . . .	65
Figura 2.18: Paquetes Constructivos a Evaluar . . . . .	69
Figura 2.19: Medidor de Conductividad Térmica de Placa Caliente . . . . .	69
Figura 2.20: Paquetes Constructivos a Evaluar . . . . .	70
Figura 2.21: Transmitancia Térmica ( $W/m^2K$ ) de Paquetes Constructivos Con y Sin Revestimiento . . . . .	72
Figura 2.22: Celda Experimental de Cárdenas V. . . . .	73
Figura 2.23: Dimensionamiento de Celda Experimental . . . . .	74
Figura 2.24: Fabricación de Estructura Metálica. . . . .	75
Figura 2.25: Colocación de Mampostería . . . . .	75

---

Figura 2.26: Instalación de Paredes de EPS . . . . .	76
Figura 2.27: Instalación de Panel . . . . .	77
Figura 2.28: Protección de Celda Experimental . . . . .	77
Figura 2.29: Resultados de la Prueba Térmica en la Celda con Revestimiento . . .	79
Figura 2.30: Resultados de la Prueba Térmica en la Celda sin Revestimiento . . .	80
Figura 3.1: Detalle Constructivo de Anclaje A. . . . .	84
Figura 3.2: Anclaje A: Corte Lateral . . . . .	84
Figura 3.3: Detalle Constructivo de Anclaje B. . . . .	85
Figura 3.4: Anclaje B: Corte Lateral . . . . .	85
Figura 3.5: Fotomontaje Digital de Revestimiento Interior . . . . .	89
Figura 3.6: Fotomontaje Digital de Revestimiento Exterior . . . . .	90

## Lista de Tablas

Tabla 1.1: Criterios de Evaluación del Valor Universal Excepcional . . . . .	1
Tabla 1.2: Energía Incorporada y Emisiones de CO <sub>2</sub> en Materiales de Construcción. . . . .	6
Tabla 1.3: Residuos recolectados en Ecuador por Sector Económico . . . . .	10
Tabla 1.4: Gestión de Residuos Sólidos en Ecuador . . . . .	10
Tabla 1.5: Tipos de Transferencia de Calor en Materiales . . . . .	14
Tabla 1.6: Propiedades Térmicas de Materiales Constructivos para Muros . . . . .	15
Tabla 1.7: Parámetros Ambientales de la Ciudad de Cuenca . . . . .	17
Tabla 1.8: Parámetros Térmicos Requeridos para Alcanzar el Confort . . . . .	18
Tabla 1.9: Requisitos de Envolvente para la Zona Climática 3 . . . . .	19
Tabla 1.10: Propiedades Térmicas de Paquetes Constructivos del Cantón Cuenca . . . . .	20
Tabla 1.11: Estrategias Pasivas y Activas de la Arquitectura Bioclimática . . . . .	23
Tabla 1.12: Funciones Pasivas de las Envolventes Contemporáneas . . . . .	25
Tabla 1.13: Materiales Izados en "Placas para Cubiertas en Base a RCD" . . . . .	27
Tabla 1.14: Materiales Utilizados en "Muros Prefabricados en Base a RCD Mixto" . . . . .	29
Tabla 1.15: Tabla Resumen de Casos Similares . . . . .	37
Tabla 2.1: Clasificación del RCD Aprovechable . . . . .	40
Tabla 2.2: Tipos de Ladrillo . . . . .	41
Tabla 2.3: Detalles del Grano Obtenido del Proceso de Trituración del RCD . . . . .	43
Tabla 2.4: Intervalos de Resistencia Mínima a la Compresión . . . . .	46
Tabla 2.5: Obtención del Peso Específico Aparente y Peso Específico Seco de la Arena y Cascote de Ladrillo . . . . .	48
Tabla 2.6: Pesos Específicos Obtenidos de los Áridos. . . . .	49
Tabla 2.7: Análisis del Porcentaje de Humedad . . . . .	49
Tabla 2.8: Análisis Granulométrico del RCD de Ladrillo . . . . .	50
Tabla 2.9: Análisis Granulométrico de la Arena . . . . .	51
Tabla 2.10: Límites Granulométricos del Árido para Uso en Mortero para Mampostería . . . . .	51

---

Tabla 2.11: Datos para Dosificación del Mortero Base . . . . .	54
Tabla 2.12: Resumen de Dosificaciones Obtenidas para $1 m^3$ . . . . .	55
Tabla 2.13: Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión . . . . .	57
Tabla 2.14: Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión . . . . .	60
Tabla 2.15: Listado de Precios de Revestimientos Ecuador 2022 . . . . .	66
Tabla 2.16: Precio por $m^2$ de Revestimiento para el Sistema Constructivo B. . . . .	67
Tabla 2.17: Cálculo de la Transmitancia Térmica 1 . . . . .	71
Tabla 2.18: Cálculo de la Transmitancia Térmica 2 . . . . .	71
Tabla 2.19: Cálculo de la Transmitancia Térmica 3 . . . . .	72
Tabla 2.20: Transmitancia Térmica de Celda Experimental . . . . .	78
Tabla 2.21: Cronograma de Ensayo Térmico . . . . .	79
Tabla 2.22: Reducción de las oscilaciones térmicas registradas en la celda con reves- timiento . . . . .	80
Tabla 2.23: Reducción de las oscilaciones térmicas registradas en la celda sin reves- timiento . . . . .	81
Tabla 3.1: Comparativa de Referentes. . . . .	82
Tabla 3.2: Selección de Envolverte para la Ciudad de Cuenca. . . . .	83
Tabla 3.3: Instalación por $m^2$ de Revestimiento a Base de RCD para Sistema Cons- tructivo B . . . . .	87

## Introducción

En la actualidad, son evidentes los esfuerzos por parte de los gobiernos de todo el mundo por contraponerse al inevitable aumento de la temperatura global provocado por la emisión indiscriminada de los gases de efecto invernadero. [Esperanza \(2018\)](#), afirma que, según la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), el sector de la construcción produce el 50 % de las emisiones de CO<sub>2</sub>, siendo la industria con el mayor índice de contaminación a nivel mundial, además de ser la principal industria consumidora de los recursos no renovables de la naturaleza, es también una gran fuente generadora de desechos, lo que ha ocasionado un problema social y ambiental.

Los desechos de construcción y demolición o RCD, son elementos contaminantes que se produce de forma masiva y generan un fuerte impacto medioambiental. En la ciudad de Cuenca la mayoría de estos escombros terminan en vertederos locales, espacios de recolección actualmente gestionados por la empresa EMAC EP, la cual es la única entidad encargada de la gestión de estos residuos, no obstante, este tipo de tratamiento temporal no soluciona de manera definitiva el problema de contaminación, ya que estos desechos únicamente son reubicados y compactados.

Contribuir a proteger el medio ambiente es un tema tratado alrededor del mundo, una estrategia para cumplir este fin es el reciclaje de recursos, así como el plástico, el vidrio o el metal sirven para este fin, RCD también cuentan con la posibilidad de ser tratados y aprovechados nuevamente en la construcción, comúnmente utilizados como áridos.

La arquitectura en la ciudad de Cuenca–Ecuador está ligada al uso del ladrillo, herencia española de la época de la conquista, este material se popularizó y se volvió parte de la identidad y cultura de la ciudad, muchos edificios representativos, iconos de la ciudad llevan como material predominante el ladrillo aplicado como referentes en la Catedral Nueva y el colegio Benigno Malo. En el ámbito residencial es común incluir al ladrillo o al bloque en paredes de mampostería no reforzada, estos sistemas son ampliamente aceptados y difundidos en la ciudad a pesar de presentar un ineficiente comportamiento térmico, siendo los residuos de estos materiales los más comunes en las escombreras municipales.

[Esperanza \(2018\)](#), señalan que la construcción irresponsable, sin supervisión de profesionales de la arquitectura sumado a la carente aplicación de estrategias bioclimáticas en las viviendas de la ciudad de Cuenca, ha causado que aproximadamente el 35 % de la población en la ciudad reporte problemas de confort térmico en sus residencias ([Esperanza, 2018](#)). [Baquero y Quesada \(2016\)](#), afirma que los dueños de viviendas ya consolidadas dentro de la ciudad, se ven obligados a soportar las oscilaciones térmicas sin ningún tipo de defensa. Es tan solo el 2 % de la población que utiliza algún sistema de calefacción ([Baquero y Quesada, 2016](#)).

---

Los revestimientos exteriores de mayor demanda en la ciudad de Cuenca son cerámicos y brindan una alta durabilidad contra los factores climáticos además de presentar varios diseños disponibles ofrecen varias presentaciones y formatos, pero no prometen ayudar a mejorar el comportamiento térmico de las edificaciones en lo absoluto, esto causa que usualmente no se considere la implementación de un revestimiento en fachadas para alcanzar el confort térmico deseado. Cuando en realidad según la arquitectura bioclimática y [Varini \(2009\)](#), afirman que los sistemas de recubrimiento son capaces de modificar el comportamiento térmico de un ambiente interior en las edificaciones, como es la piel en los seres vivos.

Bajo estas consideraciones surge la necesidad de proponer un revestimiento alternativo de bajo impacto ambiental utilizando el RCD (residuos de construcción y demolición). Este proyecto experimental pretende dar una segunda vida a estos desechos, y al mismo tiempo ofrecer una alternativa de revestimiento exterior que permita mejorar o disminuir las bruscas oscilaciones térmicas de la ciudad.

### Formulación del problema

Según la CONAVI el sector de la construcción es responsable del 50 % de las emisiones contaminantes, generando residuos y gases tóxicos desde la etapa de su fabricación, transporte, procesos constructivos y durante su vida útil en la edificación (Esperanza, 2018).

De acuerdo a Suárez-Silgado *et al.* (2019), se estima que esta industria es la principal consumidora de recursos de todo el mundo y genera el 30 % de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Según POGOTECH (2017 como se cita en Suárez-Silgado *et al.*, 2019), anualmente se generan 6,5 mil millones de toneladas de RCD a nivel mundial. Los RCD se han convertido en un problema ambiental de magnitud altamente escalable debido a su continua producción y su inadecuada disposición.

Ante el creciente problema de deterioro medioambiental a nivel mundial, declarado como un hecho irrefutable, la Universidad de Míchigan, en el año de 1998, desde la Escuela de Arquitectura y Planeamiento Urbano propuso los principios de la Arquitectura Sustentable (Kim y Rigdon, 1998), estos principios son: a) Economía de recursos, b) Diseño por ciclo de vida del edificio y, c) Diseño en relación al usuario. Dentro del primer principio, se plantea el uso de las Tres R en la arquitectura; reducir, reutilizar y reciclar (Chan López, 2010).

De acuerdo al Plan de Castilla-La Mancha de los RCD 2006-2015, citado en el Plan Regional de RCD 2006-2016 (Comunidad de Madrid, 2015), el 54,0 % de RCD son conformados por ladrillos, azulejos y cerámicos. Bolaños (2015), nos indica que estos residuos pueden ser reciclados y aprovechados como árido para la construcción luego de realizarles su respectivo tratamiento y con ello se lograría disminuir la cantidad de RCD en vertederos y escombreras municipales, disminuyendo así la contaminación ambiental.

Hoy en día, alrededor del 80 % de la población en Latinoamérica, vive en zonas urbanas, hecho que tiene relación directa con respecto a la creciente cantidad de RCD generado por las ciudades en desarrollo y a su vez con la contaminación generada, ya que estos residuos, en su mayoría, van a parar en las cuencas de los ríos (Suárez-Silgado *et al.*, 2019).

En Ecuador, de acuerdo a la información estadística proporcionada por el INEC (2020b), en el Boletín Técnico N<sup>o</sup>-01-2020-MA-ENESEM, se produjeron alrededor de 872810 toneladas de RCD en el periodo 2017 – 2018. Esta cifra representa una fracción del valor real, debido a que un gran porcentaje de empresas y profesionales no llevan registro alguno de los desechos producidos en obra.

---

El INEC (2020b), en el Boletín Técnico N°01-2020-ENED, señala que para el año 2019, se registran un total de 33314 potenciales edificaciones a construir, dentro de su arquitectura, los materiales utilizados en su mampostería son: 64,91 % bloque, 30,66 % ladrillo, 3,75 % prefabricada, 0,3 % madera, 0,1 % adobe – tapia y otros con 0,46 %. En el mismo boletín, indica que, en la ciudad de Cuenca, se registraron 2053 potenciales edificaciones, representando el 5,5 % del registro total nacional.

Tomando en cuenta la información descrita en el Boletín Técnico N° 01-2020-ENED, se estima que el principal sistema constructivo en el país, consiste en una pared simple de bloque o ladrillo en base a mortero de cemento que regularmente carece de algún tipo de aislamiento térmico, ocasionando una arquitectura genérica difundida en todo el Ecuador, que no considera las distintas zonas climáticas del Ecuador, lo que repercute de forma directa en la calidad de vida de los ecuatorianos. Conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2011a) “NEC-11”, en el capítulo 6 “Mampostería Estructural”, se denomina a esta obra de albañilería como mampostería no reforzada.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (2011a) “NEC-11”, en el capítulo 13 “Eficiencia Energética en la Construcción en el Ecuador”, señala que, para alcanzar el confort térmico en ambientes interiores, la temperatura del aire debe oscilar entre los 18 °C a 26 °C. Sin embargo, autores como Ledesma y Rivera (2018), consideran que en Ecuador se debe utilizar el denominado “Confort térmico adaptativo”, debido a las 4 regiones naturales existentes en el país (Costa, Sierra, Oriente y Galápagos) las cuales poseen características climáticas diferentes, por otro lado Espinoza (2019), indica que el rango de confort térmico en la ciudad de Cuenca se encuentra entre los 15,64 °C y 20,64 °C, señalando que *“esta diferencia de temperatura con respecto a la norma indica que el usuario está adaptado a una temperatura de confort menor como respuesta al clima andino propio de Cuenca”*.

Mediante una encuesta realizada al sector residencial de la ciudad, se registra que el 30 % de los encuestados consideran que su vivienda tiende a ser fría y el 5 % la considera calurosa (Espinoza, 2019). Esta inconformidad en la temperatura de los ambientes interiores en las edificaciones, se debe a que la arquitectura tradicional, en su gran mayoría, no considera como parte del diseño de la edificación, estrategias como el aislamiento y la masa térmica en la mampostería, para aclimatar los espacios internos.

## Delimitación del problema

Considerando que la industria de la construcción generó aproximadamente 872810 toneladas de residuos en el año 2018 en todo el Ecuador y, que alrededor del 35 % de la población de Cuenca reporta problemas de confort térmico, producto de las excesivas oscilaciones térmicas; el presente trabajo investigativo y de experimentación, pretende generar materiales constructivos de bajo impacto ambiental. Para ello se procura utilizar RCD reciclado, como una estrategia pasiva para fortalecer el concepto de la economía de recursos, característica propia de la arquitectura sustentable, buscando así, contribuir a la disminución del porcentaje de RCD captado en la ciudad.

Con los resultados obtenidos se pretende generar un revestimiento exterior, cuyo formato sea aplicable a cualquier edificación, a través de un diseño exclusivo que garantice la

---

protección de la edificación contra los factores climáticos propios de la ciudad, mejorando a su vez, el comportamiento térmico de los ambientes interiores de la vivienda.

El prototipo de envolvente, pretende ser una estrategia pasiva como parte de la “Arquitectura Bioclimática y Sustentable”, que permita a corto, mediano y largo plazo la disminución del uso de los recursos naturales del planeta, la reducción del consumo energético en las edificaciones y la mejora del confort térmico del usuario dentro de un espacio.

## Objetivos

### Objetivo General:

Desarrollar un revestimiento exterior de bajo impacto ambiental en base al uso del RCD como árido, como una estrategia pasiva para mejorar el comportamiento térmico de viviendas de la ciudad de Cuenca, Ecuador.

### Objetivos Específicos:

- Realizar una recopilación bibliográfica sobre las deficiencias térmicas de la vivienda y los revestimientos de mayor demanda utilizados en la ciudad de Cuenca.
- Elaborar distintas muestras en base a la utilización del RCD para la conformación de un revestimiento de bajo impacto ambiental.
- Establecer criterios de diseño para el revestimiento que permita incrementar la resistencia térmica en mampostería no reforzada.
- Analizar el comportamiento térmico del mismo, mediante ensayos de laboratorio y el cumplimiento de normativas pertinentes.

## Justificación

El auge de la construcción en el Ecuador ha ocasionado una alta demanda en la fabricación de acabados para la misma, tales como revestimientos, pinturas, cerámicos, entre otros. Esta industria se configura como el tercer principal foco de contaminación hacia el medio ambiente, aportando con un 5,86 % del impacto ambiental nacional (INEC, 2020b), gracias a que estos elementos en su gran mayoría están asociados a un elevado consumo de energía debido a sus procesos en la extracción de las materias primas y por las distintas actividades industriales en la fabricación de nuevos productos para la construcción (Rea, 2017).

En el marco de la sostenibilidad, la industria de la construcción y la arquitectura, tienen la responsabilidad y la obligación de incluir la gestión ambiental en todo el campo acción, es así, como surge la arquitectura bioclimática, como una respuesta al cuidado medio ambiental. Esta principalmente se fundamenta en aprovechar al máximo las condiciones del entorno tales como la orientación solar, la topografía, el viento, la iluminación natural, la materialidad entre otras, estrategias pasivas orientadas a reducir los impactos ambientales y el consumo de energía de los edificios. A su vez, está ligada directamente a la construcción ecológica o bioconstrucción, la cual se refiere al reciclaje y reducción del uso de recursos de la naturaleza, al uso de materiales renovables y la optimización de los mismos, conformando estrategias que permiten crear materiales ecológicos y construcciones verdes optimizadas (Conforme-Zambrano y Castro-Mero, 2020).

Uno de los objetivos que busca lograr la arquitectura bioclimática es el confort térmico, aspecto que ha sido subestimado por diversas razones entre ellas la falta de conocimientos técnicos para poder implementarla, pero también por la inexistencia de normativas que controlen el aprovechamiento de los recursos del entorno como un parámetro de diseño, que en caso de ser implementadas permiten disminuir el consumo energético en sistemas de calefacción y acondicionamiento permitiendo la reducción del uso de los recursos naturales. Según Espinoza (2019), el 35 % de los habitantes de la ciudad Cuenca registran un déficit térmico por oscilaciones de frío y calor en sus residencias.

Para Varini (2009), los revestimientos a más de ser elementos protectores de los agentes medio ambientales *“constituyen un subsistema clave para contener, controlar el clima y el consumo energético de la edificación como interfaz pasiva”*. Una funcionalidad que va más allá de lo estético, estos elementos al igual que la piel en las personas son un “órgano” capaz de modificar los gradientes paramétricos (acústico, térmico, de permeabilidad visual, etc.) aspectos que definen el confort del usuario al interior de una edificación.

En este contexto el presente trabajo investigativo desarrolla un prototipo de revestimiento bajo los términos de la bioconstrucción, utilizando el RCD como estrategia para

---

conformar un material de bajo impacto ambiental que reutiliza y recicla los recursos ya disponibles, y además contribuye a fortalecer el concepto de la arquitectura bioclimática mediante el desarrollo de una estrategia pasiva que permitirá generar un aporte al confort en las edificaciones.

El prototipo de envolvente de este trabajo de titulación, será elaborado para los sistemas constructivos de mampostería tradicional de viviendas ubicadas en Cuenca–Ecuador. Teniendo claro que una envolvente constituye un subsistema clave capaz de modificar los parámetros que definen confort dentro de un ambiente interior (Varini, 2009) y considerando la descripción de Hidalgo (2018) al revestimiento, como una variable independiente caracterizada por su materialidad, pero dependiente de las características propias de los sistemas constructivos y factores climáticos externos, se ha optado por dividir en las siguientes cuatro fases la investigación:

### **Fase I: Recolección y análisis de la información**

La primera fase, comprende la recopilación bibliográfica sobre las características de los sistemas constructivos de la ciudad, sus cualidades y deficiencias, así como también, el análisis de los revestimientos de mayor demanda.

Por otro lado, se encuentra el compendio bibliográfico de casos similares, en los que se utiliza el RCD para la fabricación de elementos constructivos para mampostería y, el análisis de los distintos tipos de anclajes para paneles en fachada.

Por último, se encuentra la base normativa en la que se sustenta toda la investigación, que comprende desde los reglamentos para la construcción como los del confort térmico y, las especificaciones técnicas y requerimientos para la elaboración de morteros usados como referencia para la elaboración del panel.

### **Fase II: Elaboración y fabricación de las muestras**

Configuración material: Integra el cálculo para el diseño de mortero generado para la fabricación de la envolvente, este se genera en referencia al libro de Diego Sánchez de Guzmán “Tecnología del concreto y del mortero”. A su vez, se encuentra la dosificación a realizar del RCD utilizado como árido y la descripción de los materiales constructivos a utilizar.

Configuración formal: Comprende la realización de los diferentes detalles constructivos propuestos para la envolvente, los diferentes diseños y pigmentaciones que tendrá el mismo, así como la elaboración de los moldes a utilizar.

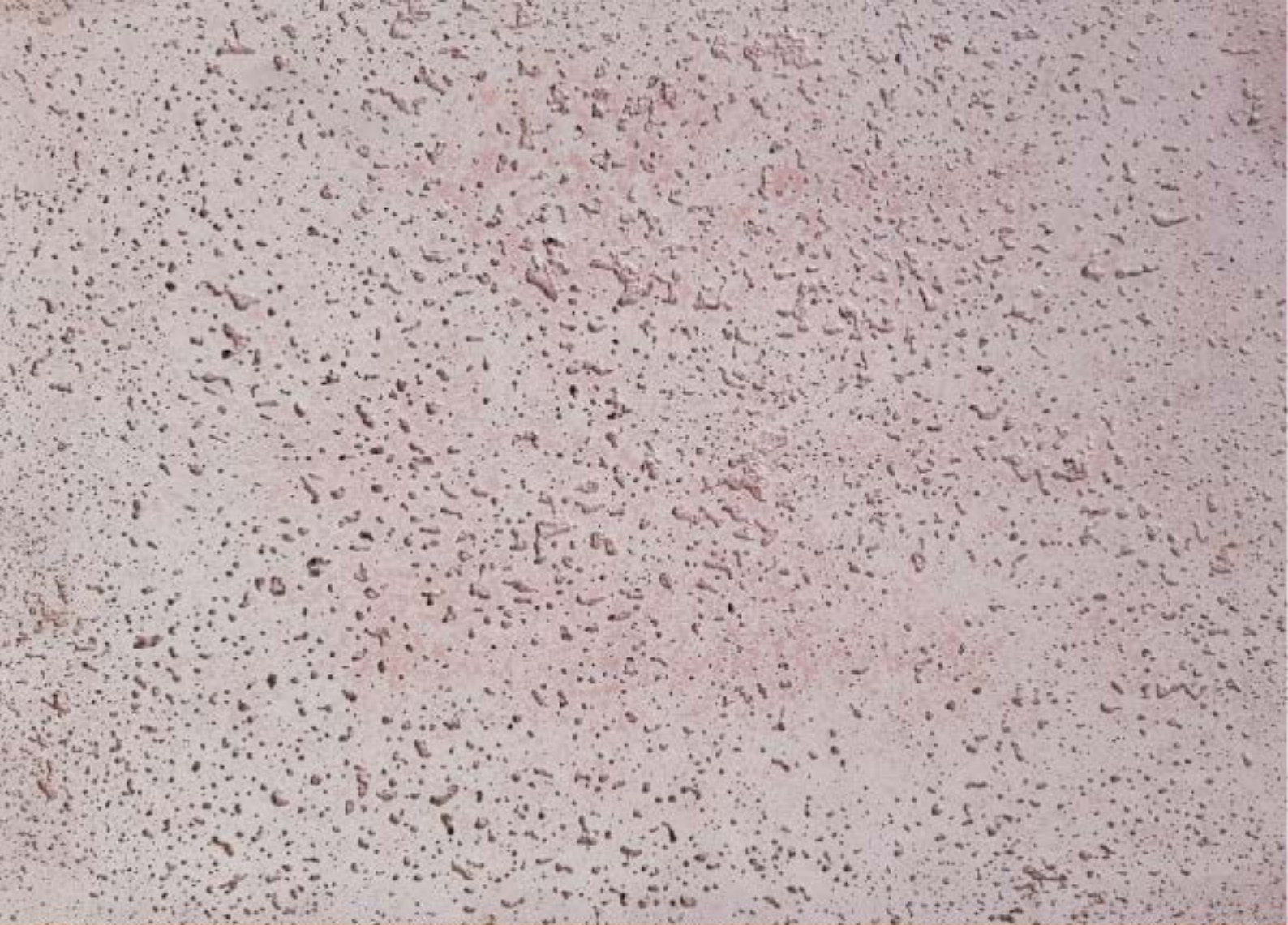
---

### **Fase III: Pruebas y ensayos de laboratorio**

En la tercera fase, se encuentran las pruebas realizadas a las diferentes muestras de mortero, y los resultados obtenidos en el laboratorio. En esta fase, se podrá validar el uso de la envolvente en la construcción, para ello se incluirá un registro fotográfico de los ensayos y procesos realizados. También, se evaluará el desempeño térmico de la envolvente, mediante un ensayo de laboratorio para la medición de la transmitancia térmica de los principales tipos de mampostería en la ciudad Cuenca con la aplicación del revestimiento propuesto, además se estudiará el comportamiento térmico en una celda experimental que permitirá corroborar la eficacia de la envolvente como una estrategia pasiva de la arquitectura bioclimática.

### **Fase IV: Diseño y montaje del sistema constructivo**

En esta fase se expone el revestimiento propuesto en un formato de panel genérico y se diseña un sistema constructivo compatible con el mismo, implementando el uso de materiales presentes en el entorno local que permitan un montaje sencillo, rápido y accesible.



## Antecedentes, revisión y análisis de casos similares

### 1.1. Historia y materialidad de la arquitectura cuencana

Santa Ana de los Cuatro Ríos de Cuenca, conocida como Cuenca, se fundó el 12 de abril de 1557, fue declarada patrimonio cultural de la humanidad por la UNESCO en 1999, por cumplir los criterios descritos en la Tabla 1.1, y poseyendo “Valor Universal Excepcional” (VUE) ([Ministerio de Cultura y Patrimonio, 2020](#)). Desde entonces, la ciudad de Cuenca se ha convertido en un importante destino turístico en el Ecuador y el mundo. Gran parte de este porcentaje corresponde al patrimonio arquitectónico de la ciudad, donde se pueden apreciar monumentos, edificios, casas y demás obras con características heredadas de diversas culturas y épocas, cuya tipología y materialidad cambia conforme la distancia al centro de la ciudad, a su vez, es importante destacar el trazado en damero de la ciudad, característica adquirida de la época colonial y republicana ([Ochoa Zabala, 2009](#)).

Tabla 1.1: Criterios de Evaluación del Valor Universal Excepcional

Número	Criterio
II	<i>“Atestiguar un intercambio de valores humanos considerable, durante un periodo concreto o en un área cultural del mundo determinada, en los ámbitos de la arquitectura o la tecnología, las artes monumentales, la planificación urbana o la creación de paisajes.”</i>
IV	<i>“Ser un ejemplo eminentemente representativo de un tipo de construcción o de conjunto arquitectónico o tecnológico, o de paisaje que ilustre uno o varios periodos significativos de la historia humana.”</i>
V	<i>“Ser un ejemplo destacado de formas tradicionales de asentamiento humano o de utilización de la tierra o del mar, representativas de una cultura (o de varias culturas), o de interacción del hombre con el medio, sobre todo cuando éste se ha vuelto vulnerable debido al impacto provocado por cambios irreversibles.”</i>

*Nota:* Los criterios descritos en la presente tabla son los que se atribuyen a la ciudad de Cuenca al ser declarada como Patrimonio Cultural de la Humanidad. Fuente: [Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO \(2005\)](#).

De acuerdo a lo descrito por [Orellana \(2017\)](#), las características arquitectónicas de la

ciudad, se originaron en la antigua Cuenca, donde los colonos españoles descubrieron en tierras ecuatorianas, sistemas constructivos nativos semejantes a la arquitectura nativa europea, propiedad de las culturas Cañaris e Incas. Sus templos y edificaciones residenciales poseían una arquitectura funcional, que ya consideraba factores como la altitud, topografía, clima, además de ello, optaron principalmente por utilizar piedra, madera, paja, enredaderas, cabuya, tierra y otros materiales del entorno que les permitió proteger sus edificaciones de los factores atmosféricos y resguardarse de las oscilaciones térmicas del medioambiente.

Los sistemas constructivos prehispánicos en adobe, bahareque y piedra sillar, sentaron las bases para la vivienda colonial cuencana definitiva, un claro ejemplo es la Casa de las Posadas en la ciudad presente en la Figura 1.1, que incorporó la cubierta en estructura de madera y con teja de cerámica, aspecto muy relevante en la protección por diseño contra la corrosión del agua sobre los muros de tierra y elementos de madera. La tecnificación de estos materiales, permitió a su vez generar estructuras portantes y espacios mejor distribuidos, donde el patio central utilizado como área común, caracterizaba estas edificaciones destinadas a viviendas, religión y usos administrativos; presentes hasta el día de hoy en el centro histórico de la ciudad. Además de ello, el adobe se consolidó como el material predilecto para la construcción de muros, esto se debe al mínimo conocimiento técnico requerido para su aplicación y a la abundancia del material en la región, elaborando muros portantes gruesos, de hasta 1 m de ancho y 3 pisos de altura; estas características otorgaron a los muros varias propiedades útiles entre las que destacan la aislación térmica, principalmente para conservar el calor durante la noche (Pesántez, 2012).

Guzmán y Iñiguez (2015), indican que el adobe posee una baja conductividad y alta capacidad calórica, permitiendo a las construcciones de adobe alcanzar amplios rangos de confort interior, adicionalmente, el espesor le confiere una alta inercia térmica, ralentizando las oscilaciones térmicas en la ganancia y pérdida de calor. Mientras que Moscoso (2016), en su artículo “El Adobe, sus características y el Confort Térmico”, presentado en el I Congreso Internacional de Filosofía de la Sustentabilidad de Vivienda Tradicional, afirma que el adobe es un material higroscópico, cuya ( $\lambda$ ) oscila entre 0.46 y 0.81 W/mK, considerando un material con excelentes propiedades de aislación del sonido, controlador de temperaturas extremas y resistente al fuego.

A partir de la época republicana, la arquitectura en adobe y bahareque comenzó a perder popularidad. El auge económico de 1860 producto de las nuevas conexiones ferroviarias, lazos comerciales internacionales, y principalmente la exportación de cascarilla y sombreros de paja toquilla a Europa, potenció una serie de vínculos interculturales que permitió apreciar el estilo de vida y la arquitectura del antiguo continente. La influencia romana, árabe y musulmana de la época introdujo nuevas técnicas constructivas, consideraciones estéticas que introdujeron materiales como el mármol y el hierro forjado, pero principalmente la cal y el ladrillo, nuevos materiales que marcaron una revolución en las estructuras murarias de las edificaciones en todo el Ecuador. La arquitectura republicana se levantó sobre las bases de la época colonial, conservando parte de las características propias de esta como las cubiertas con estructura de madera, cimentación de piedra, entresijos en madera, muros mixtos, entre otros (Orellana, 2017).

Este hecho se puede verificar en la construcción del Museo Remigio Crespo Toral presente en la Figura 1.1.

Desde entonces hasta el día de hoy, el ladrillo ha sido el material predilecto, el mismo que es visible en edificios emblemáticos de la ciudad de Cuenca, tal es el caso de la Catedral de la Inmaculada Concepción construida entre 1885 y 1975, y nuevas edificaciones como la casa del Ciprés (Pesántez y González, 2011). Dichas edificaciones son apreciables en la Figura 1.1. El ladrillo pasó a formar parte de la identidad histórica de la ciudad, lo que provocó que para el año 2015 de acuerdo a datos de Swisscontact (2015 en el trabajo de titulación de Tenesaca y Rasco, 2018) se puedan encontrar aproximadamente 488 ladrilleras artesanales.

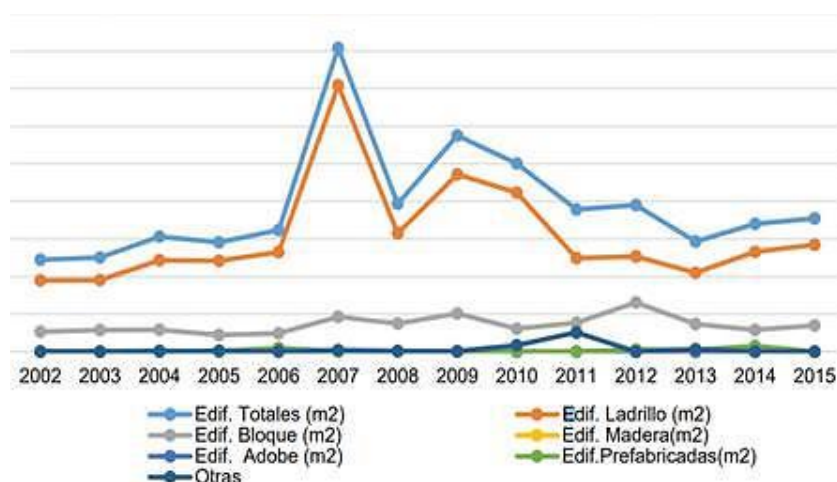
FIGURA 1.1: Arquitectura Colonial, Republicana y Contemporánea de Cuenca



*Nota:* Recuperado de Cabrera Rojas y Quihpe (2020), The Cuenca Dispatch (2019), Esculturas y Monumentos (2019) y Bicubik Architectural Photography (2018)

Tenesaca y Rasco (2018), indican que el INEC en su encuesta anual de edificaciones para el periodo 2002 - 2015, posee información sobre el tipo de material utilizado por unidad de superficie construida ( $m^2$ ) para mampostería durante el periodo indicado. A partir de estos datos han elaborado una gráfica, la misma que se muestra en la Figura 1.2, la cual señala que el ladrillo es el material predominante, seguido por el bloque, para la ciudad de Cuenca. Kossoukha (2014), también señala que el ladrillo es el mampuesto preferido por el 67 % de los arquitectos, de una encuesta realizada a 667 profesionales de la arquitectura, el 29 % restante prefieren la utilización del bloque y el 4 % otro tipo de material. Cárdenas (2019), afirma que la tipología de ladrillo más utilizada en paredes es el ladrillo panelón, seguido del ladrillo tochano.

FIGURA 1.2: Material Predominante por Unidad de Superficie Construida ( $m^2$ ) Durante el Periodo 2002 - 2015



*Nota:* La figura es la representación gráfica de los datos del ENED 2002 - 2015. Recuperado de Superficie construida ( $m^2$ ) período 2002 - 2015 material predominante, de [Tenesaca y Rasco \(2018\)](#).

A partir de los años 40, el desarrollo del hormigón armado y la industrialización de perfiles metálicos a finales del siglo XIX, marcaron un punto de inflexión en la construcción contemporánea las cuales distan de las antiguas no solo en materialidad y estética sino también estructuralmente hablando, al eliminar los muros portantes e implementar elementos independientes vigas y columnas capaces de sostener las cargas vivas y muertas de toda la edificación, donde el ladrillo u otros materiales de mampostería se limitaron a ser elementos únicamente divisorios de espacios.

Estos nuevos sistemas constructivos han hecho posible reducir el déficit habitacional en todo el mundo a través de la edificación en altura, marcando a su vez una tendencia en la que prima el aprovechamiento espacial mediante el uso de paredes delgadas, grandes ventanales y plantas libres, estos cambios trajeron consigo ciertas desventajas como la aparición de puentes térmicos ocasionados por el uso de elementos y materiales de construcción con cualidades térmicas deficientes (alta conductividad y transmitancia térmica), así también infiltraciones térmicas generadas por la utilización de grandes ventanales con marcos de aluminio que causan pérdidas de calor o por el contrario efectos de sobrecalentamiento en espacios que no son correctamente orientados.

El aumento en el requerimiento espacial y la preferencia por una arquitectura sin muros ha reducido gradualmente el espesor de los ladrillo ocasionando que sus condiciones térmicas internas se vean disminuidas en comparación con su antecesor el adobe que gracias a su robustez fungía como un aislante térmico efectivo al regular la temperatura interior de los espacios, de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción ([NEC-11, 2011a](#)), las características comunes de los muros no reforzados de ladrillo o bloque tienen un espesor mínimo de 120 mm y se utilizan mayoritariamente como separadores de espacios, no obstante [González \(2012\)](#), afirma que a diferencia de los muros interiores los exteriores deben ser capaces de proporcionar funciones adicionales tales como aislamiento

térmico, aislamiento acústico, hermeticidad e impermeabilidad, entre otros aspectos.

Según el INEC (2015), de los permisos de construcción emitidos en la provincia del Azuay señalan que el 98 % de las edificaciones contemporáneas utilizan métodos de construcción tradicionales que incluyen cimientos y estructura de hormigón armado, pisos de concreto, ventanas con estructura de aluminio y sin aislamiento, techado de teja o de fibrocemento y paredes en ladrillo o bloque sin aislamiento, no obstante Hidalgo (2018), señala que en todo el Ecuador se hacen uso de los mismos materiales de construcción, independientemente de la zona climática donde se construye, afirmando que el Ecuador posee una variedad de ecosistemas con altitudes que varían entre los 800 msnm y 6310 msnm y su medida media es 3500 msnm, donde el uso del ladrillo o bloque tradicional no es suficiente para alcanzar las condicionantes mínimas de confort térmico.

El censo nacional del 2010 realizado por el INEC refiere que el 45,6 % de hogares registrados habitan en viviendas inadecuadas, señalando que el 36,3 % de los mismos sufren un déficit cualitativo producto de viviendas construidas con materiales inadecuados, estos indicadores descuidan o no consideran todos los aspectos relacionados con las cualidades térmicas, lo que refleja un desconocimiento en todo el país sobre el aspecto térmico.

Para Hidalgo (2018), la cualidad térmica de una edificación se ha despreciado al momento de construir, debido a que se tiene mayor importancia a aspectos como la espacilidad, la iluminación, el confort visual, la seguridad, o los aspectos económicos o simplemente por desconocimiento. No cabe duda que el ladrillo y el bloque seguirán siendo los materiales más utilizados en estructuras de mampostería, por lo que es indispensable estudiar y desarrollar nuevas estrategias que garanticen un óptimo funcionamiento térmico, cuando estos materiales no sean capaces de satisfacer las condiciones mínimas de confort por sí mismos.

## 1.2. Impacto de la producción de los materiales sobre el medio ambiente

Guillén y Quesada (2015), señala que el crecimiento habitacional de Cuenca se desarrolla sin la consideración de los criterios medioambientales, afirmando que dicha condición trae consigo construcciones poco eficientes y contaminantes por el uso de excesivo de materiales con alta carga contaminante como el aluminio, el vidrio, entre otros cuyo ciclo de vida posee procesos de fabricación con elevado consumo de energía y altas emisiones contaminantes sobre medio ambiente.

Según Suárez-Silgado *et al.* (2019), la fabricación de materiales de construcción, independientemente de su composición, naturaleza o forma, al igual que todas las actividades humanas, tienen un impacto negativo medible en cierto grado sobre el medio ambiente. Este impacto es causado por todas las fases que involucra el ciclo de vida de los materiales (Etapas de extracción, producción y gestión de residuos), donde aquellos procesos de extracción o minería representan los primeros contaminantes a los hábitats naturales, cuyas emisiones de gases y residuos generados tienen un impacto directo en la calidad del aire, el agua y el suelo.

Al ciclo de vida de un material también se le relaciona la energía incorporada como aquella energía directa usada en la fabricación de un producto, pero también la energía indirecta relaciona a los servicios necesario hasta la entrega al consumidor, este valor repercute en el aporte total de energía consumida de un edificio, el cual incrementa al utilizar materiales con alta energía incorporada tales como el cemento, ladrillo, acero, vidrio, entre otros (Vázquez Espí, 2001).

González (2012), en su trabajo investigativo “Análisis del ciclo de vida de materiales de construcción convencionales y alternativos”, afirma que la producción de ladrillo cocido posee una energía incorporada de 1,2 hasta 4,05 MJ/kg, y su fabricación produce los más altos niveles de contaminación debido a las a emisiones de CO<sub>2</sub> producto de la quema realizada en los hornos tradicionales de leña, sostiene que el impacto en el medio ambiente generado por la extracción, fabricación y construcción de 1 m<sup>2</sup> de un muro de ladrillo es 4 veces mayor que 1 m<sup>2</sup> de mampostería de bloque y 7 veces mayor que 1 m<sup>2</sup> de muro elaborado con adobe y cal, por consiguiente, es evidente que la arquitectura de tierra posee la mejor relación equilibrada de su ciclo de vida con el entorno natural a diferencia de otros sistemas constructivos modernos.

Suárez-Silgado *et al.* (2019), manifiesta que el análisis del ciclo de vida de los materiales tiene una complejidad alta y muy variable porque cada producto o elemento constructivo está compuesto por diferentes materiales y en cada país son fabricados de diferente manera. Cabeza *et al.* (2013), manifiestan que el porcentaje de energía incorporada en los materiales de construcción depende también de la disponibilidad de materias primas en el medio, la cantidad utilizada y de la eficiencia en los procesos de fabricación, actividades que en la mayor parte del país no son reguladas.

En la Tabla 1.2, se puede observar la diferencia de energía incorporada y las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas de un material a otro. Quispe (2016), señala que estos valores varían de una región a otra debido a la existencia de diferentes métodos de evaluación y a la falta de un sistema de valoración integral en el análisis del ciclo de vida de los materiales. Proceso que es diferente en cada país.

Tabla 1.2: Energía Incorporada y Emisiones de CO<sub>2</sub> en Materiales de Construcción.

Tipo	Material	p	Energía Incorporada		Emisiones
		(kg/m <sup>3</sup> )	MJ/kg	Kwh/kg	CO <sub>2</sub> /kg
<b>Aislamiento convencional</b>	EPS - poliestireno expandido (0,037 W/mK)	30	117,1	32,5	17,3
<b>Aislamiento natural</b>	Aglomerados de corcho natural	160	3,0	0,8	0,2
<b>Bituminoso</b>	Asfalto	2100	3,4	0,9	0,5
<b>Caucho</b>	Caucho celular	70	110,0	30,6	16,3
<b>Cerámica</b>	Azulejos de cerámica	2300	11,1	3,1	0,6
<b>Cerámica</b>	Baldosas del suelo	2500	10,9	3,0	0,8
<b>Yeso</b>	Desnatado yeso (1000 < p <1300)	1150	1,8	0,5	0,2

Impacto de la producción de los materiales sobre el medio ambiente

<b>Bloque de hormigón ligero</b>	Bloques de hormigón ligero (espesor anulado 250 mm)	760	5,3	1,5	0,5
<b>Bloque de hormigón convencional</b>	Bloques de hormigón convencional (espesor: 100 mm)	1210	1,3	0,3	0,2
<b>Ladrillo</b>	1 metro o catalán pedestal de ladrillo macizo (40 mm < espesor < 50 mm)	2140	2,3	0,6	0,2
<b>Ladrillo</b>	Tabique de ladrillo hueco doble (60 mm < espesor < 90 mm)	930	2,3	0,6	0,2
<b>Forjado unidireccional</b>	Losas unidireccionales con relleno de viga de hormigón (profundidad: 250 mm)	1330	2,7	0,8	0,3
<b>Hormigón</b>	Hormigón armado (2300 < p < 2500)	2400	0,5	0,1	0,1
<b>Losa de núcleo hueco</b>	Con capa de compresión (Profundidad 200 mm)	1810	3,7	1,0	0,4
<b>Madera</b>	Tableros de fibra orientada - OSB (p < 650)	600	15,0	4,2	1,4
<b>Metal</b>	Acero	7800	35,0	9,7	2,8
<b>Morteros</b>	Cemento o mortero de cal para albañilería (1000 < p < 1250)	1125	0,8	0,2	0,1
<b>Pisos</b>	Granito (2500 < p < 2700)	2600	0,2	0,1	0,0
<b>Plástico</b>	Policarbonato	1200	79,0	21,9	11,7
<b>Pinturas</b>	Pintura de emulsión	50	20,0	5,6	3,0
<b>Cristales</b>	Doble acristalamiento, con acabado transparenté placa de vidrio de 4 mm de espesor cada una, y un espacio de aire de 6 mm	2530	349,9	97,2	21,8

*Nota:* Los datos que se visualizan en esta tabla, pertenecen al banco de datos BEDEC de ITeC en Cataluña. Esta información se obtiene mediante el análisis de ciclo de vida. Recuperado de [Quispe \(2016\)](#).

En la anterior tabla se puede constatar que el ladrillo hueco y el ladrillo macizo posee una mayor energía incorporada que el bloque de hormigón convencional, siendo un indicador clave del impacto ambiental de este material y el cual será seleccionado como caso de estudio para este trabajo investigativo. Aunque las emisiones de CO<sub>2</sub> son similares en ambos materiales en varios países como en el Ecuador la fabricación de ladrillos todavía es un proceso muy artesanal que hace uso de mucha quema de leña, mientras que la fabricación de cemento se ha tecnificado optimizando la utilización de energía y reduciendo cada vez más las emisiones de gases producidas. ([González, 2012](#)).

En la búsqueda por disminuir el efecto negativo que tiene la producción de materiales de construcción primarios, como aquellos elaborados a partir de materias primas vírgenes, han surgido según [Suárez-Silgado et al. \(2019\)](#), los "materiales de producción secundaria"

fabricados en base al reciclaje de los RCD, son materiales de construcción alternativos que ofrecen un impacto favorable para el medio ambiente, ya que su energía incorporada es mucho menor a un material primario, los cuales hacen uso de materiales naturales no renovables.

Ante el constante aumento del consumo de los recursos naturales no renovables es necesario promover el uso y el desarrollo de nuevos materiales de construcción ecológicos que permitan alcanzar estándares deseables de sostenibilidad en la edificación, por medio de estrategias como el reciclaje del RCD.

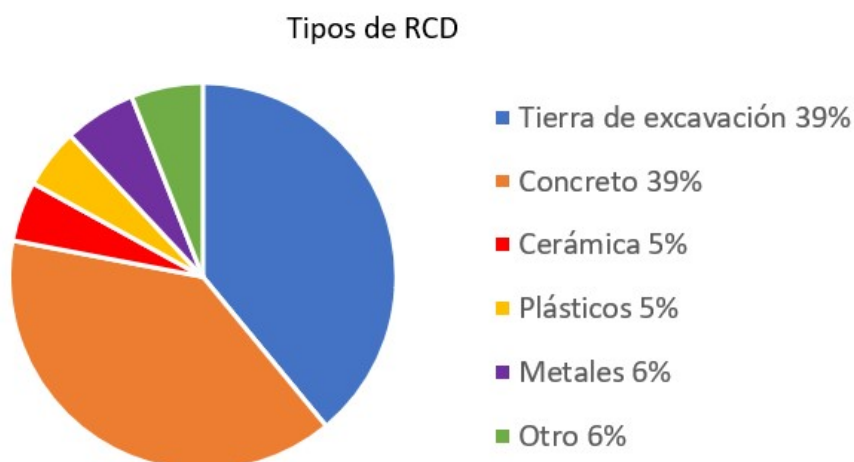
### 1.3. La gestión del RCD en Cuenca

El auge de la construcción y el incremento en la fabricación de materiales de construcción, ha ocasionado una problemática ambiental y social a consecuencia de las grandes cantidades de residuos de construcción generados, producto del consumo indiscriminado de los recursos naturales. Según [León y Guillén \(2020\)](#), a escala global el sector de la construcción es responsable del mayor consumo de los recursos naturales no renovables, utilizando el 60% del material extraído de la litosfera, así también del 25% de madera forestal y el 16% de agua dulce; consecuentemente el 33% de las emisiones de dióxido de carbono se genera en los distintos procesos de transformación y obtención de los materiales de construcción.

Según [Tenesaca y Rasco \(2018\)](#), en Ecuador los sistemas constructivos y gran parte de los materiales de construcción utilizados, son elaborados manualmente in situ, informalidad que ha ocasionado construcciones y materiales poco eficientes como también inexistencia de indicadores que permitan cuantificar los recursos utilizados y la cantidad de residuos generados, suscitando datos estadísticos pobres que imposibilitan el desarrollo de proyectos de gestión del RCD por parte de empresas públicas y privadas. Contrariamente a los países europeos y norteamericanos donde sus procesos en la fabricación de materiales y sistemas constructivos están estandarizados e industrializados existiendo mayor información que permite cuantificar y clasificar estos residuos para la toma de acciones sobre su gestión.

A pesar que no existen datos concretos sobre los porcentajes y tipos de RCD generados en el Ecuador; [Tocto y Vásquez \(2016\)](#), en su trabajo de grado titulado: “Estudio de factibilidad para la implementación de un centro de acopio para residuos de construcción y escombros en el cantón Cuenca” determinaron que durante el periodo de muestreo de un mes en su investigación de campo sobre la caracterización de los RCE (Residuos de construcción en escombreras) en la escombrera “Conchán del Carmen” los materiales predominantes con posibilidad de revalorización son la tierra y el concreto. Como se muestra en la [Figura 1.3](#).

FIGURA 1.3: Tipos de Residuos Generados por Empresas de Construcción en Cuenca



*Nota:* El apartado de “Concreto” consta también de materiales de mampostería como ladrillo y bloque. Los datos estadísticos fueron recuperados de [Tocto y Vásquez \(2016\)](#). Elaboración propia.

[Cantor y Mateus \(2019\)](#), señalan que la falta de conciencia ambiental en el Ecuador esta provocado serios retrasos en el desarrollo de modelos de gestión para el tratamiento del RCD, atribuido por la carencia de estudios investigativos y principalmente por la inexistencia de sanciones y regulaciones que permitan mermar y cuantificar la generación de estos residuos.

### 1.3.1. Ordenanzas nacionales

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAAE) conjuntamente con los Gobiernos Autónomos Municipales (GADM) son los entes encargado generadores y reguladores de políticas públicas sobre la gestión de los residuos sólidos. Los datos estadísticos del [INEC \(2015\)](#), señalan que el 62 % de residuos generados a nivel nacional son residuos orgánicos, los cuales ya reciben tratamientos para su reutilización como es el compostaje, sin embargo, como afirma [Rea \(2017\)](#), el 38 % restante correspondiente a los residuos de la construcción, no se proyectan para ser aprovechados y no cuentan con las estadísticas detalladas para mostrar el verdadero problema, y en consecuencia del espacio necesario para definir sus métodos de control y gestión. Por otra parte, la Normativa Ecuatoriana de la Construcción ([NEC, 2014](#)) no considera en la actualidad al RCD como un material alternativo, siendo de carácter urgente la inclusión y denominación de estos elementos para la generación de políticas de gestión y aprovechamiento de estos residuos en el Ecuador. En la [Tabla 1.3](#), se indican las cantidades de residuos recolectados por sector económico, donde la construcción genera aproximadamente 81 558 247 kg/año.

Tabla 1.3: Residuos recolectados en Ecuador por Sector Económico

Sector Económico	Cantidad Recolectada (Kg/Año)
Industria Manufactureras	365 815 273
Construcción	81 558 247
Transporte	5 659 742
Explotación de Minas y Canteras	5 042 500
Actividades de Alojamiento	2 141 554
Suministro de Electricidad	677 048
Información	533 495
Atención Salud Humanitaria	431 278
Distribución de Agua	65 406

*Nota:* Los datos fueron recuperados del INEC (2013). Elaboración propia.

### 1.3.2. Ordenanzas cantonales

Las ordenanzas y decretos de las competencias de cada municipio se plantearon en base al Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos del (MAE, 2010-2021), elaborado por el actual MAAE el cual, como se puede apreciar en la Tabla 1.4, tiene disposiciones mínimas sobre la gestión de los distintos tipos de residuos sólidos, entre ellos los escombros generados por las actividades de construcción.

Tabla 1.4: Gestión de Residuos Sólidos en Ecuador

Generación	Recolección y barrido	Transferencia y aprovechamiento	Disposición final
Residuos sólidos urbanos (residenciales, industriales y comerciales).	- A pie de vereda - Contenerización	Existe aprovechamiento de PET, papel y cartón en los GADM grandes.	El 80 % de los residuos se disponen en botaderos y solo el 20 % en rellenos sanitarios.
Residuos sólidos especiales (peligrosos, escombros y hospitalarios).	- Escombros se recogen por medio de volquetas. - Peligrosos y hospitalarios se recogen una vez por semana generalmente.	En los GADM grandes se hace tratamiento de residuos hospitalarios.	En los GADM grandes existen celdas de seguridad y escombreras.

*Nota:* Recuperado de la actualización para el año 2015 del PNGIDS (MAE, 2010-2021, p.91).

Según el capítulo IX, artículo 23, de la Ordenanza que regula la gestión integral de los desechos y residuos sólidos en el cantón Cuenca, la EMAC EP conjuntamente con otras dependencias municipales estipula que el destino final del RCD es su almacenamiento en escombreras o vertederos excluyendo en su totalidad el proceso de tratamiento y reciclaje de este recurso, la ciudad de Cuenca no posee una escombrera fija, por lo que ha puesto a disposición de la ciudadanía escombreras temporales, en la Figura 1.4 se muestra la escombrera utilizada actualmente en Cuenca para el desalojo de escombros.

FIGURA 1.4: Escombrera Temporal Ucubamba Alto



*Nota:* Actualmente la EMAC EP, ha destinado a la Escombrera Temporal Ucubamba Alto como sitio de despojo de RCD para la ciudad de Cuenca. Obtenido de EMAC EP (2020) y Google y Maxar Technologies (s.f.).

Como en la mayoría de ciudades del Ecuador, en Cuenca únicamente se ha proyectado sistemas de escombreras, en estas resoluciones también se encuentran establecidas las sanciones que básicamente responsabilizan al propietario o constructor para con la disposición final de estos desechos, que muy pocas veces son regulados, este hecho se puede observar en terrenos baldíos y calles secundarias, las cuales presentan una acumulación del RCD, como se muestra en la Figura 1.5

FIGURA 1.5: Despojo Ilegal de Escombros en Diferentes Sectores de la Ciudad de Cuenca



*Nota:* La EMAC EP, Recuperado de EMAC EP (2022)

Evidentemente existe un vacío dentro de las competencias municipales, las cuales no han planteado una solución real e integral para la disposición y reutilización de este material, ni tampoco han mostrado interés en la construcción de edificaciones sostenibles.

Consecuencia de esto, la utilización de certificaciones internacionales como la Building Research Establishment (BREEM) o la Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) que permiten evaluar el grado de sustentabilidad de edificaciones y materiales de construcción son de aplicación casi nula en la ciudad de Cuenca. Estas metodologías de evaluación ambiental son ampliamente aceptadas e implementadas en la mayoría de países Europeos, como resultado de la preocupación de la comunidad internacional por la contaminación ambiental y por el uso indiscriminado de recursos naturales renovables y no renovables. (Cordero y Guillén, 2013).

En las buenas prácticas internacionales, el estudio sobre el ciclo de vida de los materiales industrializados está permitiendo comprender el verdadero impacto ambiental de los diferentes procesos en la fabricación de materiales de construcción, según el informe del "Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible" de julio de 2009, países como Alemania, los Países Bajos y Bélgica han superado la tasa de reciclaje de RCD del 90 % y lo utilizan como materia prima (Proaño, 2017). Según Suárez-Silgado *et al.* (2019), en países como Dinamarca, Holanda ante la escasez de áridos naturales y de sitios para emplazar vertederos se promueve el reciclaje de estos residuos con tasas de reciclaje superiores al 75 %, señala que el porcentaje de reciclaje de RCD aumenta en países donde el costo por vertido es mayor o incluso prohibido, y también se imponen impuestos elevados por el uso de materias primas vírgenes.

En municipios vecinos de países como Brasil, Chile y Colombia también han logrado implementar con éxito diferentes modelos de gestión, que varían en intenciones y procedimientos, en cuanto Rocha (2015), afirma que "*Es clara la posibilidad de revalorizar los Residuos de Construcción y Demolición (RCD)*", a través de estrategias de prevención, reducción, reutilización y reciclaje. La Figura 1.6 muestra la jerarquía de los posibles tratamientos para la minimización de este tipo de desechos, ordenados de mayor a menor prioridad y de manera cronológica buscando lograr una gestión integral de los mismos.

FIGURA 1.6: Jerarquía de las Acciones de Gestión para la Minimización de los Residuos



*Nota:* La jerarquía en este diagrama se percibe en diferentes niveles, las mejores opciones corresponden a la parte superior de la pirámide, y por defecto las alternativas menos recomendables y más dañinas para el medio ambiente son las últimas acciones. Recuperado de, Jerarquía de las acciones de gestión de los residuos, de [Rodríguez et al. \(2013\)](#).

En la última década se han desarrollado varios modelos para la de gestión del RCD como muestra la pirámide jerárquica de acciones europeas de gestión de residuos de construcción de la Figura 1.6, el modelo de gestión de vertederos utilizado en todo el Ecuador es el más deficiente y contaminante. Según ([Pacheco et al., 2017](#)), la disposición de estos residuos en escombreras produce efectos perjudiciales sobre la salud y el medio ambiente como la degradación y erosión de los suelos, la contaminación del aire y el agua producto de materiales inertes como el plomo, pintura, alquitrán y otros efectos adversos sobre el ecosistema.

Para [Carrasco \(2018\)](#), el problema se centra principalmente en el consumo de materias primas no renovables, afirmando que el uso del RCD representa sin duda una oportunidad para reducir los impactos asociados a la extracción y obtención de las materias primas, pudiendo generar nuevos materiales y elementos constructivos con una carga de energía incorporada reducida. Como describen [Pacheco et al. \(2017\)](#), las personas en la industria deben ser conscientes del gran potencial que representa el uso del RCD, porque la trituration de estos residuos produce agregados gruesos y finos, ideales para la fabricación de materiales compuestos de uso masivo para la construcción tanto a nivel estructural como de otros elementos constructivos de baja sollicitación físico-mecánica.

[Rea \(2017\)](#), afirma que será indispensable vincular la obtención de los permisos de construcción a proyectos de clasificación de residuos en obra y a los planes de gestión

de residuos de escombros propios de cada municipio, lo que inevitablemente conducirá a la responsabilidad y conciencia ambiental de parte de los contratistas y desarrolladores inmobiliarios. Si bien la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC EP) ha avanzado mucho en la regulación de la disposición final en las escombreras también será importante la participación del gobierno nacional el cual deberá facilitar políticas públicas y las condiciones necesarias para hacer factibles las actividades de tratamiento de los RCD y así también generar oportunidades y áreas de investigación para el desarrollo de modelos de gestión integral del RCD en todo el Ecuador.

## 1.4. Transferencia de calor

Se define la transferencia de calor como la ciencia que pretende predecir la forma y rapidez presente en el intercambio de energía calórica entre elementos materiales, por lo tanto, se da una transferencia de calor entre una masa de mayor temperatura a otra con menor grado temperatura cuando estos están en contacto entre sí (Bautista y Huacho, 2017).

La transferencia de calor puede efectuarse de tres formas distintas como se muestra en la Tabla 1.5 y Figura 1.7.

### 1.4.1. Tipos de transferencia de calor

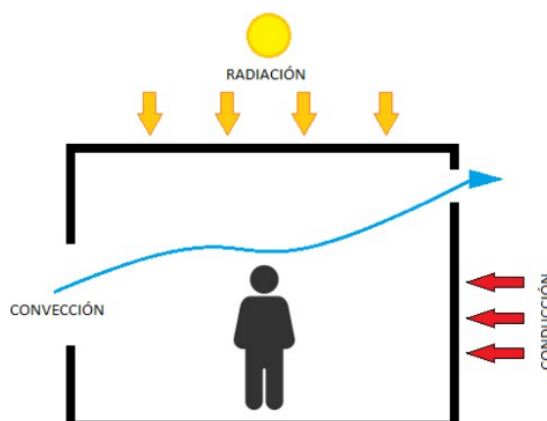
Tabla 1.5: Tipos de Transferencia de Calor en Materiales

<b>Conducción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se pueden dar en medios sólidos, líquidos y gases.</li> <li>- Se produce a través de la interacción de las partículas más energéticas con otras partículas adyacentes menos energéticas dentro de una sustancia.</li> </ul>
<b>Convección</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se da entre una superficie sólida y una líquida o gaseosa.</li> <li>- Para considerarse convección debe haber movimiento del fluido, si no es considerada una conducción, mientras más rápido es el movimiento del fluido, mayor será la transferencia de calor.</li> </ul>
<b>Radiación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor.</li> <li>- La radiación es una energía emitida por la materia a través de ondas electromagnéticas o fotones.</li> </ul>

*Nota:* En un elemento material, en la mayoría de las ocasiones intervienen distintos tipos de transferencia de calor simultáneamente, lo mismo sucede en los muros de las edificaciones. Recuperado de (Peña y Roman, 2018, p.22-25). Elaboración propia.

En la Figura 1.7, se observa gráficamente los tres tipos de transmisión de energía calórica en una vivienda.

FIGURA 1.7: Tipos de Transmisión de Energía en una Vivienda



*Nota:* Los tres tipos de transmisión de energía calórica se puede observar en el siguiente ejemplo en el cual se observa la interacción existente entre las ondas. Elaboración propia.

## 1.5. Propiedades térmicas de los materiales constructivos para muros

Existen varias características físicas que intervienen en el comportamiento térmico de un elemento. La industria de la construcción considera a la hora de diseñar una edificación la transmitancia térmica como un factor determinante que garantiza su eficiencia energética y el confort térmico del usuario. Para poder calcular dicha magnitud es necesario estar familiarizado con los siguientes conceptos descritos en la Tabla 1.9.

Tabla 1.6: Propiedades Térmicas de Materiales Constructivos para Muros

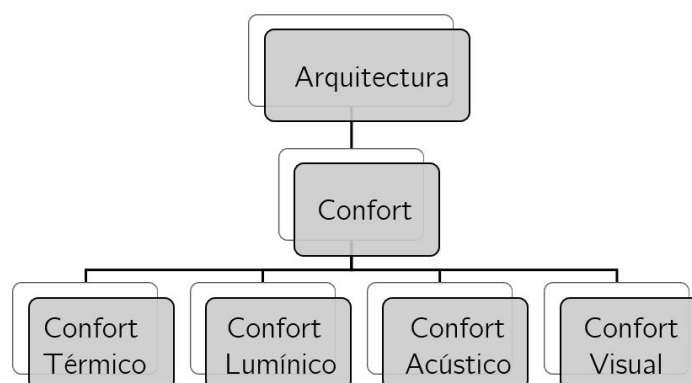
	Definición	Unidades
<b>Conductividad térmica</b>	El coeficiente de conductividad térmica $\lambda$ es una constante de un material que refleja el flujo de calor, expresado en vatios, a través de un material de 1 m de espesor causado por una diferencia de temperaturas constante de 1 grado K entre las dos caras por $m^2$ .	(W/mK)
<b>Resistencia térmica</b>	Es la capacidad de un material de oponerse al flujo de calor. $R = (e/\lambda)$	( $m^2K/W$ )
<b>Transmitancia térmica</b>	Es el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera. $U = (1/R)$	( $W/m^2K$ )

*Nota:* La simbología correspondiente es la siguiente: W= vatios; m= metros;  $m^2$ = metros cuadrados; K= grados kelvin; R= resistencia térmica; e= espesor;  $\lambda$ = conductividad térmica; U= transmitancia térmica. Recuperada de [Quezada \(2019, p.9\)](#). Elaboración propia.

## 1.6. Confort térmico

Para Galindo (2017), el confort térmico constituye un tema inherente al entorno construido que se puede evidenciar en los sistemas constructivos locales de la arquitectura vernácula propia de cada ciudad, desarrollada a lo largo de los siglos y condicionada por las circunstancias medioambientales, socioculturales y apreciaciones estéticas propias de cada contexto. En la Figura 1.8 se observan los diferentes tipos de confort en el campo de la Arquitectura.

FIGURA 1.8: El Confort y la Arquitectura



Nota: Recuperado de Lozano (2010, p.14). Elaboración propia.

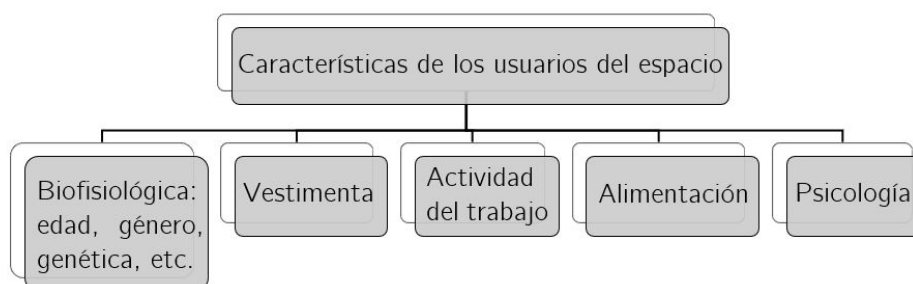
De acuerdo al Capítulo 13 Eficiencia Energética de Edificios Ecuatorianos de la NEC, (2011a), el confort térmico es una percepción neutra de un ambiente térmico, aquel balance entre parámetros ambientales, como la temperatura externa, la humedad relativa, la velocidad del viento y los parámetros de la percepción térmica personales, como la vestimenta, la actividad y el metabolismo humano dentro de un ambiente. Según la Organización Internacional de Normalización – ISO 7730 (ISO, 2005), el confort térmico “*es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico*”.

Para Pesántez (2012), el objetivo del confort térmico es proporcionar parámetros de referencia que se puedan utilizar para evaluar las condiciones micro climáticas de un espacio y determinar si son aptas para el uso humano, Pesantez señala que los siguientes parámetros influyen en el confort térmico de los edificios.

### 1.6.1. Parámetros del usuario

Hidalgo (2018), afirma que la sensación térmica que experimentan las personas depende principalmente del metabolismo o equilibrio térmico general propio de su organismo y también de las características de los usuarios del espacio que se muestran a continuación en la Figura 1.9.

FIGURA 1.9: Características de los Usuarios del Espacio



*Nota:* Recuperado de [Hidalgo \(2018\)](#). Elaboración propia.

### 1.6.2. Parámetros y elementos del clima

Según [Guillén y Quesada \(2015\)](#), se denomina factores climáticos a los parámetros ambientales característicos de un lugar, la NEC ([2011a](#)) los clasifica en radiación, temperatura del aire, humedad y flujo de aire.

Tabla 1.7: Parámetros Ambientales de la Ciudad de Cuenca

<b>Temperatura</b>	La temperatura media anual de la ciudad es de 16,3 °C.
<b>Humedad Relativa</b>	La humedad relativa promedio de la ciudad es del 64,9%.
<b>Precipitaciones</b>	Hay dos períodos, 101,13 mm/m <sup>2</sup> de febrero a mayo y 87,7 mm/m <sup>2</sup> en el segundo período de octubre a diciembre.
<b>Viento</b>	En la ciudad, la dirección principal es del noreste, y la velocidad está entre 9 y 12,82 km/h.
<b>Nubosidad</b>	Agrupaciones visibles formadas por pequeñas gotas de agua. Entre el mes de febrero y mayo con 7/8 y disminuye a 6/8 en los demás meses.
<b>Radiación Solar</b>	En la ciudad, la dirección principal es del noreste, y la velocidad está entre 9 y 12,82 km/h.

*Nota:* Recuperado de [León y Guillén \(2020\)](#). Elaboración propia.

De acuerdo con la investigación de [Cordero y Guillén \(2013\)](#), Cuenca se ubica en la cordillera de los Andes, cadena montañosa que no recibe la influencia de las zonas oriental y costera, las diferencias de altitudes ocasionan una variabilidad climática a cortas distancias en toda la región producto de masas de aire que poseen diferentes temperaturas y grados de humedad, variación notable conforme a donde se dirigen los cauces de los ríos, en el caso de la provincia del Azuay hacia el Oriente.

## 1.7. Normativa del Ecuador sobre confort térmico

La NEC (2011a), en su Capítulo 13 especifica que, para alcanzar confort térmico dentro del edificio, los parámetros térmicos interiores deben mantenerse dentro de los rangos descritos en la Tabla 1.8.

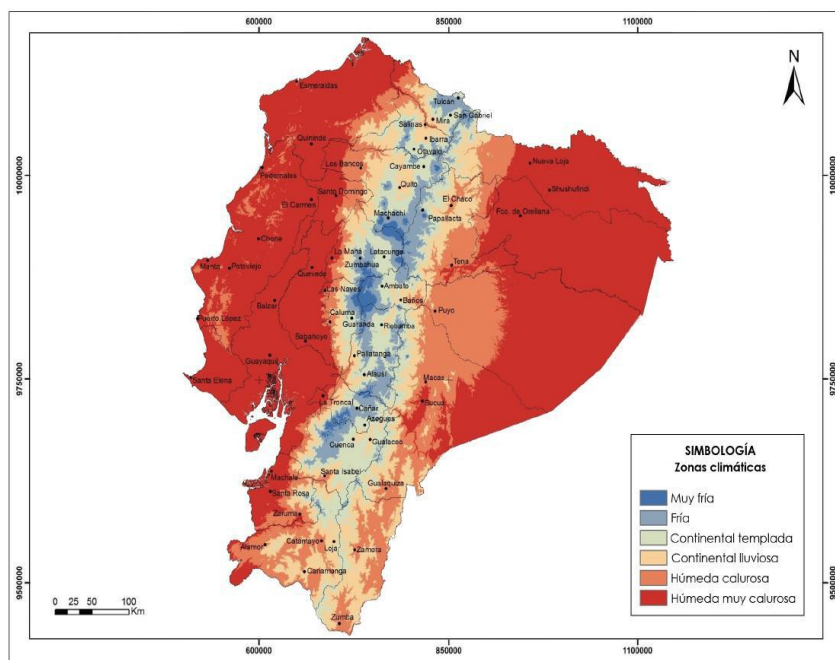
Tabla 1.8: Parámetros Térmicos Requeridos para Alcanzar el Confort

<b>Temperatura del aire ambiente</b>	18 y 26 °C
<b>Temperatura radiante media de superficies del local</b>	18 y 26 °C
<b>Velocidad del aire</b>	Oscila entre 0,05 y 0,15 m/s
<b>Humedad relativa</b>	Oscila entre el 40 y el 65 %

*Nota:* Recuperado de la NEC (2011a, p.13). Elaboración propia.

Hidalgo (2018), afirma que existen distintas reglamentaciones nacionales e internacionales que han establecido requisitos mínimos de los valores del factor U (transmitancia térmica) y valores R (resistencia térmica) de los materiales que constituyen la envolvente arquitectónica de una edificación según sus condiciones climáticas. Las regulaciones del capítulo Eficiencia Energética de edificios residenciales de la NEC (2014), define los estándares y requisitos mínimos que los diseñadores y proyectistas deben implementar al construir y restaurar edificios residenciales en todo el país. Esta normativa ha sido elaborada en bases a las seis zonas climáticas del Ecuador establecidas por el Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología (INAMHI) la cual determinan los valores climáticos aproximados de cada región a través de un mapa de calor visible en la Figura 1.10.

FIGURA 1.10: Mapa de Zonas Climáticas del Ecuador



*Nota:* Recuperado de Mapa de zonas climáticas del Ecuador, de NEC, (2014).

Según la clasificación del INAMHI, Cuenca se ubica en la zona climática 3, donde la temperatura fluctúa entre 10 y 18 °C y se acompaña de un clima continental lluvioso. La radiación solar media global es de 4350 Wh/m<sup>2</sup>/día. Para esta zona climática se establece exigencias prescriptivas, requerimientos mínimos que debe poseer un cerramiento exterior para disponer un buen comportamiento térmico y energético dentro en las edificaciones NEC (2014).

Para el cerramiento o pared exterior de una edificación, la norma establece valores mínimos del coeficiente U (transmitancia térmica) y valores R (resistencia térmica) considerando y categorizando a los en espacios en habitables (con aire acondicionado y sin aire) y los no habitables. Para la zona climática 3 la norma establece los siguientes valores:

Tabla 1.9: Requisitos de Envoltente para la Zona Climática 3

Elementos opacos	Habitable				No Habitable	
	Climatizado		No climatizado		Montaje máximo	Valor mínimo R de aislamiento
	Montaje máximo	Valor mínimo R de aislamiento	Montaje máximo	Valor mínimo R de aislamiento		
Techos	U - 0,273	R - 3,5	U - 2,9	R - 0,89	U - 4,7	R - 0,21
Paredes, sobre el nivel del terreno	U - 0,592	R - 1,7	U - 2,35	R - 0,36	U - 5,46	NA
Paredes, bajo el nivel del terreno	C - 6,473	NA	C - 6,473	NA	C - 6,473	NA
Pisos	U - 0,496	R - 1,5	U - 3,2	R - 0,31	U - 3,4	NA
Puertas opacas	U - 2,839	NA	U - 2,6			
Ventanas	Factor (U) máximo	Montaje máximo SHGC	Factor (U) máximo	Montaje máximo SHGC	Factor (U) máximo	Montaje máximo SHGC
Área translúcida vertical $\geq 45^\circ$	U - 3,69	SHGC - 0,25	U - 5,78	SHGC - 0,82	U - 6,81	NA
Área translúcida horizontal $\leq 45^\circ$	U - 6,64	SHGC - 0,36	U - 6,64	SHGC - 0,36	U - 11,24	NA

*Nota:* El valor U y R mínimos considerados para la elaboración de este trabajo investigativo corresponden al punto (Paredes, sobre el nivel del terreno), para un espacio no climatizado. Recuperado de la NEC (2014, p.15). Elaboración propia.

En conformidad a los datos estadísticos de la Figura 1.2, se observa que en la etapa de construcción de paredes en el cantón Cuenca existe una mayor predominancia del ladrillo y el bloque, la NEC (2014), en su anexo D determina las propiedades térmicas que componen los distintos paquetes constructivos de las mamposterías más utilizadas del cantón de Cuenca, sus coeficientes U (transmitancia térmica) y valores R (resistencia térmica).

Tabla 1.10: Propiedades Térmicas de Paquetes Constructivos del Cantón Cuenca

Elemento constructivo	Paquete constructivo	Componente	Espesor (cm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad (W/mK)	Factor-U (W/m <sup>2</sup> K)
Paredes	Ladrillo sin revestimiento	Ladrillo	15	1920	0,72	2,79
	Ladrillo con revestimiento	Enlucido exterior	1	1300	0,5	2,55
		Ladrillo	15	1920	0,72	
		Enlucido interior	1	1760	0,72	
	Bloque de concreto (15cm)	Enlucido exterior	1	1300	0,5	2,35
		Bloque de concreto	15	1040	0,62	
		Enlucido interior	1	1760	0,72	
	Bloque de concreto (20 cm)	Enlucido exterior	1	1300	0,5	1,98
		Bloque de concreto	20	1040	0,62	
		Enlucido interior	1	1760	0,72	
	Adobe	Adobe	30	1440	0,76	2,26

*Nota:* Recuperado del anexo D de la NEC (2014, p.31). Elaboración propia.

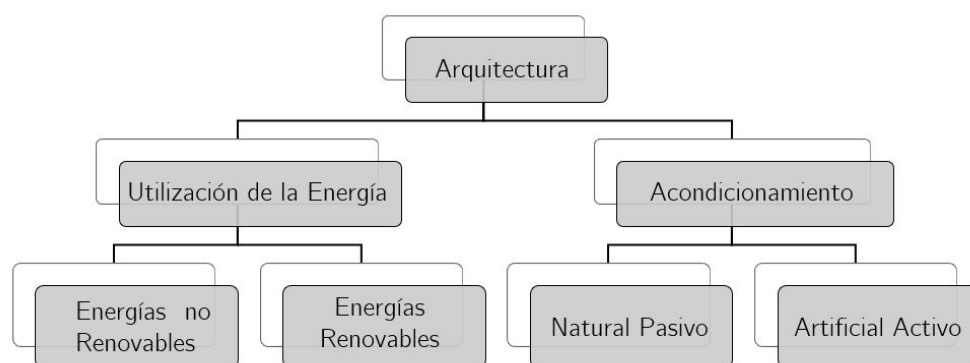
De acuerdo a la Tabla 1.9, el coeficiente máximo permitido de factor U (transmitancia térmica) en paredes sobre el nivel de terreno para espacios no climatizados de la zona climática 3 corresponde a 2,35 W/m<sup>2</sup>K, comprobando así en la Tabla 1.10, que el ladrillo sin revestimiento, el ladrillo con revestimiento (enlucido a ambos lados) y el bloque de concreto 15 cm con revestimiento, son los paquetes constructivos que no satisfacen el valor mínimo del factor U (transmitancia térmica) prescrito por la norma NEC (2014). La norma aclara que estos valores térmicos proporcionados de los distintos paquetes constructivos se tomaron de bases de datos internacionales al no contar con mediciones de laboratorios nacionales, afirmando que estos valores pueden variar debido a que los materiales de construcción en el Ecuador tienen distintos tipos de procesos de fabricación.

De todas formas, la norma tampoco especifica el tipo de ladrillo utilizado en el cálculo de factor U de cada paquete constructivo de la Tabla 1.10 y tampoco esclarecer la variación de la conductividad en el componente de enlucido exterior y enlucido interior, no obstante Hidalgo (2018), expresa que para ciertas zonas climáticas del Ecuador el uso del ladrillo u bloque tradicional no es suficiente para lograr que exista un confort térmico al dentro de las viviendas, afirmando que las zonas climáticas establecidas por la NEC (2014), deben ser actualizadas y detalladas para radios geográficos menores. Dentro de las estrategias pasivas que provee la arquitectura bioclimática se estudiara al revestimiento o envolvente arquitectónica como una variable independiente al paquete constructivo característico utilizado en la ciudad de Cuenca (muros de ladrillo y bloque), buscando mejorar las condiciones de confort térmico y minimizar el uso energético al interior de las viviendas.

## 1.8. La arquitectura bioclimática y sus estrategias

También llamada arquitectura sostenible, una nueva corriente arquitectónica que incentiva el desarrollo de edificaciones y ciudades ecológicas y sostenibles, esta rama de la arquitectura aporta y está directamente correlacionada al concepto de la sustentabilidad, término que hace referencia al equilibrio de la triple relación existente entre los aspectos sociales, económicos y ecológicos de la sociedad y el medio ambiente. De acuerdo con la Comisión Mundial de Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas en 1987, la sustentabilidad es aquella habilidad sostenida en el tiempo que busca satisfacer las necesidades de las actuales generaciones sin arriesgar los recursos u oportunidades de generaciones futuras, cuyo enfoque principal es el bienestar ambiental. Lozano (2010), señala la Arquitectura Bioclimática se la puede definir como aquella que busca ser energéticamente eficiente y ambientalmente confortable, cuyos objetivos de pueden apreciar en la Figura 1.11.

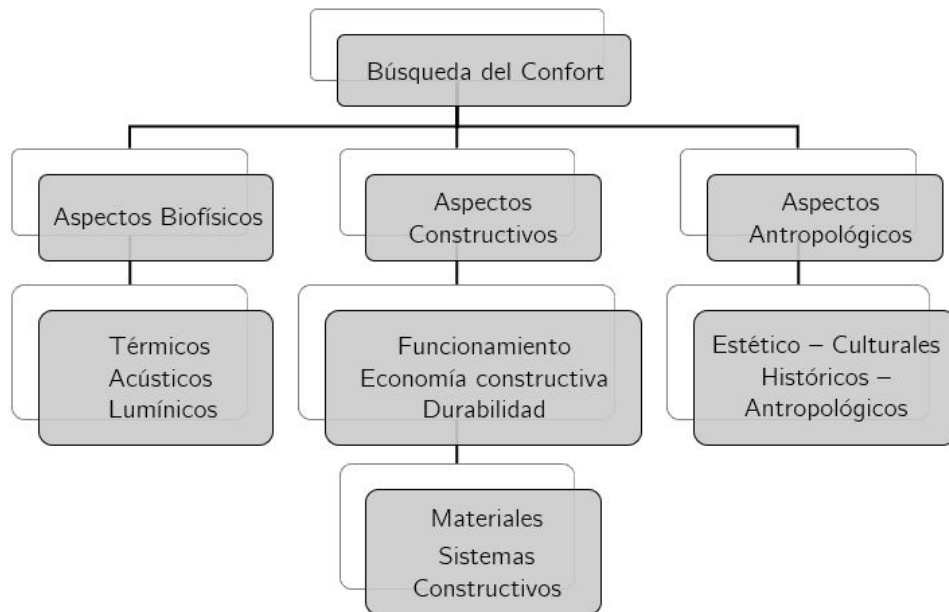
FIGURA 1.11: Objetivos de la Arquitectura Bioclimática



*Nota:* Recuperado de Lozano (2010, p.13). Elaboración propia.

Según López (2003), el objetivo principal de las edificaciones bioclimáticas es encontrar y lograr el confort en las edificaciones mediante el análisis de sus aspectos intrínsecos (biofísicos, estructurales y antropológicos) que se especifican en la Figura 1.12 y la calibración de sus parámetros independientes que pueden modificarse por medio de estrategias activas y pasivas, en función del clima local y las necesidades del usuario.

FIGURA 1.12: Aspectos Intrínsecos de la Arquitectura Bioclimática



*Nota:* Recuperado de López (2003). Elaboración propia.

Los avances tecnológicos y la innovación en los materiales de la construcción han permitido a los proyectistas y diseñadores implementar y desarrollar diferentes estrategias bioclimáticas que pueden integrarse a los distintos sistemas constructivos contemporáneos, según Lozano (2010), estas estrategias bioclimáticas presentes en la Tabla 1.11 se clasifican según su consumo energético.

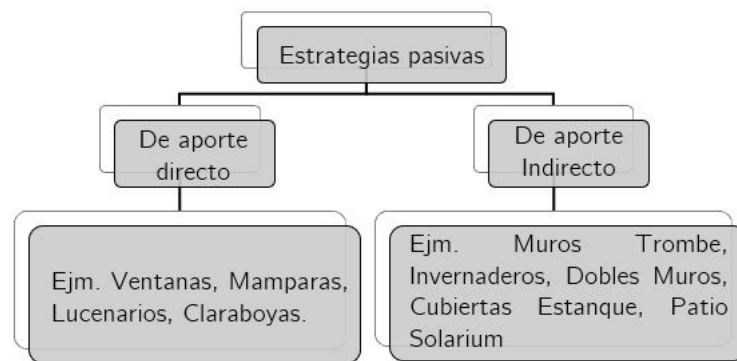
Tabla 1.11: Estrategias Pasivas y Activas de la Arquitectura Bioclimática

Función	Ejemplos
Estrategias Pasivas	<p>Aprovechan exclusivamente el diseño arquitectónico al máximo, la ubicación geográfica y topográfica, el clima, los elementos arquitectónicos y la materialidad. Se diferencian de las activas porque no hacen uso de energía eléctrica para su funcionamiento. (Lozano, 2010)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño basado en la orientación solar</li> <li>- Ventanas</li> <li>- Materialidad de cerramientos exteriores</li> <li>- Envolventes o revestimientos pasivos</li> <li>- Muros captadores</li> <li>- Puentes térmicos</li> <li>- Galerías acristaladas</li> <li>- Muros vegetales</li> <li>- Arquitectura enterrada y semi enterrada</li> <li>- Estrategias de ventilación inducidas: cruzada, directa.</li> <li>- Cubierta Ventilada</li> <li>- Cubierta Vegetales</li> <li>- Materialidad pisos y paredes</li> <li>- Recolección de aguas pluviales</li> <li>- Ventilación</li> </ul>
Estrategias Activas	<p>Hacen uso de sistemas de calefacción o refrigeración que requieren algún tipo de energía para funcionar, en climas excesivamente fríos o calientes son complementos de las estrategias pasivas. (Lozano, 2010)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de Distribución.</li> <li>- Sistema de Acumulación.</li> <li>- Sistema de Captación de calor</li> <li>- Sistemas de Ventilación</li> <li>- Humidificación</li> <li>- Refrigeración</li> <li>- Envolventes o revestimientos activos</li> </ul>

*Nota:* Recuperado de Lozano (2010). Elaboración propia.

Lozano (2010), señala que los sistemas o estrategias pasivas descritas en la Tabla 1.11, se pueden subclasificar en sistemas de aporte directos e indirectos como se muestra en la Figura 1.13, los primeros permiten el acondicionamiento térmico de forma directa tales como el sol o viento, mientras que los sistemas de aporte indirectos conservan la energía (frio y calor) por medio de elementos arquitectónicos intermedios que filtran y transfieren la energía hacia los espacios internos. No obstante, en el Ecuador las estrategias bioclimáticas son de aplicación casi nula, siendo los sistemas de aporte directo pasivo (aprovechamiento solar y vientos) las estrategias más utilizadas ante el desconocimiento de otros sistemas como las envolventes arquitectónicas.

FIGURA 1.13: Subclasificación de las Estrategias Pasivas en la Arquitectura Bioclimática



*Nota:* Subclasificación de las estrategias pasivas, recuperado de López (2003). Elaboración propia.

### 1.8.1. Revestimiento arquitectónico como estrategia pasiva

Para Varini (2009), la envolvente en la arquitectura contemporánea dejó de ser una masa que únicamente responde a la exigencia primaria de contener y proteger un espacio interior, para transformarse en un sistema complejo enriquecido, una piel o interfaz de un sistema independiente capaz de concentrar funciones activas y pasivas determinantes para el consumo energético, impacto ambiental y primordialmente en el confort.

Efectivamente cuando se requiere alcanzar o mejorar los niveles de confort dentro de una edificación será necesario dotar a la envolvente de aquellas características que le permitan generar aportes a las distintas solicitudes heterogéneas de la arquitectura bioclimática contemporánea, como se precisa en la Tabla 1.12. Varini (2009), afirma que existe una mayor complejidad al planificar envolventes que permitan dar soluciones diversificadas para los distintos requerimientos de un usuario.

Tabla 1.12: Funciones Pasivas de las Envolventes Contemporáneas

Solicitaciones de la Arquitectura bioclimática	Nuevas funciones de las envolventes contemporáneas
-Protección y revestimiento	-Delimitación y contención
-Diseño (Relación visual e imagen)	-Protección de agentes externos
-Confort Térmico	-Estética y Armonía
-Confort Acústico	-Privacidad y permeabilidad visual
-Desempeño energético	-Flexibilidad de usos
-Sostenibilidad	-Bienestar y confort térmico
	-Privacidad y confort acústico
	-Ahorro energético
	-Ahorro económico
	-Fácil instalación y mantenimiento
	-Durabilidad
	-Material Ecológico
	-Reciclable

*Nota:* Recuperado de [Varini \(2009\)](#). Elaboración Propia.

[López \(2003\)](#), plantea que para realizar un diseño bioclimático con sistemas pasivos será necesario comprender el funcionamiento de los elementos constructivos, su efectividad para controlar o cambiar las condiciones térmicas, lumínicas y acústicas, entre otras solicitudes, estará definido por la forma en que los materiales utilizados absorben, transfieren y acumulan energía. Por consiguiente, será necesario comprender la influencia de los materiales desde el punto de vista térmico (resistencia térmica, conductividad térmica).

Según [Bernal \(2019\)](#), en la estructura y materiales de una envolvente se realiza el mayor intercambio energético con el exterior. En consecuencia, la combinación del sistema constructivo base (mampostería de ladrillo o bloque) conjuntamente de la “piel” o estructura de la envolvente deberá ser el sistema capaz de filtrar y controlar los factores ambientales externos. [Varini \(2009\)](#), afirma que la composición técnica en la materialidad de una envolvente puede o no satisfacer en cierta medida los requisitos de confort del ámbito interior, en tanto será necesario aplicar conjuntamente aquellas estrategias pasivas de aporte directo que son consideradas desde la proyección misma de la planta arquitectónica como la orientación solar, ventilación, tamaño de ventanas, materialidad de los cerramientos o por lo contrario apoyarse de soluciones activas de sistemas de acondicionamiento (calefacción o refrigeración).

Hoy en día el gran interés de los proyectistas en proveer nuevas atribuciones no convencionales a las envolventes, requiere de una visión multidisciplinaria y sinérgica, continua e incesante que permita el desarrollo y la investigación de nuevos prototipos de elementos pasivos y activos que busquen mejorar el confort al interior de las edificación y que al mismo tiempo integren y promuevan las 3 reglas de la ecología en la reducción, la reutilización y el reciclaje del usos de los recursos no renovables (materias primas) como también reduzcan el uso de los recursos renovables (consumo energético).

## 1.8.2. Revestimiento arquitectónico predominante en Cuenca

Murillo (2018), en su trabajo de titulación indica que los revestimientos de paredes que se utilizan en la ciudad de Cuenca son: Baldosas, cerámica, empastado, enduelado, enlucido, entablado, granito, ladrillo, mármol, piedra, porcelanato, vinilo, entre otros. Cuyos ejemplos se muestran en la Figura 1.14. Entre estos el revestimiento predominante es la cerámica, un elemento de espesor menor a 10 mm, fabricado a partir de arcillas, sílices, fundentes, colorantes y otras materias inorgánicas, sometidas a trituración, amasado, moldeado, secado y cocción, que puede estar esmaltado como no estarlo. Su industria tiene su origen dentro del Ecuador en la provincia del Azuay. En general, su principal característica es que son piezas impermeables, poseen una alta facilidad de limpieza y baja capacidad de preservación de la suciedad. A su vez, son considerados como aislantes eléctricos, previenen la humedad y su carácter inerte y su resistencia a agentes biológicos, evitan el desarrollo de gérmenes y hongos, su alta resistencia a cambios bruscos de temperatura y su incombustibilidad evita la propagación de incendios, además, su resistencia a agentes químicos, al rozamiento y dureza generan que sean durables o intocables en cualquier lugar. Dentro del diseño de una edificación, la cerámica puede aportar con una variada gama de diseños, colores y texturas, además de los diferentes formatos en las que se pueden encontrar (Rosales, 2004).

FIGURA 1.14: Materiales de revestimiento en edificaciones de la ciudad de Cuenca



*Nota:* Las edificaciones pertenecen a la ciudad de Cuenca, Ecuador y varios de sus revestimientos corresponden a los siguientes números: 1. Piedra natural (Andesita), 2. Baldosa, 3. Enlucido de cemento, 4. Ladrillo visto, 5. Piedra pizarra, 6. Marmetón, 7. Imitación de piedra artificial (cerámico), 8. Porcelanato. Recuperado de Google Earth (s.f.).

Al momento de instalar las piezas cerámicas debe haber un proceso específico a seguir para evitar futuros desprendimientos de piezas, agrietaduras o rotura del elemento cerámico, por lo que requiere de una capacitación previa. En general, los ciudadanos, prefieren la cerámica por su gran versatilidad en diseños, colores y, por su durabilidad y resistencia. Por lo que, al desarrollar un revestimiento nuevo, es necesario considerar las característi-

cas y el costo de este elemento como referencia para el prototipo de revestimiento que se llevará a cabo durante el presente trabajo de titulación.

## 1.9. Estudio de casos similares

En este apartado se recopilará información sobre casos referentes, que permitirán conocer procesos, materiales y dosificaciones de elementos constructivos elaborados en base al reciclaje del RCD como también el análisis de sistemas de anclaje, para determinar una metodología que sea capaz de integrar el RCD en la fabricación de un revestimiento para pared.

### 1.9.1. Placas para cubiertas de vivienda social en base a RCD

#### a. Materialidad

Prefabricado en formato modular para techado, diseñadas para viviendas de carácter social, su forma de placas planas de 1 m x 0,4 m x 0,04 m permite la superposición entre placas, fabricadas en base a RCD de ladrillos de arcilla y concreto, aligerado con aditivos espumantes que agregan aire y poliestireno.

Entre los materiales destaca el uso de aligerantes en la dosificación de la mezcla como el poliestireno expandido y el aditivo espumante, capaz de generar intencionalmente burbujas microscópicas que permiten aligerar el peso de la placa y adicionalmente se utilizó la fibra de abacá para evitar posibles agrietamientos posteriores como se aprecia en la Tabla 1.13.

Tabla 1.13: Materiales Izados en "Placas para Cubiertas en Base a RCD"

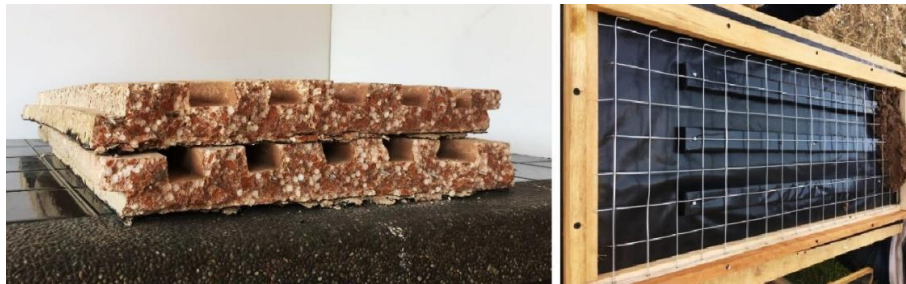
Escombros de arcilla cocida	Fibra de abacá	Perlas de poliestireno expandido en
		

*Nota:* Recuperado de [Silva \(2020\)](#). Elaboración propia.

## b. Proceso de reutilización del RCD

La materia prima reciclada fue recolectada de los residuos generados en obras locales. Posteriormente el material fue triturado y cribado en tamices de número 3/8", #4, #10, #40, #60, obteniendo áridos finos y gruesos de diferente tamaño, utilizados posteriormente en la mezcla de concreto ligero. En la Figura 1.15, se observa que, para la configuración morfológica de la placa, se utilizó un molde elaborado en madera con la adición de destajes para aligerar y disminuir el volumen de mezcla.

FIGURA 1.15: Vertido de la Mezcla en Molde



*Nota:* Recuperado de Encofrado preparado para la mezcla de concreto de Placa Plana UCSG y Vista frontal de la placa rota, de [Silva \(2020\)](#), CC BY-NC-SA 4.0.

## c. Impermeabilización

Para evitar el paso del agua lluvia en la Figura 1.16, la placa se impermeabilizó en su cara superior con harina de caucho más un imprimante asfáltico, el caucho utilizado fue reciclado de los residuos de llantas usadas, permitiendo contribuir al medio ambiente y al mismo tiempo reducir los costos de la impermeabilización de la placa.

FIGURA 1.16: Impermeabilización de la Placa



*Nota:* Recuperado de Pasta impermeabilizante de harina de llanta con imprimante asfáltico, Colocación de pasta impermeabilizante a la placa e Incremento de la temperatura de la placa impermeabilizante para adherencia en placa, de [Silva \(2020\)](#), CC BY-NC-SA 4,.0.

**d. Presentación**

La placa aligerada pretende ser una opción de techado económica distinta a la placa ondulada tradicional, conformando un nuevo material de construcción eco amigable que contribuye a la reducción de los RCD. En la Figura 1.17, se observa el acabado final de las placas y un render donde estas se encuentran ya instaladas.

FIGURA 1.17: Placa de Techo Terminada



*Nota:* Recuperado de Resultado final del proceso de pintura en placa y Vista superior y del sistema estructural de la cubierta en la vivienda social utilizando Placa Plana UCSG, de Silva (2020), CC BY-NC-SA 4.0.

**1.9.2. Paneles prefabricados en base a RCD mixto**

**a. Materialidad**

Prefabricado modular que incorporan en su dosificación RCD mixto de escombros de ladrillo, bloque y residuos estructurales. La materia prima reciclada se obtuvo de los residuos generados por la demolición del Edificio del Ministerio de Agricultura en Guayaquil cuya construcción mixta permitió obtener agregados de diferente materialidad y granulometría, dicho material fue tamizado y clasificado para su utilización.

Se utiliza RCD mixto de diferentes granulometrías en conjunto de perlas de poliestireno expandido para alivianar el peso de la mezcla y proveer un mejor comportamiento térmico y acústico, esto puede apreciarse en la siguiente tabla.

Tabla 1.14: Materiales Utilizados en "Muros Prefabricados en Base a RCD Mixto"

Escombros de ladrillo	Escombros de bloque	Escombros de elementos estructurales
		

*Nota:* Recuperado de Lomas (2015).

## b. Moldeo y curado de paneles

Como se aprecia en la Figura 1.18, el molde fue elaborado con una caja metálica vertical, que permite el rápido llenado y desencofrado, este molde previamente se diseñó para proporcionar un sistema de machimbrado al panel, posteriormente los paneles fueron sumergidos en agua para su curado por 48 horas.

FIGURA 1.18: Proceso de Moldeo y Curado de los "Muros Prefabricados en Base a RCD Mixto"



*Nota:* Recuperado de Elaboración de paneles con de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido Lomas (2015), Open Access.

## c. Presentación

Los paneles prefabricados presentes en la Figura 1.19, tienen un formato de 0,80 cm x 40 cm y 5 cm de espesor, diseñados para la construcción de paredes económicas en climas calurosos, por cuanto el panel únicamente cumple la función de cerramiento exterior y también como separador de espacios internos.

FIGURA 1.19: Muro Prefabricado Terminado



*Nota:* Recuperado de Elaboración de paneles con de hormigón con áridos gruesos reciclados y poliestireno expandido Lomas (2015), Open Access.

Como se puede visualizar en la Figura 1.20, su configuración y sus cualidades de prefabricado permiten encastrar el panel a pórticos elaborados de hormigón, facilitando su instalación y reduciendo los costos de mano de obra.

FIGURA 1.20: Instalación y Montaje en Obra del Muro Prefabricado



*Nota:* Recuperado de Sistema Contec y Sistemas de paneles de hormigón y perfiles metálicos, de [Lomas \(2015\)](#), Open Access.

### 1.9.3. Paneles de hormigón reforzado con fibra de vidrio (GRC)

#### a. Materialidad

En la Figura 1.21 se observan paneles de hormigón reforzado con fibra de vidrio, producto incombustible utilizado como revestimiento de fachadas como una alternativa al clásico recubrimiento de madera; estos prefabricados poseen certificaciones ecológicas ISO 9001 y ISO 14001, que garantizan una fabricación y materialidad con un menor impacto al medio ambiente.

FIGURA 1.21: Elementos del Sistema de Anclaje de Fachada de Hormigón Reforzado con Fibra de Vidrio



*Nota:* El uso de una tira de madera horizontal de refuerzo es opcional y por ello no se muestra en la presente imagen. Modificado de [Tectónica \(2021\)](#).

#### b. Sistema de anclaje

Su anclaje observable en la Figura 1.21, consiste en tornillos auto perforantes de 6 mm y una subestructura de madera o de aluminio con remaches o adhesivos, los paneles poseen orificios pre moldeados para evitar fracturas al atornillar.

### c. Presentación

Las placas pueden colocarse a modo vertical, horizontal o diagonal en fachada como se puede observar en la Figura 1.22, pudiendo ser cortadas con maquinaria en obra por cualquier operario sin previa capacitación, la cámara de aire permite colocar aislación térmica adicional de lana de roca para climas extremos fríos o evitar condensaciones en climas calurosos.

FIGURA 1.22: Presentación Paneles GRC



*Nota:* Recuperado de (ALDA, s.f).

## 1.9.4. Placas premoldeadas de micro hormigón aparente

### a. Materialidad

Las placas premoldeadas de micro hormigón se utilizan como revestimiento de paredes interiores o exteriores y se componen de aditivos, pigmentos, cementos, minerales, agregados finos y fibras sintéticas (EDFAN, 2021).

### b. Sistema de anclaje

Según EDFAN (2021), La paca prefabricada debe ser colocada como se muestra en la Figura 1.23, para evitar que se formen irregularidades como pequeñas cámaras de aire entre el producto y el pegamento cementicio, ocasionando que el elemento pierda gran parte de su resistencia contra impactos. Por lo tanto, la eficacia y durabilidad del producto depende en gran medida del profesional encargado de instalar el revestimiento.

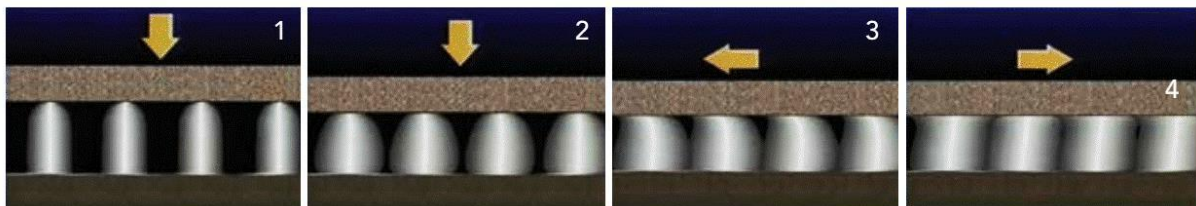
FIGURA 1.23: Forma Correcta de Colocar Pegamento Cementicio y Placa ZATOH



Nota: Recuperado de EDFAN (2021).

Según EDFAN (2021), para evitar la formación de micro cámaras de aire bajo la placa es necesario generar presión y mover la placa como se especifica en la Figura 1.24. Sin importar las dimensiones de la placa, el procedimiento para su correcta instalación será el mismo.

FIGURA 1.24: Pasos para Colocar Placa ZATOH en Muro

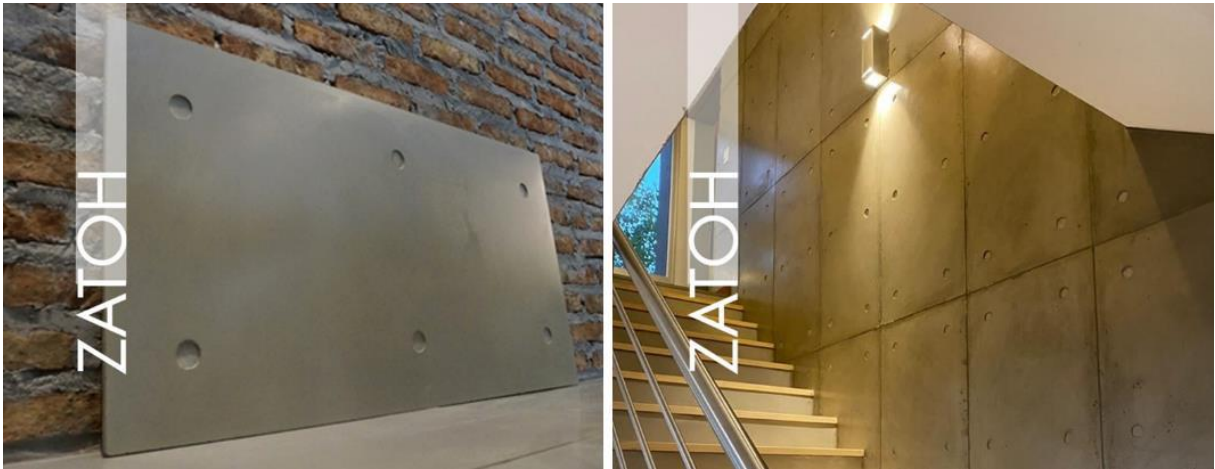


Nota: Recuperado de EDFAN (2021).

### c. Presentación

Las placas de micro hormigón prefabricado, puede ser utilizado tanto en interiores como en exteriores ya que posee la capacidad de proteger contra los agentes climáticos y atmosféricos su acabado es de concreto aparente (EDFAN, 2021).

FIGURA 1.25: Placa ZATOH de Micro Hormigón y su Aplicación en Muro Interno



*Nota:* Recuperado de [EDFAN \(2021\)](#).

### 1.9.5. Panel prefabricado de hormigón alivianado a base de papel periódico y cartón reciclado, destinado a vivienda de interés social

#### a. Materialidad

Estos paneles incorporan en su dosificación residuos de papel periódico y cartón, según [S. Prieto \(2014\)](#) el reciclar 1 tonelada de papel ahorra 2  $m^3$  de vertedero, 26.000 L de agua y 900 kg de  $CO_2$ . Los residuos son clasificados previamente separando aquellos papeles y cartones con manchas de tintas, aceites u otras sustancias que pudieran contaminar el producto final. Estos residuos una vez separados, se trituran y se pesan, proporcionando mayor adherencia a la mezcla final.

FIGURA 1.26: Homogeneización de los Residuos



*Nota:* Los materiales usados son: Cemento, arena, aditivo acelerante, agua, residuos de papel periódico y residuos de cartón. Recuperado de [S. Prieto \(2014\)](#).

Para la obtención de una dosificación resistente previamente se elaboraron ensayos de consistencia, compresión y flexión hasta obtener la dosificación idónea para el panel.

### **b. Elaboración del panel**

Para elaborar el panel, se vierte una primera capa de la mezcla, distribuyéndola y compactándola. Para evitar posibles agrietamientos se coloca una malla hexagonal (de gallinero), se rellena distribuyendo uniformemente y compactando la mezcla. Se alisa el panel y se le deja secar por 48 horas antes del desmolde. El molde integra un sistema de machimbrado a los laterales del panel, permitiendo un sistema de rápido montaje en obra. En la Figura 1.27 se evidencia parte del proceso.

FIGURA 1.27: Proceso de Elaboración del Panel

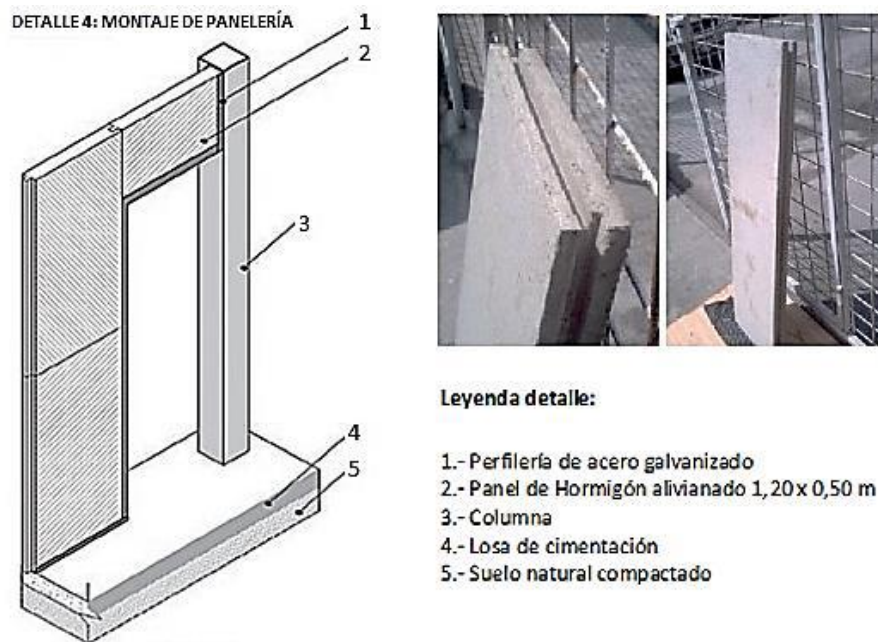


*Nota:* Recuperado de [S. Prieto \(2014\)](#).

### **c. Presentación**

Los paneles tienen un formato de 1,20 m x 0,50 m, su destaje machimbrado permite encastrar los paneles, pudiendo generar muros exteriores o interiores rápidamente.

FIGURA 1.28: Detalle del Machimbrado del Panel



*Nota:* Recuperado de [S. Prieto \(2014\)](#).

## 1.10. Cuadro de resumen de casos similares

Tabla 1.15: Tabla Resumen de Casos Similares

Casos similares	Materialidad	Aglomerante	Fibras	Aligerante	Aditivos	Montaje	Aplicabilidad
Placas para Cubiertas de Vivienda Social en Base a RCD	Cascote ladrillo	Cemento	Fibra de abacá	Poliestireno expandido y aditivo espumante	Harina de caucho más imprimante asfáltico	Superposición de placas con anclaje sobre estructura	Cubierta impermeable
Paneles Prefabricados en Base a RCD Mixto	Cascote de ladrillo, bloque y residuos estructurales	Cemento	-	Perlas de poliestireno expandido		Machimbrado anclado a estructura por medio de perfil metálico	Revestimiento exterior y separador de espacios internos
Paneles de GRC	Pasta de hormigón	Cemento	Fibra de vidrio			Tornillos autoperforantes y subestructura de madera o aluminio	Revestimiento interior y exterior
Placas Premoldeadas de Micro Hormigón	Minerales y agregados finos	Cemento	Fibras sintéticas		Pigmentos y otros aditivos		Revestimiento interior y exterior
Panel Prefabricado de Hormigón, Papel Periódico y Cartón Reciclado.	Arena	Cemento	Malla de gallinero	Residuos de papel y cartón	Acelerante	Machimbrado anclado a estructura por medio de perfil de acero galvanizado	Revestimiento interior y exterior

*Nota:* Todos los datos se encuentran en los apartados desde 1.9.1 al 1.9.5. Elaboración propia.

La Tabla 1.15, muestra un resumen de los casos similares donde se puede observar la implementación de varios tipos de residuos sólidos como materia prima para la fabricación de paneles para exteriores o interiores, generados a través de moldes rígidos comúnmente de madera o metal; en donde se utiliza diferentes aditivos como espumantes, acelerantes o impermeabilizantes que dotan a estos elementos con la capacidad de funcionar correctamente a la intemperie. También se observa que el uso de fibras en una mezcla para generación de paneles es recomendable pero no indispensable. Los montajes expuestos anteriormente en su gran mayoría optan por un sistema de anclaje en base a subestructuras, evitando el uso de pegamento cementicio con el fin de elaborar propuestas menos agresivas con el medio ambiente y generando cámaras huecas en las cuales se puede colocar materiales aislantes de requerirse.

Se concluye que el aglomerante más común y efectivo para la generación de un panel es el cemento. Los moldes rígidos para dimensionar los paneles deben permitir un fácil desencofrado por medio de moldes desarmables. La estructura formal del elemento debe contar con un machimbrado y un sistema constructivo en base a una subestructura que facilite su instalación en obra.

## Propuesta de revestimiento y análisis de pruebas de laboratorio

En base a los referentes estudiados, se propone generar un revestimiento compuesto por una argamasa de materiales aglutinantes y agregados pétreos, que permitirán obtener un panel monolítico prefabricado. El proceso de fabricación constará de tres etapas, en la primera se obtendrá el diseño de la mezcla, buscando la mejor relación entre todos los componentes de la argamasa que permitan el máximo aprovechamiento del RCD como agregado y al mismo tiempo la conformación de un panel resistente y estético. En la segunda etapa se ensayarán las dosificaciones obtenidas para determinar sus cualidades físicas y mecánicas, y finalmente, en la tercera etapa se fabricarán los prototipos de revestimiento a escala real para ensayar sus cualidades térmicas.

### 2.1. Selección de materias primas

Como especifica la norma NEC (2014), en la Tabla 1.12, la materialidad de un paquete constructivo puede modificar los gradientes térmicos de resistencia y conductividad de un elemento constructivo (muro, cubierta, piso). Para el desarrollo de la propuesta de este trabajo investigativo, los materiales fueron seleccionados por sus propiedades físicas, mecánicas y térmicas, pero principalmente por la disponibilidad en el medio. Buscando conformar una dosificación eco-amigable se seleccionó como agregado principal el uso de los RCD, en específico, los restos de ladrillo triturado, por su protagonismo en la elección de materiales a nivel de la ciudad de Cuenca; Según Sánchez de Rojas *et al.* (2008), estos desechos cerámicos como el cascote de ladrillo producen reacciones puzolánicas que aumentan la resistencia de una mezcla y en cierta proporción puede reemplazar al cemento, estas propiedades son adquiridas gracias a las altas temperaturas de cocción a las que son sometidos estos productos durante su fabricación.

#### 2.1.1. Agregados pétreos

Materiales granulares inertes de bajo costo combinados comúnmente con cemento y agua para formar concretos. Según su procedencia y su forma de obtención se clasifican en naturales, artificiales, de trituración y marginales (Rodríguez y Becerra, 2016).

**a. RCD**

De acuerdo al INEN se conoce como RCD a los desechos sólidos producidos por diligencias para la construcción o demolición, según [Pasaje y Ramírez \(2019\)](#), el RCD utilizado como agregado se obtiene de procesos de trituración en plantas industriales, donde el RCD aprovechable como árido se clasifica en dos grupos especificados en la Tabla 2.1. El RCD empleado para el presente trabajo investigativo corresponde a la clase de residuos pétreos, específicamente a los provenientes de escombros de ladrillo.

Tabla 2.1: Clasificación del RCD Aprovechable

	Grupo	Clase	Componentes
<b>RCD APROVECHABLE</b>	1 - Residuos comunes inertes mezclados	Residuos pétreos	Cerámicos, gravas, concreto, bloques, fragmentos de roca, baldosín, mortero, cantos, entre otros
	2 - Residuos comunes inertes de material fino.	Residuos finos no expansivos	Limos, arcillas, desechos inertes que sean poco o nada expansivos y plásticos que atraviesen el tamiz N° 200.

*Nota:* Recuperado de [Pasaje y Ramírez \(2019, p.8\)](#). Elaboración propia.

En la ciudad de Cuenca, Ecuador la empresa EMAC EP permite la recolección de los RCD en la fuente, siempre que sus fines sean el reciclaje o reutilización del material. El RCD de ladrillo se obtendrá directamente de construcciones ubicadas en la ciudad que posean este desecho. Ambas partes se ven beneficiadas; por un lado, se obtiene la materia prima necesaria para la fabricación de los paneles y por otro el profesional encargado de la obra reduce el porcentaje final de escombros, lo cual abarata los costos finales de desalojo de material. Los restos de escombros de ladrillo serán triturados manualmente in-situ y su proceso de reutilización se explica a continuación:

**- Proceso de reutilización del RCD**

**Paso 1.** Clasificación del RCD: Según la normativa NTE INEN 297 ([INEN, 1977](#)), existen 6 categorías de ladrillos clasificados en la Tabla 1.20, por su resistencia mínima a la compresión y flexión y por su absorción de humedad en (A, B, C, D, E, F).

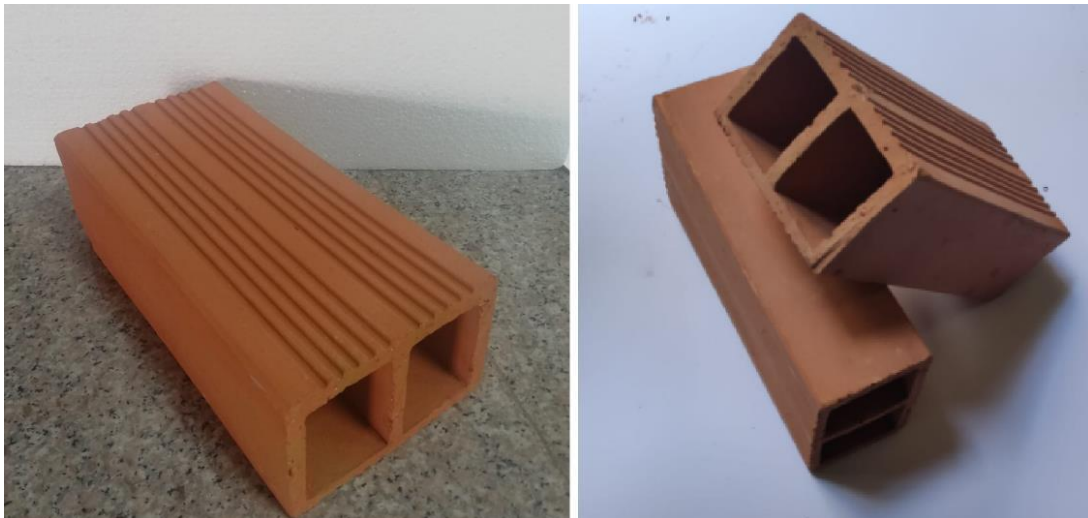
Tabla 2.2: Tipos de Ladrillo

Tipo	Resistencia mínima a la compresión	Resistencia mínima a la flexión (MPa)	Absorción máxima de humedad %
Ladrillo tipo A, Macizo	25	4	16
Ladrillo tipo A, Macizo	16	3	18
Ladrillo tipo A, Macizo	8	2	25
Ladrillo tipo A, Hueco	6	4	16
Ladrillo tipo A, Hueco	4	3	18
Ladrillo tipo A, Hueco	3	2	25

*Nota:* Recuperado de [INEN \(1977\)](#). Elaboración propia.

Considerando que la recolección de desperdicios de ladrillos en obras de construcción contendría fragmentos de ladrillos de diferente tipología cuya resistencia a flexión y compresión varía en demasía, de 3 a 25 Mpa en compresión y de 2 a 4 Mpa en flexión, se optó por utilizar únicamente el ladrillo hueco tipo F el cual será triturado manualmente, evitando de esta manera la volatilidad de resistencias obtenidas en los ensayos de laboratorio por el uso de ladrillos de distintas categorías.

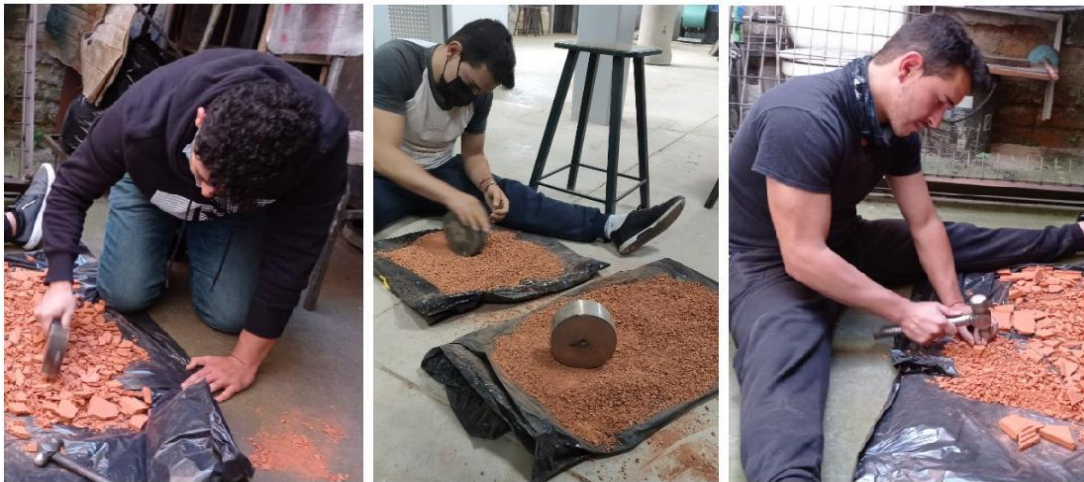
FIGURA 2.1: Ladrillo Hueco Tipo F



*Nota:* Ladrillo tipo F de mínima resistencia, utilizado comúnmente en relleno de losa. Elaboración propia.

**Paso 2.** Proceso de trituración: al no disponer de plantas de procesamiento del RCD en el entorno local, el proceso de trituración se realizó manualmente con herramientas artesanales apisonando el material. Se utilizó agua para evitar el levantamiento del polvo, por lo que se procedió a secar el material al aire libre durante 24 horas antes de usarlo en la mezcla.

FIGURA 2.2: Trituración Manual del RCD de Ladrillo



*Nota:* Ladrillo tipo F triturado por medio de martillo (combo) y pesas cilíndricas metálicas. Elaboración propia.

**Paso 3.** Proceso de tamizado: Producto de la trituración se obtuvo material con diferente granulometría. Para tamizar el material se utilizó el tamizador ROTAP por intervalos de 6 minutos la cual mediante movimientos vibratorios permitió clasificar el material conforme a los tamices utilizados 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200.









FIGURA 2.3: Tamizado del Material Triturado



*Nota:* Elaboración propia.

Una vez clasificado el RCD obtenido se procedió a mezclar el material descartando granulometrías mayores al tamiz 3/8" aspecto necesario para realizar el ensayo granulométrico para la determinación del módulo de finura, evaluado en la Tabla 2.8 y Tabla 2.9. El tamaño de los granos obtenidos durante el proceso de trituración se detalla en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Detalles del Grano Obtenido del Proceso de Trituración del RCD

Tamiz	Abertura de Malla mm	Fotografía Detalle del Grano	Tamiz	Abertura de Malla mm	Fotografía Detalle del Grano
3/8"	9,52		30	0,580	
4	4,76		50	0,3	
8	2,38		100	0,15	
16	1,19		200	0,07	

*Nota:* Elaboración propia.

## b. Arena

Según la normativa NTE INEN 694:2010 (INEN, 2010c) la arena es un árido fino compuesto por pequeños fragmentos sueltos de rocas y minerales que varían en tamaño. Un árido es considerado fino cuando traspasa el tamiz N° 3/8", donde la mayoría de partículas pasan el tamiz N° 4 y son captadas por el tamiz N° 200.

## 2.1.2. Aglutinantes

Productos en polvo que al ser mezclados con aire o agua sufren transformaciones químicas capaces de ligar diferentes agregados en una sola argamasa endurecida por efecto del fraguado. Dependiendo de cómo se realiza la unión se clasifican en aglomerantes (unión por procesos físicos) o conglomerantes (enlace por procesos químicos), ([Chicaiza, 2017](#)).

### a. Cemento Portland

De acuerdo al INEN el cemento portland es un conglomerado inorgánico compuesto por diferentes componentes minerales (Clinker, sulfato de calcio, caliza, yeso, entre otros) con propiedades ligantes que al ser mezclado con agua se activan. [Holcim Ecuador S.A. \(2015\)](#), nos indica que existe una variedad de cemento Portland, como el Tipo HE, MS, HS, etc., con características específicas que dan solución a diferentes requerimientos en obra. Dentro de esta categoría también se encuentra el cemento hidráulico Tipo GU, el mismo que será empleado para la fabricación de los paneles; Este se utiliza para construcciones en general y permite obtener mezclas para hormigones y morteros de distintas resistencias según se requieran.

## 2.1.3. Agua potable

Según el NTE INEN 2518:2010 ([INEN, 2010a](#)), el contenido de agua tiene la mayor importancia en la trabajabilidad de la mezcla además influye en gran medida la resistencia final del mortero, por ende, debe cumplir con las siguientes exigencias de calidad especificadas por la norma ASTM C1602: el agua a utilizar debe ser fresca y limpia, sin sustancias dañinas como por ejemplo aceites y materia orgánica y no debe contener arcilla o algas.

## 2.1.4. Pigmentos

La normativa NTE INEN 2518:2010, ([INEN, 2010a](#)), menciona que para el uso de pigmentos de coloración en morteros se deberá preferir los de origen natural o materiales cementantes prefabricados, en el caso de ser pigmentos inorgánicos estos no deben exceder el 10 % de la masa del cemento para prevenir una disminución en la resistencia final de la mezcla. Además, menciona que para lograr una consistencia de color constante las amasadas de mortero deben ser lo más grandes posibles.

En el entorno local se pueden encontrar varios tipos de pigmento inorgánico para la coloración de cemento. En la elaboración de las probetas, se empleará el colorante AzuColor de la marca AzuPega adhesivos y pegamentos; Este es un tipo de pigmento inorgánico en polvo en base a óxidos ferrosos con una amplia gama de colores seleccionables, compatibles con la mayoría de cementos. Para su aplicación se debe adicionar el producto a la mezcla en seco e integrarlo hasta conseguir uniformidad, garantizando un acabado final con un color consistente y homogéneo ([Adhesivos y Pegamentos, 2019](#)).

### 2.1.5. Aditivos impermeabilizantes

La prevención contra los factores atmosféricos y la penetración de agua es una de las principales funciones de cualquier elemento utilizado como cerramiento exterior, ya que permite a los muros y materiales internos soportar las agresiones externas, por cuanto la impermeabilidad en la composición de su cuerpo y acabado son factores importantes a tomar en cuenta para alcanzar una mayor durabilidad.

En la fabricación del prototipo de panel se utilizará Sika ImperSello Brillante, producto blanco lechoso utilizado para pisos y paredes en interiores y exteriores que impide la penetración del agua, combustibles, aceites y demás contaminantes; Brinda protección contra los rayos solares, polvo, hollín, entre otros factores externos y es resistente al desgaste. Además, resalta el color de la superficie del material sobre el cual se aplica (Sika Ecuatoriana S.A., 2014).

## 2.2. Requisitos previos al diseño de la mezcla

Actualmente, el marco regulatorio disponible en Ecuador para elementos de revestimiento de muros exteriores es nulo, debido a que el uso de estos sistemas es incentivado y desarrollado por la arquitectura bioclimática, la cual según Lozano (2010), es relativamente nueva en toda Latinoamérica. De acuerdo con la normativa ecuatoriana NTE INEN los revestimientos exteriores de paredes son considerados elementos constructivos no estructurales, por lo cual no se han establecido valores mínimos de resistencia a compresión y flexión, ni tampoco esclarece otros requerimientos como materialidad o desempeño térmico, no obstante, para Varini (2009), estos elementos son sistemas independientes capaces de dotar a las edificaciones un mejor control de la eficiencia energética, aumento del confort térmico y otras funciones antes mencionadas en la Tabla 1.12, aspectos que en Ecuador han sido de poca relevancia dificultando el campo investigativo entorno al análisis y desarrollo de estos sistemas de recubrimiento.

### 2.2.1. Resistencia a la compresión requerida (UNE-EN-998-1:2010)

De acuerdo a Pacheco *et al.* (2017), el RCD es un nuevo material que puede ser utilizado tanto a nivel estructural como en la fabricación de elementos constructivos de bajas sollicitaciones físico-mecánicas. En el marco práctico y normativo europeo estos elementos tienen mayor relevancia, según la norma UNE-EN-998-1 (AENOR, 2006), los revestimientos de mortero colocados en muros son elementos que deben responder a presiones y tracciones mínimas provocadas por movimientos del muro o por los cambios ambientales; en la Tabla 2.4, la norma establece intervalos de resistencia mínima a la compresión requeridos para revestimientos de acuerdo a su clase, designando la clase CS I y CS II en revestimientos interiores y la clase CS III y CS IV para revestimientos exteriores, establece una resistencia mínima de  $6 \text{ N/mm}^2$  equivalente a  $61,18 \text{ kg/cm}^2$  en revestimientos de clase IV, además afirma que dicha dosificación deberá poseer una importante cantidad de conglomerante para ayudar a obtener una mezcla cohesionada que resista a los factores ambientales.

Tabla 2.4: Intervalos de Resistencia Mínima a la Compresión

Categorías	Valores mínimos de Resistencia a Compresión a 28 días
Clase 1	0,4 - 2,5 N/m <sup>2</sup>
Clase 2	1,5 - 5 N/m <sup>2</sup>
Clase 3	3,5 - 7,5 N/m <sup>2</sup>
Clase 4	≥ 6 N/m <sup>2</sup>

*Nota:* Recuperado de Norma UNE-EN-998-1 (AENOR, 2018). Elaboración propia.

### 2.2.2. Resistencia a la flexión requerida (UNE-EN-12467:2006)

En ausencia de normativa ecuatoriana en materia de recubrimientos, el ensayo de flexión se realizó de la misma forma, tomando como referencia la norma europea UNE-EN-12467:2006, la cual establece un (MOR) módulo de rotura a flexión mínimo para paneles en estado seco y húmedo. De acuerdo con el uso previsto del revestimiento, la norma establece 4 categorías (A, B, C, D), las categorías A y B para placas en un estado saturado húmedo, y las categorías C y D para placas secas o en condiciones ambientales. Para el ensayo a flexión se utilizó como referencia la mínima resistencia a flexión admisible según la norma UNE-EN-12467:2006 en el anexo 1, señalando un valor mínimo de 4 Mpa o 40 kg/cm<sup>2</sup> para placas en condiciones ambientales exteriores.

## 2.3. Propiedades, diseño y pruebas de laboratorio del mortero

Las pruebas de laboratorio a ensayarse en este trabajo de investigación se realizarán en el laboratorio CIITT de la Universidad Católica de Cuenca.

### 2.3.1. Determinación de la densidad y absorción de los áridos. (NTE INEN 856:2010)

La NTE INEN 856:2010 (INEN, 2010d), presenta el método a seguir para la realización del ensayo que determina: absorción, gravedad específica o densidad relativa y densidad del agregado fino.

El equipo requerido para este ensayo debe cumplir con las especificaciones presentes en esta norma y son: Balanza, picnómetro, compactador, molde y horno.

#### a. Preparación de la muestra de ensayo

La muestra debe recogerse de acuerdo con el apartado 5.3 "Muestreo" de la norma NTE INEN 856: 2010 (INEN, 2010d), y luego colocarse en una bandeja de trabajo a secarse en un horno con temperatura de 110 °C ± 5 °C hasta obtener una masa constante, posteriormente se cubre la muestra con agua dejando reposar por 24 horas para determi-

nar la humedad superficial como se detalla a continuación: Fijar el molde a un soporte impermeable orientado con el diámetro menor hacia arriba y verter dentro del molde en forma suelta una parte del árido fino parcialmente seco hasta rebosar el instrumento y consecutivamente adicionar arena y compactar la arena con 25 golpes ligeros del compactador, cada golpe debe efectuarse a una distancia de 5mm del árido y dejar caer el compactador, finalmente se debe retirar el exceso de árido del molde y levantarlo de forma vertical, este proceso se puede verificar en la Figura 2.4.

FIGURA 2.4: Proceso de Muestreo



*Nota:* Si la humedad superficial continua en la arena, esta conservara la forma del molde, pero si el árido presenta derrumbes parciales significa que se alcanzó la condición de superficie seca. Elaboración propia.

### b. Ensayo: Procedimiento gravimétrico (picnómetro)

A continuación, el procedimiento descrito pertenece a la normativa NTE INEN 856:2010 (INEN, 2010b)

**Paso 1:** verter agua al picnómetro hasta casi llenarlo, posteriormente colocar dentro del mismo 500 g  $\pm$  10 g de agregado fino saturado superficialmente seco, así como se detalla en la sección 5.4 de la presente norma y agregar más agua hasta alcanzar una capacidad del 90 %.

**Paso 2:** Agitar el picnómetro de forma manual como se describe en la sección 5.5.2.1, literal (a) de esta norma.

**Paso 3:** Eliminar las burbujas de aire que queden y luego regular el picnómetro y su interior a una temperatura de 23° C  $\pm$  2° C y calibrar el nivel del agua del picnómetro hasta la marca establecida, posteriormente verificar la masa total del picnómetro agua y muestra.

**Paso 4:** Eliminar del picnómetro el agregado fino y secarlo utilizando un horno a una temperatura de entre 110° C  $\pm$  5° C hasta obtener una masa constante y dejarlo reposar a temperatura ambiente, durante 1 hora  $\pm$ .

**Paso 5:** Hallar la masa del picnómetro llena hasta alcanzar el nivel de aguade la marca de calibración a una temperatura de 23° C  $\pm$  2° C.

Se puede evidenciar el proceso efectuado a continuación en la Figura 2.5.

FIGURA 2.5: Gráfico Resumen del Procedimiento Gravimétrico



Nota: Elaboración propia.

### c. Resultados

Para la obtención del peso específico aparente y peso específico seco se realizaron los siguientes cálculos:

Tabla 2.5: Obtención del Peso Específico Aparente y Peso Específico Seco de la Arena y Cascote de Ladrillo

	Ecuación	Proceso	Resultado (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Peso específico seco de la arena</b>	$A / (B + S - C)$	$500 / (500 + 526,72 - 817,52)$	2,39
<b>Peso específico aparente de la arena</b>	$A / (B + A - C)$	$500 / (500 + 500 - 817,52)$	2,74
<b>Peso específico seco del cascote</b>	$A / (B + S - C)$	$500 / (500 + 527,10 - 722,22)$	1,64
<b>Peso específico aparente del cascote</b>	$A / (B + A - C)$	$500 / (500 + 500 - 722,22)$	1,80

Donde:

A: masa de la muestra seca al horno en gramos

B: masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración en gramos

C: masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración en gramos.

S: masa de la muestra saturada superficialmente seca en gramos.

Nota: Las fórmulas y definiciones implementadas en esta tabla pertenecen a la normativa NTE INEN 8656:2010 (INEN, 2010b). Elaboración propia.

En el diseño de mortero para la fabricación de las probetas, se requiere de las cifras de peso específico seco y peso específico aparente obtenidos del ensayo realizado previamente, dando como resultado los siguientes valores:

Tabla 2.6: Pesos Específicos Obtenidos de los Áridos.

	Arena	Cascote de Ladrillo
<b>Peso específico aparente</b>	2,74 g/cm <sup>3</sup>	1,80 g/cm <sup>3</sup>
<b>Peso específico seco</b>	2,39 g/cm <sup>3</sup>	1,64 g/cm <sup>3</sup>

Nota: Elaboración propia.

### 2.3.2. Contenido de humedad de los áridos (ASTM C566)

El contenido de humedad que retienen los áridos también es un aspecto a tomar en cuenta para el correcto diseño de la mezcla, el porcentaje de humedad de los áridos se obtuvo con la siguiente fórmula especificada por la norma ASTM C566.

$$\% \text{Porcentaje de humedad} = \frac{PH - PS}{PH} \times 100$$

Tabla 2.7: Análisis del Porcentaje de Humedad

	RCD de ladrillo	Arena
<b>(PH) Peso Húmedo</b>	500 g	1000 g
<b>(PS) Peso Seco</b>	462,8 g	994,4 g
<b>% Porcentaje de humedad</b>	7,44 %	0,56 %

Nota: Elaboración propia.

### 2.3.3. Análisis granulométrico módulo de finura (NTE INEN 696:2011)

Este ensayo permite determinar el tamaño de las partículas de la arena implementada en morteros u otros productos que contengan áridos y cemento. Haciendo uso de los tamices 3/8" hasta el # 200, se logró obtener el tanto por ciento de material capturado por cada tamiz, definiendo la proporción entre el árido grueso y el árido fino, se determina el módulo de finura de dicho componente. Este ensayo se realizó bajo la normativa NTE INEN 696:2011 (2011), esta señala que el módulo de finura para áridos naturales de mortero deberá estar dentro del rango (2,80 % - 1,75 %) y de (2,65 % - 1,60 %) para áridos elaborados como se aprecia en la Figura 2.6, Tabla 2.8 y Tabla 2.9.

FIGURA 2.6: Ensayo Granulométrico de los Áridos



Nota: Elaboración propia.

Tabla 2.8: Análisis Granulométrico del RCD de Ladrillo

	Abertura	Peso Retenido	Retenido Acumulado	%	%	
Tamiz N°	mm	g	g	Retenido	Pasa	Módulo de Finura
3/8"	9,52	0	0	0	100	2,58
4	4,76	116,4	116,4	11,695	88,305	
8	2,38	312,7	429,1	43,113	56,887	
16	1,19	206,5	635,6	63,860	36,140	
30	0,58	149,2	784,8	78,851	21,145	
50	0,3	80,1	864,9	86,898	13,102	
100	0,15	53,4	918,3	92,264	7,736	
200	0,07	35,1	953,4	95,790	4,210	
Pasa # 200		41,9	995,3	100	0	
<b>Total</b>		<b>995,3</b>				

Nota: En este ensayo de laboratorio se utilizó el ladrillo tipo F. Para obtener el módulo de finura del cascote de ladrillo, se consideraron solo los tamices 30, 50 y 100; descartando los demás tamices. Elaboración propia

Tabla 2.9: Análisis Granulométrico de la Arena

	Abertura	Peso Retenido	Retenido Acumulado	%	%	
Tamiz N°	mm	g	g	Retenido	Pasa	Módulo de Finura
3/8"	9,52	0	0	0	100	2.18
4	4,76	0	0	0	100	
8	2,38	14,6	14,6	3,137	96,863	
16	1,19	42,5	57,1	12,269	87,731	
30	0,58	109,2	166,3	35,733	64,267	
50	0,3	172,1	338,4	72,712	27,288	
100	0,15	99,903	438,303	94,178	5,822	
200	0,07	22,497	460,8	99,012	0,988	
Pasa # 200		4,6	465,4	100	0	
<b>Total</b>		<b>465,4</b>				

*Nota:* Para este ensayo de laboratorio se utilizó arena de río. Elaboración propia

Según la normativa NTE INEN 2536:2010 (INEN, 2010b), el árido natural o elaborado debe considerar y ejecutar los requerimientos detallados en la Tabla 2.10, de igual forma el material utilizado como agregado para la mezcla de un hormigón o mortero no debe poseer una masa retenida que exceda el 50 % entre dos tamices seguidos, ni tampoco superar el 25 % entre los tamices N° 50 y N° 100.

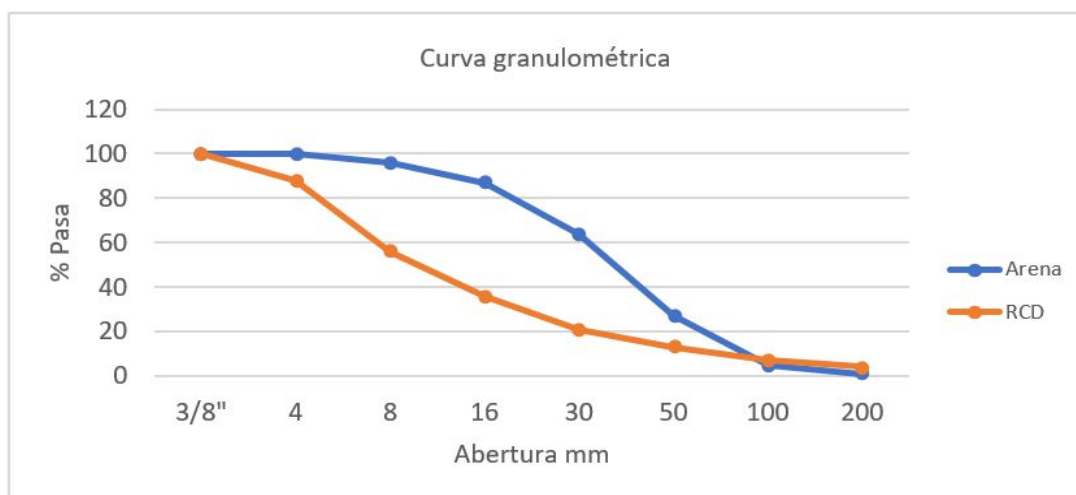
Tabla 2.10: Límites Granulométricos del Árido para Uso en Mortero para Mampostería

Tamiz	Porcentaje pasante	
	Arena natural	Arena elaborada
4,75 mm (No. 4)	100	100
2,36 mm (No. 8)	95 a 100	95 a 100
1,18 mm (No. 16)	70 a 100	70 a 100
600 mm (No. 30)	40 a 75	40 a 75
300 mm (No. 50)	10 a 35	20 a 40
150 mm (No. 100)	2 a 15	10 a 25
75 mm (No. 200)	0 a 5	0 a 10

*Nota:* Recuperado de NTE INEN 2536:2010 (INEN, 2010b). Elaboración propia.

El material cumple con las especificaciones enunciadas anteriormente por lo tanto se concluye que el árido obtenido conforme a las curvas granulométricas de la Figura 2.7, es idóneo para su uso en las dosificaciones de diseño de morteros.

FIGURA 2.7: Curvas Granulométricas de los Áridos Ensayados.



Nota: Elaboración propia.

### 2.3.4. Diseño y dosificación de la mezcla (Tecnología del concreto y del mortero de Sánchez de Guzmán, 2001)

Para cotejar las características físico-mecánicas del RCD como remplazo de la arena normalizada en un mortero, se elaboró un diseño de mortero base siguiendo la metodología propuesta por Sánchez de Guzmán (2001), en su capítulo 14. Dicha metodología permite elaborar la dosificación de la mezcla partiendo de la determinación del módulo de finura de los áridos utilizados, la relación agua/cemento idónea y primordialmente las características físico - mecánicas requeridas.

Según Sánchez de Rojas *et al.* (2005), en la fabricación de hormigones, los ladrillos triturados y escombros de tamaños hasta 5 mm pueden sustituir a los áridos convencionales agregándolos a la mezcla en cantidades de hasta un 20 % sin pérdida de resistencia, a partir de un porcentaje mayor de uso de este árido artificial se espera una pérdida de resistencia final del mortero posee propiedades puzolánicas obtenidas por las altas temperaturas de cocción que soportan estos productos durante su fabricación, lo cual aporta resistencia a la mezcla en cierta proporción.

En base a estas consideraciones a partir de la arena común natural de río se generará un diseño de mortero que cumpla con las exigencias de resistencia requeridas antes mencionadas. Partiendo de esta dosificación base se formularán 3 dosificaciones adicionales que remplazan la arena normalizada por cascote de ladrillo en porcentajes de incremento de un 25 % hasta alcanzar el 100 % de contraste, dando como resultado el diseño de 4 tipos de morteros cuyas dosificaciones obtenidas se detallan en la Tabla 2.2.

El proceso para el diseño de mortero base, se detalla a continuación:

### Paso 1. Determinación de la relación agua-cemento en función de la resistencia requerida

Anticipando una posible disminución en la resistencia del mortero base de 100 % arena de río producto del uso progresivo del RCD de ladrillo como árido, se optó por seleccionar una resistencia superior a la resistencia mínima requerida por las normativas pertinentes descritas anteriormente en la sección 2.2 (Requisitos previos al diseño de la mezcla), pretendiendo de esta manera garantizar una mezcla que cumpla con las resistencias de compresión y flexión mínimas, como también generar un elemento de calidad que dote de durabilidad y un acabado estéticamente satisfactorio al producto.

La dosificación base de arena de río, tendrá una resistencia impuesta de 200kg/cm<sup>2</sup> y al considerar el módulo de finura del árido, de acuerdo a la Figura A 1, resulta en una proporción agua – cemento (A/C: 0,75).

### Paso 2. Selección de la consistencia

De acuerdo a los requerimientos en obra para el moldeo de los paneles se seleccionó una consistencia plástica cuyo porcentaje de flujo es de 110 %, ver Tabla A 1.

### Paso 3. Determinación de la proporción 1: n (Cemento: Arena)

Siguiendo la metodología para el diseño del mortero el valor de n (proporción del árido) se determina con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{A}{C}\right) - \ln(k)}{b} = \frac{\ln 0,75 - \ln 0,225}{0,3033} = 3,96 \therefore 4$$

Donde:

- (k): es la relación (Agua/Cemento) para la consistencia requerida en términos de la fluidez; (k = 0,225) valor obtenido de la Figura A 2.
- (b): es el factor que relaciona el módulo de finura, consistencia requerida y la forma y textura de la arena; (b = 0,3033) valor obtenido de la Tabla A 2.
- (e): el valor base de los logaritmos neperianos (e = 2,7183).
- (n): proporción de la mezcla (partes de arena por una parte de cemento).

### Paso 4. Contenido de cemento, agua y arena

#### a. Contenido de cemento

La cantidad de cemento requerida para 1 m<sup>3</sup> de mezcla se calcula con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{V_c} + \frac{n}{V_a} + k \cdot e^{b \cdot n}} + \frac{1000}{\frac{1}{2,9} + \frac{4}{2,74} + 0,225 \cdot 2,7183^{0,3033 \cdot 4}} = 390,37kg$$

**Donde:**

- (C): es el contenido de cemento requerido.
- (Vc): es el peso específico del cemento (2,9 g/cm<sup>3</sup>).
- (Va): es el peso específico de la Arena (2,74 g/cm<sup>3</sup>).

**b. Contenido de agua**

La cantidad de agua requerida para 1 m<sup>3</sup> de mezcla se calcula con la siguiente ecuación:

$$Agua = C \cdot \left(\frac{A}{C}\right) = 390,37kg \cdot (0,75) = 292,78kg$$

**Donde:**

- (A/C): Relación agua cemento = 0,75.
- (C): Contenido de cemento; (390,37 kg).

**c. Contenido de arena**

La cantidad de arena requerida para 1 m<sup>3</sup> de mezcla se calcula con la siguiente ecuación:

$$Arena = C \cdot n = 390,37kg \cdot 4 = 1561,48kg$$

**Donde:**

- (n): partes de arena por cada parte de cemento; (n = 4).
- (C): Contenido de cemento; (C = 390,37 kg).

Según el cálculo efectuado en el apartado anterior se llegó a sintetizar una dosificación base como se muestra en la Tabla 2.11 , la cual cumple con los requerimientos propuestos por normativa y servirá como punto de partida de las dosificaciones posteriores con agregado de RCD.





Tabla 2.11: Datos para Dosificación del Mortero Base

Componentes	Peso (kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Agua	292,78	P/1000 = 0,30
Cemento	390,37	P/2900 = 0,13
Árido	1561,48	P/2740 = 0,57
Comprobación	Σ Total	1

*Nota:* La cantidad de materiales para esta dosificación está hecha para 1 m<sup>3</sup> de mezcla total, corresponde a una proporción 1:4. Elaboración propia.

Conociendo la diferencia de peso entre el cascote de ladrillo y la arena de río, se opta por realizar los ajustes a la mezcla en función del volumen del árido. Con esto se pretende obtener dosificaciones que incorporen proporcionalmente el RCD a la mezcla, al tomar el 100 % del volumen del árido inicial y reemplazar el mismo con ladrillo triturado tamizado en porciones del 25 %. De esta manera se logra conservar invariable el volumen total de la mezcla. Hay que considerar que el árido de ladrillo tiene un peso menor que la arena debido a su alta porosidad, por lo que la cantidad de agua se recalcula en cada nueva dosificación de forma experimental en el laboratorio, hasta alcanzar una mezcla homogénea que permita su adecuada trabajabilidad.

 Tabla 2.12: Resumen de Dosificaciones Obtenidas para 1 m<sup>3</sup>

			Cemento	Arena	RCD	Agua
	Dosificación	Peso (kg)	390,37	1561,48	0	300
	A 100% Arena normalizada	Volumen (m <sup>3</sup> )	0,13	0,57	0	0,30
	Dosificación	Peso (kg)	390,37	780,9	513	320
	B 50% Arena + 50% RCD	Volumen (m <sup>3</sup> )	0,13	0,285	0,285	0,32
	Dosificación	Peso (kg)	390,37	383,6	768,6	335
	C 25% Arena + 75% RCD	Volumen (m <sup>3</sup> )	0,13	0,14	0,427	0,34
	Dosificación	Peso (kg)	390,37	0	1026	350
	D 100% RCD	Volumen (m <sup>3</sup> )	0,13	0	0,57	0,35

*Nota:* La cantidad extra de agua en cada dosificación se incorpora en los poros del árido manteniendo un volumen constante. Según Sánchez de Rojas, et al. (2008a), la sustitución del árido por el RCD en un porcentaje de hasta el 25 % mantiene invariable la resistencia final a compresión y flexión, por lo cual se descartó la sustitución del 25 % de RCD en la dosificación A de la Tabla 2.12, partiendo el remplazo del RCD por la arena a partir de la dosificación B con el 50 % de RCD e incrementando posteriormente un 25 % consecutivamente en las dosificaciones C y D hasta alcanzar el 100 % de contraste. Elaboración propia.

### 2.3.5. Ensayo de compresión simple (UNE-EN 998-1:2018)

La prueba de compresión se realizará según lo establecido por la normativa UNE-EN 998-1:2018 (AENOR, 2018), esta permite determinar el esfuerzo final a compresión que soporta un mortero; Conforme a lo especificado por esta norma se elaboraron 3 probetas cúbicas de 5 cm x 5 cm x 5 cm, por cada dosificación y para cada ensayo a los 14 y 28 días de maduración, dando un total de 24 especímenes, con el fin de obtener la resistencia media y final de cada mezcla.

FIGURA 2.8: Elaboración de las Probetas para el Ensayo de Compresión



*Nota:* Para este ensayo, las mezclas se colocaron en moldes metálicos normalizados previamente engrasados, transcurridas 48 horas los especímenes se desmoldaron y se colocaron inmersos bajo el agua para el proceso de curado pertinente hasta alcanzar la maduración requerida. Elaboración propia.

Una vez las probetas terminen su proceso de curado, se las debe dejar reposar un par de horas según se requiera, para suprimir el agua en exceso presente en el elemento y así evitar que los resultados se alteren, cabe recalcar que no es estrictamente necesario que las probetas a ser ensayadas estén totalmente secas.

La medición: se realizó mediante el uso de una prensa eléctrica “Soiltest” de CBR normalizada que registraba de forma mecánica el valor obtenido en tiempo real, el mismo que fue monitoreado y registrado para su posterior análisis. Proceso descrito en la Figura 2.9.

FIGURA 2.9: Ruptura de Probetas a Compresión



*Nota:* Las probetas cúbicas son comprimidas por la prensa “Soiltest” de CBR utilizando placas metálicas lisas en la parte superior e inferior de la probeta con el fin de distribuir la fuerza de manera uniforme a la cara del elemento. Elaboración propia.

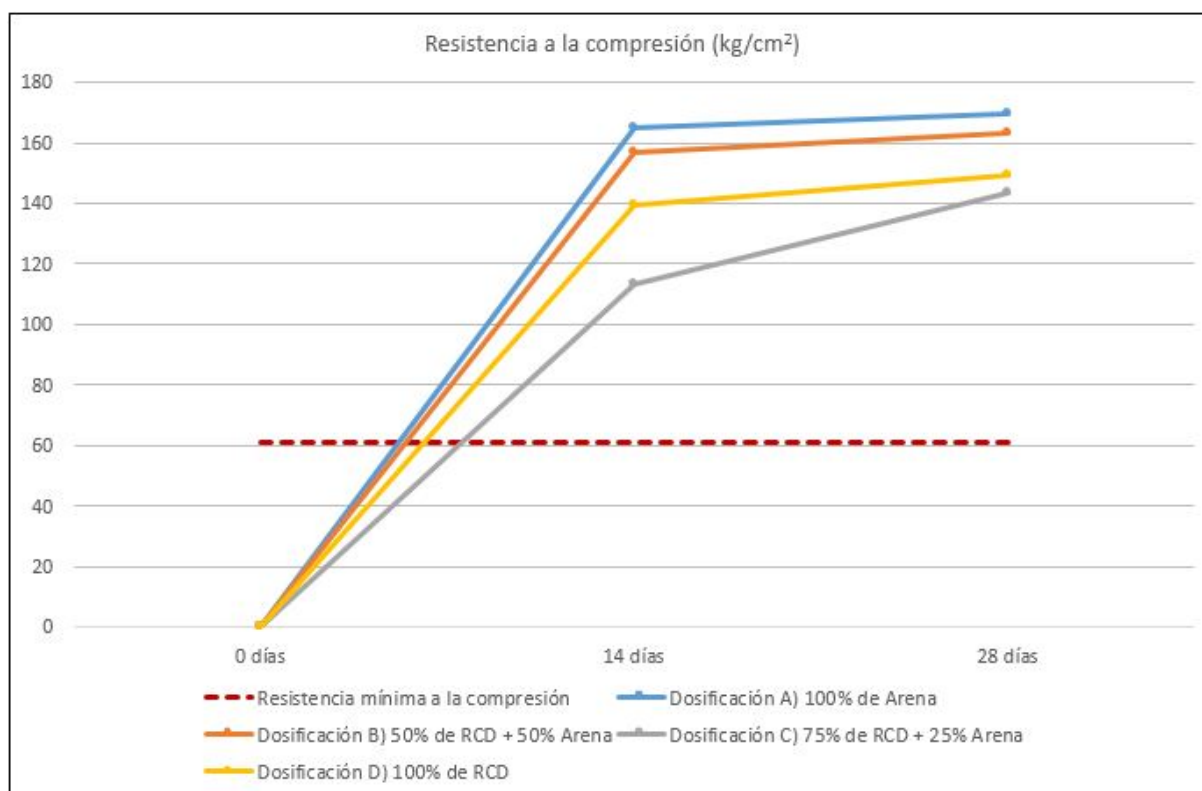
Tabla 2.13: Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión

% Áridos	Probeta	Dosificación 1:4			Relación A/C	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Cemento	Árido				14 días	28 días
			Arena	RCD				
Dosificación A 100 % Arena normalizada	A1	1	4	-	0,75	25	166,54	172,22
	A2	1	4	-	0,75	25	163,86	167,10
	A3	1	4	-	0,75	25	164,69	169,18
	<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>							165,03
Dosificación B 50 % Arena + 50 % RCD	B1	1	2	2	0,75	25	155,46	161,80
	B2	1	2	2	0,75	25	158,20	163,00
	B3	1	2	2	0,75	25	156,44	165,01
	<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>							156,7
Dosificación C 25 % Arena + 75 % RCD	C1	1	1	3	0,75	25	115,43	141,82
	C2	1	1	3	0,75	25	111,19	145,07
	C3	1	1	3	0,75	25	113,04	144,39
	<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>							113,22
Dosificación D 100 % RCD	D1	1	-	4	0,75	25	141,83	147,24
	D2	1	-	4	0,75	25	138,99	148,51
	D3	1	-	4	0,75	25	137,29	152,66
	<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>							139,37

*Nota:* Este ensayo a compresión para morteros está basado según el NTE INE 488:2009 (INEN, 2009). Elaboración propia.

Obtenidos los valores finales del ensayo a compresión, se pudo comprobar que los especímenes de la dosificación A elaborados con el 100 % de arena normalizada soportaron el mayor esfuerzo a la compresión, con un valor promedio de  $165,03 \text{ kg/cm}^2$  transcurridos los 14 días y de  $169,5 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días, una resistencia mayor a la conseguida con la dosificación D, la cual se elaboró con el 100 % de RCD de ladrillo como se puede observar en la Figura 2.10; No obstante, la normativa NTE INEN 488:2009 (INEN, 2009), no especifica un valor mínimo requerido para este ensayo, sin embargo de acuerdo a la normativa UNE-EN 998-1:2018 (AENOR, 2018), de la Tabla 2.4, los resultados de todos los especímenes ensayados cumplen los requisitos mínimos establecidos por esta norma, clasificando la resistencia mínima alcanzada para placas de clase IV, aptas para ser colocadas en ambientes exteriores de fachadas.

FIGURA 2.10: Gráfica de Resultados para la Resistencia a la Compresión

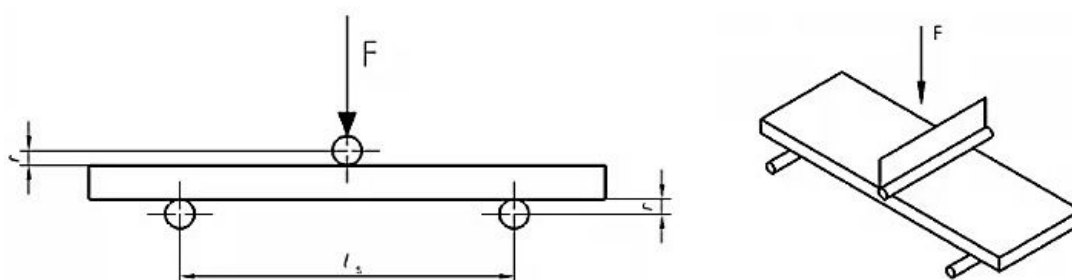


Nota: Elaboración propia.

### 2.3.6. Ensayo de resistencia a flexión (UNE-EN-12467:2006)

Con el objeto de precisar la resistencia a la flexión del panel se realizó el ensayo respectivo en base a la normativa UNE-EN-12467:2006, esta hace referencia a la norma ASTM D790 la cual requiere el uso de especímenes cuadrados o rectangulares de cualquier espesor, para esta prueba se utilizó 3 especímenes rectangulares de 2 x 10 x 20 cm de cada una de las 4 dosificaciones señaladas anteriormente en la Tabla 2.11; La norma determina aplicar la carga como indica la Figura 2.11, colocando la probeta sobre dos apoyos a los extremos y aplicando una carga constante puntual al centro.

FIGURA 2.11: Carga Puntual Aplicada para el Ensayo de Flexión



*Nota:* Recuperado de UNE-EN-12467:2006 (AENOR, 2006).

Como se aprecia en la Figura 2.12, la ruptura de las probetas se realizó utilizando una prensa eléctrica “Soiltest” de CBR normalizada. Los datos que marca la prensa de forma mecánica en tiempo real, se registraron manualmente para su análisis posterior.

FIGURA 2.12: Ruptura de Probetas a Flexión



*Nota:* La ruptura se debe producir durante los 10-30 segundos iniciales después de aplicar la carga puntual. Elaboración propia.

El módulo de ruptura a flexión (MOR) se obtuvo mediante el uso y aplicación de la fórmula señalada por la normativa UNE-EN-12467:2006.

$$MOR = \frac{3Fl_s}{2be^2}$$

**Donde:**

- (F): es la carga de ruptura en Newtons
- (ls): distancia libre entre los apoyos
- (b): el ancho de la probeta en mm
- (e): el espesor en mm de la probeta

Terminado el proceso de ruptura de las probetas se puede conocer los resultados obtenidos de cada dosificación con respecto a el ensayo de flexión. Dicha información se encuentra expresada en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14: Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión

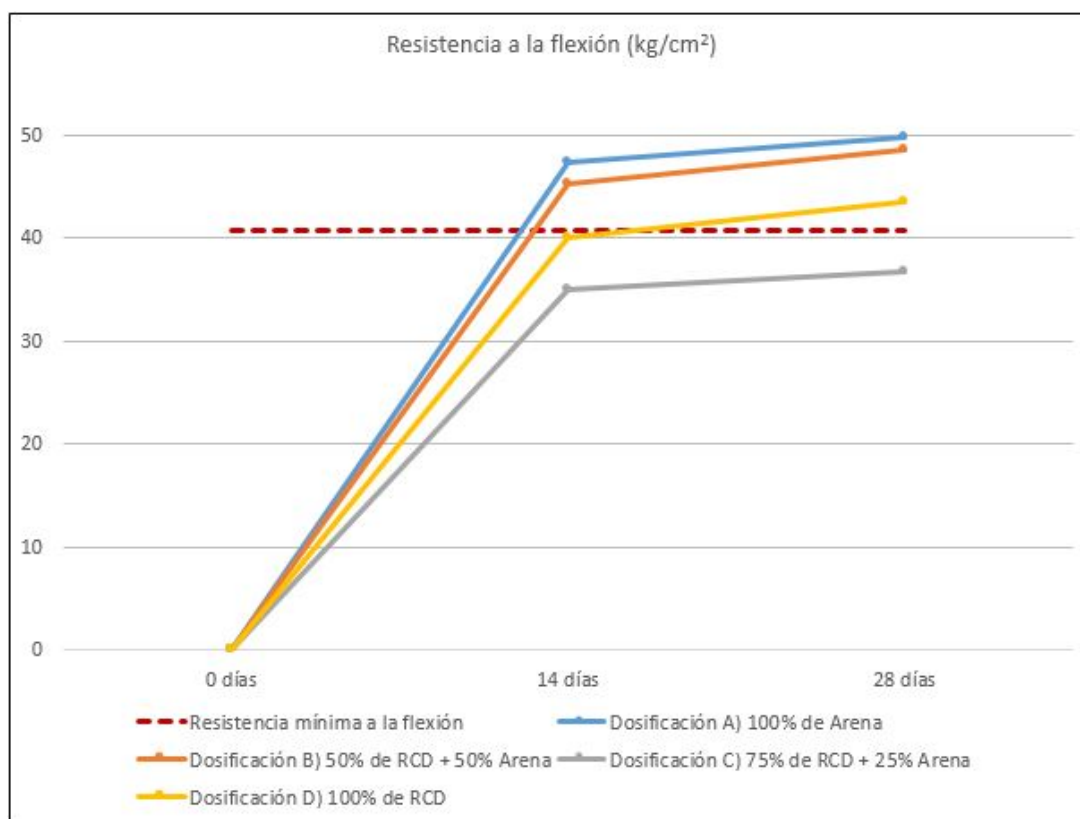
% Áridos	Probeta	Dosificación 1:4			Relación A/C	Área ( $cm^2$ )	Resistencia ( $kg/cm^2$ )	
		Cemento	Árido				14 días	28 días
			Arena	RCD				
<b>Dosificación A</b> <b>100 % Arena</b> <b>normalizada</b>	A1	1	4	-	0,75	25	48,26	51,20
	A2	1	4	-	0,75	25	46,13	47,64
	A3	1	4	-	0,75	25	47,47	50,68
	<b>Resistencia Promedio (<math>kg/cm^2</math>)</b>							<b>47,287</b>
<b>Dosificación B</b> <b>50 % Arena +</b> <b>50 % RCD</b>	B1	1	2	2	0,75	25	44,78	50,15
	B2	1	2	2	0,75	25	46,10	47,94
	B3	1	2	2	0,75	25	44,74	47,74
	<b>Resistencia Promedio (<math>kg/cm^2</math>)</b>							<b>45,206</b>
<b>Dosificación C</b> <b>25 % Arena +</b> <b>75 % RCD</b>	C1	1	1	3	0,75	25	35,45	38,04
	C2	1	1	3	0,75	25	33,90	35,75
	C3	1	1	3	0,75	25	35,63	36,30
	<b>Resistencia Promedio (<math>kg/cm^2</math>)</b>							<b>34,992</b>
<b>Dosificación D</b> <b>100 % RCD</b>	D1	1	-	4	0,75	25	41,62	43,65
	D2	1	-	4	0,75	25	39,00	43,20
	D3	1	-	4	0,75	25	39,68	43,66
	<b>Resistencia Promedio (<math>kg/cm^2</math>)</b>							<b>40,099</b>

*Nota:* Este ensayo a compresión para morteros está basado según la UNE-EN-12467:2006. Elaboración propia.

Obtenido los resultados del ensayo de laboratorio se pudo comprobar que los especímenes de la dosificación A elaborados con el 100 % de arena normalizada soportaron el mayor esfuerzo a flexión con un valor promedio de  $47,28 kg/cm^2$  a los 14 días de edad y de  $49,84 kg/cm^2$  a los 28 días, una resistencia mayor a la conseguida con la dosificación D la cual

se elaboró con 100 % de RCD de ladrillo y también superior a las otras mezclas diseñadas con los áridos combinados en diferentes porcentajes, como se puede observar en la Figura 2.13; No obstante, la normativa NTE INEN 198 (INEN, 1987) no especifica un valor mínimo requerido para este ensayo, sin embargo, de acuerdo a la Tabla B 1 y Tabla B 2, de la normativa UNE-EN-12467:2006, los resultados expresados en la Tabla 2.14 permiten apreciar que, las dosificaciones A, B y D sobrepasan los  $40,8 \text{ kg/cm}^2$  o 4 MPa de resistencia a la flexión por lo que cumplen con los requisitos mínimos permitidos por esta norma, clasificándose dentro de la categoría C y D, las mismas que son aptas para ser colocadas utilizadas en fachadas.

FIGURA 2.13: Gráfica de Resultados para la Resistencia a la Flexión



Nota: Elaboración propia.

## 2.4. Configuración y fabricación del revestimiento

### 2.4.1. Parámetros para la generación de un molde para el prototipo de panel

Se busca producir un revestimiento para exteriores tipo panel que posea un tamaño intermedio manejable, con el fin de poder situar los paneles en fachada como elementos prefabricados, eliminando la necesidad de usar mortero como pegante; esto traerá beneficios directos como el ahorro de tiempo en la instalación del sistema constructivo y de requerirse la posibilidad de remplazar parcial o totalmente las piezas del revestimiento.

Por lo tanto, el molde contará con las siguientes características.

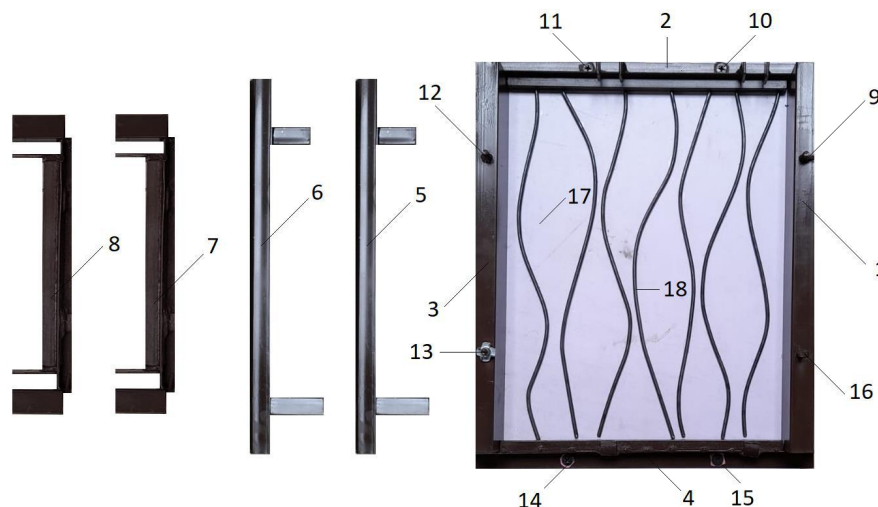
- Dimensionamiento interior del molde propuesto en forma rectangular de (40 cm de alto por 30 cm de ancho y 2 cm de espesor).
- Diseñar un elemento capaz de producir un panel monolítico de frente plano como acabado y en su cara posterior incluir uno o varios destajes que permitan al elemento fijarse en el muro mediante apoyos anclados al mismo.
- El molde debe poseer la capacidad de seccionarse con el fin de facilitar el desencofrado.
- El elemento debe poseer un recubrimiento de pintura o laca, que proteja al mismo y evite el desgaste del mismo por la acción del agua de la mezcla.
- El molde debe ser de un material rígido e inoxidable, como la madera o el metal con una capa de pintura protectora, y con la capacidad de seccionarse para un desencofrado más eficiente, eliminando el riesgo de fisuras.
- Es recomendable situar la cara plana del terminado en la parte inferior del molde ya que, de no ser así, resulta perjudicial para el panel debido a que en el acabado final se formaría una capa brillante con un tono opaco producto de la acción del agua, que eleva las partículas más finas del árido y el cemento, distorsionando la uniformidad del terminado y afectando su estética.

## 2.4.2. Elaboración de molde

Como se muestra en la Figura 2.14; el molde está compuesto en su gran mayoría por una estructura y piezas de metal. Las piezas 1, 2, 3 y 4 forman el marco del molde que se fijan a la base con tornillos y tuercas ubicados en los puntos 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16. Para el destaje doble a 45 grados se unen las piezas 5 y 6 con las piezas 7 y 8 respectivamente para luego situarse sobre las piezas 2 y 4 a presión. La base texturizada está compuesta por las piezas 17 que comprende una base de tool de 2 mm de espesor con una plancha de cintrax blanco sobre la misma, para evitar adherencia innecesaria entre base y panel y, la pieza 18 que es una malla conformada por varilla circular lisa de 4 mm en forma ondulada.

Con el fin de evitar la adherencia y oxidación de la estructura metálica por acción del agua de la mezcla, se optó por aplicar una capa de pintura látex café sobre esta.

FIGURA 2.14: Molde para Panel de Revestimiento



*Nota:* El acabado del panel puede modificarse al reemplazar el diseño de la malla sobre la base del molde lo que permite obtener una gran gama de terminados. Elaboración propia.

### 2.4.3. Mezcla, fraguado y desencofrado

Para realizar el panel, se retiró la malla metálica de su base, para implementar otro tipo distinto de terminado. Dicho panel se realizó utilizando la dosificación D con una relación cemento-árido 1:4 la cual contiene el 100 % de RCD como remplazo de la arena, cumpliendo con los requerimientos mínimos establecidos por las normativas pertinentes de los ensayos de compresión y flexión antes realizados.

Para hacer la mezcla se colocaron sus componentes en seco (cemento, cascote de ladrillo y pigmento inorgánico), mezclando los materiales hasta integrarlos por completo. Luego, se vierte el agua en porciones pequeñas mientras se bate la mezcla evitando grumos. Una vez alcanzada la consistencia deseada (se hace una bola compacta de mezcla con las manos y se la deja caer a unos 2 cm de altura, si al soltarla conserva su forma o posee derrumbes parciales, se considera óptima), se procede a separar una porción de mezcla y de su volumen se le agrega el  $\frac{1}{5}$  de agua y se incorporan los materiales. Esta lechada líquida se coloca en la base del molde con un espesor de 1 a 1,5 mm de espesor y luego se vierte el resto de la mezcla original en el molde, haciendo presión para alcanzar una adecuada resistencia y homogeneidad en el panel, a continuación, se deja fraguar por 24 horas al interior del molde para posteriormente ser desmoldado y sumergido totalmente en agua por 48 horas adicionales, garantizando un fraguado y curado óptimo, evitando la aparición de posibles grietas en el acabado, luego que el panel sea retirado del agua, se lo deja secar durante 2 días al Sol, dando como resultado un terminado con leves oquedades asemejando a poros de unos cuantos milímetros cada uno, este procedimiento se observa en la Figura 2.15.

FIGURA 2.15: Proceso Exitoso de Fabricación de Panel



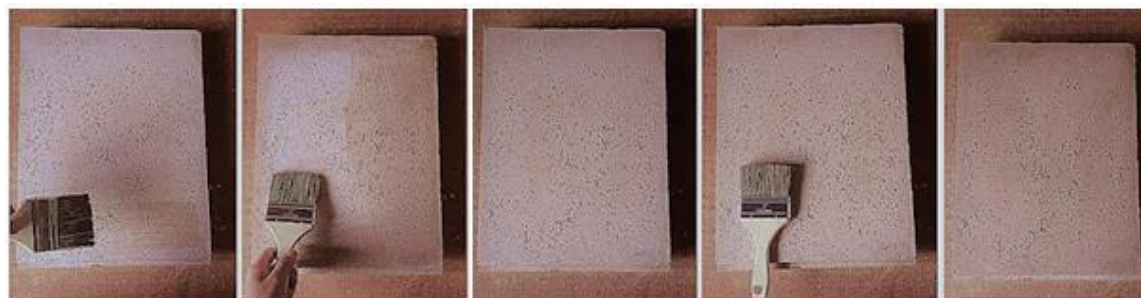
*Nota:* Para obtener diferentes tonalidades se puede utilizar pigmento natural de polvo de piedra en un porcentaje máximo del 10% en relación a la masa del cemento. Elaboración propia.

#### 2.4.4. Sellado

Para garantizar una resistencia y durabilidad consistentes ante los factores externos medioambientales, el revestimiento exterior en cuestión necesita adquirir propiedades específicas, las cuales se obtendrán mediante el uso y aplicación de Sika ImperSello Brillante.

Este producto está diseñado para materiales muy absorbentes como el hormigón y prefabricados, ladrillo, morteros, entre otros, por lo que es ideal para el panel propuesto; el sellante crea una capa transparente semi brillante sobre las superficies en donde se aplica, protegiendo al elemento de los rayos solares y dándole propiedades impermeables; el sellante Sika ImperSello Brillante se debe aplicar en dos capas con aspersor o brocha, luego de haber aplicado la primera mano se deja secar entre 1 a 2 horas para luego aplicar la segunda mano, para poder transitar o manipular la superficie con el producto se deja transcurrir 4 horas a una temperatura aproximada de 25°C, por último se debe proteger de la lluvia el elemento sellado un lapso de 4 horas para garantizar su correcto funcionamiento (Sika Ecuatoriana S.A., 2014), los resultados se pueden apreciar en Figura 2.16.

FIGURA 2.16: Sellado del Panel

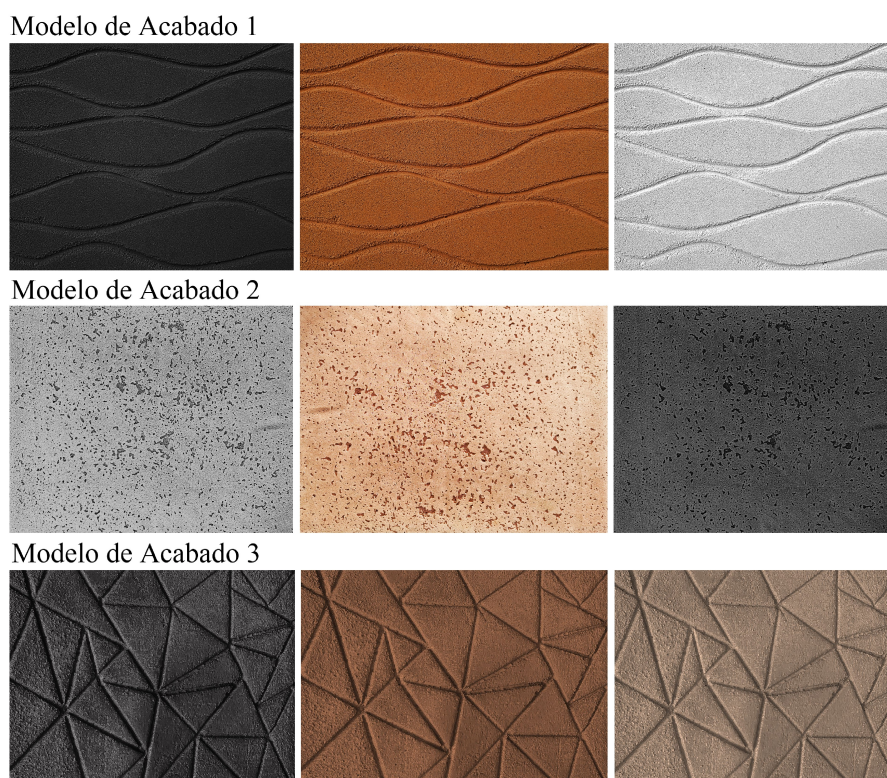


*Nota:* La impermeabilización o sellado del panel se lo realiza luego de haber dejado la superficie libre de polvo o impurezas. Elaboración propia.

### 2.4.5. Presentación del panel

Los paneles pueden tener diferentes acabados y texturas en su cara frontal, también diferentes tonalidades por medio del uso de pigmentos naturales.

FIGURA 2.17: Revestimientos Terminados



*Nota:* Los distintos acabados poseen un color continuo, lo que significa que interior y exteriormente el color no varía. Elaboración propia.

## 2.4.6. Precio unitario de m<sup>2</sup> de revestimiento

En la actualidad existen varios tipos de revestimientos implementados en la ciudad, los más comunes son la cerámica, el porcelanato, la piedra andesita, el marmetón entre otros. En la Tabla 2.15 se enlistan los precios por m<sup>2</sup> de los revestimientos mencionados anteriormente.

Tabla 2.15: Listado de Precios de Revestimientos Ecuador 2022

Tipo de revestimiento	Formato	Unidad	Precio (USD)
Cerámica	Cerámica 20 cm x 30 cm	m <sup>2</sup>	8,80
	Cerámica 30 cm x 30 cm	m <sup>2</sup>	8,90
	Cerámica 43 cm x 43 cm	m <sup>2</sup>	11,65
	Cerámica 45 cm x 45 cm	m <sup>2</sup>	9,00
	Cerámica 30 cm x 60 cm	m <sup>2</sup>	11,85
	Cerámica 51 cm x 51 cm	m <sup>2</sup>	10,50
	Cerámica 30 cm x 45 cm	m <sup>2</sup>	8,90
Porcelanato	Porcelanato de 29 cm x 60 cm	m <sup>2</sup>	18,32
	Porcelanato de 32 cm x 32 cm	m <sup>2</sup>	17,01
	Porcelanato de 50 cm x 50 cm	m <sup>2</sup>	15,27
	Porcelanato de 60 cm x 60 cm	m <sup>2</sup>	17,90
	Porcelanato de 45 cm x 90 cm	m <sup>2</sup>	30,95
	Porcelanato de 22 cm x 90 cm	m <sup>2</sup>	32,89
	Porcelanato de 60 cm x 120 cm	m <sup>2</sup>	38,95
	Porcelanato de 19 cm x 120 cm	m <sup>2</sup>	39,95
Piedra natural y artificial	Espacato 3 cm x 10 cm marmetón	m <sup>2</sup>	22,00
	Espacato 3 cm x 15 cm andesita	m <sup>2</sup>	25,00
	Espacato 3 cm x 15 cm marfil	m <sup>2</sup>	23,00
	Espacato 3 cm x 15 cm marmetón artesanal	m <sup>2</sup>	25,00

*Nota:* Recuperado de [Información Ecuador \(2022\)](#). Elaboración propia.

Entre estos revestimientos, se destacan los elementos más próximos al formato del panel propuesto, resultando ser la cerámica de 8,80 \$ y al porcelanato de 17,01 \$ los que serán utilizados para realizar la comparación de precios con el revestimiento propuesto.

En la Tabla 2.16, se va a calcular el número de paneles y cantidad de mezcla para 1 m<sup>2</sup> de revestimiento y posteriormente se realizará el análisis de precios unitarios del producto.

En Ecuador, el precio de la arena es de \$20 el  $m^3$ , como se especifica en Pacheco y Fuentes (2017) para calcular el precio del árido en base a RCD, se incrementa el 30 % al precio de la arena, obteniendo un costo total de \$26 el  $m^3$ . Para efectos del presente análisis de precio unitario de la Tabla 2.16, se utilizó la tarifa por  $m^3$  de consumo industrial de agua.

Tabla 2.16: Precio por  $m^2$  de Revestimiento para el Sistema Constructivo B.

Cantidad de mezcla por $m^2$ del panel				
Dimensiones de panel	Ancho		Longitud	Espesor
	0,30 cm		0,40 cm	0,02 cm
Área del panel			0,12 $m^2$	
Cantidad paneles para $1m^2$			8,33 $\therefore$ 9	
Dosificación Utilizada para $1m^3$	Cemento		RCD	Agua
	390,37 kg		1026 kg	350 kg
Volumen para 9 paneles			0,0216 $m^3$	
Precio Unitario				
Rendimiento (1 / $m^2$ realizados/8h):			0,667	
Materiales:				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (USD)	Total
Cemento	Kg	8,43	0,155	1,307
Árido de RCD de Ladrillo	Kg	22,16	0,162	3,590
Sika ImperSello Brillante	Kg	0,20	8,77	0,175
Agua	Kg	7,56	0,00083	0,006
Mano de Obra (Cantidad x Precio x Rendimiento):				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (USD)	Total
Albañil	Hora	1	3,87	2,580
Ayudante de Albañil	Hora	1	3,83	2,553
Equipos:				
Descripción				Total
Herramienta menor: 5 % de la mano de obra				0,257
			<b>Subtotal</b>	10,293
			<b>Ganancia (20 %)</b>	2,059
			<b>Total</b>	12,351

*Nota:* El salario por hora de Albañil y ayudante de Albañil se obtuvieron de: Contraloría General del Estado (2022). Elaboración propia.

El precio por m<sup>2</sup> del revestimiento desarrollado en este trabajo de titulación es de 12,35 \$; Conociendo de antemano que el costo intermedio del m<sup>2</sup> entre la cerámica y el porcelanato de dimensiones similares al del panel es de 12,90 \$, se puede concluir que el revestimiento propuesto es accesible para la comunidad cuencana, destacando que los materiales como la piedra andesita, el marmeton y el marfil cuestan aproximadamente el doble.

## **2.5. Transmitancia térmica de los paquetes constructivos deficientes en Cuenca, con la aplicación del revestimiento propuesto**

### **2.5.1. Determinación de conductividad térmica de revestimiento propuesto**

Este ensayo se fundamentó en el ISO 8302, dicha normativa permite determinar el coeficiente de conductividad térmica de un material rígido el cual fue fabricado en base a cemento portland y RCD de ladrillo triturado en una relación 1:4. Este ensayo utiliza el método de placa caliente resguardada permitiendo medir la conductividad térmica de un material desde 0.002 hasta 2.500 W/mk. Las muestras utilizadas tienen una geometría aproximada de 150 mm x 150 mm x 20 mm. El procedimiento para la generación de las probetas fue el siguiente y se lo puede corroborar en la Figura 2.18:

- Paso 1. Colocar la mezcla especificada, sobre moldes individuales con las caras planas procurando buenos acabados superficiales y dejar reposar durante 36 horas.
- Paso 2. Desmoldar las probetas
- Paso 3. Apilar los elementos y sumergirlos totalmente en un recipiente con agua y dejarlos reposar por 72 horas para su respectivo curado.
- Paso 4. Retirar las probetas del agua y dejarlas reposar bajo el sol 36 horas o hasta que sequen.
- Paso 5. Una vez las muestras están secas y en condiciones ambientales de laboratorio (temperatura y humedad estables), estas fueron ensayadas mediante el uso del medidor de conductividad térmica de placa caliente, modelo  $\lambda$ -Meter EP500e, Versión C en el laboratorio LABET de la Espol, presente en la Figura 2.19.

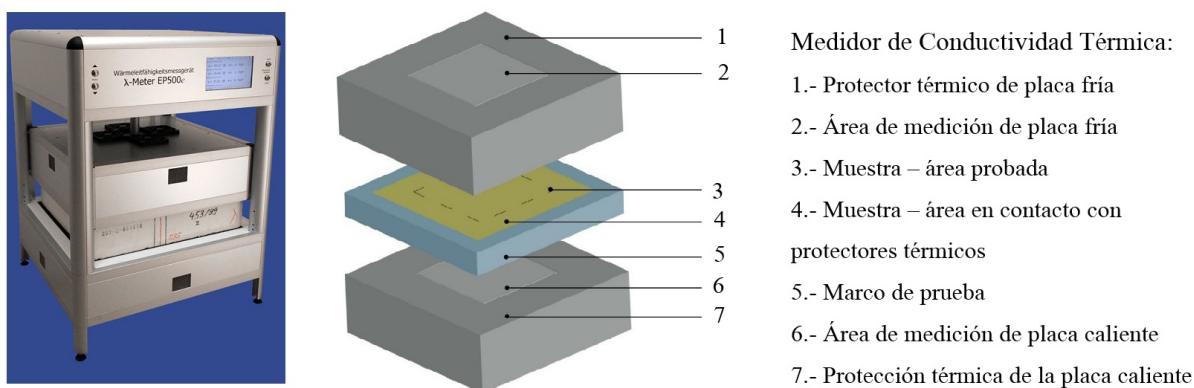
Los resultados obtenidos de este ensayo se encuentran detallados en el apéndice E. El valor obtenido para la conductividad térmica del material mencionado fue de 0,218 W/mk.

FIGURA 2.18: Paquetes Constructivos a Evaluar



*Nota:* En la fabricación de las muestras, a la mezcla no se le incorporó ningún tipo de pigmento. Elaboración propia.

FIGURA 2.19: Medidor de Conductividad Térmica de Placa Caliente



*Nota:* Este equipo propiedad de LABET permite obtener los valores de conductividad térmica del revestimiento propuesto con el uso de las muestras antes mencionadas, el proceso y resultados obtenido por este instrumento se aprecian en el Apéndice E. Modificado de [Petcu et al. \(2018\)](#) y [Lambda-Messtechnik \(2022\)](#).

## 2.5.2. Determinación de transmitancia térmica de paquetes constructivos seleccionados con y sin revestimiento propuesto

Se determinará el factor U o transmitancia térmica de los paquetes constructivos de mampostería que sobrepasan el valor máximo permitido de transmitancia térmica de  $2,35 \text{ W/m}^2\text{K}$  especificado para la zona climática 3 perteneciente a la ciudad de Cuenca y a los cuales se los propone instalar el panel de revestimiento para reducir el valor del factor U, que es igual a  $U = 1/R$ ; en la Tabla 1.6 se encuentran los conceptos y formulas requeridas para su cálculo y en la Figura 2.20, se muestran los paquetes constructivos a evaluar.



Transmitancia térmica de los paquetes constructivos deficientes en Cuenca, con la aplicación del revestimiento propuesto

Tabla 2.17: Cálculo de la Transmitancia Térmica 1

<b>Transmitancia Térmica (<math>W/m^2k</math>)</b>			
<b>Paquete Constructivo</b>	Mampostería de ladrillo con enlucido interior, enlucido exterior, cámara de aire y revestimiento exterior de RCD.		
<b>Material</b>	Espesor (m)	Conductividad Térmica $\lambda$ (W/mk)	Resistencia Térmica $R = E/\lambda$ ( $m^2k/W$ )
<b>Enlucido interior Cemento: arena - 1:3</b>	0,01	0,72	0,014
<b>Ladrillo panelón</b>	0,15	0,72	0,208
<b>Enlucido exterior Cemento: arena - 1:3</b>	0,01	0,50	0,020
<b>Cámara de aire (Rg)</b>	0,005	–	0,110
<b>Revestimiento de RCD</b>	0,022	0,218	0,101
<b>Resistencia total RT</b>			0,623
<b>FACTOR U (<math>1/RT</math>) <math>W/km^2</math></b>			1,605

*Nota:* Los valores considerados para la cámara de aire no ventilada de 5 mm:  $R_g = 0,11$ ,  $R_{se} = 0,04$  y  $R_{si} = 0,13$  se especifican en el Apéndice C y el valor  $\lambda$  del panel propuesto de 0,218 w/mk se encuentra detallado en el Apéndice E.

Tabla 2.18: Cálculo de la Transmitancia Térmica 2

<b>Transmitancia Térmica (<math>W/m^2k</math>)</b>			
<b>Paquete Constructivo</b>	Mampostería de ladrillo sin revestimiento, cámara de aire y revestimiento exterior de RCD.		
<b>Material</b>	Espesor (m)	Conductividad Térmica $\lambda$ (W/mk)	Resistencia Térmica $R = E/\lambda$ ( $m^2k/W$ )
<b>Ladrillo panelón</b>	0,15	0,72	0,208
<b>Cámara de aire</b>	0,005	–	0,110
<b>Revestimiento de RCD</b>	0,022	0,218	0,101
<b>Resistencia total RT</b>			0,589
<b>FACTOR U (<math>1/RT</math>) <math>W/km^2</math></b>			1,697

*Nota:* Los valores considerados para la cámara de aire no ventilada de 5 mm:  $R_g = 0,11$ ,  $R_{se} = 0,04$  y  $R_{si} = 0,13$  se especifican en el Apéndice C y el valor  $\lambda$  del panel propuesto de 0,218 w/mk se encuentra detallado en el Apéndice E.

Transmitancia térmica de los paquetes constructivos deficientes en Cuenca, con la aplicación del revestimiento propuesto

El factor U de este paquete constructivo coincide con el límite permitido para paredes sobre el nivel del terreno en la ciudad de Cuenca, por lo que se le considera como ineficaz y requiere del revestimiento para alcanzar un comportamiento térmico eficiente.

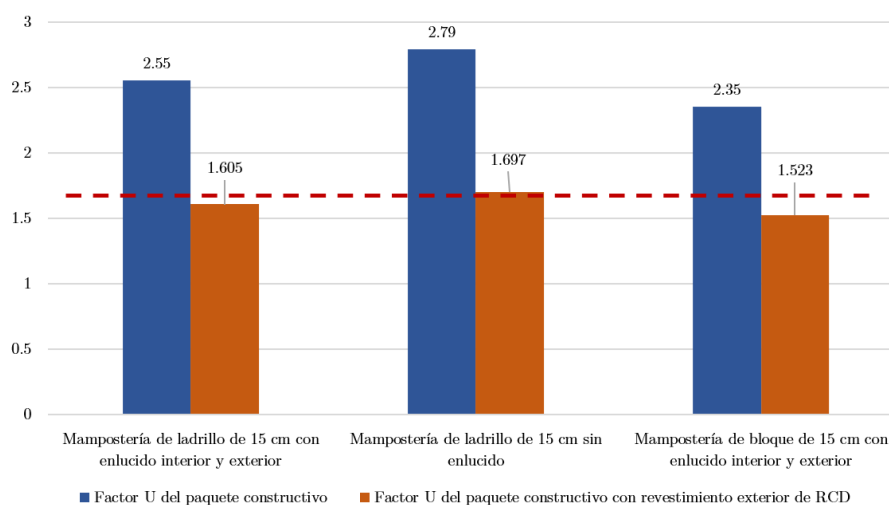
Tabla 2.19: Cálculo de la Transmitancia Térmica 3

<b>Transmitancia Térmica (<math>W/m^2k</math>)</b>			
<b>Paquete Constructivo</b>	Mampostería de bloque de 15 cm con enlucido interior, enlucido exterior, cámara de aire y revestimiento exterior de RCD.		
<b>Material</b>	Espesor (m)	Conductividad Térmica $\lambda$ (W/mk)	Resistencia Térmica $R = E/\lambda$ ( $m^2k/W$ )
<b>Enlucido interior Cemento: arena - 1:3</b>	0,01	0,72	0,014
<b>Bloque de concreto 15 cm</b>	0,15	0,62	0,242
<b>Enlucido exterior Cemento: arena - 1:3</b>	0,01	0,50	0,020
<b>Cámara de aire (Rg)</b>	0,005	-	0,110
<b>Revestimiento de RCD</b>	0,022	0,218	0,101
<b>Resistencia térmica total RT</b>	0,657		
<b>FACTOR U (<math>1/RT</math>) <math>W/km^2</math></b>	1,523		

*Nota:* Los valores considerados para la cámara de aire no ventilada de 5 mm:  $R_g = 0,11$ ,  $R_{se} = 0,04$  y  $R_{si} = 0,13$  se especifican en el Apéndice C y el valor  $\lambda$  del panel propuesto de 0,218 w/mk se encuentra detallado en el Apéndice E.

A continuación, en la Figura 2.21, se hace un contraste de los datos obtenidos en las tablas anteriores y la Tabla 1.10.

FIGURA 2.21: Transmitancia Térmica ( $W/m^2K$ ) de Paquetes Constructivos Con y Sin Revestimiento



*Nota:* La línea roja representa el valor máximo permitido de transmitancia térmica para paredes sobre el nivel del terreno ( $U = 2,35 W/m^2K$ ). Elaboración propia.

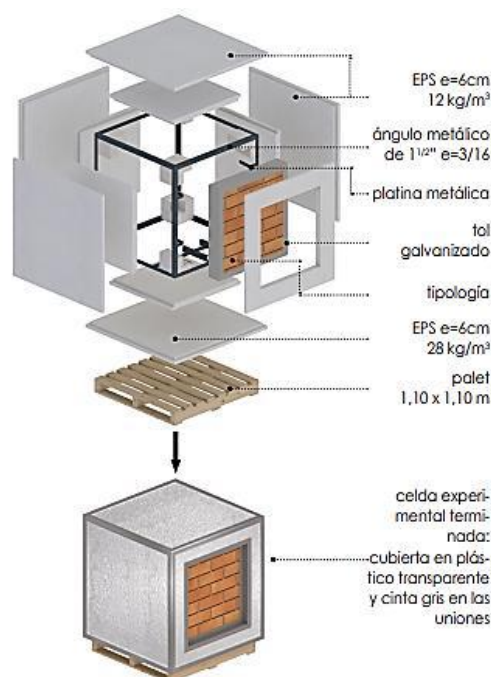
Según lo establecido por la normativa NEC-HS-EE la transmitancia térmica de los paquetes constructivos de mampostería con la adición del panel de revestimiento propuesto, satisfacen los requisitos de transmitancia térmica para paredes sobre el nivel del terreno de la zona climática 3 perteneciente a la ciudad de Cuenca. Para comprender de forma práctica este resultado, en el siguiente apartado, se estudiará el comportamiento térmico en una celda experimental, replicando el paquete constructivo predominante en la ciudad, (muro de mampostería de ladrillo con doble enlucido). Con el fin de contrastar las oscilaciones térmicas con y sin el uso del panel como revestimiento exterior.

## 2.6. Ensayo de campo con celda experimental

Para verificar la efectividad del elemento propuesto, como una estrategia pasiva de la arquitectura bioclimática, capaz de aumentar las probabilidades de alcanzar el confort térmico dentro de una vivienda en la ciudad de Cuenca. Se procedió a realizar un ensayo de comportamiento térmico a través de la unidad experimental mencionada en el trabajo de titulación de Cárdenas (2019).

El tipo de celda experimental de Cárdenas (2019), fue diseñado y proporcionado según el tamaño máximo disponible de las planchas de EPS a utilizar, como se puede apreciar en la Figura 2.22. Esta celda consiste en un prisma rectangular exterior de 1,22 m de ancho, 1,22 m de profundidad y 1,28 m de altura; de perfilaría metálica y paredes de EPS con un espesor de 6 cm, una cámara de aire de 10 cm y un prisma rectangular interior de 84 cm de ancho, 86 cm de profundidad y 0,90 m de altura, con paredes de EPS con un espesor de 6 cm.

FIGURA 2.22: Celda Experimental de Cárdenas V.



*Nota:* Dicha celda experimental se puso a prueba en la ciudad de Cuenca-Ecuador. Recuperado de Cárdenas (2019).

### 2.6.1. Selección de paquete constructivo para celda experimental.

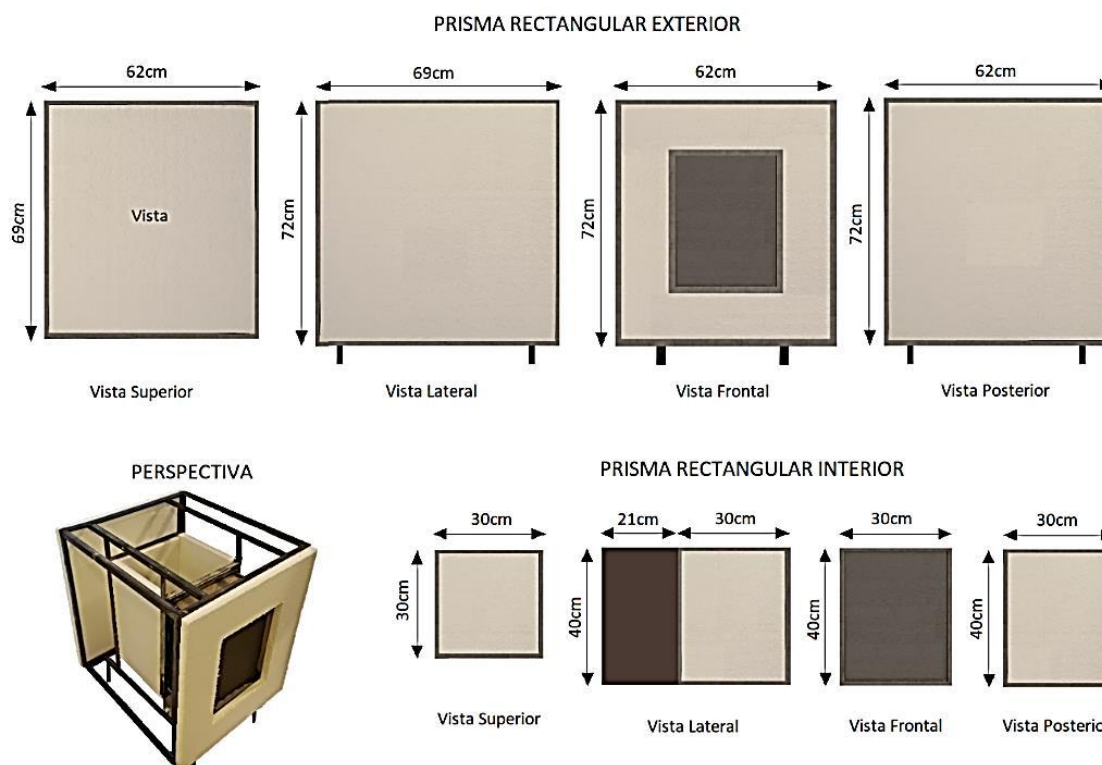
Tomando como referencia la celda elaborada por Cárdenas (2019), se optó por fabricar una sola celda experimental la cual en su vista frontal posee una mampostería de ladrillo panelón de 8 cm de altura, 13 cm de ancho y 28 cm de profundidad, con enlucido interior y exterior de mortero de cemento 1:3 con espesor de 1 cm, siendo la tipología de muro más utilizada en la ciudad de Cuenca, pese a contar con una transmitancia térmica de  $2,55 \text{ W/m}^2\text{K}$ , cuando la máxima admisible para esta zona climática según la (NEC, 2014, p.15) es de  $2,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### 2.6.2. Diseño y construcción de celda experimental

Para el diseño se tomó como referencia la celda anteriormente mencionada y se la modificó en función del tamaño propio del panel propuesto, conservando el espesor original de 10 cm de cámara de aire y cambiando el espesor y densidad de 6cm de EPS de  $12 \text{ kg/m}^3$  a 3 cm de EPS de  $25 \text{ kg/m}^3$ ; con esta rectificación se reduce el espesor en las caras rectangulares exterior e interior de la celda.

Debido al menor tamaño de la celda en general, se obtuvo como resultado un prisma rectangular exterior de dimensiones 62 cm de ancho, 72 cm de alto y 69 cm de profundidad, y uno interior de 30 cm de ancho, 40 cm de alto y 30 cm de profundidad como se aprecia en la Figura 2.23.

FIGURA 2.23: Dimensionamiento de Celda Experimental



Nota: Elaboración propia.

Para la construcción de la celda se siguió el procedimiento descrito a continuación:

### Paso 1: Estructura metálica

El armazón está constituido por ángulos de hierro de 2 cm de alto, 2 cm de ancho, 2 mm de espesor y 6 m de largo. Todas las uniones son por medio de soldadura MIG. Para la zona frontal donde se ubicará la mampostería de ladrillo, se generó un marco de lata de 0,7 mm y se le soldó varilla circular de 4 mm de forma irregular para dar un agarre extra entre el mortero de cemento del muro y la estructura, como se observa en la Figura 2.24.

FIGURA 2.24: Fabricación de Estructura Metálica.



*Nota:* Elaboración propia.

### Paso 2: Mampostería de ladrillo

La mampostería consiste en ladrillo macizo de 26 cm de profundidad, 15 cm de ancho y 8 cm de altura, y mortero de dosificación 1:3, con espesor de 2 cm a manera horizontal y vertical, para la unión del ladrillo, y un enlucido de 2 cm interior y exterior, estos detalles se pueden apreciar en la Figura 2.25.

FIGURA 2.25: Colocación de Mampostería



*Nota:* El enlucido se dejó reposar hasta que endureció y seco parcialmente, posteriormente se realizó el curado del enlucido, mojando las superficies cada 8 horas durante 7 días; finalmente se dejó secar durante 3 días más antes de cerrar la celda. Elaboración propia.

### Paso 3: Colocación del EPS

La celda como se muestra en la Figura 2.26, consta de paredes de Poliestireno Expandido (EPS) de 3 cm de espesor. Para la colocación de las planchas, se cortaron las piezas a medida y se introdujeron a presión entre los ángulos para formar el prisma rectangular interior, posteriormente se colocaron las piezas que comprenden el prisma rectangular exterior de la celda, recubriendo nuevamente la estructura con espuma de poliestireno expandido.

Para evitar cualquier infiltración de aire al interior de la celda, se revistió las aristas interiores y exteriores con cinta americana por sus propiedades de adhesión y resistencia a altas y bajas temperaturas.

FIGURA 2.26: Instalación de Paredes de EPS



*Nota:* Elaboración propia.

### Paso 4: Colocación de panel

El panel presente en la Figura 2.27, se hizo con anterioridad permitiendo que este alcance su resistencia final a los 28 días. La colocación del panel en la celda se la realizó con espuma de poliestireno expandido en los apoyos laterales, superior e inferior. Posteriormente se colocó cinta americana para de esta forma sellar cualquier posible abertura.

La celda consta de las siguientes dimensiones: 40 cm de alto, 30 cm de lado y 2 cm de espesor, además, cuenta con un diseño en base a triángulos de diferentes tamaños.

FIGURA 2.27: Instalación de Panel



*Nota:* Elaboración propia.

### Paso 5: Protección de celda experimental

En la Figura 2.28, se puede constatar que la celda se encuentra a la intemperie, por tanto, se optó por colocar una carpa de plástico negro sujeta a ladrillos, evitando así que el EPS reciba la incidencia directa del sol o se moje y modifique los resultados de la prueba.

La celda está levantada del piso gracias a 4 apoyos de metal de 8 cm de altura soldados a la estructura de la celda, por lo que se recubrieron de espuma de polietileno para embalaje (FOAM) para evitar la pérdida de calor por conducción entre los apoyos y el interior de la estructura de la celda.

FIGURA 2.28: Protección de Celda Experimental



*Nota:* Aún con la protección implementada en la celda, esta estuvo sujeta a posibles puentes térmicos, producto de su estructura metálica lo cual pudo alterar parcialmente los resultados obtenidos en esta prueba. Elaboración propia.

### 2.6.3. Cálculo de transmitancia térmica de la celda experimental (Nch 853:2007 e IRAM 11601)

La transmitancia térmica ( $U$ ) es igual a  $1/R$ ; en la Tabla 2.20 se encuentran los conceptos y formulas requeridas para su cálculo. Para obtener el valor de la resistencia térmica ( $R$ ), es preciso conocer el valor de la conductividad térmica ( $\lambda$ ) del poliestireno expandido de  $25 \text{ kg/m}^3$ , material que es utilizado en las 5 caras de la celda, dato que según Azqueta (2014) es  $0,033 \text{ W/mK}$ . Se utilizará el mismo cálculo, fórmula y valores aplicados en el Apartado 2.5 de este trabajo de titulación.

En la siguiente tabla se muestra el cálculo de la transmitancia térmica de las 5 caras de la celda experimental, exceptuando la cara frontal donde se colocará el muro de mampostería de ladrillo con doble revestimiento, para el respectivo ensayo.

Tabla 2.20: Transmitancia Térmica de Celda Experimental

Transmitancia Térmica ( $\text{W/m}^2\text{k}$ )			
Paquete Constructivo	Pared con capa de EPS de 3 cm interior y exterior con cámara de aire no ventilada de 10 cm		
Material	Espesor (m)	Conductividad Térmica $\lambda$ ( $\text{W/mk}$ )	Resistencia Térmica $R = E/\lambda$ ( $\text{m}^2\text{k/W}$ )
Capa de EPS interior 3 cm	0,03	0,033	0,909
Cámara de aire no ventilada 10 cm	0,10	–	0,17
Capa de EPS exterior 3 cm	0,03	0,033	0,909
Resistencia térmica total RT			2,158
FACTOR U ( $1/RT$ ) $\text{W/km}^2$			0,463

*Nota:* La fórmula utilizada para el cálculo es  $R_t = R_{si} + R_i + R_g + R_e + R_{se}$ , y los valores para la cámara de aire no ventilada de 100 mm:  $R_g = 0,17$ ,  $R_{se} = 0,04$  y  $R_{si} = 0,13$ . Información que se encuentra en el Apéndice C. Elaboración propia.

La transmitancia térmica total de  $U = 0,463 \text{ W/m}^2\text{K}$ , representa el 29,70% de la máxima transmitancia térmica admisible para muros sobre nivel del suelo en la ciudad de Cuenca. Con esto se constata que el flujo de calor en la celda se dará por su cara frontal de mampostería de ladrillo de 15 cm con doble enlucido, lo que permitirá realizar una comparación efectiva de la temperatura dentro y fuera de la celda.

## 2.7. Ensayo de comportamiento térmico de campo

### 2.7.1. Consideraciones previas al ensayo

Para este ensayo experimental se seleccionó un lapso de tiempo dividido en dos categorías, una con revestimiento y la otra sin revestimiento, información descrita en la Tabla 2.21.

Tabla 2.21: Cronograma de Ensayo Térmico

Con Revestimiento		Sin Revestimiento	
Fecha de inicio	Fecha de culminación	Fecha de inicio	Fecha de culminación
13/09/2021	16/09/2021	17/09/2021	20/09/2021

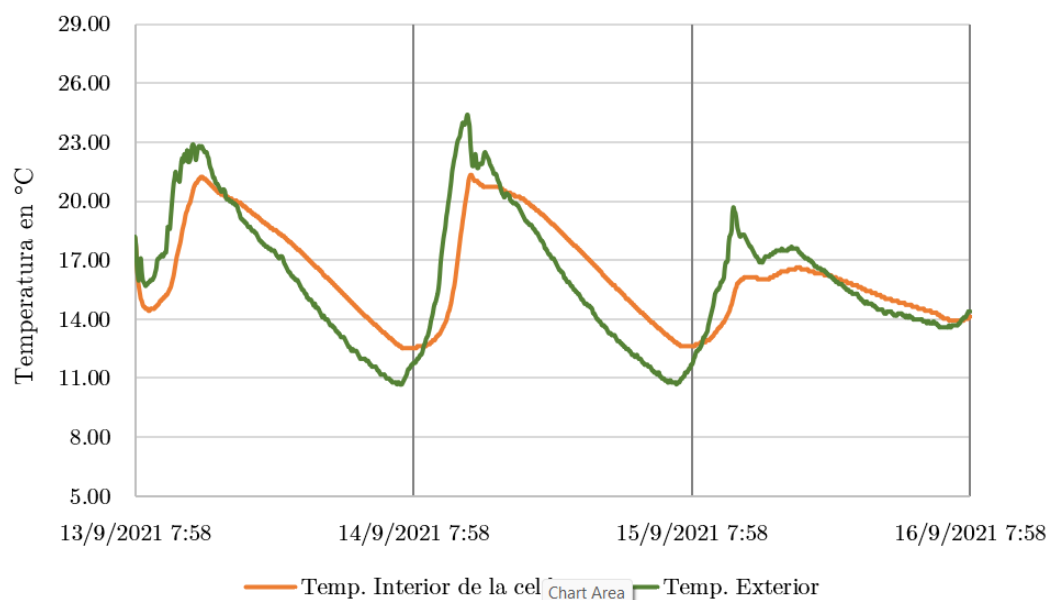
*Nota:* Ambos ensayos iniciaron y culminaron a las 07:58 am. Elaboración propia.

Para las mediciones de la temperatura y la humedad, se utilizó sensores Testo 174 - H Datalogger cubiertos de la lluvia y sol, colocando uno al interior y otro al exterior de la celda. De esta forma, se busca simular el comportamiento térmico de una casa con mampostería típica de ladrillo, en contraste con un sistema constructivo de mampostería que incluye el uso del revestimiento propuesto desarrollado en el Capítulo 4 de este trabajo de investigación; Con esto se pretende atenuar las oscilaciones térmicas, principalmente en los picos de mayor y menor temperatura, a favor del confort térmico.

### 2.7.2. Primera fase: Celda con revestimiento

En la Figura 2.29, se representa gráficamente los resultados obtenidos por los sensores en la primera fase del ensayo.

FIGURA 2.29: Resultados de la Prueba Térmica en la Celda con Revestimiento



*Nota:* Elaboración propia.

En la gráfica se aprecia que la temperatura al interior de la celda posee una oscilación térmica con picos menos pronunciados, en comparación a la temperatura del aire captado por el sensor exterior. En la Tabla 2.22, se sintetiza la información de esta gráfica, que tiene

el objetivo de determinar cuántos grados celsius en promedio se atenúan las oscilaciones térmicas durante los 3 días de evaluación.

Tabla 2.22: Reducción de las oscilaciones térmicas registradas en la celda con revestimiento

		Temperatura máxima	Temperatura mínima	Diferencia de temperatura	Reducción de oscilación térmica
<b>Día 1</b>	S.E	22,90 °C	10,70 °C	12,20 °C	3,50 °C
	S.I	21,20 °C	12,50 °C	8,70 °C	
<b>Día 2</b>	S.E	24,00 °C	10,80 °C	13,20 °C	4,40 °C
	S.I	21,30 °C	12,50 °C	8,80 °C	
<b>Día 3</b>	S.E	19,70 °C	11,70 °C	8,00 °C	4,00 °C
	S.I	16,60 °C	12,60 °C	4,00 °C	
<b>Promedio de reducción térmica</b>					<b>3,97 °C</b>

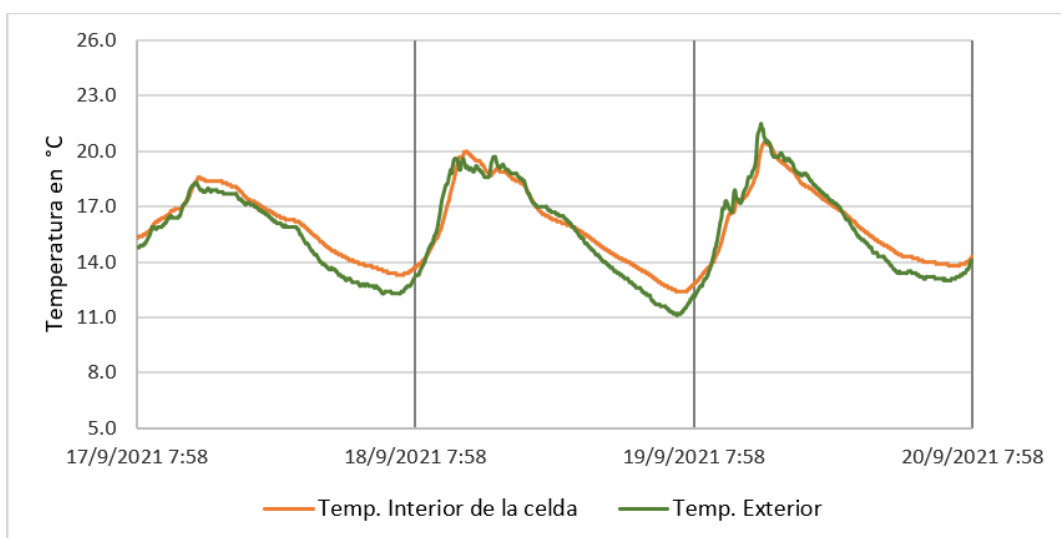
*Nota:* S.E y S.I hace referencia a sensor exterior y sensor interior, respectivamente. Los valores proceden de la Tabla D 1. Elaboración propia.

Las oscilaciones térmicas durante los días evaluados se atenuaron en promedio 3,97 °C, valor que representaría una clara mejora en el comportamiento térmico de los espacios interiores de las viviendas cuencanas.

### 2.7.3. Segunda fase: Celda sin revestimiento

La Figura 2.30, representa gráficamente los resultados obtenidos por los sensores en la segunda fase del ensayo.

FIGURA 2.30: Resultados de la Prueba Térmica en la Celda sin Revestimiento



*Nota:* Elaboración propia.

En esta grafica se aprecia como durante los días en los que se llevó a cabo el ensayo, la temperatura no se elevó a excepción de un breve pico durante el tercer día, y al contrario si existieron lapsos de tiempo prolongados durante los 3 días de medición, en los que se registraron temperaturas bajas. Además, la temperatura registrada al interior de la celda no varía significativamente con la temperatura medida en el exterior de la misma, por lo que es evidente que, durante los meses de temperaturas muy bajas o altas, los beneficios de un muro sin revestimiento serán ínfimos.

En la Tabla 2.23 se busca determinar cuántos grados celsius en promedio se atenúan las oscilaciones térmicas durante los 3 días de evaluación.

Tabla 2.23: Reducción de las oscilaciones térmicas registradas en la celda sin revestimiento

		Temperatura máxima	Temperatura mínima	Diferencia de temperatura	Reducción de oscilación térmica
<b>Día 1</b>	S.E	18,30 °C	12,30 °C	6,00 °C	0,70 °C
	S.I	18,60 °C	13,30 °C	5,30 °C	
<b>Día 2</b>	S.E	19,60 °C	11,20 °C	8,40 °C	0,80 °C
	S.I	20,00 °C	12,40 °C	7,60 °C	
<b>Día 3</b>	S.E	21,50 °C	12,10 °C	9,40 °C	1,70 °C
	S.I	20,50 °C	12,80 °C	7,70 °C	
<b>Promedio de reducción térmica</b>					<b>1,07 °C</b>

*Nota:* S.E y S.I hace referencia a sensor exterior y sensor interior, respectivamente Los valores proceden de la Tabla D 2. Elaboración propia.

Las oscilaciones térmicas durante los días evaluados se atenuaron en promedio 1,07 °C, valor que representa solo una fracción del 26,95 % del beneficio que se obtiene con el uso del revestimiento propuesto, demostrando así la eficacia del sistema constructivo experimental con paneles de RCD de ladrillo expuesto en este trabajo de titulación. Cabe recalcar que durante el ensayo la celda experimental pudo haber sido afectada por puentes térmicos producto de su estructura metálica o infiltraciones que lograran alterar parcialmente los resultados obtenidos en este ensayo.

## Construcción y montaje del sistema constructivo de revestimiento

### 3.1. Consideraciones previas al desarrollo del sistema constructivo

Para la elección de un sistema constructivo que aporte los mayores beneficios térmicos y estéticos a la fachada de una edificación, se consideraron los principales métodos aplicables posibles presentes en la Tabla 3.1, como: revestimientos con pegamento cementicio sin cámara de aire, fachada ventilada y la fachada con cámara de aire estanco.

Tabla 3.1: Comparativa de Referentes.

	Fachada con cámara de aire Ventilada	Fachada con pegamento cementicio	Fachada con cámara de aire Estanco
Rápida instalación	2	0	2
Sencillo reemplazo de piezas	2	0	2
Aumenta la resistencia térmica	2	1	2
Permite remover el sistema constructivo	2	0	2
Preferencia de uso en climas fríos	0	1	2
Preferencia de uso en climas cálidos	2	1	1
Admite el uso de materiales aislantes	0	0	2
<b>TOTAL</b>	10	3	13

*Nota:* La puntuación va del 0 al 2, donde 0 = Nada, 1 = Poco y 2 = Mucho. Elaboración propia.

Los sistemas constructivos más eficientes para su aplicación dentro de la ciudad de Cuenca, según los parámetros seleccionados son fachada con cámara de aire ventilada y fachada con cámara de aire estanco. Dichos sistemas presentan características excepcionales las cuales se especifican en la Tabla 3.2.

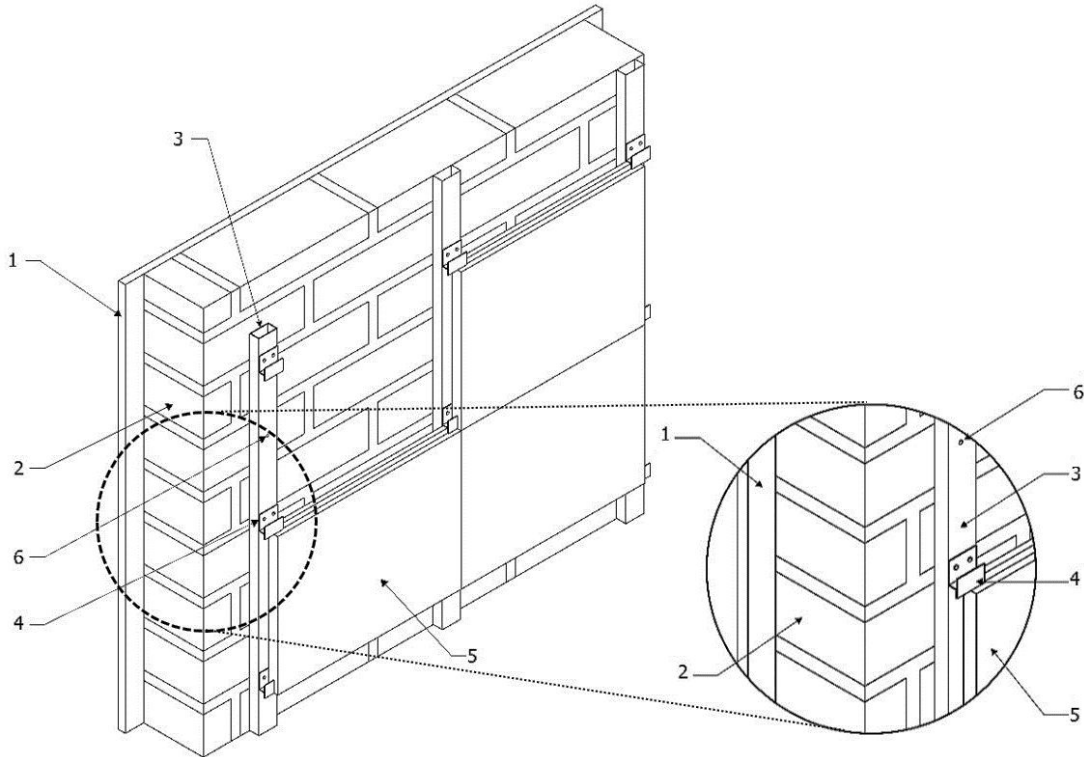
Tabla 3.2: Selección de Envolverte para la Ciudad de Cuenca.

	Fachada ventilada	Fachada no ventilada
<b>COMPARACIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdida considerable de calor por refrigeración por renovación de aire durante los meses más fríos.</li> <li>- Limitada ganancia térmica en los meses más calurosos del año.</li> <li>- El comportamiento refrigerante del sistema permite perder calor reduciendo así la demanda energética de refrigeración de la edificación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitada pérdida calórica por cámara de aire estanco durante los meses más fríos, puede incluir aislante térmico en la cámara de aire.</li> <li>- Trasmisión térmica baja en los meses más calurosos del año, permitiendo ambientes más frescos.</li> <li>- Este tipo de fachada con aire estanco, conservará el calor de forma más eficiente dentro de la edificación reduciendo la demanda energética por calefacción.</li> </ul>
<b>CONCLUSIÓN</b>	<p>Según esta breve comparación del comportamiento de estos dos sistemas, se pudo comprobar que, por sus características propias, la fachada ventilada se comporta mejor en climas cálidos y a su vez la fachada no ventilada o con cámara de aire estanco, funciona de manera más eficiente en climas fríos, siendo la opción idónea para su aplicación dentro de la ciudad de Cuenca.</p>	

*Nota:* Recuperado de [Maroto \(2014\)](#). Elaboración Propia.

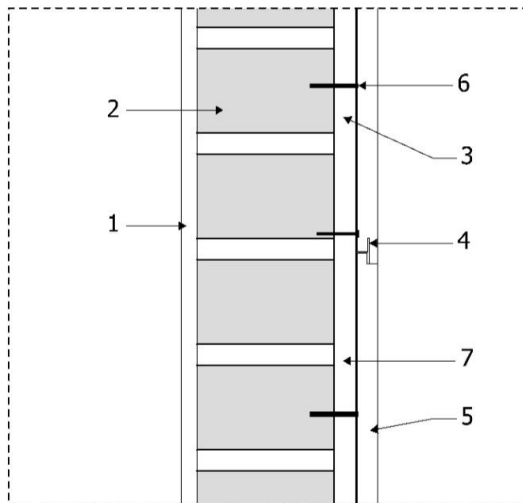
### 3.2. Detalle constructivo propuesta de montaje A

FIGURA 3.1: Detalle Constructivo de Anclaje A.



Nota: Elaboración propia.

FIGURA 3.2: Anclaje A: Corte Lateral

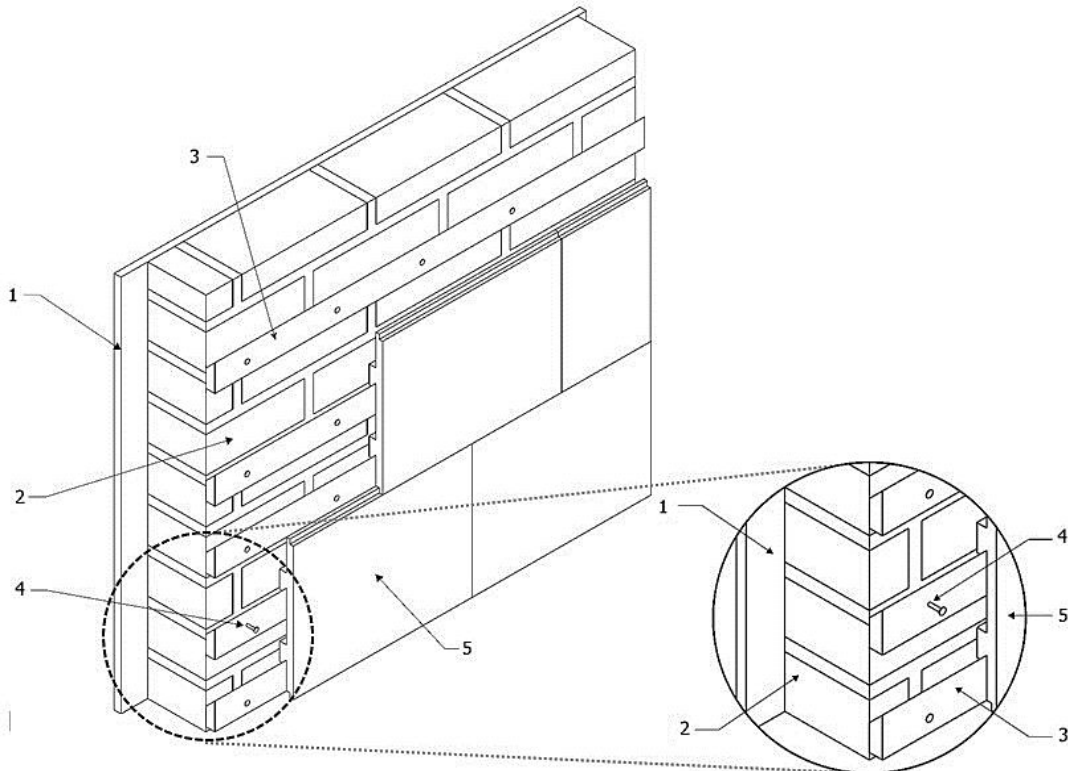


Nota: Elaboración propia.

Materiales	
1	Enlucido Interior 1,5 cm
2	Ladrillo panelón 8x13x28 cm
3	Caja de acero galvanizado vertical de 2x4 cm
4	Sujeción T de acero galvanizado con taco Fisher y tornillos
5	Panel revestimiento de RCD 2x30x40 cm
6	Taco Fisher y tornillo cabeza plana 1"
7	Cámara de aire 0,5 cm

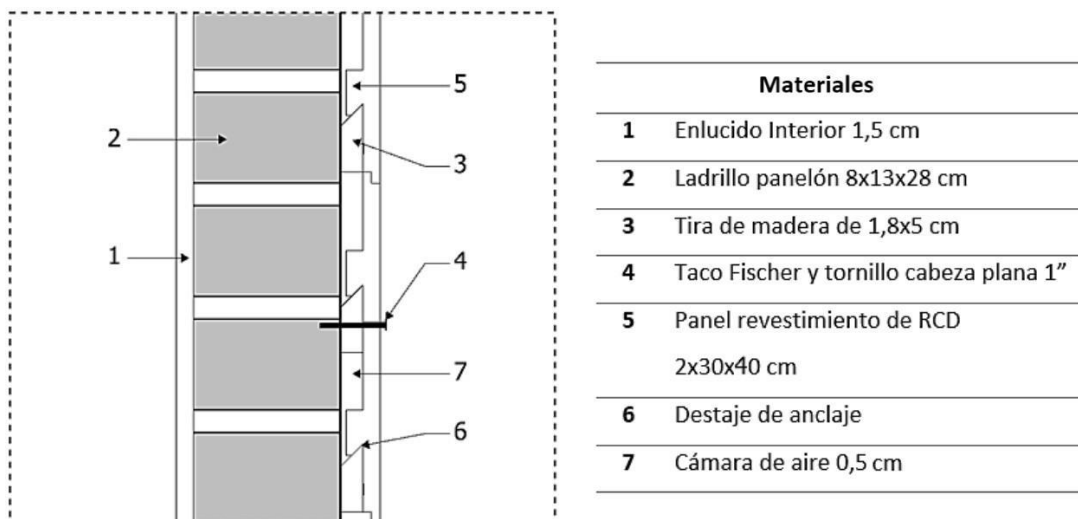
### 3.3. Detalle constructivo propuesta de montaje B

FIGURA 3.3: Detalle Constructivo de Anclaje B.



Nota: Elaboración propia.

FIGURA 3.4: Anclaje B: Corte Lateral



Nota: Elaboración propia.

Se puede observar que el sistema constructivo de montaje A cuya estructura de parantes verticales de acero galvanizado posee materiales con mayor energía incorporada,

en contraposición al sistema de anclaje B el cual hace uso de tiras de madera como soportes horizontales, lo cual lo hace un producto eco amigable y al mismo tiempo evita en mayor medida los puentes térmicos por la baja conductividad térmica de sus materiales. Adicionalmente la configuración formal del panel sobre el sistema de montaje B requiere una menor cantidad de elementos, favoreciendo una instalación simple y rápida. Se concluye que este último sistema de montaje B tiene mejores características, por lo que se realizará a continuación el análisis de precios unitarios.

### **3.4. Análisis de precios unitarios del sistema de montaje B**

A continuación, en la Tabla 2.16 se detalla el costo aproximado por  $m^2$  del revestimiento propuesto elaborado con la dosificación D, la cual contiene una relación cemento - árido 1:4 y está elaborada con el 100 % de árido triturado de RCD de ladrillo, además se incluye todos los materiales necesarios para el anclaje del revestimiento.

Al no contar hoy en día con plantas nacionales para el tratamiento de los RCD en el país, el costo aproximado de este material ya tratado, se estimó en base a casos referentes de plantas de tratamiento internacionales de RCD, incrementando el 30 % sobre el costo del árido natural. (Pacheco y Fuentes, 2017).

Tabla 3.3: Instalación por  $m^2$  de Revestimiento a Base de RCD para Sistema Constructivo B

<b>Precio Unitario</b>				
<b>Rendimiento (1 / <math>m^2</math> realizados/8h):</b>		0,20		
<b>Materiales:</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (USD)	Total
Panel de revestimiento en base a RCD	$m^2$	1	12,351	12,351
Tornillos de 1 $\frac{1}{2}$ "	Unidad	12	0,030	0,360
Taco Fischer F8	Unidad	12	0,030	0,360
Tiras de Madera de 5 cm x 0,18 cm en corte a 45°	m	6	0,650	3,900
Empore Groutex Fino Intaco	kg	0,188	0,965	0,181
<b>Mano de Obra (Cantidad x Precio x Rendimiento):</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (USD)	Total
Albañil 1	Hora	1	3,87	0,774
Albañil 2	Hora	1	3,87	0,774
Albañil 3	Hora	1	3,87	0,774
<b>Equipos (para andamios: Cantidad x Precio x Rendimiento):</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (USD)	Total
Andamios	Hora	1	0,750	0,240
<b>Herramienta menor (5 % de la mano de obra)</b>				0,124
<b>Subtotal</b>				19,741
<b>Ganancia (20 %)</b>				3,948
<b>Total</b>				23,689

*Nota:* Para determinar el rendimiento de la aplicación de este sistema constructivo, se realizó una encuesta verbal a 5 maestros de obra, los cuales pudieron estimar la cantidad de  $m^2$  de revestimiento instalados en una jornada laboral de 8 horas con 3 albañiles, dando un resultado de 40  $m^2$  aproximadamente.

El revestimiento presenta características únicas, como una textura en relieve que se puede personalizar y que es imposible de replicar por la cerámica o porcelanato, además es de color continuo monolítico que permite realizar cortes a la pieza conservando el color en el proceso. La cromática del elemento puede variar según se requiera, ya que no interfiere con sus cualidades físicas.

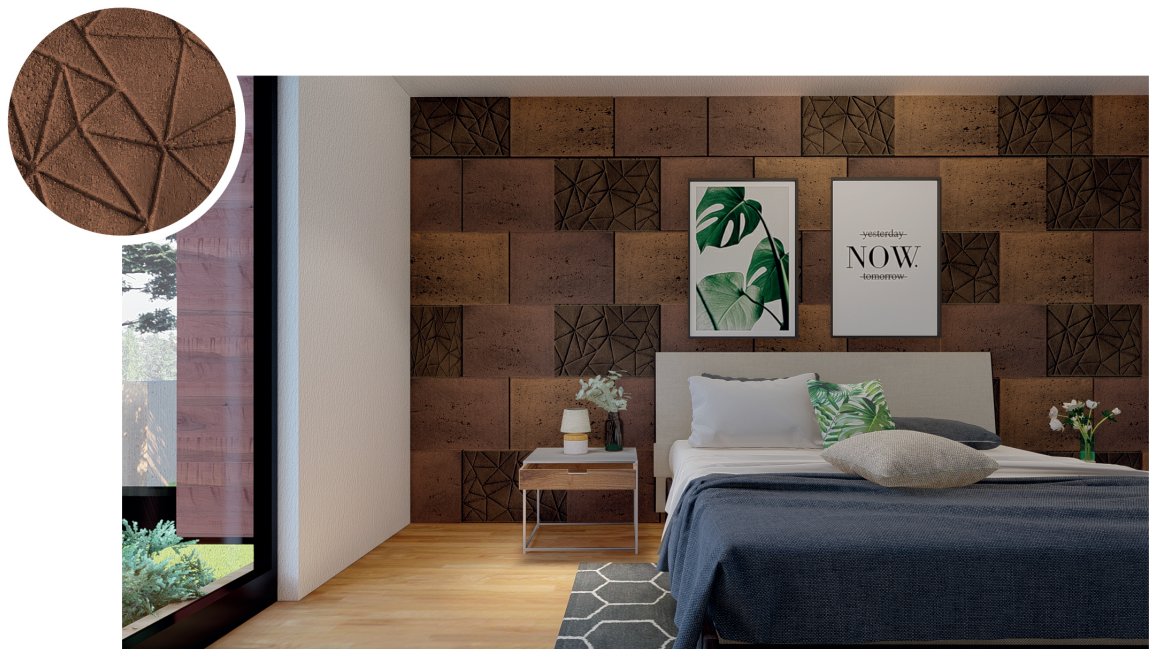
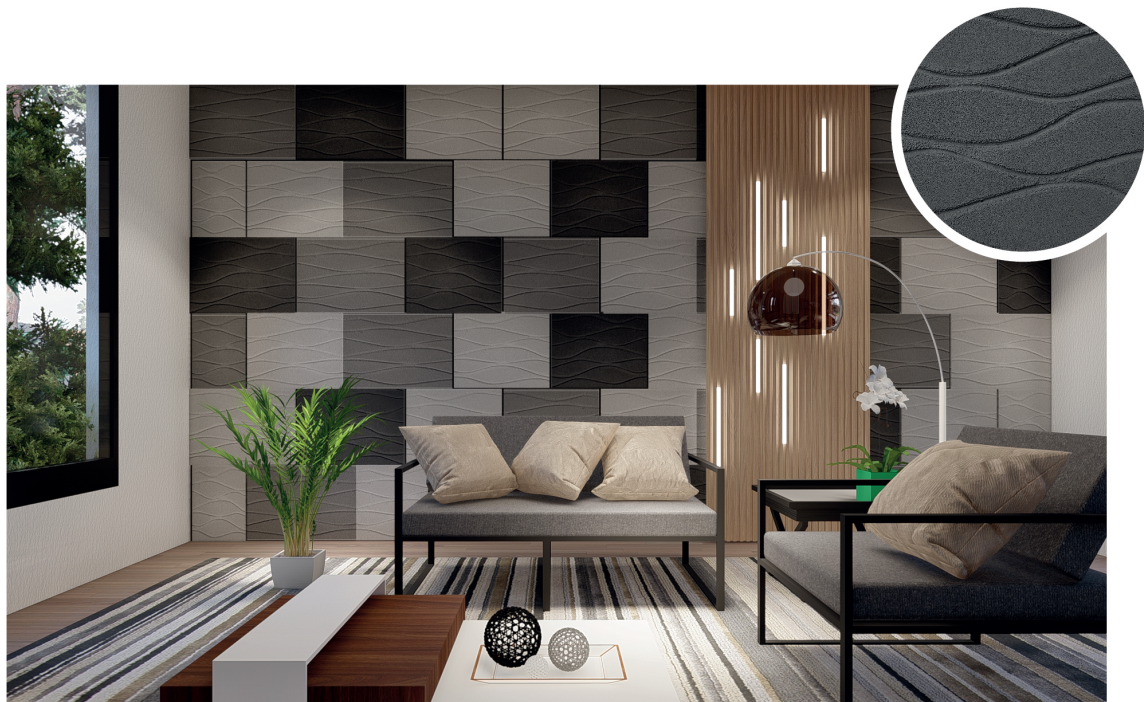
Un aspecto destacable de la propuesta de revestimiento es su bajo impacto ambiental producto de sus 2 estrategias eco-amigables que se detallan a continuación.

- Primera: La utilización del cascote de ladrillo como árido, ocasiona que por cada m<sup>3</sup> de mezcla generada para la producción de paneles de revestimiento se intercepten 1,026 toneladas de RCD de ladrillo que ya no terminará en las escombreras municipales, ampliando su vida útil.
- Segunda: La instalación del revestimiento en base a un sistema constructivo sin pegamento cementicio, reduce el impacto ambiental de una edificación al eliminar el mortero de cemento utilizado de forma masiva para revestir muros o aplicar cerámica, piedra porcelanato u otro tipo de revestimiento similar, ya que como mencionan [Torres-Quezada et al. \(2022\)](#) en su trabajo *The evolution of embodied energy in andean residential buildings. Methodology applied to Cuenca-Ecuador*, el mortero de cemento como envolvente representa una de las principales causas de la elevada energía incorporada registrada en las edificaciones de la ciudad de Cuenca.

Cabe recalcar que, los materiales de construcción para revestimiento que se encuentran en el entorno local como el porcelanato que posee un  $\lambda$  de 0,81 W/mK, la piedra 0,55 W/mK, los paneles de hormigón prefabricado 1,40 W/mK y los paneles de fibrocemento 0,93 W/mK [NEC \(2018\)](#), se consideran materiales no aislantes, a su vez la cerámica que es uno de los revestimientos más accesibles y populares posee una conductividad térmica de 0,80 W/mK [J. Prieto \(s.f\)](#), por lo que no mejora el comportamiento térmico de una vivienda. Este beneficio si se consigue con el revestimiento propuesto, gracias a que su densidad de 1271,3 kg/m<sup>3</sup> aligera el material creando porosidades que encapsulan el aire dentro del panel resultando en una conductividad térmica de 0,218 W/mK como se muestra en el Anexo E.

### 3.5. Fotomontaje digital

FIGURA 3.5: Fotomontaje Digital de Revestimiento Interior



*Nota:* Simulación interior de montaje de los revestimientos en viviendas. Elaboración propia.

FIGURA 3.6: Fotomontaje Digital de Revestimiento Exterior



*Nota:* Simulación exterior de montaje de los revestimientos en viviendas. Elaboración propia.

## Conclusiones

- El comportamiento mecánico obtenido en los ensayos de compresión y flexión de distintas dosificaciones permitieron validar el uso del RCD de ladrillo triturado como un sustituto a los agregados tradicionales (árido fino), inclusive en un porcentaje del 100 %, alcanzado adecuados niveles de resistencia para la conformación de paneles de revestimiento.
- La densidad obtenida por el método del picnómetro muestra que el cascote de ladrillo triturado es menos denso que la arena tradicional, permitiendo obtener morteros más ligeros y al mismo tiempo resistentes.
- La configuración formal del anclaje del panel permite su rápida instalación en obra y además dota una cámara posterior de aire estanco usada como estrategia pasiva bio-climática de aislación térmica. El uso de moldes permitió la rápida fabricación y obtención de diferentes acabados y texturas.
- El ensayo de conductividad térmica elaborado sobre el panel de revestimiento permitió determinar el valor real del factor U de transmitancia térmica de los paquetes constructivos que no satisfacían los requerimientos establecidos por la normativa NEC para muros sobre terreno en la zona climática 3; dando como resultado valores de  $1,841 \text{ W/km}^2$  para mampostería de ladrillo de 15 cm con doble enlucido,  $1,912 \text{ W/km}^2$  para mampostería de ladrillo de 15 cm sin revestimiento y  $1,695 \text{ W/km}^2$  para muros de bloque de 15 cm con doble enlucido, valores que se encuentran dentro del rango establecido para un comportamiento térmico óptimo.
- El ensayo de comportamiento térmico llevado a cabo en la celda experimental permitió constatar que el uso del panel propuesto reduce las oscilaciones térmicas bruscas en  $3,97 \text{ }^\circ\text{C}$ , mientras que sin el revestimiento las oscilaciones se atenúan tan solo  $1,07 \text{ }^\circ\text{C}$ , lo que demuestra el beneficio existente en la propuesta de revestimiento expuesta en este trabajo de investigación que funcionará como estrategia pasiva al mejorar el comportamiento térmico dentro de un espacio interior, evitando así el uso de acondicionamiento térmico en un espacio interior.
- El sistema constructivo en base a un panel de RCD de ladrillo como árido utiliza 1,026 toneladas de ladrillo reciclado por cada  $\text{m}^3$  de mezcla para revestimiento lo cual reduce el material que termina en las escombreras municipales ampliando su vida útil, al mismo tiempo el sistema constructivo sin pegamento cementicio disminuye considerablemente la energía incorporada de una edificación obteniendo un revestimiento de bajo impacto ambiental con un costo por  $\text{m}^2$  de instalación de 23,689 \$, resultando ser accesible para la comunidad cuencana.

## Recomendaciones

- Se recomienda para futuras investigaciones la utilización del RCD como remplazo al árido tradicional de arena, tanto en la conformación de elementos de baja sollicitación físico mecánica como también a nivel estructural, siendo una estrategia clave para promover una arquitectura sustentable y la sobreexplotación de los recursos naturales.
- Se recomienda para el desarrollo de futuras dosificaciones de mortero con RCD la inclusión de otros materiales aislantes para su análisis de conductividad térmica, que permitan incrementar la resistencia térmica del material.
- Para futuras investigaciones en el desarrollo de morteros, se recomienda reducir la cantidad de cemento en la mezcla mediante el reemplazo parcial del mismo, con ladrillo pulverizado con un tamaño de partícula inferior a 45 micras como lo especifica [Sánchez de Rojas \*et al.\* \(2005\)](#).
- Será importante considerar la inclusión de materiales aislantes como remplazo de la cámara de aire para edificaciones cuyas ubicaciones requieran de una menor transmitancia térmica.
- Se debe considerar previo al diseño y planificación de un proyecto arquitectónico todas las estrategias bioclimáticas pasivas utilizables, tanto a nivel de orientación y posicionamiento de la edificación como también de la selección de los materiales de las envolventes horizontales (pisos y cubiertas) y verticales (muros, ventanas y puertas).
- Aún con la protección implementada en la celda experimental para el ensayo de campo, esta pudo propiciar la aparición de puentes térmicos, producto de su estructura metálica, lo que pudo alterar parcialmente los valores obtenidos de esta prueba experimental; se recomienda el uso de materiales menos conductores.
- Se recomienda colocar la superficie plana del acabado en el fondo del molde, para evitar que el terminado final genere una capa fina, brillante y grisácea, debido a que el agua eleva las partículas más finas del árido y el cemento, distorsionando la estética de los revestimientos.

### Referencias Bibliográficas

- Adhesivos y Pegamentos. (2019). *AzuPega, Adhesivos y Pegamentos. Mucho más que pegamentos. Azucolor*. <http://azupega.ec/azucolor/>
- AENOR. (2006). *UNE-EN-12467:2006/A2. Placas planas de fibrocemento. Especificaciones del producto y métodos de ensayo*. Madrid.
- AENOR. (2018). *UNE-EN 998-1. Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido*. Madrid.
- ALDA. (s.f). *Museo IBERO / EDDEA*. <http://azupega.ec/azucolor/>
- Azqueta, P. (2014, abril). Manual Práctico del Aislamiento Térmico en la Construcción. EPS – Poliestireno Expandido. *Asociación Argentina del Poliestireno Expandido*.
- Baquero, M., y Quesada, F. (2016, 22 de diciembre). Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 7(2), 147—165. doi: <https://doi.org/10.18537/mskn.07.02.11>
- Bautista, J., y Huacho, J. (2017). *Evaluación del aislamiento térmico de un tanque refrigerado mediante coeficiente global de transferencia de calor* (Tesis de Grado). Universidad Nacional del Centro de Perú.
- Bernal, D. (2019). *Estrategias pasivas de ventilación natural en la envolvente de un modelo de edificación dotacional, para el mejoramiento del confort térmico en la ciudad de Bogotá* (Tesis de Maestría). Universidad Católica de Colombia.
- Bicubik Architectural Photography. (2018). *Casas del Ciprés*. <https://www.bicubik.photo/projects/casas-del-cipres/>
- Bolaños, J. (2015). *Estudio del uso de materiales reciclados como hormigones, cerámicas y otros productos de derrocamiento o desperdicio de obra como agregados para un hormigón* (Tesis de Grado, Universidad Internacional Del Ecuador). <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2197/1/T-UIDE-1246.pdf>
- Cabeza, L., Barreneche, C., Miró, L., Josep, M., Bartolí, E., y Inés, F. (2013). Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 536–542. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.017>
- Cabrera Rojas, G., y Quihpe, J. (2020). *Rehabilitación arquitectónica: La “Casa de Las Posadas”, Cuenca, Ecuador. Recuperando el Patrimonio y adaptándolo a nuevo uso*. <https://arquitecturayempresa.es/noticia/rehabilitacion-arquitectonica-la-casa-de-las-posadas-cuencaecuador>
- Cantor, B., y Mateus, N. (2019). *Modelos implementados en el manejo, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de residuos de construcción y demolición en Latinoamérica* (Tesis de Grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, Bogotá.
- Carrasco, R. (2018). *Aplicación del uso de los residuos de construcción para la fabrica-*

- 
- ción de bloques de hormigón en la ciudad de Riobamba, análisis de costo e impacto ambiental* (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO. (2005, 2 de febrero). Directrices Prácticas para la aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial. *Textos básicos de la Convención del Patrimonio Mundial de 1972*, 176. <https://whc.unesco.org/archive/opguide05-es.pdf>
- Chan López, D. (2010). Principios de arquitectura sustentable y la vivienda de interés social. Caso: la vivienda de interés social en la ciudad de Mexicali, Baja California. México. En *6to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Mexicali, 5, 6 y 7 Octubre 2010*. doi: doi:10.5821/ctv.7687<https://core.ac.uk/download/41793489.pdf>
- Chicaiza, V. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre bloques tradicionales y bloques elaborados con poliestireno expandido granular y bloques elaborados con tusa de maíz triturado como sustituto parcial del agregado grueso* (Tesis de Grado). Universidad Técnica de Ambato.
- Comunidad de Madrid. (2015). *Plan Regional de Residuos de Construcción y Demolición (2006-2016)*. [https://www.comunidad.madrid/transparencia/sites/default/files/plan/document/237\\_210\\_plan\\_regional\\_rcd\\_0.pdf](https://www.comunidad.madrid/transparencia/sites/default/files/plan/document/237_210_plan_regional_rcd_0.pdf)
- Conforme-Zambrano, G., y Castro-Mero, J. (2020). Polo del Conocimiento. Arquitectura bioclimática. *Revista Científico-Académica Multidisciplinaria*, 5(3), 751–779. doi: 10.23857/pc.v5i3.1381
- Contraloría General del Estado. (2022). *Reajuste de precios - salario mínimo por ley*. <https://www.contraloria.gob.ec/WFDescarga.aspx?id=2755&tipo=doc>
- Cordero, X., y Guillén, V. (2013). Diseño y validación de vivienda bioclimática para la ciudad de Cuenca. *Estoa. Revista de la Facultad de arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 2(2), 61–75.
- Cárdenas, V. (2019). *Comportamiento térmico de envolventes multicapa basados en ladrillo para el medio físico-ambiental de Cuenca* (Tesis de Grado). Universidad del Azuay.
- EDFAN. (2021). *Ficha Técnica. Producto: Placas de Cemento ZATOH*. <https://docplayer.es/73993573-Ficha-tecnica-producto-placas-de-cemento-zatoh.html>
- El Universo. (2010, 19 de mayo). Cerámica vuelve a subir el costo de construcción. *El Universo*. <https://www.eluniverso.com/2010/05/19/1/1356/ceramica-vuelve-subir-costo-construccion.html/>
- EMAC EP. (2020, 07 de mayo). *Damos conocer a la ciudadanía la ubicación temporal del Servicio de Escombrera. Más detalles [Imagen adjunta] [Publicación de estado]*. Facebook. <https://www.facebook.com/333001433491186/photos/a.337316039726392/1942962592495054/?type=3&theater>
- EMAC EP. (2022, 10 de enero). *Trabajamos en la limpieza de escombros en la zona de El Café y Tablón de Miraflores; además, en las calles Tweet*. Twitter. [https://twitter.com/emac\\_ep/status/1480607952050561029?s=20](https://twitter.com/emac_ep/status/1480607952050561029?s=20)
- Encalada, P. (2013). *Estudio de desempeño y eficiencia energética en los edificios de la Universidad de Cuenca* (Tesis de maestría, Universidad de Cuenca). <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/539>
-

- 
- Esculturas y Monumentos. (2019). *Aprende todo sobre la Catedral de la Inmaculada Concepción de Cuenca*. <http://esculturasymonumentos.com/c-ecuador/catedral-de-la-inmaculada-concepcion-de-cuenca/>
- Esperanza, K. (2018, 11 de julio). Sector constructor genera 50% de emisiones contaminantes. *Centro Urbano*. <https://centrourbano.com/construccion/constructor-genera-50-contaminantes/>
- Espinoza, J. (2019). Estándares de sustentabilidad para viviendas patrimoniales del centro histórico de Cuenca – Ecuador. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 8(15), 70. doi: <https://doi.org/10.18537/est.v008.n015.a06>.
- Galindo, T. (2017). *El rol moderador de factores individuales y sociales en la percepción térmica exterior de los usuarios de las márgenes del río Tomebamba* (Tesis de Maestría). Universidad de Cuenca.
- González, F. (2012). *Análisis del ciclo de vida de materiales de construcción convencionales y alternativos* (Tesis de Grado). Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Google y Maxar Technologies. (s.f.). *Mapa de las coordenadas - 2.8900835120257384, -78.94834287910808*. <https://earth.google.com/web/search/-2.8902810823673364,+78.94832943623716/@-2.88906952,-78.94803851,2582.73680047a,589.25180349d,35y,-69.99339968h,0t,360r/data=CigiJgokCZW7LQqrGzVAEZa7LQqrGzXAGQ66Zcyk8zZAIUncTb0gBVTA>
- Guillén, V., y Orellana, D. (2017, octubre). Un acercamiento a caracterizar la isla de calor en Cuenca, Ecuador. *Revista Interuniversitaria de Estudios Urbanos de Ecuador*(1), 71–84. <http://hdl.handle.net/10469/15805>
- Guillén, V., y Quesada, F. (2015). Assessment model of energy performance in housing of Cuenca, Ecuador. *Ain Shams Engineering Journal*, 10(4), 897–905. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.03.010>.
- Guzmán, D., y Iñiguez, J. (2015). *Estudio de una propuesta de mejoramiento del sistema constructivo adobe* (Tesis de Grado). Universidad de Cuenca.
- Hidalgo, C. (2018). *Arquitectura bioclimática en el páramo andino de Ecuador: mejora térmica-energética de materiales como envolvente en la vivienda social* (Tesis de Maestría). Universidad de Cuenca.
- Holcim Ecuador S.A. (2015). *Holcim Fuerte. Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general*. [https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO\\_GU\\_G.pdf](https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO_GU_G.pdf)
- INEC. (2015). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2015). Compendio de Resultados - Encuesta Condiciones de Vida ECV - Sexta Ronda 2015*. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/ECV/ECV\\_2015/documentos/ECV%20COMPENDIO%20LIBRO.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/ECV/ECV_2015/documentos/ECV%20COMPENDIO%20LIBRO.pdf)
- INEC. (2020a). *Boletín Técnico N°01-2019-ENED”. Encuesta de Edificaciones, 2018. Minería, manufactura y construcción. Dirección de Estadísticas Económicas*. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Encuesta\\_Edificaciones/2018/2018\\_ENED\\_BOLETIN.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2018/2018_ENED_BOLETIN.pdf)
- INEC. (2020b). *Boletín Técnico N°-01-2020-MA-ENESEM”. Modulo Ambiental de la Encuesta Estructural Empresarial /ENESEM), año 2018.Ambiente. Dirección de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales – DEAGA*. <https://www.ecuadorencifras>
-

- 
- [.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/EMPRESAS/Empresas\\_2018/Boletin%20Tecnico-Modulo%20Ambiental%20ENESEM%202018.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/EMPRESAS/Empresas_2018/Boletin%20Tecnico-Modulo%20Ambiental%20ENESEM%202018.pdf)
- INEN. (1977). *NTE INEN 297:1977. Ladrillos cerámicos* (1.<sup>a</sup> ed.). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/297.pdf>
- INEN. (1987). *NTE INEN 198:1987. Cementos. Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros* (1.<sup>a</sup> ed.). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/198.pdf>
- INEN. (2009). *NTE INEN 488:2009. Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista* (1.<sup>a</sup> ed.). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/488.pdf>
- INEN. (2010a). *NTE INEN 2518:2010. Morteros para unidades de mampostería. Requisitos* (1.<sup>a</sup> ed.). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2518.pdf>
- INEN. (2010b). *NTE INEN 2536:2010. Áridos para uso en morteros para mampostería. Requisitos* (1.<sup>a</sup> ed.). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2536.pdf>
- INEN. (2010c). *NTE INEN 694:2010. Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología* (1.<sup>a</sup> ed.). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/694-1.pdf>
- INEN. (2010d). *NTE INEN 856:2010. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino* (1.<sup>a</sup> ed.). [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE\\_INEN\\_856.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE_INEN_856.pdf)
- Información Ecuador. (2022). *Precios de materiales de construcción en Ecuador PDF 2022*. <https://informacionecuador.com/precios-de-materiales-de-construccion-en-ecuador-catalogo/>
- Instituto Nacional de Normalización. (2007). *Acondicionamiento térmico – Envoltente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas*. <https://www.studocu.com/cl/document/universidad-de-los-lagos/arquitectura-de-computadoreslaboratorio/norma-chilena-nch-853of2007-acondicionamiento-termico/18172203>
- ISO. (2005). *Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. ISO Standard No. 7730:2005.
- Kim, J.-J., y Rigdon, B. (1998). *Sustainable Architecture Module: Introduction to Sustainable Design*. University of Michigan. National Pollution Prevention Center for Higher Education.
- Kossoukha, A. (2014). *Plan de negocios para la creación de una empresa que fabrica ladrillos a partir de plástico molido en la ciudad de Cuenca* (Tesis de Grado, Universidad de las Américas, Quito, Ecuador). <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/1438>
- Lambda-Messtechnik. (2022). *Vista completa de la herramienta de prueba de conductividad térmica λ-Meter EP500e*. <https://www.lambda-messtechnik.de/en/thermal-conductivity-test-tool-ep500e/gallery>
- Ledesma, G., y Rivera, R. (2018). *Análisis de confort térmico en escuelas del milenio. Caso: Quito y Babahoyo*. (11). <https://1library.co/document/y6mp7jgq-an%C3%A1lisis-confort-t%C3%A9rmico-escuelas-milenio-caso>
-

- 
- [-quito-babahoyo.html](#)
- León, A., y Guillén, V. (2020). Energía contenida y emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador. *Ambiente Construido*, 20(3), 611-625. <https://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300448>
- Lomas, M. (2015). *Uso de escombros, desperdicios y residuos de elementos estructurales de concreto armado y no estructurales de mampostería de bloques y ladrillos, combinados con poliestireno expandido para la elaboración de paneles prefabricados de bajo costo* (Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil). <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/11462>
- Lozano, C. (2010). *Aplicación de sistemas de ventilación natural para el confort térmico de las habita clones en un conjunto de viviendas multifamiliares- distrito de Pichanaki* (Tesis de Grado, Universidad Nacional del Centro de Perú). <http://hdl.handle.net/20.500.12894/143>
- López, M. (2003). *Estrategias Bioclimática de la Arquitectura* (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Cataluña.
- MAE. (2010-2021). *Proyecto: Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos. (PNGIDS)*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/5.PROYECTO-PNGIDS.pdf>
- Maroto, P. (2014). *Mejora energética de la envolvente. Fachada ventilada o sin ventilar*. Grupo Tecma Red. <https://www.construible.es/comunicaciones/mejora-energetica-envolvente-fachada-ventilada-o-sin-ventilar>
- Meteored. (2021). *Histórico del Tiempo en Cuenca. Aeropuerto MARISCAL LAMAR (SECU)*. [https://www.meteored.com.ec/tiempo-en\\_Cuenca-America+Sur-Ecuador-Azuay--1-20244.html?d=historico](https://www.meteored.com.ec/tiempo-en_Cuenca-America+Sur-Ecuador-Azuay--1-20244.html?d=historico)
- Ministerio de Cultura y Patrimonio. (2020). *Cuenca*. <https://www.culturaypatrimonio.gob.ec/cuenca/>
- Moscoso, M. (2016). El Adobe, sus características y el Confort Térmico. *I Congreso Internacional online Filosofía de la Sustentabilidad de Vivienda Tradicional "Transformando comunidades hacia el desarrollo local"*, 71-75.
- Murillo, D. (2018). *Material y sistemas constructivos aplicados a espacios interiores de viviendas unifamiliares en la ciudad de Cuenca* (Tesis de Grado). Universidad de Cuenca.
- NEC. (2014, diciembre). *NEC-SE-MP. Mampostería estructural*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-MP.pdf>
- NEC. (2018). *EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES (EE). Código NEC - HS - EE*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Ecuador. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-HS-EE-Final.pdf>
- NEC-11. (2011a). Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador. En *Norma Ecuatoriana de la Construcción* (cap. 13). MIDUVI – Cámara de la Construcción de Quito. <https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-13-eficiencia-energic3a9tica-en-la-construccic3b3n-en-ecuador-021412.pdf>
- NEC-11. (2011b). Capítulo 6: Mampostería Estructural. En *Norma Ecuatoriana*
-

- 
- de la Construcción (cap. 6). MIDUVI – Cámara de la Construcción de Quito. <https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-06-mamposteria-estructural-021412.pdf>
- Ochoa Zabala, S. R. (2009). *Transformaciones espaciales urbano del centro histórico de Cuenca a partir de 1950* (Tesis de Grado, Universidad de Cuenca). <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/15217>
- Orellana, V. (2017). *Adobe, puesta en valor y estrategias para la conservación de una cultura constructiva* (Tesis de Maestría). Universidad de Cuenca.
- Pacheco, C., y Fuentes, L. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. *Ingeniería y de desarrollo*, 35(2), 46-80.
- Pacheco, C., Fuentes, L., Sánchez, E., y Rondón, H. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. *Ingeniería y de desarrollo*, 35(2), 533-555.
- Palomo, M. (2017). *Aislantes térmicos. criterios de selección por requisitos energéticos* (Tesis de Grado). Universidad Politécnica de Madrid.
- Pasaje, A., y Ramírez, L. (2019). *Aplicación de agregados reciclados de construcción y demolición de en una mezcla asfáltica densa en caliente mdc-19* (Tesis de Maestría). Universidad Católica de Colombia.
- Pesántez, M. (2012). *Confort térmico en el área social de una vivienda unifamiliar en Cuenca-Ecuador* (Tesis de Grado). Universidad de Cuenca.
- Pesántez, M., y González, I. (2011). *Arquitectura tradicional en azuay y cañar. técnicas, creencias, prácticas y saberes*. <https://www.patrimoniocultural.gob.ec/arquitectura-tradicional-en-azuay-y-canar/>
- Petcu, C., Petran, H.-A., Vasile, V., y Toderasc, M.-C. (2018). Materials from Renewable Sources as Thermal a Insulation for Nearly Zero Energy Buildings (nZEB). . En (pp. 159–167). Springer. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63215-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63215-5_12)
- Peña, O., y Roman, R. (2018). *Diseño de un aislante térmico a base de fibras naturales para mitigar el impacto de las heladas en la comunidad de Cupisa* (Tesis de Grado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Prieto, J. (s.f). *Hablamos De Lambdas. Qué Nos Dicen La Conductividad Y La Resistencia Térmicas Sobre Un Material Aislante*. Renuevatu Tejado. <https://blog.bmigroun.com/es/hablamos-de-lambdas-que-nos-dicen-la-conductividad-y-la-resistencia-termicas-sobre-un-material-aislante>
- Prieto, S. (2014). Panel prefabricado de hormigón aliviano a base de papel periódico y cartón reciclado, destinado a vivienda de interés social. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 3(5), 51–61. doi: <https://doi.org/10.18537/est.v003.n005.06>
- Proaño, K. (2017). *Sistema de manejo de los residuos sólidos generados por la industria de la construcción en la zona centro norte del distrito metropolitano de quito, provincia de pichincha* (Tesis de Grado). Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Quezada, K. (2019). *Evaluación térmica de cerramiento vertical para mejorar el confort de una vivienda de interés social en clima de alta montaña – caso de estudio Cajas* (Tesis de Maestría). Universidad de Cuenca.
- Quispe, C. (2016). *Análisis de la energía incorporada y emisiones de CO2 aplicado a*
-

- 
- viviendas unifamiliares de eficiencia energética* (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Rea, A. (2017). *Gestión de residuos en la construcción: plan de gestión de residuos generados en construcciones de vivienda multifamiliar en el Ecuador* (Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca, Ecuador). <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28544>
- Rocha, C. (2015). *Aprovechamiento y revalorización de residuos de la construcción y demolición generados por un evento adverso para la construcción de obras civiles sostenibles* (Tesis de Grado). Universidad Católica de Manizales, Caldas.
- Rodríguez, R., Gómez, N., Zarauza, P., y María, B. A. (2013). *Educación Ambiental, Residuos y Reciclaje*. [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/web/temas\\_ambientales/educacion\\_ambiental\\_y\\_formacion\\_nuevo/ecocampus/recapacicla\\_universidades/recursos/guia\\_didactica\\_edu\\_amb.pdf?lr=lang\\_es](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/educacion_ambiental_y_formacion_nuevo/ecocampus/recapacicla_universidades/recursos/guia_didactica_edu_amb.pdf?lr=lang_es)
- Rodríguez, A., y Becerra, S. (2016). *Fabricación de un prefabricado para el revestimiento de edificaciones a partir del uso de residuos de construcción y demolición* (Tesis de Grado). Universidad de San Buenaventura Medellín.
- Rodríguez Burbano, A. (2017, 23 de abril). ¿Cuántas horas duermen los ecuatorianos? *El Telégrafo*. <https://www2.eltelgrafo.com.ec/noticias/septimo-dia/1/cuantas-horas-duermen-los-ecuatorianos>
- Rosales, Y. (2004). *Ensayos para morteros adhesivos de revestimientos cerámicos* (Tesis de Grado). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sika Ecuatoriana S.A. (2014, abril). *Hoja Técnica de Producto. Sika ImperSello Brillante* (2.ª ed.). <https://ecu.sika.com/dms/getdocument.get/8a351bbd-b3cc-37eb-bc02-11fb2079c2e2/Sika%20ImperSello%20Brillante%20.pdf>
- Silva, J. (2020). *Placa plana de concreto ligero impermeabilizada con caucho reciclado para cubiertas de vivienda social* (Tesis de Grado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Suárez-Silgado, S., Betancourt, C., Molina-Benavides, J., y Mahecha-Vanegas, L. (2019). La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión. *Entramado*, 15(1), 224-244. <https://www.redalyc.org/journal/2654/265460762014/html/>
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Sánchez de Rojas, M., Frías, M., y Rivera, J. (2005, agosto). Valorización de cascote cerámico como sustituto de materias primas para tejas de hormigón. *1as Jornadas de Investigación en Construcción*, 447-458.
- Sánchez de Rojas, M., Frías, M., y Rivera, J. (2008, junio). Aprovechamiento del cascote cerámico como material puzolánico. *Cemento Hormigón*(915), 32-41.
- Tectónica. (2021). *Placas de revestimiento de reducido espesor en hormigón con fibra de vidrio*. <https://tectonica.archi/materials/placas-de-revestimiento-de-reducido-espesor-en-hormigon-con-fibra-de-vidrio/>
- Tenesaca, M., y Rasco, J. (2018). *Diseño de un modelo de negocios para el sector ladrillero artesanal del cantón Cuenca, período 2017- 2019* (Tesis de Grado). Universidad de Cuenca.
-

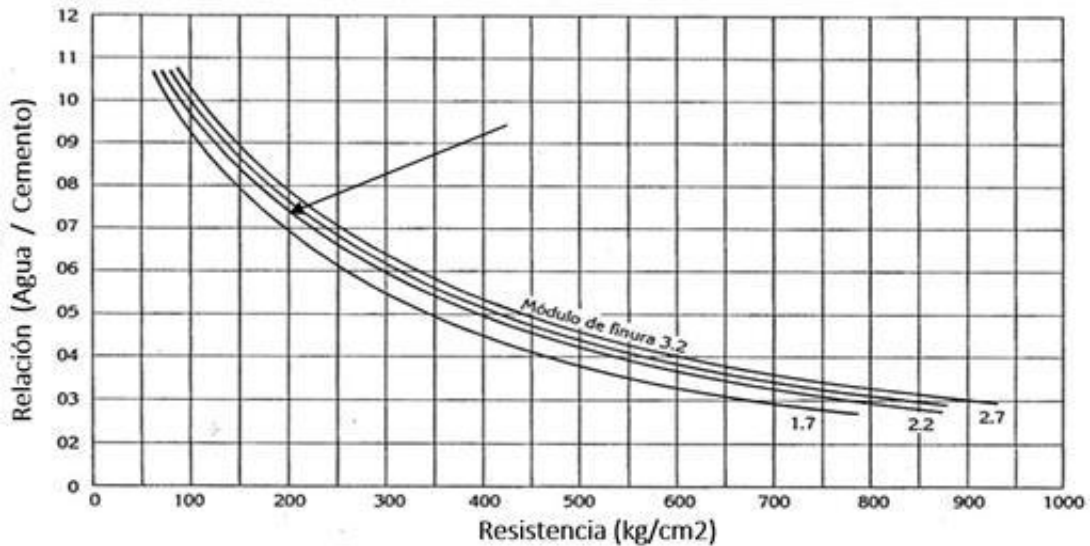
- 
- The Cuenca Dispatch. (2019, 27 de diciembre). Museum Remigio Crespo Toral de Cuenca presents “100 Years in Search of a Millenary Past”. *The Cuenca Dispatch*. <https://thecuencadispatch.com/museum-remigio-crespo-toral-de-cuenca-presents-100-years-in-search-of-a-millenary-past/#>
- Tocto, K., y Vásquez, D. (2016). *Estudio de Factibilidad para la implementación de un centro de acopio para residuos de construcción y escombros en el cantón Cuenca* (Tesis de Grado). Universidad Católica de Cuenca.
- Torres-Quezada, J., Avilés, A. T., Isalgue, A., y Pages-Ramon, A. (2022). The evolution of Embodied Energy in Andean residential buildings. Methodology applied to Cuenca-Ecuador. *Energy and Buildings*. doi: 10.1016/j.enbuild.2022.111858.
- Varini, C. (2009). Envoltantes arquitectónicas. Nueva frontera para la sostenibilidad energético ambiental. ¿Cuales modelos y cuáles aplicaciones? *Alarife: Revista de Arquitectura*(17), 79.
- Vázquez Espí, M. (2001, 28 de febrero). Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales. *Informes de la Construcción*, 52(471), 29-43. doi: <https://doi.org/10.3989/ic.2001.v52.i471.681>

$\lambda$	Coefficiente de conductividad térmica
Aglomerante	Elemento para unir materiales de construcción mediante reacciones químicas
CONAVI	Comisión Nacional de Vivienda
EMAC EP	Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca
Energía incorporada	Energía consumida por todos los procesos relacionados a la construcción de un edificio
Factor (U)	Transmitancia Térmica
GADM	Gobierno Autónomo Municipal Descentralizado
Gradiente térmico	Variación de temperatura por unidad de distancia
GRC	Glass Reinforced Concrete - Hormigón reforzado con vidrio
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
MAAE	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
Mpa	Mega pascales
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
NTE-INEN	Norma Técnica Ecuatoriana-Instituto Ecuatoriano de Normalización
Oscilación térmica	Diferencia cuantitativa entre los valores máximos y mínimos de temperatura en un punto determinado durante un período de tiempo específico
PET	Polietilenterefalato o polímero plástico
PNGIDS	Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos sólidos
Puente térmico	Zona de la envolvente de un edificio, donde se transmite más fácilmente el calor que en el resto de la superficie
R	Resistencia Térmica
RCD	Residuo de construcción y demolición
RCE	Residuos de construcción en escombreras
REA	Real academia de la lengua
Reacción puzolánica	Capacidad para reaccionar con el hidróxido de calcio para formar compuestos hidráulicos similares a los que se generan durante la hidratación del clinker del cemento
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura
VUE	Valor Universal Excepcional

<b>Anexos</b>	<b>103</b>
Anexo A: Diseño del Mortero . . . . .	103
Anexo B: Clasificación de placas según su resistencia a la flexión . . . . .	105
Anexo C: Tabla para el cálculo de la transmitancia térmica de un muro compuesto. . . . .	106
Anexo D: Ensayo de Comportamiento Térmico . . . . .	109
Anexo E: Reporte del Ensayo de conductividad térmica . . . . .	112
Anexo F: Lamina de Presentación . . . . .	115

## Anexo A: Diseño del Mortero

FIGURA A.1: Correspondencia entre los Valores de Relación (Agua / Cemento) y Resistencia a la Compresión para Morteros Hechos con Cemento Portland Tipo I



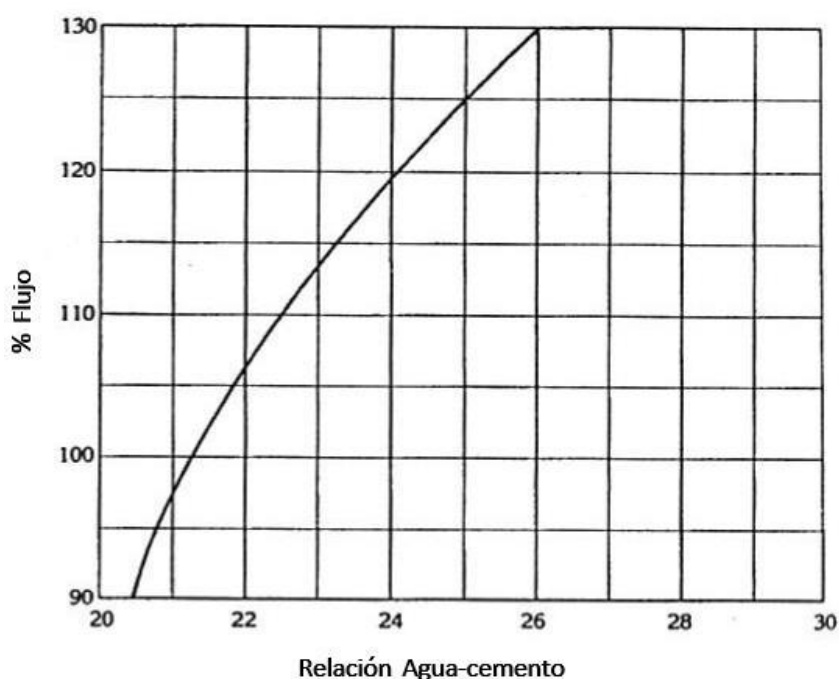
*Nota:* La relación agua cemento de 0,75 se obtuvo al observar el valor producto de la intersección del módulo de finura más próximo a 2,18 que fue el resultado obtenido de la arena de río, en este caso 2,2 y la resistencia de 200 kg/cm<sup>2</sup>. Adaptado de [Sánchez de Guzmán \(2001\)](#).

Tabla A.1: Diferentes Consistencias del Mortero

CONSISTENCIA	% DE FLUJO
Seca	90 %
Plástica	110 %
Fluida	130 %

*Nota:* Recuperado de [Sánchez de Guzmán \(2001\)](#). Elaboración propia.

FIGURA A.2: Relación Agua/Cemento y Consistencia Requerida en Términos de la Fluidez



Nota: Adaptado de Sánchez de Guzmán (2001).

Tabla A.2: Valores de (b) para Diferentes Consistencias y Módulos de Finura de la Arena

Consistencia	Módulo de finura	Arena de granos redondos y lisos	Arena de granos angulares y rugosos
Seca (90 %)	1,7	0,3293	0,3215
	2,2	0,3110	0,3028
	2,7	0,2772	0,2930
	3,2	0,2394	0,2494
Plástica (110 %)	1,7	0,3242	0,3238
	2,2	0,3033	0,2947
	2,7	0,2734	0,2879
	3,2	0,2368	0,2477
Fluida (130 %)	1,7	0,3172	0,3216
	2,2	0,2927	0,3003
	2,7	0,2687	0,2949
	3,2	0,2340	0,2629

Nota: Recuperado de Sánchez de Guzmán (2001). Elaboración propia.

---

## Anexo B: Clasificación de placas según su resistencia a la flexión

Tabla B.1: Categorización de Placas en Función de su uso y su Grado de Resistencia a la Flexión

<b>Categoría A</b>	Placas sometidas a fuertes heladas, alto grados de calor y humedad
<b>Categoría B</b>	Placas sometidas a altos grados de calor y humedad y a heladas ocasionales.
<b>Categoría C</b>	Placas sometidas a calor y humedad en ambientes interiores
<b>Categoría D</b>	Placas instaladas sobre capas rígidas.

*Nota:* Recuperado de UNE-EN-12467:2006 (AENOR, 2006). Elaboración propia.

Según su grado de resistencia a la flexión la normativa ha clasificado las placas en 5 clases, independientemente de su estado húmedo o seco, descritas en la siguiente tabla.

Tabla B.2: Módulo de Rotura Mínimo a Flexión en Placas

Módulo de rotura mínimo en estado húmedo (MPa)		Módulo de rotura mínimo en condiciones ambientales (MPa)	
Clase	Categorías A y B	Clase	Categorías C y D
1	4	1	4
2	7	2	6
3	13	3	10
4	18	4	16
5	24	5	22

*Nota:* Recuperado de UNE-EN-12467:2006 (2006). Elaboración propia.

## Anexo C: Tabla para el cálculo de la transmitancia térmica de un muro compuesto.

Para obtener el coeficiente de transmitancia térmica  $U$  de un muro compuesto, es necesario calcular la resistencia térmica total del mismo, para ello es necesario recurrir a la información presente en la Tabla 1.5 y 1.6.

Tabla C.1: Procedimiento para el Cálculo de la Transmitancia Térmica de un Muro Compuesto

	Conceptos	Simbología
<b>Resistencia térmica total</b> ( $m^2K/W$ )	<p>La resistencia total de un conjunto constructivo junta las resistencias de cada material, las cámaras de aire y la resistencia superficial exterior (<math>R_{se}</math>) e interior (<math>R_{si}</math>) (Encalada, 2013).</p> <p>Por lo tanto: (<math>R_t = R_{se} + \sum R_n + R_c + R_{si}</math>)</p>	<p><b><math>R_t</math></b> = La resistencia térmica total del elemento.</p> <p><b><math>R_{se}</math></b> = La resistencia térmica superficial exterior.</p> <p><b><math>R_n</math></b> = La resistencia térmica de los materiales dentro del elemento.</p> <p><b><math>R_g</math> o <math>R_c</math></b> = Resistencia térmica de las cámaras de aire.</p> <p><b><math>R_s</math></b> = La resistencia superficial interior.</p> <p><b><math>R_i</math></b> = Resistencia térmica del material interior</p> <p><b><math>R_e</math></b> = Resistencia térmica del material exterior</p>
<b>Resistencia térmica superficial</b> ( $m^2K/W$ )	<p>La resistencia superficial está condicionada a la diferencia de temperatura entre sus superficies en relación al aire adyacente, las ganancias por radiación en la superficie y las compensaciones de calor por radiación entre dicha área y su entorno (Encalada, 2013).</p> <p>Según la Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC-11, 2011b), los valores de las resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior dependen de la posición del cerramiento y sentido del flujo de calor por lo que:</p> <p>Cerramientos verticales o con pendiente superior a los <math>60^\circ</math> y un flujo térmico horizontal tendrán un coeficiente <math>R_{se}= 0,04</math> y <math>R_{si}=0,13</math>. Factores que se aplican al cálculo de la resistencia total en un muro.</p>	<p><b><math>\lambda</math></b>= Conductividad térmica del material.</p> <p><b><math>e</math></b>= espesor del material</p> <p><b><math>W</math></b>: vatios</p> <p><b><math>m</math></b>: metros</p> <p><b><math>m^2</math></b>: metros cuadrados.</p>
<b>Resistencia térmica en cámaras de aire</b> ( $m^2K/W$ )	<p>Una cámara de aire se puede interpretar en la arquitectura como un espacio regular entre dos capas de material regular y plano distanciados paralelamente entre sí.</p> <p>Según la Norma Chilena Oficial 853 (Nch 853:2007, 2007, p. 7-9-10). A la hora de calcular la resistencia térmica de una cámara de aire es necesario conocer sus 3 variaciones.</p> <p>a) Elementos con cámara de aire no ventilada. Se consideran las cámaras de aire como no ventiladas cuando se cumplen las condiciones siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>S/l</math> menor que <math>20 \text{ cm}^2/m</math> para elementos verticales.</li> <li>- <math>S/A</math> menor que <math>3 \text{ cm}^2/m^2</math> para elementos horizontales.</li> </ul>	

---

Fórmula:  $R_t = R_{si} + R_i + R_g + R_e + R_{se}$

Según la normativa IRAM 11601, los valores de la resistencia térmica en cámaras de aire, están en función de su espesor como se mira en a continuación en la Tabla C 2.

b) Elementos con cámara de aire medianamente ventilada.

Se consideran las cámaras de aire como medianamente ventiladas cuando se cumplen las condiciones siguientes:

- $S/l$  menor que  $500 \text{ cm}^2/\text{m}$  para elementos verticales.
- $S/A$  menor que  $30 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  para elementos horizontales.

Fórmula:  $R = (1/R_t) = U_1 + \alpha (U_2 - U_1)$

c) Elementos con cámara de aire muy ventilada.

Se consideran las cámaras de aire como muy ventiladas cuando se cumplen las condiciones siguientes:

- $S / l$  mayor o igual que  $500 \text{ cm}^2/\text{m}$  para elementos verticales.
- $S / A$  mayor o igual que  $30 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  para elementos horizontales.

En el cálculo de la resistencia térmica total del elemento se pueden presentar dos situaciones:

1. El aire dentro de la cámara se mantiene en reposo. En este caso se desprecia ( $R_g$ ) y ( $R_e$ ).

Fórmula:  $R = (1/U) = 2R_{si} + R_i$

2. El aire de la cámara está en movimiento. Si la capa o placa exterior del elemento consiste en una pantalla o protección situada a cierta distancia de la capa o placa interior y no existe tabiquería que conforme una cámara, el espacio está totalmente abierto, se aplicará la siguiente formula.

Fórmula:  $R_t = (1/U) = R_{si} + R_i + R_{se}$

$S =$  en elementos verticales u horizontales es el coeficiente de rejillas de ventilación al exterior ( $\text{cm}^2$ ).

$l =$  en elementos verticales es la longitud de la cámara medida de manera horizontal (m); en elementos horizontales es la superficie de la cámara de aire ( $\text{m}^2$ ).

$U_1 =$  transmitancia térmica del elemento calculada bajo el supuesto que la cámara no está ventilada (Caso a)

$U_2 =$  transmitancia térmica del elemento calculada bajo el supuesto que la cámara se encuentra muy ventilada (Caso c);

$\alpha =$  coeficiente de ventilación de la cámara, que toma el valor de 0,4 para elementos horizontales y el valor de la siguiente tabla para elementos verticales.

$R_e =$  resistencia térmica del forrado exterior del elemento.

---

*Nota:* Esta tabla recopila normativas nacionales e internacionales con el fin de resolver el cálculo requerido en base a un respaldo técnico. Elaboración propia.

Tabla C.2: Factor de Resistencia Térmica de Cámara de aire

Estado de las superficies de la cámara de aire	Espesor de la capa de aire (mm)	Resistencia Térmica ( $m^2K/W$ )		
		Dirección del Flujo de Calor		
		Horizontal (Muro)	Ascendente (Pisos o Techos)	Descendente (Pisos o Techos)
Superficies de mediana o alta emitancia (Caso general)	5	0,11	0,11	0,11
	10	0,14	0,13	0,15
	20	0,16	0,14	0,18
	50 a 100	0,17	0,14	0,21
Una o ambas superficies de baja emitancia	5	0,17	0,17	0,17
	10	0,29	0,23	0,29
	20	0,37	0,25	0,43
	50 a 100	0,34	0,27	0,61

*Nota:* La información de esta tabla sirve como complemento de la sección de (Elementos con cámara de aire no ventilada) de la tabla anterior. Recuperado de la normativa IRAM 11601

Tabla C.3: Coeficiente de Ventilación,  $\alpha$ , de Cámaras Verticales

	Definición	Unidades
<b>Relación entre las resistencias térmicas de las capas o placas del elemento entre las cuales se encuentran la cámara</b>		Relación $S / I$ en $cm^2/m$
Re/ Ri	20 hasta 200	Sobre 200 hasta 500
Re/ Ri <0,10	0,10	0,25
0,10 <Re/ Ri <0,60	0,20	0,45
0,60 <Re/ Ri <1,20	0,30	0,60

*Nota:* La información de esta tabla sirve como complemento de la sección de (Elementos con cámara de aire medianamente ventilada) de la tabla anterior. Tomada de (NCh 853:2007, 2007, p. 9). 1

## Anexo D: Ensayo de Comportamiento Térmico

Tabla D.1: Período de Monitoreo de la Celda con el Revestimiento

	Temperaturas altas			Temperaturas bajas		
	Hora	FC	DC	Hora	FC	DC
Día 1	12:58	22,90 +	20,50	06:33	10,70 -	12,70
	13:38	22,70	21,20 +	06:58	10,70	12,50
	18:58	18,90	17,90	06:58	10,70	12,50
Día 2	12:13	24,00 +	19,00	06:13	10,8	-13,0
	12:53	22,90	21,30 +	07:58	11,8	12,50 -
	17:58	18,80	19,80 +	09:58	15,10	13,10
Día 3	11:33	19,70 +	15,10	07:58	11,70 -	12,60
	16:58	17,60	16,60	07:58	11,70	12,60
	16:58	17,60	16,60	09:58	15,30	13,30

FC: Son los datos tomados por el sensor exterior o fuera de la celda

DC: Son los datos tomados por el sensor interno o dentro de la celda

- : Valores de temperatura mínima de ese día, de acuerdo a la columna donde se encuentra

Día 1: Desde el 13/09/21; 07:58 hasta el 14/09/21; 07:58.

Día 2: Desde el 14/09/21; 07:58 hasta el 15/09/21; 07:58.

Día 3: Desde el 15/09/21; 07:58 hasta el 16/09/21; 07:58.

*Nota:* Los datos que el aeropuerto brinda no contienen decimales y son brindados por cada hora del día, para obtener las gráficas y los datos de esta tabla, se realizaron interpolaciones y comparación de la gráfica brindada en el sitio web. Elaboración propia.

Tabla D.2: Período de Monitoreo de la Celda sin Revestimiento

	Temperaturas altas			Temperaturas bajas		
	Hora	FC	DC	Hora	FC	DC
<b>Día 1</b>	12:58	18,30 +	18,30	05:53	12,30 -	13,40
	13:13	18,10	18,60 +	06:18	12,30	13,30 -
	17:58	17,10	17,30	07:53	13,20	13,70
<b>Día 2</b>	11:18	19,60 +	18,60	06:08	11,20 -	12,50
	12:08	19,40	20,00 +	06:23	11,20	12,40 -
	15:58	18,9	18,70	07:58	13,30	13,70
<b>Día 3</b>	13:43	21,50 +	20,10	07:58	12,10 -	12,80
	13:58	20,80	20,50 +	07:58	12,10	12,80 -
	18:58	17,80	17,50	10:58	16,90	16,60

FC: Son los datos tomados por el sensor exterior o fuera de la celda

DC: Son los datos tomados por el sensor interno o dentro de la celda

- : Valores de temperatura mínima de ese día, de acuerdo a la columna donde se encuentra

Día 1: Desde el 17/09/21; 07:58 hasta el 18/09/21; 07:58.

Día 2: Desde el 18/09/21; 07:58 hasta el 19/09/21; 07:58.

Día 3: Desde el 19/09/21; 07:58 hasta el 20/09/21; 07:58.

*Nota:* Elaboración propia.

Tabla D.3: Periodos en la Zona de Confort Térmico en la Celda con Revestimiento

Fecha	Temperatura Interior de la celda		Temperatura Ambiente		Ganancia	Pérdida
	Zona de confort	Fuera de la zona de confort	Zona de confort	Fuera de la zona de confort		
<b>Día 1</b>	12:45 h	11:15 h	10:20 h	13:40 h	2:25 h	-
<b>Día 2</b>	11:05 h	12:55 h	7:10 h	16:50 h	3:55 h	-
<b>Día 3</b>	10:25 h	13:35 h	10:45 h	13:15 h	-	0:25 h
<b>Porcentaje</b>	47,56 %	52,44 %	39,23 %	60,77 %		

Día 1: Desde el 13/09/21; 07:58 hasta el 14/09/21; 07:58.

Día 2: Desde el 14/09/21; 07:58 hasta el 15/09/21; 07:58.

Día 3: Desde el 15/09/21; 07:58 hasta el 16/09/21; 07:58.

*Nota:* Elaboración propia

Tabla D.4: Periodos en la Zona de Confort Térmico en la Celda sin Revestimiento

Fecha	Temperatura Interior de la celda		Temperatura Ambiente		Ganancia
	Zona de confort	Fuera de la zona de confort	Zona de confort	Fuera de la zona de confort	
<b>Día 1</b>	13:55 h	10:05 h	12:50 h	11:10 h	1:05 h
<b>Día 2</b>	12:10 h	11:50 h	12:06 h	11:55 h	0:04 h
<b>Día 3</b>	12:10 h	11:50 h	11:00 h	13:00 h	1:10 h
<b>Porcentaje</b>	53,12 %	46,88 %	49,88 %	50,12 %	

Día 1: Desde el 17/09/21; 07:58 hasta el 18/09/21; 07:58.


Día 2: Desde el 18/09/21; 07:58 hasta el 19/09/21; 07:58.

Día 3: Desde el 19/09/21; 07:58 hasta el 20/09/21; 07:58.

*Nota:* Elaboración propia

# Anexo E: Reporte del Ensayo de conductividad térmica

FIGURA E.1: Documento de Ensayo LABET parte 1

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>		<b>LABET FT 05</b>
	Edición 3	Fecha de revisión: 2019/08/31	Fecha de aprobación: 2019/08/31
			Pag 1 de 3

Guayaquil, 17 de diciembre de 2021

Código de Solicitud                     S21-010                    

**Atención:** Michael Manolo Ordoñez Villagomez  
**Institución:** Universidad Católica de Cuenca  
**Teléfonos:** (+593 9) 9533 4671  
**Dirección:** km 30,5 de la vía Perimetral  
**e-mail:** [mmordonezv31@est.ucacue.edu.ec](mailto:mmordonezv31@est.ucacue.edu.ec)

#### Requerimiento:

Ensayo para la determinación de conductividad térmica en material rígido fabricado en base a cemento portland y RCD de ladrillo triturado como árido en una dosificación 1:4,cemento-RCD respectivamente. La muestra tiene una geometría aproximada de 150 x 150 x 20 mm.

#### Métodología:

El ensayo para la determinación de conductividad térmica es fundamentado en el estándar ISO 8302 por el método de placa caliente resguardada. El procedimiento permite medir conductividad térmica desde 0,002 hasta 2,500 W/m-K. Los ensayos pueden ser ejecutados en un rango de temperatura desde 10°C hasta 40°C, con un diferencial de temperatura de 15°C (entre placas). El método muestra limitación sobre materiales heterogéneos o no isotrópicos. Las modificaciones al procedimiento estándar se listan en la hoja 2 del presente informe.

#### Equipamiento:

**Equipo:** Medidor de conductividad térmica de placa caliente  
**Modelo:** λ-Meter EP500e, Version C.  
**Muestra de Verificación:** IRMM-440A-S535  
**Verificación:** 2021-02-16  
**Accesorios:** N.A.


#### Declaración:

- \* Los Resultados del presente informe son atribuibles únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s).
- \* El LABET no realiza procedimientos de muestreo.
- \* Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin autorización manifiesta del LABET.

  
Privado digitalizado por JOSE ALBERTO MACIAS ZAMBRANO  
DR. JOSE ALBERTO MACIAS ZAMBRANO - INEC - INECEL/SECTO DATA S.A.  
LABORATORIO DE CERTIFICACION DE INFORMACION estadística (INGEST) S.A.  
Fecha: 2021.12.18 16:11:38 -0500

\*\*\*\*\*  
**Analista Técnico**  
Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo , Edificio 33  
593-42269703

FIGURA E.2: Documento de Ensayo LABET parte 1

 Edición 3	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>		<b>LABET FT 05</b>
	Fecha de revisión: 2019/08/31	Fecha de aprobación: 2019/08/31	Pag 2 de 3

Código de Solicitud: S21-010

**Condiciones y descripción de la(s) Muestra(s):**

	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Fecha de recepción	Otros (Color, composición)
1	2112003	151	150	22,4	645,0	1271,3	2021-12-10	Mezcla
2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
3	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
4	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**

1.- 2112003, en equilibrio con el sitio de la prueba (24 h).
2.- No Aplica.
3.- No Aplica.
4.- No Aplica.

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

1.- Se aplicaron sensores adicionales de película y almohadillas.
2.- No Aplica.
3.- No Aplica.
4.- No Aplica.

**Condiciones ambientales de ensayo:**


<b>Código de Muestra:</b>	2112003	<b>Fecha de ensayo:</b>	2021-12-15
Temperatura Ambiente Promedio:	24,1 °C		
Humedad Relativa:	80,2 %		

<b>Código de Muestra:</b>	N.A.	<b>Fecha de ensayo:</b>	N.A.
Temperatura Ambiente Promedio:	N.A. °C		
Humedad Relativa:	N.A. %		

<b>Código de Muestra:</b>	N.A.	<b>Fecha de ensayo:</b>	N.A.
Temperatura Ambiente Promedio:	N.A. °C		
Humedad Relativa:	N.A. %		

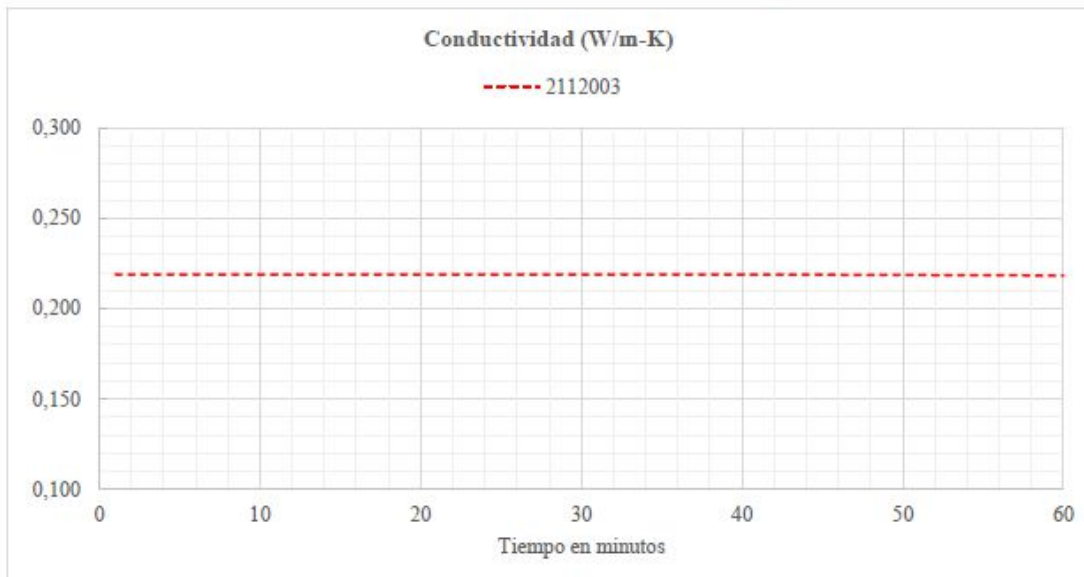
<b>Código de Muestra:</b>	N.A.	<b>Fecha de ensayo:</b>	N.A.
Temperatura Ambiente Promedio:	N.A. °C		
Humedad Relativa:	N.A. %		

FIGURA E.3: Documento de Ensayo LABET parte 1

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>		<b>LABET FT 05</b>
	Edición 3	Fecha de revisión: 2019/08/31	Fecha de aprobación: 2019/08/31

**Resultado**

**Código de Solicitud: S21-010**



**Temperatura media de ensayo:** 23 °C  
**Diferencia de Temperatura:** 15 °C

			<b>Id. Muestra</b>
<b>Conductividad Térmica:</b>	0,218	<b>W/m-K</b>	2112003
	-	<b>W/m-K</b>	N.A.
	-	<b>W/m-K</b>	N.A.
	-	<b>W/m-K</b>	N.A.

**Observaciones:**

\* El procedimiento de ensayo es una variación al método en proceso de designación SAE.



Procedimiento aprobado por JORGE ALBERTO  
 MANCERA ZAMBRANO  
 DR. JUAN JOSÉ ALBERTO MANCERA  
 ZAMBRANO, INGENIERO ESPECIALISTA EN S.A.  
 LA INSTITUCIÓN DE CERTIFICACIONES DE  
 INFORMACIÓN, especializada en ISO 9001  
 Fecha: 2019-12-18 15:15:58 -0500

-----  
**Responsable Técnico**

---

## **Anexo F: Lamina de Presentación**

# Revestimiento de RCD

## EL RCD

De acuerdo al INEN se conoce como RCD a los residuos generados por las actividades de construcción y demolición, según Pasaje y Ramírez (2019), el RCD utilizado como agregado se obtiene de procesos de trituración en plantas industriales, este se clasifica los siguientes grupos:

- Residuos comunes inertes mezclados
- Residuos comunes inertes de material fino.

El RCD empleado para el presente trabajo investigativo corresponde a la clase de residuos pétreos, específicamente a los provenientes de escombros de ladrillo. En la ciudad de Cuenca, Ecuador estos residuos se obtuvieron de construcciones locales y fueron tratados manualmente al no contar hoy en día con plantas industriales para el tratamiento de estos desechos.

## Jerarquía de acciones para la Gestión de los RCD



## DOSIFICACIÓN

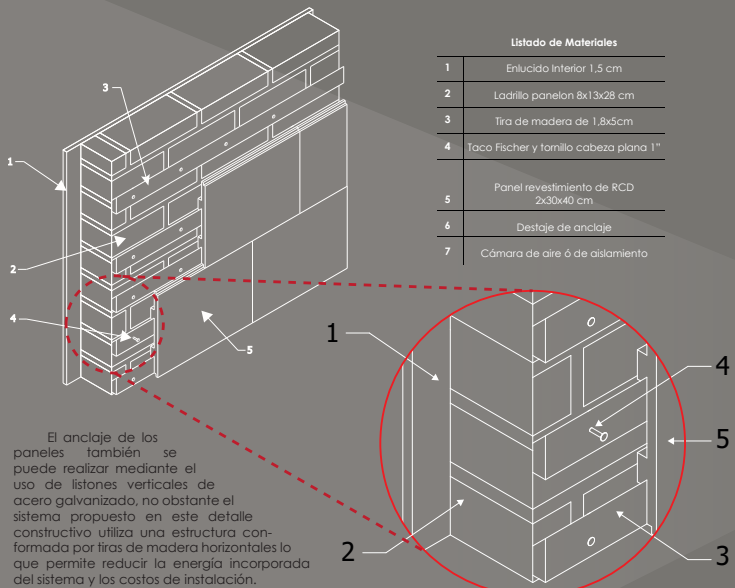
Para el diseño de la mezcla de mortero se utilizó la metodología propuesta por Sánchez de Guzmán (2001), en su capítulo 14. Según Sánchez de Rojas et al. (2008a), en la fabricación de hormigones, los ladrillos triturados y escombros de tamaños hasta 5 mm pueden sustituir a los áridos convencionales agregándolos a la mezcla en cantidades de hasta un 20% sin pérdida de resistencia, a partir de un porcentaje mayor de uso de este árido artificial se observa una disminución en la resistencia de diseño esperada. No obstante, el casquete de ladrillo posee propiedades puzolánicas obtenidas por las altas temperaturas de cocción que soportan estos productos durante su fabricación, lo cual aporta resistencia a la mezcla en cierta proporción.

	Dosificación Utilizada para 1m <sup>3</sup>			
	Cemento	RCD	Agua	
	390,37 kg	1026 kg	350 kg	
			Resistencia promedio a la compresión	Resistencia promedio a la flexión
100% Arena normalizada	165,03	169,5	47,287	49,841
50% Arena + 50% RCD	156,7	163,27	45,206	48,611
25% Arena + 75% RCD	113,22	143,76	34,992	36,695
100% RCD	139,37	149,47	40,099	43,504
			14 días	28 días
			14 días	28 días

## PROCESO DE REUTILIZACIÓN DEL RCD



## ANCLAJE



## Precio Unitario

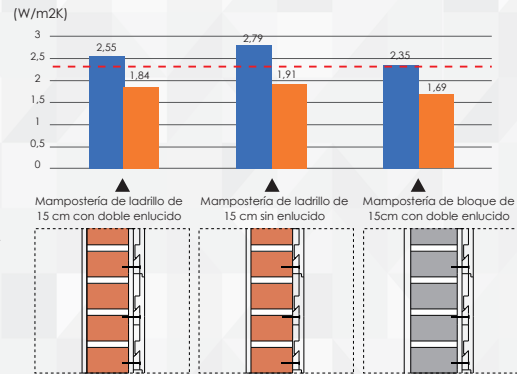
Al no contar hoy en día con plantas nacionales para el tratamiento de los RCD en el país, el costo aproximado de este árido reciclado utilizado en la fabricación de los paneles de revestimiento, se estimó en base a casos referentes de plantas de tratamiento internacionales de RCD, incrementando el 30 % sobre el costo del árido natural. En la siguiente tabla se describe el precio unitario por metro cuadrado del panel se incluye el costo de los materiales, herramientas y la mano de obra necesaria para su instalación.

PRECIO UNITARIO POR m <sup>2</sup>	
	TOTAL
Panel de revestimiento en base a RCD	12,35
Materiales para Montaje	4,62
Mano de Obra	2,32
Equipos	0,24
Herramienta Menor	0,12
<b>SUBTOTAL</b>	<b>19,20</b>
<b>GANACIA 20%</b>	<b>3,84</b>
<b>TOTAL</b>	<b>23,03</b>

## TRANSMITANCIA TERMICA DE UN MURO COMPUESTO

### EL REVESTIMIENTO COMO ESTRAGIA PASIVA PARA EL CONFORT TÉRMICO

Según Lozano (2010) la envolvente arquitectónica conforma una estrategia pasiva de contribución indirecta, como elementos arquitectónicos intermedios que filtran y transfieren energía al espacio interno. Para Varini (2018), la envolvente dejó de ser una masa que únicamente protege y se transforma en un sistema complejo independiente, una piel o interfaz capaz de concentrar funciones activas y pasivas determinantes para el consumo energético, impacto ambiental y primordialmente las condiciones lumínicas, acústicas y térmicas para favorecer el confort del usuario.



Factor U del paquete constructivo sin revestimiento (azul) y Factor U del paquete constructivo con revestimiento (naranja). Coeficiente máximo permitido de transmitancia térmica para paredes sobre el nivel del terreno ( $U = 2,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), para la zona climática 3 perteneciente a la ciudad de Cuenca.

## PRESENTACIÓN



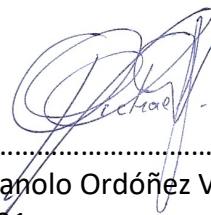
## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, ANTHONY CRISTOPHER MATUTE ARICHABALA Y MICHAEL MANOLO ORDÓÑEZ VILLAGÓMEZ portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0104646252 y N.º 0106412331. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación denominado: ***“Propuesta de revestimiento exterior de bajo impacto ambiental en base a RCD, como estrategia pasiva para mejorar el confort térmico de la vivienda en la ciudad de Cuenca.”***, de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 3 de marzo de 2022



F: .....  
Anthony Cristopher Matute Arichabala  
0104646252



F: .....  
Michael Manolo Ordóñez Villagómez  
0106412331