



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

UNA VISIÓN CONTEMPORÁNEA: ELABORACIÓN DE REVESTIMIENTOS CON ALUMINIO RECICLADO.

TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTO

AUTORES: JONNATHAN ADRIÁN BENALCÁZAR QUIZHPI.

MARÍA BELÉN GUAMBAÑA SÁNCHEZ.

DIRECTOR: MSC. ARQ. JOSÉ FRANCISCO PESÁNTEZ MS.

CUENCA - ECUADOR

2021

*Yo me gradúe en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

Declaración

Nosotros, **Adrián Benalcázar Quizhpi**, con cédula de identidad 0104793377, y **Ma. Belén Guambaña Sánchez**, con cédula de identidad 0101925136, autores del trabajo de titulación denominado “Una visión contemporánea: Elaboración de revestimientos con aluminio reciclado”, declaramos bajo juramento lo siguiente:

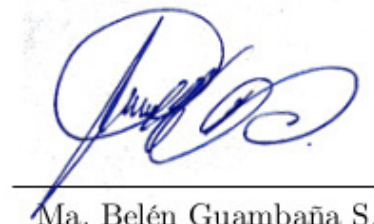
1. Que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría y somos responsables de las ideas, doctrinas, lineamientos y resultados realizados en la presente investigación.
2. Que el trabajo es original, siendo resultado de nuestra labor personal, el cual no hemos copiado de otra investigación, ni utilizado ideas, formulas, citas completas, ilustraciones, tablas, etc. sacadas de alguna publicación (en versión digital o impresa). Caso contrario, referencio en forma clara y exacta su origen o autor.
3. Que el trabajo no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.
4. Que el patrimonio intelectual del trabajo investigativo pertenece a la Universidad Católica de Cuenca.

Nos hacemos responsables ante la universidad o terceros, de cualquier irregularidad o daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado y asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, responsabilizándonos por todas las cargas pecuniarias o legales que se deriven de ello sometiéndonos a la normas establecidas y vigentes de la UCACUE.



Adrián Benalcázar Q.

0104793377



Ma. Belén Guambaña S.

0104925136

Certificación

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de ARQUITECTO con el título: “Una visión contemporánea: Elaboración de revestimientos con aluminio reciclado” ha sido elaborado por los estudiantes Adrián Benalcázar Quizhpi y Ma. Belén Guambaña Sánchez, mismo que ha sido realizado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.



Arq. José Francisco Pesántez Pesántez Mgs.

Dedicatoria

Este trabajo de titulación está dedicado:

Primeramente, a Dios, quien ha sido mi guía durante esta etapa de mi vida. Mis padres queridos Jorge y Mónica que con toda su paciencia, amor y audacia me han guiado para alcanzar hoy un anhelo muy importante en mi vida, gracias por sembrar en mí valores como la valentía, disciplina y perseverancia, de no temer a los obstáculos de la vida, sino a saber que una caída no es un fracaso; sino el fracaso es quedarme donde me caí, simplemente que cada que tenga una caída me levante, me limpie el polvo y continúe, puesto que nada en la vida es fácil, todo se requiere de esfuerzo y dedicación. A mis hermanos Sebas, Yare y Jorge Jr. por su compañía y apoyo incondicional, durante todos estos años de estudio, por estar conmigo en todo momento.

A mis abuelitos queridos German y Rosa, quienes fueron mis primeros mentores, los que me inculcaron buenos valores desde la infancia. A mi tío Diego, quien a la distancia siempre se acordó de mí y me ha enseñado mucho sobre la responsabilidad y el esfuerzo que se debe tener para cumplir los sueños, gracias por su apoyo incondicional. También y no obstante quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos y compañeros, por el apoyo incondicional que tuve de cada uno, es grato saber que siempre conté con su ayuda cuando los necesitaba, por extenderme la mano en momentos difíciles y por tenerme paciencia sabiendo que tan molesto puedo llegar a ser, de verdad gracias.

Finalmente, este trabajo es dedicado para todas las personas que no creyeron ni confiaron en mí, que no sabían todo el empeño, esfuerzo y dedicación que le puse a mi carrera para el día de hoy haber llegado hasta donde me encuentro ahora, gracias a ellas mi fortaleza creció y me permitió llegar al objetivo final el cual es conseguir mi título de Arquitecto. En verdad muchas gracias a todas y cada una de las personas que me rodeo durante esta etapa, siempre los llevare en mi corazón.

Adrián.

Dedicatoria

Dedico todo mi trabajo y esfuerzo primeramente a Dios, quien ha sido mi guía durante esta etapa de mi vida, agradezco de sobremanera a mis padres, Marianita y Rubén, quienes con su apoyo me han acompañado a lograr una de las tantas metas planteadas a lo largo de mi vida.

Mamita, gracias por sacarnos adelante a mis hermanos y a mí, en especial en estos últimos años que no solo me acogiste a mi sino a todos mis amigos en esas noches de angustia y cansancio. Papito, muchas gracias por confiar en tu REINA, sin duda alguna ustedes son los que me han empujado a crecer, desarrollar y explotar mis talentos, han sido mi apoyo en cada meta que me he propuesto. Ustedes son mi mayor inspiración y mi mayor fortuna.

A mis hermanos el Ing. Rubén Eduardo. & el Dr. Pablo Andrés, que son mis ejemplos de perseverancia y fortaleza, me han enseñado a luchar hasta conseguir mis metas. Así como ustedes me acompañan en este gran logro, yo deseo seguir formando parte de los suyos, con un apoyo incondicional.

A mi cuñada la Ing. Jenny Karina y mis pequeñas sobrinas Sofia & Ma. Eduarda, el mejor regalo que he podido recibir. A mi familia, en especial a mi papito Miguel Guambaña y mi mamita Ma. Teresa López (+).

Al Ing. Iván Fernández de Córdova, por su ayuda y motivación a lo largo de este arduo trabajo, más que un docente lleno de sabiduría se convirtió en un buen amigo. Gracias por siempre estar ahí.

A las amistades inolvidables que forje en el camino, Daniela, Lisseth, Verónica, Jennifer, Xavier, Adrián. Cada uno de ustedes han aportado algo en mi para la persona que soy ahora.

Ma. Belén.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por cada momento que nos ha permitido vivir a lo largo de estos años de nuestra carrera universitaria, por nuestros padres, hermanos, familia y amigos. Gracias a Dios y su amor infinito, hoy tenemos la fortuna de cumplir uno de los objetivos que nos hemos propuesto a lo largo de nuestra vida.

Nuestra especial gratitud al Arq. José Pesantez y al Ing. José Solano, director y codirector de la tesis, por la dirección, paciencia y motivación que nos han brindado a lo largo de este proceso. Gracias por sus consejos y direccionamiento a lo largo de este arduo trabajo.

Al Ing. Marco Gonzales, encargado del laboratorio de suelos de la Universidad Católica de Cuenca, Gracias por su ayuda en cada uno de las pruebas y ensayos físicos- mecánicos, sin su conocimiento y ayuda no hubiese sido posible la culminación de nuestro trabajo.

A la Universidad Católica de Cuenca especialmente a la Unidad Académica de Ingeniera, Industria y Construcción, nuestra alma mater, por los conocimientos, experiencias inolvidables y amigos perennes. A sus autoridades, docentes y personal, gracias.

Al Sr. Jaime Matailo, dueño del laboratorio en donde realizamos las diversas prácticas y elaboración del panel, por prestarnos todo su conocimiento, maquinaria, instrumentos y habilidades para la obtención de un resultado favorable en nuestro trabajo de titulación. Gracias sin su ayuda esto no hubiese sido posible.

A nuestros amigos y compañeros que forjamos a lo largo de nuestra vida y desarrollo de nuestra carrera profesional: Daniela C, Xavier, Lisseth, Verónica, Jennifer, Daniela M, Karla, Christian, Paul, Jhostyn, William, John y Andrés T.

Finalmente, agradecemos a nuestras fuentes del conocimiento, convicción y motivación a lo largo de nuestra pelea por alcanzar nuestro objetivo: Ing. Iván Fernández de Córdova, Ing. César Maldonado, Arq. Ma. del Cisne U, Arq. Alexandra Espinoza, Arq. Julio Pintado, Arq. Pedro Angumba, Arq. Jaime Quezada, Arq. Rómulo Cabrera, Arq. Karina Cajamarca y una lista interminable de docentes que nos permitieron llegar a cumplir nuestro tan anhelado objetivo.

El sector de la construcción es considerado mundialmente como una de las principales fuentes de contaminación medioambiental, produciendo considerables efectos negativos en el medioambiente como las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y gas de efecto invernadero (GEI), provocados por la deforestación, quema de combustibles fósiles, producción y uso de energía, afectando directamente a la calidad de vida de las personas por medio del aire y el clima; causando consecuentemente la muerte prematura de alrededor de 6 y 7 millones de personas anualmente a nivel mundial por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, según datos de la ONU.

La creación de materiales alternativos para la construcción a través del método del reciclaje ha permitido reducir este fenómeno, bajo esta consideración, la presente investigación plantea como objetivo desarrollar un prototipo de panel de aluminio reciclado, a través del proceso de recolección de materia prima secundaria, clasificación, corte, fundición, homogenización, moldeado e inyección de gas inerte.

El desarrollo se enmarca en el análisis bibliográfico para conocimiento de los materiales metálicos; una fase experimental en laboratorio que permite medir el comportamiento mecánico del material mediante ensayos físicos y termoacústicos; finalmente se expone la elaboración de un prototipo a escala prefabricado a partir de la aleación de aluminio en combinación con agentes espumantes y viscosos; mediante la aplicación de carbonato de sodio, cloruro de sodio y sulfato de aluminio, favoreciendo al desarrollo de una composición homogénea que permita configurar un elemento constructivo reciclado para disminuir el impacto ambiental, y reducir la contaminación por los minerales que proveen la materia prima. El resultado de la investigación contribuye a la industria, tecnología e innovación de materiales como una alternativa sostenible para la construcción de elementos de revestimientos.

PALABRAS CLAVE: ALUMINIO, RECICLAJE, REVESTIMIENTO, PANEL.

Abstract

The construction industry is considered as one of the main sources of environmental pollution worldwide, producing considerable negative effects on the environment, such as carbon dioxide (CO₂) emissions and greenhouse gas (GHG) caused by deforestation, burning of fossil fuels, production, and use of energy directly affecting the quality of life of people through air and climate; consequently causing the premature death of about 6 and 7 million people annually worldwide by respiratory and cardiovascular diseases, according to the UN data.

The creation of alternative materials for construction through the recycling method has allowed the reduction of this phenomenon. Considering this, this research sets as an objective to develop a prototype of recycled aluminum panel employing the process of secondary raw material collection, classification, cutting, casting, homogenization, molding, and inert gas injection.

The development is framed in the bibliographic analysis for the knowledge of metallic materials; an experimental phase in a laboratory that allows measuring the mechanical behavior of the material employing physical and thermo-acoustic tests; finally it is exposed the elaboration of a prototype to prefabricated scale from the aluminum alloy in combination with foaming and viscous agents; through the application of sodium carbonate, sodium chloride and aluminum sulfate, favoring the development of a homogeneous composition that allows configuring a recycled construction element to reduce the environmental impact, and to reduce the contamination by the minerals that provide the raw material. The result of the research contributes to the industry, technology, and innovation of materials as a sustainable alternative for the construction of cladding elements.

KEYWORDS: ALUMINUM, RECYCLING, COATING, PANEL.

Índice de Contenidos

Declaración	I
Certificación	II
Dedicatoria	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	VI
Abstract	VII
Índice de Contenidos	XI
Lista de Figuras	XV
Lista de Cuadros	XVII
Introducción	XIX
Problemática	XXI
Objetivos	XXII
Justificación	XXIV
Metodología	XXVI
1. Marco Teórico	1
1.1. El Aluminio	2
1.2. Localización de principales reservas de Bauxita -Aluminio PORCEN-TAJES	4
1.2.1. Localización de los principales productores de Aluminio en Ecuador	7

1.3.	Procesos y obtención de la materia prima: bauxita - alúmina – aluminio	9
1.3.1.	Proceso Bayer	10
1.3.2.	Proceso Hall – Héroult	11
1.3.3.	Proceso de Le Chatelier	12
1.4.	Propiedades y características técnicas del aluminio	13
1.5.	Uso y aplicación del aluminio	13
1.5.1.	Transporte	14
1.5.2.	Envases y Empaques	15
1.5.3.	Industria Eléctrica	15
1.5.4.	Uso Doméstico	16
1.5.5.	Otros	17
1.5.6.	Uso en la construcción	17
1.6.	Análisis del ciclo de vida del material - Energía Incorporada	20
1.7.	El reciclaje en los metales	27
1.7.1.	Reciclaje de Aluminio	29
1.7.1.1.	Procesos industriales para el tratamiento de residuos de Aluminio	33
1.8.	Centros de acopio en el contexto nacional	34
1.8.1.	RIMESA S.A.	36
1.8.2.	RECYNTER S.A	37
1.8.3.	RECICLAMETAL Cia. Ltda – Quito	37
1.9.	Centros de acopio en el contexto, Cuenca - Ecuador	38
1.9.1.	RECIMETAL S.A	40
1.9.2.	REXMETAL S.A	40
1.9.3.	RECICLAMETAL Cía. Ltda.	41
1.9.4.	METALAUSTRO Cía. Ltda.	41
2.	Diseño y experimentación de revestimientos de aluminio reciclado	48
2.1.	Obtención y Propiedades de materia prima	50
2.1.1.	Aluminio	50
2.1.2.	Cloruro de sodio	51
2.1.3.	Carbonato de sodio	52
2.1.4.	Sulfato de Aluminio	53
2.1.5.	Cloruro de magnesio	54
2.1.6.	Magnesio	55
2.1.7.	Feldespatos	56
2.1.8.	Propiedades de la materia prima	56
2.2.	Etapa de experimentación	57
2.2.1.	Aleación de aluminio y cloruro de sodio	59

2.2.2.	Aleación aluminio y carbonato de sodio	60
2.2.3.	Aleación de aluminio y sulfato de aluminio	61
2.2.4.	Aleación de aluminio y cloruro de magnesio	62
2.2.5.	Aleación de aluminio y magnesio	63
2.2.6.	Aleación de aluminio y feldespato	64
2.2.7.	Aleación de aluminio, cloruro de sodio y carbonato de sodio .	68
2.2.8.	Aleación de aluminio, cloruro de sodio y sulfato de aluminio .	69
2.3.	Elaboración de prototipo	70
2.3.1.	Preparación de materia prima	70
2.3.2.	Elaboración de molde	71
2.3.3.	Preparación y uso de equipos	72
2.3.3.1.	Horno crisol eléctrico	72
2.3.3.2.	Horno de mufla eléctrica	72
2.3.3.3.	Soplete de gas propano	72
2.3.3.4.	Tanque de gas argón	72
2.3.3.5.	Pirómetro	73
2.3.3.6.	Sistema de válvulas	73
2.3.3.7.	Bomba de vacío	73
2.3.4.	Preparación de la mezcla y elaboración del panel	74
3.	Resultados de los ensayos	84
3.1.	Ensayo a la compresión	84
3.2.	Ensayo a la flexión	89
3.3.	Prueba de aislamiento termo – acústico	94
3.3.1.	Descripción del montaje del módulo	95
3.3.2.	Instrumentos para la obtención de datos	96
3.4.	Prueba de aislamiento térmico	97
3.4.1.	Localización y emplazamiento del módulo de ensayo	98
3.4.2.	Análisis del comportamiento del panel - Prueba Exterior . . .	99
3.4.3.	Cálculo de conductividad térmica - Prueba Interior	102
3.4.4.	Resultados de aislamiento térmico	105
3.5.	Prueba de aislamiento acústico	108
3.5.1.	Resultados de la determinación del índice de aislamiento acústico	111
3.6.	Pruebas de campo	113
3.6.1.	Prueba de transmitancia lumínica	113
3.6.1.1.	Prueba de transmitancia lumínica natural	113
3.6.1.2.	Prueba de transmitancia lumínica artificial	115
3.6.1.3.	Resultados de prueba de transmitancia lumínica . .	116
3.6.2.	Prueba a la corrosión, envejecimiento acelerado o artificial . .	117

3.6.3. Prueba a la resistencia al agua	118
3.6.4. Prueba a la resistencia al corte	118
3.6.5. Prueba a la resistencia a la adhesión	119
3.7. Solución constructiva e instalación del panel	120
3.8. Usos y aplicaciones de panel de aluminio reciclado	125
3.9. Análisis y evaluación de la factibilidad del panel	131
3.9.1. Factibilidad del panel	133
Conclusiones	139
Recomendaciones	140
Bibliografía	141
Anexos	153

Lista de figuras

1. Esquema metodológico	XXV
1.1. Línea de tiempo de hallazgos del aluminio	2
1.2. Procesos de obtención de aluminio	4
1.3. Localización de reservas de bauxita a nivel mundial	5
1.4. Empresas metalúrgicas de América	6
1.5. Empresas metalúrgicas de Oceanía	7
1.6. Localización de industria metalmeccánica del Aluminio en Ecuador	8
1.7. Proceso de obtención de materia prima	9
1.8. Proceso de obtención de alúmina	10
1.9. Proceso de obtención de aluminio	11
1.10. Proceso de obtención de alúmina	12
1.11. Porcentajes de uso y aplicación de aluminio	14
1.12. Uso del aluminio en el transporte	15
1.13. Uso del aluminio en el transporte	15
1.14. Uso del aluminio en la industria eléctrica	16
1.15. Uso doméstico del aluminio	16
1.16. Diversidad de usos del aluminio	17
1.17. Uso del aluminio en la construcción	18
1.18. Clasificación de los usos del aluminio en la construcción	19
1.19. Contaminación atmosférica provocada por la industria de materiales.	21
1.20. Residuos de Aluminio que causan contaminación.	23
1.21. Emisiones de gases de efecto invernadero por sector económico	24
1.22. Emisiones generadas en el ciclo de vida de un material	26
1.23. Etapas del ciclo de vida de una edificación	27
1.24. Reciclaje de materiales metálicos	29
1.25. Reciclaje de Aluminio	31
1.26. Proceso de reciclaje de aluminis	32
1.27. Proceso de fundición de aluminio	34
1.28. Ubicación de centros de acopio a nivel nacional	36
1.29. Instalaciones de Rimesa S.A.	36

1.30. Instalaciones de Recynter S.A.	37
1.31. Instalaciones de Reciclamental Cia. Ltda	38
1.32. Ubicación centros de acopio en Cuenca	39
1.33. Ubicación Recimetal S.A en Cuenca	40
1.34. Ubicación Rexmetal S.A en Cuenca	40
1.35. Ubicación Reciclamental Cia. Ltda en Cuenca	41
1.36. Ubicación MetalAustro en Cuenca	42
1.37. Instalaciones de Incoa & Taller Mil Usos	44
1.38. Esquema resumen capítulo 1	46
2.1. Espumas de aluminio	49
2.2. Obtención de aluminio	50
2.3. Obtención de cloruro de sodio	51
2.4. Obtención de carbonato de sodio	52
2.5. Obtención de sulfato de aluminio	53
2.6. Obtención de cloruro de magnesio	54
2.7. Obtención de magnesio	55
2.8. Obtención de feldespato	56
2.9. Procesos de elaboración de probetas	58
2.10. Procesos de aleación de aluminio y cloruro de sodio	59
2.11. Procesos de aleación de aluminio y carbonato de sodio	60
2.12. Procesos de aleación de aluminio y sulfato de aluminio	61
2.13. Procesos de aleación de aluminio y cloruro de magnesio	62
2.14. Procesos de aleación de aluminio y magnesio	63
2.15. Procesos de aleación de aluminio y feldespato	64
2.16. Procesos de aleación de cloruro de sodio, carbonato de sodio y aluminio	68
2.17. Procesos de cloruro de sodio, sulfato de aluminio y aluminio	69
2.18. Preparación de aluminio y elementos	70
2.19. Axonometría y dimensiones de molde	71
2.20. Fotografías de equipos	74
2.21. Colocación y fundición de materia prima	75
2.22. Procesos de aleación de elementos	76
2.23. Procesos de colocación de la colada	77
2.24. Procesos de extracción e inyección de gas	78
2.25. Desmoldado y lavado del panel	79
2.26. Procesos de obtención final	80
2.27. Prototipo final	80
2.28. Esquema resumen capítulo 2	82
3.1. Probetas y equipo en la prueba de compresión	85

3.2. Probetas sometidas a compresión	86
3.3. Fuerza máxima admitida en las probetas	87
3.4. Resistencia máxima a la compresión	88
3.5. Probetas y equipo en la prueba de flexión	90
3.6. Aplicación de cargas en el panel para prueba de flexión	90
3.7. Carga máxima a la flexión soportada por las probetas	92
3.8. Cálculo del módulo de ruptura a flexión de las probetas	93
3.9. Axonometría y composición de caja de ensayos	95
3.10. Procesos de elaboración de módulo experimental	96
3.11. Instrumentos utilizados para pruebas	97
3.12. Emplazamiento del módulo experimental	99
3.13. Proceso de toma de datos para cálculo del comportamiento del panel	100
3.14. Temperatura del aire exterior – interior	102
3.15. Análisis de temperaturas del módulo experimental	102
3.16. Proceso de toma de datos para cálculo de la conductividad térmica del panel	103
3.17. Análisis de aislamiento térmico	105
3.18. Efecto Chimenea	107
3.19. Proceso de toma de datos para el cálculo de aislamiento acústico . .	109
3.20. Análisis de aislamiento acústico	111
3.21. Índice de aislamiento acústico aparente	111
3.22. Prueba de transmitancia lumínica natural	114
3.23. Prueba de transmitancia lumínica artificial exterior	115
3.24. Prueba de transmitancia lumínica artificial interior	116
3.25. Resultados de la prueba del envejecimiento acelerado	117
3.26. Resultados de prueba a la resistencia al agua	118
3.27. Resultados de prueba de resistencia al corte	119
3.28. Procesos de elaboración de módulo experimental	119
3.29. Detalle constructivo para uso entre panel prefabricado y losa	122
3.30. Detalle constructivo para uso de revestimiento exterior	122
3.31. Detalle constructivo para uso de revestimiento exterior oculto	123
3.32. Detalle constructivo para uso en revestimiento interior	124
3.33. Detalle constructivo para uso de revestimiento interior oculto	124
3.34. Detalle constructivo para uso de cielo raso	125
3.35. Uso de panel de aluminio reciclado en revestimiento exterior	126
3.36. Uso de panel de aluminio reciclado en el cielo raso interior	127
3.37. Uso de panel de aluminio reciclado en counter de recepción	128
3.38. Uso de panel de aluminio reciclado en el cielo raso interior	128
3.39. Uso de panel de aluminio reciclado en mampostería interior	129

3.40. Uso de panel de aluminio reciclado en fachada ventilada	129
3.41. Uso de panel de aluminio reciclado cielo raso interior y panel decorativo	130
3.42. Uso de panel de aluminio reciclado en mampostería interior	130
3.43. Uso de panel de aluminio reciclado en mampostería interior	131
3.44. Centro de artes y música ubicado en New Jersey - USA	134
3.45. Pandora ubicado en Roma - Italia	134
3.46. Bar 417 ubicado en Tokio - Japón	135
3.47. Esquema resumen capítulo 3	136

Lista de cuadros

1.1. Propiedades físicas, químicas y mecánicas del aluminio	13
1.2. Ventajas del reciclaje de aluminio	30
1.3. Cuantificación de aluminio reciclado	43
2.1. Propiedades y características de elementos	57
2.2. Aleación de cloruro de sodio y aluminio	59
2.3. Aleación de carbonato de sodio y aluminio	60
2.4. Aleación de sulfato de aluminio y aluminio	61
2.5. Aleación de cloruro de magnesio y aluminio	62
2.6. Aleación de magnesio y aluminio	63
2.7. Aleación de feldespato y aluminio	64
2.8. Mejores resultados de aleaciones de aluminio	67
2.9. Aleación de cloruro de sodio, carbonato de sodio y aluminio	68
2.10. Aleación de cloruro de sodio, sulfato de aluminio y aluminio	69
2.11. Dosificación final	75
3.1. Esfuerzo deformación máxima de paneles de aluminio	86
3.2. Resistencia máxima a la compresión	88
3.3. Resistencia máxima a la compresión	89
3.4. Carga máxima a la flexión soportada por las probetas	91
3.5. Cálculo del módulo de ruptura a flexión	93
3.6. Cuadro comparativo de resistencia a la flexión	94
3.7. Análisis del comportamiento térmico del panel	101
3.8. Análisis del comportamiento térmico del panel	105
3.9. Cuadro comparativo de conductividad térmica	107
3.10. Análisis del comportamiento de aislamiento acústico bruto del panel	110
3.11. Cuadro comparativo de índice de aislamiento acústico	112
3.12. Comportamiento de transmitancia lumínica natural	114
3.13. Comportamiento de transmitancia lumínica artificial	115
3.14. Cuadro comparativo de índice de transmitancia lumínica	117
3.15. Análisis de precios unitarios panel	132

3.16. Precio de panel por m2	132
3.17. Precios comparativos de materiales	133



PAR

**Panel de
Aluminio Reciclado**

Introducción

Los materiales de construcción están ligados directamente al desarrollo del ser humano ya que han sido utilizados desde tiempos inmemorables para satisfacer las diferentes necesidades que han surgido en la sociedad (Salomón, 2005). Es por ello que el reciclaje y la reutilización de los materiales se ha convertido en uno de los pilares fundamentales para la creación de nuevos componentes de construcción ligados a una problemática puntual, la cual hace referencia a la disminución de los impactos ambientales negativos, producto de la extracción de la materia prima para la producción de los distintos materiales de construcción (Ríos Ocampo et al., 2017, p.79). A partir de dichas demandas de siente la necesidad de identificar procesos alternativos para la obtención de materiales de construcción, especialmente en el ámbito de materiales metálicos no renovables como el aluminio (Bustillo, 2008).

El aluminio se genera a través de la obtención de bauxita, pese a que la bauxita o aluminio representan el tercer material más abundante en la tierra también contribuye a ser la industria más contaminante, debido a que es uno de los materiales que genera mayores impactos a nivel ambiental porque al extraer su materia prima se genera altas emisiones de CO₂, dióxido de azufre, vapores de alquitrán y un alto consumo energético (Ceban, 2019).

En este marco se identifica estrategias económicas y medioambientales más factibles como la práctica del reciclaje o la obtención del metal secundario o de segunda fusión, a través de la fundición de diversos tipos de trozos procedentes de la elaboración primaria del aluminio, generando chatarras y residuos que permiten la recuperación del aluminio de materiales que lo contienen y que han sido desechados (Ortega Toledano, 2017). Por tal motivo es imperioso reciclar y reutilizar la materia prima para generar nuevos materiales que puedan servir a la industria de la construcción.

En la presente investigación se desarrolla un revestimiento de aluminio reciclado como material alternativo para la construcción amigable con el ambiente, los mismos que se aplicarán en la arquitectura para la satisfacción de las necesidades de una parte de la población ayudando al mismo tiempo al cuidado y conservación del medio ambiente. Por esta razón este trabajo de investigación busca reducir el impacto al medio ambiente, a través del reciclaje y la reutilización del aluminio, con el objetivo de evitar grandes procesos de extracción y fabricación de la materia prima necesaria para la obtención del aluminio y su uso como paneles de revestimiento en las edificaciones.

Finalmente, se elabora un prototipo de panel de dimensiones de 30cm x 30cm y se desarrolla un módulo experimental de aluminio reciclado, en el cual se realizan

los ensayos físicos – mecánicos estipulados a través de las normas [ASTM E9](#) para la compresión, [ASTM D790 - 03](#) para la flexión y las normas [NEC 11](#) para aislamiento térmico y acústico respectivamente, teniendo análisis secundarios para determinar el comportamiento del mismo a través de las normas [UNE - EN 13162](#) para la resistencia a la corrosión, [AAMA 2605 -05](#) para la resistencia al agua, [ASTM D732 - 02](#) para la resistencia al corte y finalmente la prueba a la adhesión a través de la norma [ASTM D3359](#)

Formulación del problema.

La alta demanda de materiales de construcción ha desencadenado el crecimiento exponencial de la generación de impactos ambientales severos los cuales en la mayoría de casos son irreversibles debido a su gran magnitud; tal es el caso de los materiales metálicos como el aluminio, precedido del hierro y el cobre que impactan de manera significativa al ambiente (De la Torre, Guevara, & Yépez, 2009). Uno de los impactos más evidentes de la producción de aluminio primario es la destrucción del suelo puesto que para lograr la extracción de la bauxita (materia prima para la obtención del aluminio) se obtiene una excavación de por lo menos 10 toneladas de rocas por cada tonelada de aluminio primario (Millán Delgado et al., 2015, p. 135). A su vez la transformación de la bauxita en alúmina y de esta en aluminio obtenemos otro aspecto ambiental negativo puesto que genera una gran cantidad de emisión de gases CO₂ y otros impactos que afectan al medio ambiente.

La fabricación de aluminio no afecta únicamente a la parte ambiental, sino también a la parte económica. En efecto la fabricación de aluminio de primera es menos rentable que la reutilización del mismo debido al alto costo de producción y de consumo energético, ubicando a la producción de este material como el séptimo mayor consumidor de energía en comparación de los sectores químicos, madereros, petroleros, siderúrgico, alimentos y minería (Millán Delgado et al., 2015, p. 135).

Delimitación del problema

La extensión de los ciclos de vida útil de los materiales convencionales que contribuya con los principios de economía circular en donde la reutilización es un pilar fundamental en el ecodiseño constructivo; que permite reducir la producción de desechos y por ende los impactos asociados. La necesidad de diversificar los materiales en la construcción desarrollados a partir de la reutilización y aprovechamiento de residuos sólidos; asociados a mecanismos innovadores de manufacturación, permiten la reducción del impacto ambiental y disminuye la contaminación evitando el desperdicio de los recursos viables; gracias a la inclusión de procedimientos con características que puedan mejorar los mecanismos tradicionales.

El estudio se enfoca en la reducción de dichos impactos a través de la reutilización de los materiales para la posterior construcción de paneles de aluminio a través de la obtención de la materia prima por medio de una fase secundaria denominada reciclaje. Sucesivamente se realizará la aleación del mismo con la posterior aplicación de diversos elementos químicos que permitirán la creación de tipologías de texturas.

Este nuevo elemento de construcción será aplicado como revestimiento en las edificaciones y se someterán a las pruebas de laboratorio con la finalidad de establecer su comportamiento bajo la pruebas físicas y mecánicas del material.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un módulo prefabricado de aluminio reciclado para su uso en revestimientos exteriores de las edificaciones.

Objetivos específicos

1. Revisión bibliográfica sobre la extracción de materia prima, ventajas del reciclaje y la elaboración de revestimientos de aluminio reciclado en elementos constructivos.
2. Analizar las características físicas, mecánicas, térmicas y acústicas del aluminio reciclado para establecer su viabilidad en la construcción.
3. Desarrollar un prototipo de material alternativo a escala a partir de aluminio reciclado.

Justificación

La bauxita, materia prima para producir aluminio, es uno de los minerales más abundantes de la corteza terrestre. De acuerdo con las estimaciones del servicio geológicos de los estados unidos denominada por sus siglas en inglés como USGS, la mayor cantidad de reservas se encuentra en Guinea, con un total de 7.400 millones de toneladas de bauxita. Australia, Vietnam y Brasil también se encuentran entre los países con mayor nivel de reservas a nivel mundial un 32 % de estos recursos se encontraría en África, 23 % en Oceanía y 21 % en América del Sur & Central. Asia, por su parte, cuenta con un 18 % de las reservas a nivel global ([Unidad de Planeación Minero Energética, 2018](#)).

A través del tiempo y de la alta demanda de la materia prima se ha recurrido a la técnica del reciclaje alcanzando porcentajes a nivel mundial que oscilan entre un 50 % a 85 %. El reciclado del aluminio es un proceso que desde el punto de vista técnico supone un gran ahorro de energía y de materia prima, que al recuperarse conserva gran parte de sus propiedades, permitiendo reutilizar el material múltiples veces ([Amigos de la Tierra, 2015](#)), al utilizar aluminio reciclado se ahorra un 95 % de la energía empleada a partir de la producción del mineral primario. De acuerdo a los procesos de reciclaje o reutilización de materiales se determina que la presencia de aluminio de segunda fase se lo puede encontrar de varias formas ya sea en envases, latas, instrumentos de electricidad y comunicación, transporte, edificación y construcción. Según índices mundiales de recolección de desechos y reciclaje en Europa, se recicla alrededor de un 42 % en las latas, 85 % en los materiales de construcción y 95 % en los vehículos de transporte y el país que lidera el reciclaje de aluminio es Brasil, donde la tasa llega al 97 %, seguido por Japón ([Soria Soto, 2013](#)).

A nivel nacional según El Censo Nacional Económico realizado en el 2010 por el Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos, se muestra cifras de 24 establecimientos dedicados al procesamiento de desecho de metales, los cuales actualmente a nivel nacional reciclan alrededor de 400000 toneladas de metales, siendo el aluminio el material con mayor índice de reciclaje, obteniendo un porcentaje del 30 %, también se determina que el reciclaje de materiales metálicos genera un impacto social positivo ya que permite generar fuentes de empleo o ingresos suplementarios a las personas dedicadas a esta actividad ([INEC, 2010](#)). A nivel local se encuentran programas estipulados por el municipio de Cuenca y la EMAC, que permiten la recolección y clasificación de residuos metálicos para su reutilización, permitiendo así la viabilidad de la propuesta de revestimientos a base de aluminio reciclado debido a la gran cantidad y solvencia que presenta el material tanto en su fase primaria de extracción como en su fase secundaria de reutilización y reciclaje, evidenciando la viabilidad

de la propuesta , debido a la facilidad de obtención de materia prima secundaria, a través del método del reciclaje.

Para poder cumplir con los objetivos que se plantean en esta investigación, se desarrolla 3 estrategias metodológicas puntuales, (1) revisión bibliográfica, (2) método experimental - análisis de casos, y (3) ensayos de laboratorios.

Figura 1: Esquema metodológico



Fuente y Elaboración: Autores

1. Revisión bibliográfica sobre la extracción de materia prima, ventajas del reciclaje y la elaboración de revestimientos de aluminio reciclado en elementos constructivos.

Utilizar el análisis de los procesos de obtención de la materia prima del aluminio, reciclaje y determinar las afecciones medio ambientales que generan los materiales de construcción al realizar los procesos para la recolección de los productos primarios, a su vez complementar con el método de campo para determinar la factibilidad y costos de materia prima secundaria para la creación de un material alternativo para la construcción.

2. Desarrollar un prototipo de material alternativo a escala a partir de aluminio reciclado.

Con la finalidad de encontrar similitudes y dosificaciones aproximadas de procesos y forma de elaboración de revestimientos de aluminio se utiliza la investigación bibliográfica con la cual es posible desarrollar el método experimental con la finalidad de encontrar el proceso adecuado a nuestro medio, para la obtención de una dosificación ideal de la aleación y la fabricación de prototipos de panel de aluminio reciclado.

3. Analizar las características físicas, mecánicas, térmicas y acústicas del aluminio reciclado para establecer su viabilidad en la construcción.

Al concluir con el desarrollo experimental es necesario el análisis del comportamiento del panel a través de los ensayos de laboratorio y pruebas de campo, que permiten determinar sus características a través de normas NEC - ASTM - ISO - AAMA, provenientes de una previa revisión y búsqueda bibliográfica de acorde al tipo y aplicación que se le dará al nuevo material alternativo. Finalmente, a partir de ello se puede determinar las características y aplicaciones que puede tener el panel de acuerdo a los resultados obtenidos.

CAPÍTULO

Marco teórico



Marco Teórico

Desde épocas pretéritas la existencia de instrumentos para la supervivencia de la humanidad ha requerido el uso de materiales encontrados en la naturaleza, a fin de obtener herramientas en beneficio propio (Esparza Rodríguez et al., 2017, p. 4). El primer mineral metálico del que se tiene registro de uso por parte de las culturas antiguas es el óxido de hierro hidratado (Fe_2OHO) mezclado con arcilla; el cual se utilizaba como pigmento para las pinturas que plasmaban en las rocas, así como para la decoración. Posteriormente, el primer metal trabajado fue el cobre, aproximadamente entre los años 4000-3000 a. C., debido a que era posible trabajarlo en frío, generalmente por martillado (Esparza Rodríguez et al., 2017, p. 4). A través del tiempo se ha llegado a conocer que el aluminio ha sido utilizado desde épocas romanas con el emperador Tiberio, al igual que la civilización china en la tumba del general Chu-Chi-Tsin en donde se han encontrado hallazgos de un cinturón de compuesto de 80 % de aluminio (López, 1991, pág. 175).

A pesar de todos los hallazgos y primeros indicios del uso del aluminio en las civilizaciones no es hasta el siglo XIX en donde se registran los intentos de obtención de aluminio, a través de varios científicos europeos..

Por primera vez el nombre de aluminio sale a la luz en 1809, cuando el científico europeo Sir Humprey Davy obtiene una aleación de hierro – aluminio al horno eléctrico (Ceban, 2019). Mas tarde en 1821 Berthier, mediante unos ensayos y análisis de laboratorio examina una roca mineral, en la cual se encuentra altos porcentajes de hidróxidos de aluminio, descubierta en un yacimiento cercano a la ciudad francesa de Baux, es por ello que, a partir de esta fecha, dicho mineral toma el nombre de Bauxita (López, 1991, pág. 175; Ceban, 2019).

Se cree que la primera obtención se logró, hacia el año 1825, Hans Christian Oersted, consecutivamente se afianza la obtención de aluminio por medio de un proceso de laboratorio inventado por el alemán Friedrich Wohler en el año de 1837 y que en 1845 produjo cantidades suficientes como para conocer las características técnicas del mismo. En 1854 Henri Sainte – Claire Deville produce aluminio industrialmente, mejorando un proceso de laboratorio inventado por el alemán Friedrich Wohler, permitiendo la reducción de costos de producción hasta en un 90 %, dejando

de ser así un metal precioso (Ceban, 2019).

Sin embargo, el desarrollo de la industria del aluminio químico alcanza su auge en el año de 1886, de manera simultánea gracias a la Aliance Aluminium Company, dos jóvenes científicos de 22 años Paul Louis Hérault y Charles Martín Hall, ubicado en dos territorios geográficamente diferentes Francia y EEUU, los cuales encuentran el método electrolítico utilizado hasta la actualidad (López, 1991, pág. 175). Finalmente, en 1889 Karl Josef Bayer inventó el proceso Bayer para la obtención de alúmina a gran escala a partir de la bauxita, siendo este un proceso siderometalúrgico de extracción y separación eficaz (Ceban, 2019).

Figura 1.1: Línea de tiempo de hallazgos del aluminio



Fuente: (Rouhi,2016; Duncan,2019.)
Elaboración: Autores

1.1. El Aluminio

El aluminio es un elemento químico metálico que se produce a través de procesos industriales que se encuentra en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, del cual se extrae el mineral conocido con el nombre de bauxita que contienen aluminio en forma de minerales denominado aluminio de silicato (Ortega Toledano, 2017).

La bauxita es una roca sedimentaria de origen químico compuesta mayoritariamente por alúmina Al_2O_3 y, en menor medida, óxido de hierro y sílice, su característica es de color rojizo y es un residuo producido por la meteorización de las rocas ígneas en condiciones geomorfológicas y climáticas favorables. La bauxita es un mineral descubierto en Baux- Francia, de origen secundario, formado por los restos de

descomposición de distintos aluminosilicatos que constituyen la inmensa mayoría de rocas de la corteza terrestre, cuyos sedimentos conforman una especie particular de arcilla integrada por la mezcla de diversos óxidos ([Ortega Toledano, 2017](#), pág. 3). La presencia de bauxita se encuentra a lo largo de todo el territorio geográfico, siendo Asia, América del Sur y Australia los continentes con mayor área de yacimientos, a su vez Brasil el país con mayor índice de explotación ([Ceban, 2019](#)).

El aluminio es el metal ferroso más abundante de la corteza terrestre, siendo el segundo elemento en cantidad después del sílice (silicatos de aluminio) no se encuentra en estado libre, sino formando compuesto con el oxígeno ([Pro Materiales, s.f.](#)). Es un metal blanco plateado y de peso ligero, con características de dureza, ligereza, ductilidad, y muy maleable que proviene de la rocas ígneas denominada bauxita, seguida de una serie de procesos químicos en los cuales se obtiene la alúmina para finalmente convertirla en aluminio, es un excelente conductor del calor y de la electricidad, no se altera en contacto con el aire, ni se descompone en presencia del agua, debido a que su superficie, queda recubierta con una fina capa de óxido que lo protege del medio. También se puede obtener aluminio secundario, siendo aquél que se obtiene al alear el aluminio primario con otros metales o al reciclar objetos que contengan aluminio ([Basurto Cruz, 2017](#)).

El aluminio es un metal muy reciente, extraído por primera vez en 1854. Producido comercialmente como un metal precioso desde 1886, no fue hasta la década de 1950 cuando se comenzó a utilizar en aplicaciones civiles. La primera utilización conocida del aluminio en la edificación se remonta a 1898 cuando la cúpula de la iglesia de San Joaquín en Roma fue revestida con láminas de aluminio. El impresionante Empire State Building en New York, inspirado en Art-Deco, fue el primer edificio en utilizar componentes de aluminio anodizado en 1931 ([European Aluminium Association, s.f.](#)).

En la actualidad se ha convertido en un material con innumerables aplicaciones en todos los ámbitos de producción y consumo de la sociedad actual: transporte, construcción, decoración, señalización, embalaje o incluso moda, ofreciendo las mejores opciones en funcionalidad y estética ([Pro Materiales, s.f.](#)).

Tiene un peso específico de 2.7 Kg /dm y funde a los 667 °C. Su resistencia a la tracción es de unos 10 Kg/mm³ si es fundido o recocido, valor que se duplica si está laminado en frío (agrío); esta resistencia decrece rápidamente si aumenta la temperatura; así, a 300°C su resistencia disminuye a un tercio y a 500°C a un décimo de su valor en frío ([Pro Materiales, s.f.](#)).

Figura 1.2: Procesos de obtención de aluminio



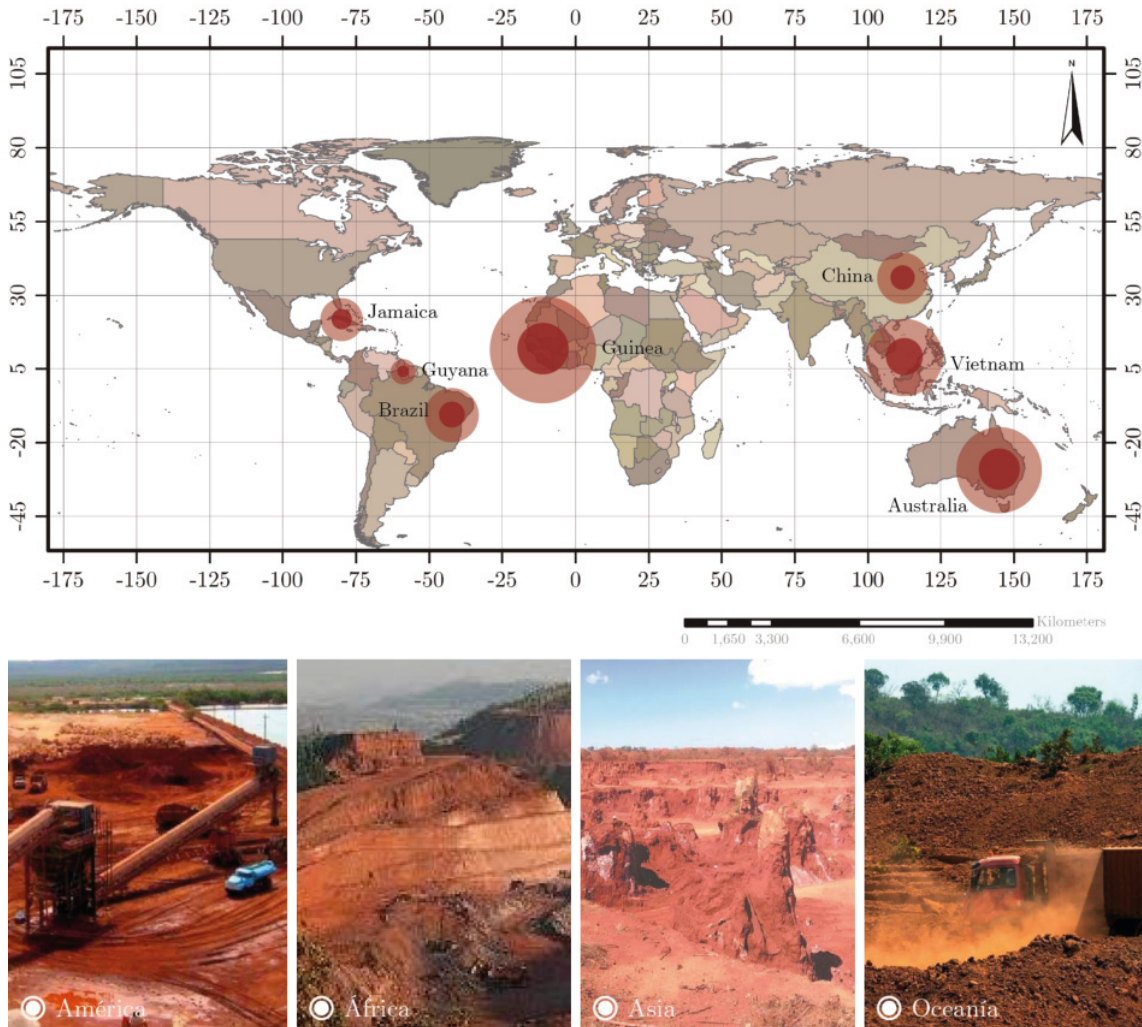
Fuente y Elaboración: Autores

1.2. Localización de principales reservas de Bauxita -Aluminio PORCENTAJES

La bauxita es la materia prima para producir aluminio, es uno de los minerales más abundantes de la corteza terrestre. De acuerdo con las estimaciones del servicio geológico de los estados unidos denominada por sus siglas en inglés como USGS, la mayor cantidad de reservas se encuentra en Guinea, con un total de 7.0 millones de toneladas de bauxita. Australia, Vietnam y Brasil también se encuentran entre los países con mayor nivel de reservas a nivel mundial un 32% de estos recursos se encontraría en África, 23% en Oceanía y 21% en América del Sur & Central. Asia, por su parte, cuenta con un 18% de las reservas a nivel global ([Unidad de](#)

Planeación Minero Energética, 2018).

Figura 1.3: Localización de reservas de bauxita a nivel mundial



Fuente: Piña, 2015
Elaboración: Autores

Dentro del continente americano se encuentran tres principales reservas de bauxita ubicadas en: Brasil en donde la explotación de bauxita se realiza a cielo abierto y se encuentra localizada al este del país en el estado de Pará, denominada como Paragominas. El país cuenta con una producción anual de 5.4 millones de toneladas y un total de producción de 878 millones de toneladas hasta la actualidad, localizadas en una extensión aproximada de 1000 km². Actualmente la mina está operada por la empresa brasilera CVRD, desde el año 2007. La operación está ubicada al este de la región Amazónica y el Maranhão Basin (Piña, 2015). Para Jamaica la bauxita es el mineral más importante, ocupando dos terceras partes de la isla por ende es el tercer productor mundial. El país cuenta con reservas estimadas de 2 mil

millones de toneladas (Piña, 2015). Finalmente, en la Guyana la bauxita es uno de los mayores productos de explotación, a partir de 1910. Las primeras explotaciones de bauxita comienzan con la mina denominada Three Friends Mine ubicada al sur de Mackenzie, seguida posteriormente de Ituni y Kwakwani. En la actualidad la explotación se encuentra a cargo de East Montgomery mine operada por Linmine, Aroaima trabajada por la empresa Aroaima Mining Company y Kwakwani (Piña, 2015).

Figura 1.4: Empresas metalúrgicas de América



*Fuente: SudOuest. 2013; Saenz, 2014; Davies, 1997.
Elaboración: Autores*

En el continente Australiano se encuentra la segunda reserva más grande de mundo de bauxita, en las cuales se pueden encontrar dos minas importantes al suroeste de la misma pertenecientes a la empresa Alcoa Australia Ltd. La primera se llama, Huntly seguida de la mina de Willowdale, produciendo alrededor de 32 millones de toneladas de bauxita al año (Piña, 2015).

Así mismo se encuentra la segunda empresa de explotación Rio Tinto Ltd, ubicada al noroeste de la isla, cuenta con dos minas; una de ellas es Alcan Gove Operation, produciendo alrededor de 8.5 millones de toneladas al año; la otra, es la mina de Weipa con una producción anual de 16.2 millones de toneladas (Piña,

2015).

Figura 1.5: Empresas metalúrgicas de Oceanía



*Fuente: Waio, 2017; Hoyle, 2015; Horizon, 2018.
Elaboración: Autores*

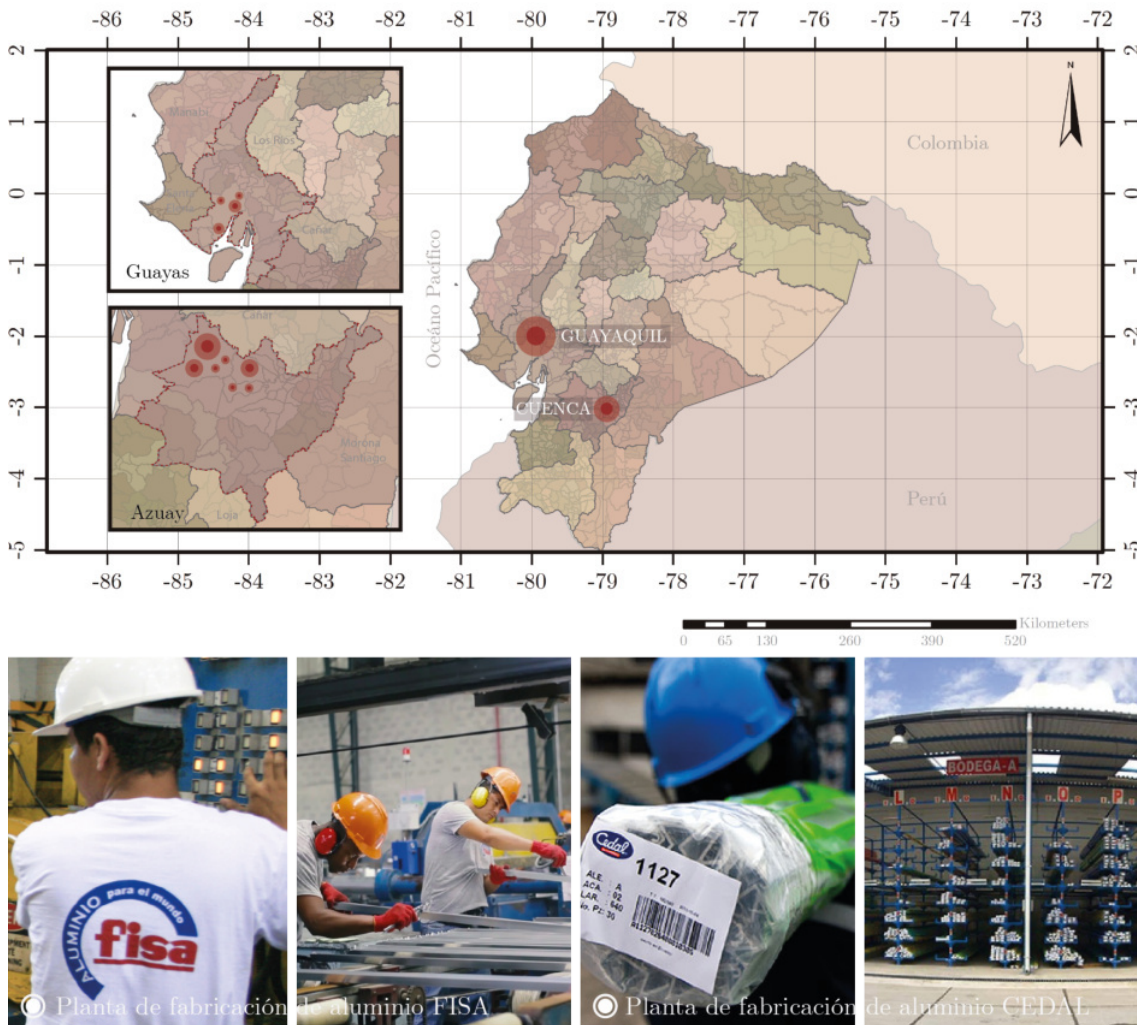
En el continente Asiático se encuentra una empresa encargada de la minería y metalurgia conocida como Bosai Minerals Group Co., Ltd ubicada al sureste con una producción anual de 300 mil toneladas anuales (Piña, 2015). Dentro del continente Africano la producción de bauxita se encuentra ubicada al oeste del país en Guinea, la empresa metalúrgica y minera a cargo se llama Alcoa y Rio Tinto Alcan, que presentan una producción anual de entre 11,5 y 12,5 millones de toneladas, siendo esta una de las más grandes a nivel mundial, según estadísticas de la USGS (Piña, 2015).

1.2.1. Localización de los principales productores de Aluminio en Ecuador

La industria metalmeccánica en el Ecuador se encuentra ubicada en las provincias de Pichincha, Guayas y Azuay principalmente (Loor, 2018), Existen las empresas FISA y CEDAL dedicadas la extrusión de aluminio con sus plantas en Guayaquil

y Latacunga respectivamente, además disponen de una red de distribuidores en el país (Quimbita Naranjo & Navarro Ramón, 2016).

Figura 1.6: Localización de industria metalmecánica del Aluminio en Ecuador



Fuente: FISA,2020; CEDAL,2019.

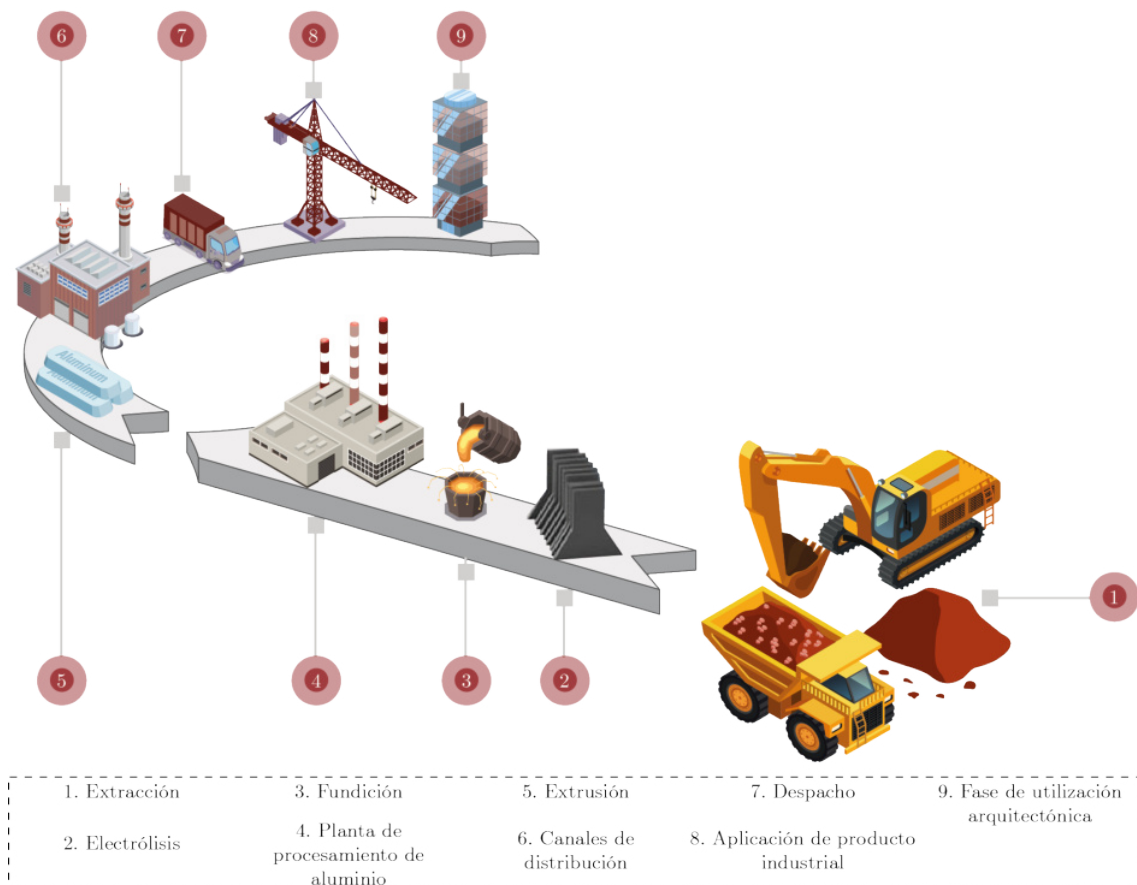
Elaboración: Autores

Quimbita Naranjo & Navarro Ramón, 2016, explica que la alta calidad de los productos que se producen en las empresas ecuatorianas ha permitido que los constructores usen los diversos productos en sus proyectos arquitectónicos, tal es el caso que las empresas ecuatorianas CEDAL y FISA importan aluminio y materia prima desde Argentina, Francia, Venezuela, EEUU y Canadá. Según estadísticas del Banco Central del Ecuador durante el año 2010 fueron del 11' 578.510 kilos de aluminio que corresponde el 45% a Cedal y el 55% a FISA. La producción de Cedal está distribuida en un 90% para el mercado local y un 10% para el mercado internacional a diferencia de FISA que el 35% es para el mercado internacional y

un 65 % para el mercado local.

1.3. Procesos y obtención de la materia prima: bauxita - alúmina – aluminio

Figura 1.7: Proceso de obtención de materia prima



Fuente: CEDAL, 2019.

Elaboración: Autores

El mineral del cual se extrae el aluminio, comúnmente llamado bauxita, es abundante y se encuentra principalmente en áreas tropicales y subtropicales: África, Antillas, América del Sur y Australia. Hay también algunas minas de bauxita en Europa. La bauxita se refina para obtener óxido de aluminio (alúmina) y luego a través de un proceso electrolítico es reducida a aluminio metálico.

La bauxita es un material heterogéneo que consiste principalmente en uno o más minerales de hidróxido de aluminio, tales como gibbsita $[Al(OH)_3]$, boehmita $[AlO(OH)]$ o diaspore $(HAlO_2)$, además de diversas combinaciones de sílice $[SiO_2]$,

aluminosilicatos como: arcilla, óxido de hierro $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$, óxido de titanio $[\text{TiO}_2]$ y otras impurezas (Abud, 2017, pág 41).

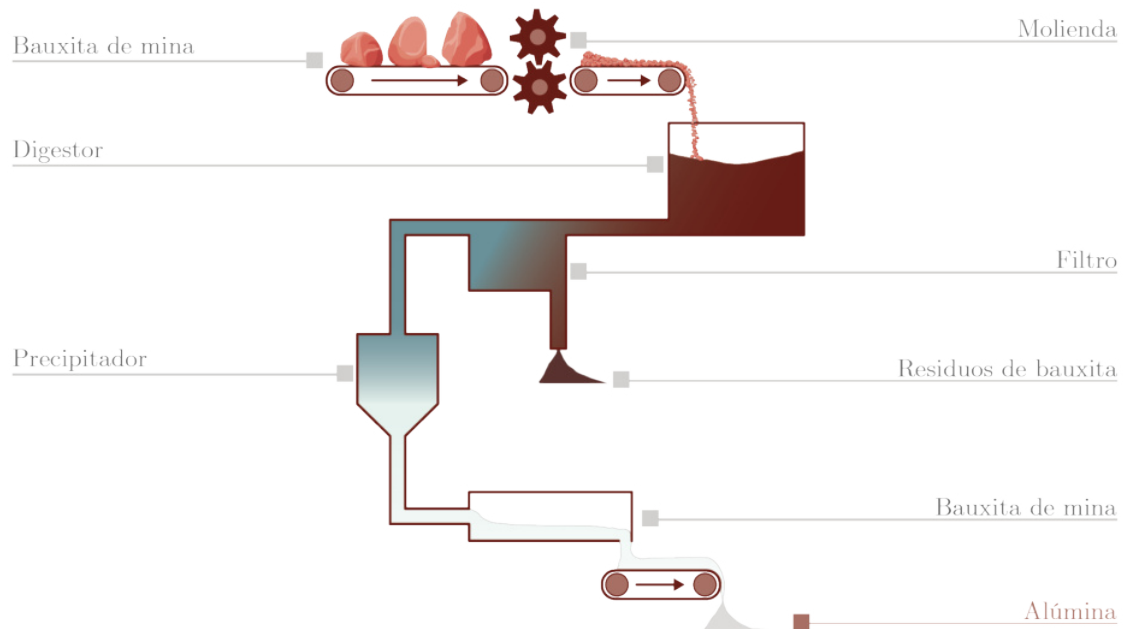
Los procesos de meteorización han dado lugar a un perfil en el que el material aluminoso valioso radica en su parte superior de una base de aluminosilicato (a menudo arcilla) y se ha formado a través de la lixiviación de sílice. El lodo rojo es el residuo sólido generado por la refinación de alúmina del mineral de bauxita, principalmente mediante el proceso Bayer, que utiliza sosa cáustica para disolver el silicato de aluminio. La producción de 1 tonelada de alúmina genera alrededor de 1 y 1,5 toneladas de residuos o contaminantes denominado lodo rojo.

En el proceso Bayer, la bauxita se disuelve en una solución de hidróxido de sodio a temperaturas que van desde $100\text{ }^\circ\text{C}$ a $250\text{ }^\circ\text{C}$, dependiendo de la forma de la alúmina, corindón y esmeril, en la bauxita (Abud, 2017, pág 41), este proceso también se los puede realizar por el proceso Chatellier, pero con un costo mayor debido al proceso utilizado.

La bauxita es el principal mineral para la producción de metal de aluminio a través de un proceso de dos etapas que implica, en primer lugar, el refinado de la bauxita en alúmina por un proceso de lixiviación cáustica químico húmedo (Proceso Bayer) y, en segundo lugar, la reducción electrolítica de alúmina a metal aluminio (Proceso Hall-Hérout) (Abud, 2017, pág 41).

1.3.1. Proceso Bayer

Figura 1.8: Proceso de obtención de alúmina



Fuente: Pérez, 2017.

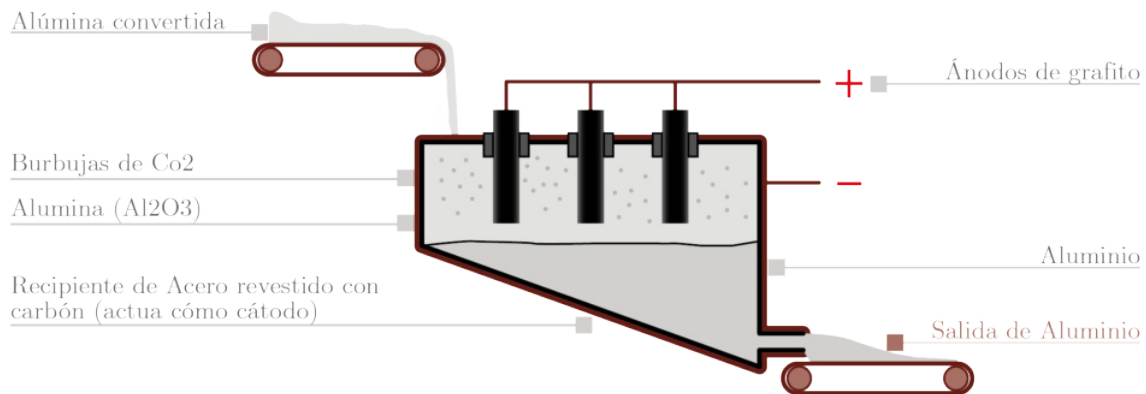
Elaboración: Autores

El proceso Bayer es el principal método para la producción de alúmina a partir de bauxita en todo el mundo. La versión moderna del proceso (desarrollado en la década de 1880) todavía mantiene los pasos clave para la disolución de alúmina con presencia de minerales a través del proceso de solución cáustica caliente, es decir la separación de la insoluble mediante las fases de transformación de la bauxita a la alúmina, seguido de precipitación de gibbsita y la calcinación de la gibbsita a aluminio (Abud, 2017, pág 41).

La bauxita, inicialmente molida, es mezclada a una solución de hidróxido de sodio (NaOH), dónde es disuelta y reacciona formando una solución de aluminato de sodio ($\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3$) mientras las impurezas se quedan en la fase sólida y son conocidas como barro rojo, (Garrido et al., 2008). La lixiviación disuelve la mayoría de la bauxita y también la sílice reactiva, caolinita o cuarzo. La sílice reactiva reacciona con la solución de $\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3$ que forma el aluminato de silicio de sodio ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$), un compuesto insoluble que se descarta en el barro rojo, ocasionando pérdidas de alúmina y NaOH (Garrido et al., 2008).

1.3.2. Proceso Hall – Hérault

Figura 1.9: Proceso de obtención de aluminio



*Fuente: Textos Científicos ,2006.
Elaboración: Autores*

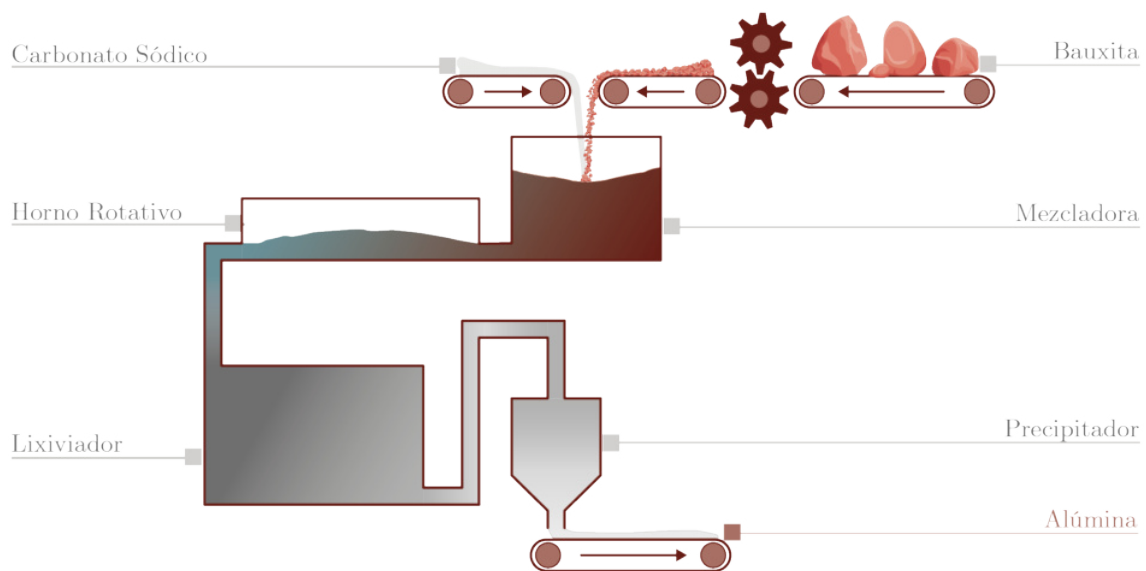
Según Vicentin, et al., 2018, el aluminio por medio de este método se obtiene a partir de la alúmina y una célula electrolítica (célula de Hall), se obtiene el aluminio; este método consiste en disolver la alúmina en un baño electrolítico de criolita fundida (Na_3AlFe) depositado en un tanque de acero recubierto de carbón o grafito, donde se hace pasar una corriente eléctrica de alta intensidad a través del electrolito. Esto provoca un flujo de la corriente eléctrica a través de los polos de la célula, causando que el aluminio en estado puro se aisle del resto de los otros

componentes y se deposita en estado líquido en el fondo del tanque (p.6).

Este proceso que inicio en 1886, en la actualidad sigue funcionando puesto que sirve de excelente manera para la extracción del mineral permitiendo obtenerlo en un 99,7% de pureza ayudando a que se pueda utilizar en todas sus aplicaciones. Con lo cual, se puede obtener un aluminio de mayor pureza, ligero y de alta plasticidad y ductilidad (Vicentin, et al., 2018).

1.3.3. Proceso de Le Chatelier

Figura 1.10: Proceso de obtención de alúmina



Fuente: Vicentin et al., 2018.

Elaboración: Autores

Antes de que el proceso Bayer existiera, la alúmina se producía por el método de Le Chatelier. Dicho procedimiento se basa en mezclar la bauxita con carbonato de sodio y se sometía la mezcla a calcinación en horno a 1000-1100 °C. Se obtenía aluminato de sodio que se lixiviaba a 80°C y se obtenía una solución de alúmina, que una vez saturada se precipita la alúmina por medio de CO₂ procedente del horno. Actualmente dicho procedimiento ya no es utilizado, debido a los costos que representaba, es por ello que a partir de los años 60 se dejó de utilizar.

1.4. Propiedades y características técnicas del aluminio

Cuadro 1.1: Propiedades físicas, químicas y mecánicas del aluminio

Propiedades Físicas	
	<ul style="list-style-type: none"> - Metal ligero, cuya densidad es de 2.700 kg/m³. - Punto de fusión bajo: 660 °C (933 °K). - Peso atómico del aluminio es de 26,9815 u. - Color gris brillante, con buenas propiedades ópticas y un alto poder de reflexión de radiaciones luminosas y térmicas. - Resistente a la corrosión, a los productos químicos, a la intemperie y al agua de mar, gracias a la capa de Al₂O₃ formada. - Es el tercer elemento más común en la corteza terrestre, tras el oxígeno y el silicio. - Fácil de reciclar.
Propiedades Químicas	
	<ul style="list-style-type: none"> - Metal de fácil mecanizado debido a su baja dureza. - Muy maleable, permite la producción de láminas muy delgadas. - Bastante dúctil, permite la fabricación de cables eléctricos. - Para su uso como material estructural se necesita alearlo con otros metales para mejorar las propiedades mecánicas, así como aplicarle tratamientos térmicos. - Permite la fabricación de piezas por fundición, forja y extrusión. - Material soldable. - Tiene CO₂ y le permite absorber el doble del impacto.
Propiedades Mecánicas	
	<ul style="list-style-type: none"> - Debido a su elevado estado de oxidación se forma rápidamente al aire una fina capa superficial de óxido de aluminio (Alúmina Al₂O₃) impermeable y adherente que detiene el proceso de oxidación, lo que le proporciona resistencia a la corrosión y durabilidad. - El aluminio tiene características anfóteras. Esto significa que se disuelve tanto en ácidos (formando sales de aluminio) como en bases fuertes (formando aluminatos con el anión [Al (OH)₄]⁻) liberando hidrógeno. - La capa de óxido formada sobre el aluminio se puede disolver en ácido cítrico formando citrato de aluminio.

Fuente: (Basurto Cruz, 2017).

Elaboración: Autores

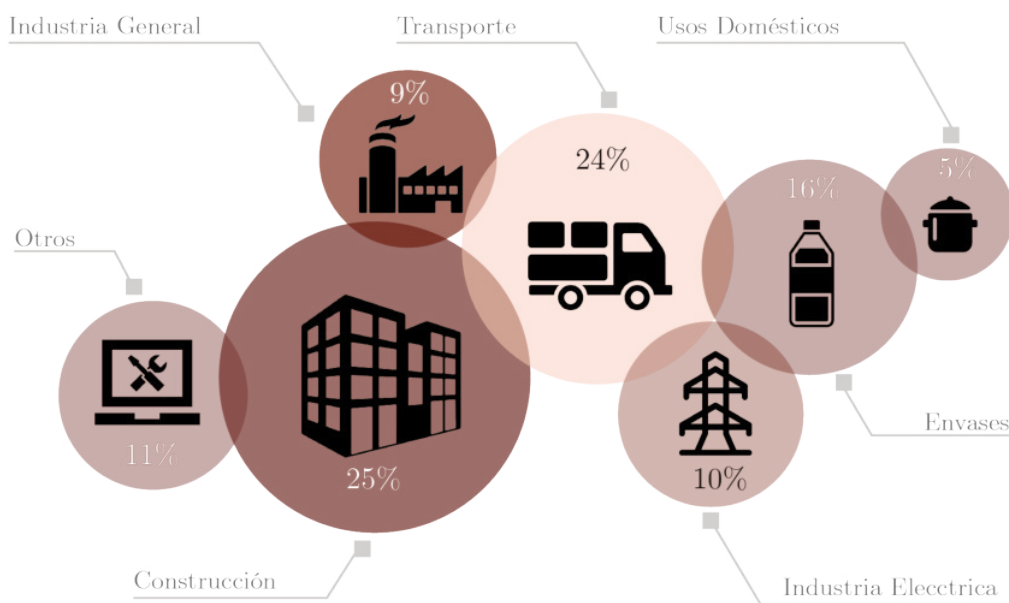
1.5. Uso y aplicación del aluminio

Los primeros objetos de aluminio comenzaron a fabricarse en 1845. Tradicionalmente el aluminio ha sido empleado en la fabricación de recipientes y embalajes,

en la industria del transporte y la automoción, en edificios y construcción, en equipos eléctricos, bienes de consumo duraderos, entre otros.

El aluminio es un mineral que tiene diversas aplicaciones con el cual se puede realizar una simple lata de refresco, o a su vez por sus propiedades utilizarlo como aislante o revestimientos en la construcción, con el aluminio también se hacen: tapones, bandejas, bolsas, papel para envolver entre otros objetos. La mayoría de estos objetos o envoltorios, una vez que han cumplido su misión se desechan y van a un vertedero, porque su porcentaje de reciclaje de encuentra aún en un porcentaje muy bajo ([Amigos de la Tierra, 2015](#)).

Figura 1.11: Porcentajes de uso y aplicación de aluminio



Fuente: ([Amigos de la Tierra, s.f](#))

Elaboración: Autores

1.5.1. Transporte

Durante la última década la utilización de aluminio en la industria automovilística ha aumentado de forma constante es por ello que representa un 24 % del consumo y uso de aluminio a nivel mundial ([Amigos de la Tierra, 2015](#)). Actualmente se fabrican de aluminio piezas como pistones, carcasas de motores, ruedas, cajas de transmisión, sistemas de frenos anti bloqueo, conjunto de suspensión, amortiguadores e intercambiadores de calor para los sistemas de climatización, radiadores, estructuras y carrocerías entre otros ([Almexa, 2013](#)). Mediante el uso de este material en el transporte se ha logrado tener grandes ventajas como la ligereza y la reducción del peso de un vehículo hasta en un 30 %, denotando la reducción de consumo de combustible, es por ello que en la industria del transporte el reciclaje de aluminio ha tomado gran importancia presentando hasta un 95 % de rehusó, según datos

estadísticos de Almexa a nivel del continente americano.

Figura 1.12: Uso del aluminio en el transporte



Fuente: (Almexa, 2013)
Elaboración: Autores

1.5.2. Envases y Empaques

Dentro de este sector, las aplicaciones son diversas, debido a que el aluminio es ampliamente considerado como el material de envasado más versátil del mercado debido a su química inerte y a su estabilidad metalúrgica con el cual se puede fabricar latas de refrescos, papel de envolver, envoltorios de medicamentos e incluso los envases tetra pack que llevan una capa intermedia del mismo. Su uso se ha estandarizado tanto en la industria alimentaria como médica, es por ello que ha llegado a ocupar un 16 % de toda la producción mundial del aluminio ya que es ligero e impermeable, con excelentes propiedades que protegen los productos de la luz, la humedad, el oxígeno y los microorganismos que pueden alterar la conservación (Almexa, 2013).

Figura 1.13: Uso del aluminio en el transporte



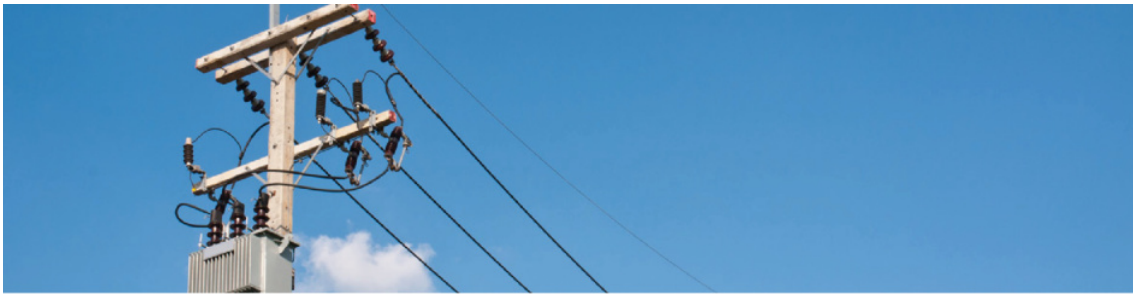
Fuente: (Almexa, 2013)
Elaboración: Autores

1.5.3. Industria Eléctrica

Para la industria eléctrica el aluminio representa un gran valor energético, debido a que permite el aprovechamiento de su conductibilidad es decir es conductor

de electricidad y calor, no es magnético, no es tóxico y es muy dúctil. Su ligereza sigue siendo una de sus principales características, siendo mucho más liviano que el cobre y acero, además de su resistencia a la corrosión que permite proteger y conservar a aquellos productos que lo requieren ([Almexa, 2013](#)). Debido a su gran acogida representa un 10 % del consumo de aluminio a nivel mundial para una variedad de productos como antenas de televisión, satélites y alambres para conexiones.

Figura 1.14: Uso del aluminio en la industria eléctrica



*Fuente: ([Almexa, 2013](#))
Elaboración: Autores*

1.5.4. Uso Doméstico

Dentro de esta área se encuentra la producción de utensilios de cocina, con más del 50 % de total de la producción anual de los mismos, teniendo un porcentaje de pureza del 31 % aproximadamente en cada producto, el aluminio dentro del uso doméstico es ideal debido a las propiedades de protección de alimentos sensibles durante la cocción y el almacenamiento, además de favorecer el ahorro del calor empleado en la cocina al desperdiciar solamente el 7 % del calor que recibe, reduciendo tiempos de preparación y cocción ([Almexa, 2013](#)). Finalmente, se determina que el 5 % de la producción mundial de aluminio va destinado a este uso ([Amigos de la Tierra, 2015](#)).

Figura 1.15: Uso doméstico del aluminio



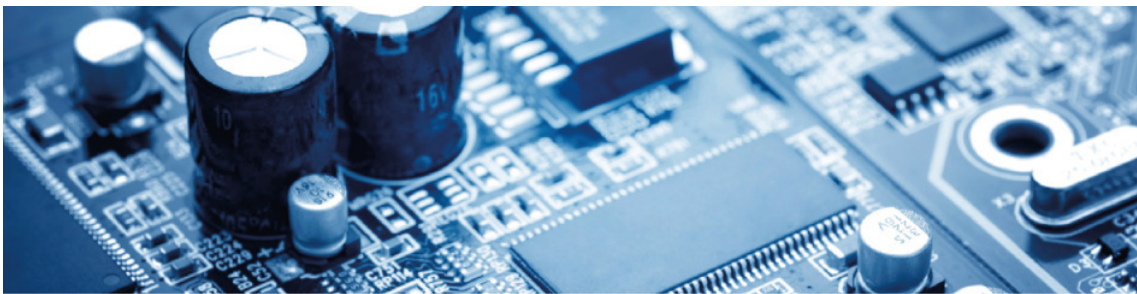
*Fuente: ([Almexa, 2013](#))
Elaboración: Autores*

1.5.5. Otros

El uso del aluminio en diversos campos representa un porcentaje del 11 % de la producción total del mismo entre los cuales se encuentran varios usos como en la industria tecnológica y robótica como: microchips, equipos, impresoras, televisores, baterías, memorias; además accesorios, mobiliario y sobre todo en el campo eléctrico y línea blanca. La resistencia, el bajo peso, la facilidad de conformado y el acabado superficial atractivo son las características más importantes para elegir el aluminio (Almexa, 2013).

Otro de los usos que se presentan es en la electrónica que la aplicación en el encaje de los discos compactos, frentes de estructuras y los disipadores térmicos de computadoras, además de las funciones incorporadas en los perfiles de aluminio reducen la cantidad de componentes y simplifican el ensamblaje, con una óptima conductividad térmica y propiedades atractivas, no tóxico, no inflamable, no magnético, no produce chispas y no se oxida (Almexa, 2013).

Figura 1.16: Diversidad de usos del aluminio



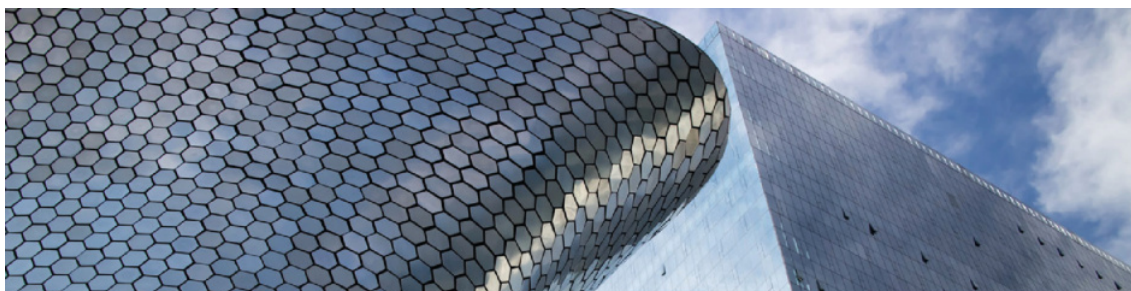
Fuente: (Almexa, 2013)

Elaboración: Autores

1.5.6. Uso en la construcción

El uso del aluminio dentro de la construcción representa el porcentaje más grande de consumo debido sus propiedades de maleabilidad, ligereza, e incluso su aspecto decorativo dentro y fuera de las edificaciones (Almexa, 2013). El uso de aluminio en la construcción corresponde a un 25 % del consumo total de este material, el cual puede mejorar sus características aún más con aleaciones de manganeso y silicio (Amigos de la Tierra, 2015). La resistencia a la corrosión del aluminio, hace que su vida útil, en una construcción sea más larga, incluso en ambientes agresivos el aluminio se comporta tan bien aún en ambientes contaminados por monóxido de carbono, dióxido de carbono, entre otros agentes patógenos que tienen muy poco efecto sobre el mismo como el cloruro de sodio, es por ello que el aluminio es la mejor opción para usar en zonas costeras y marinas (Recemsa, 2020).

Figura 1.17: Uso del aluminio en la construcción



Fuente: (Almexa, 2013)

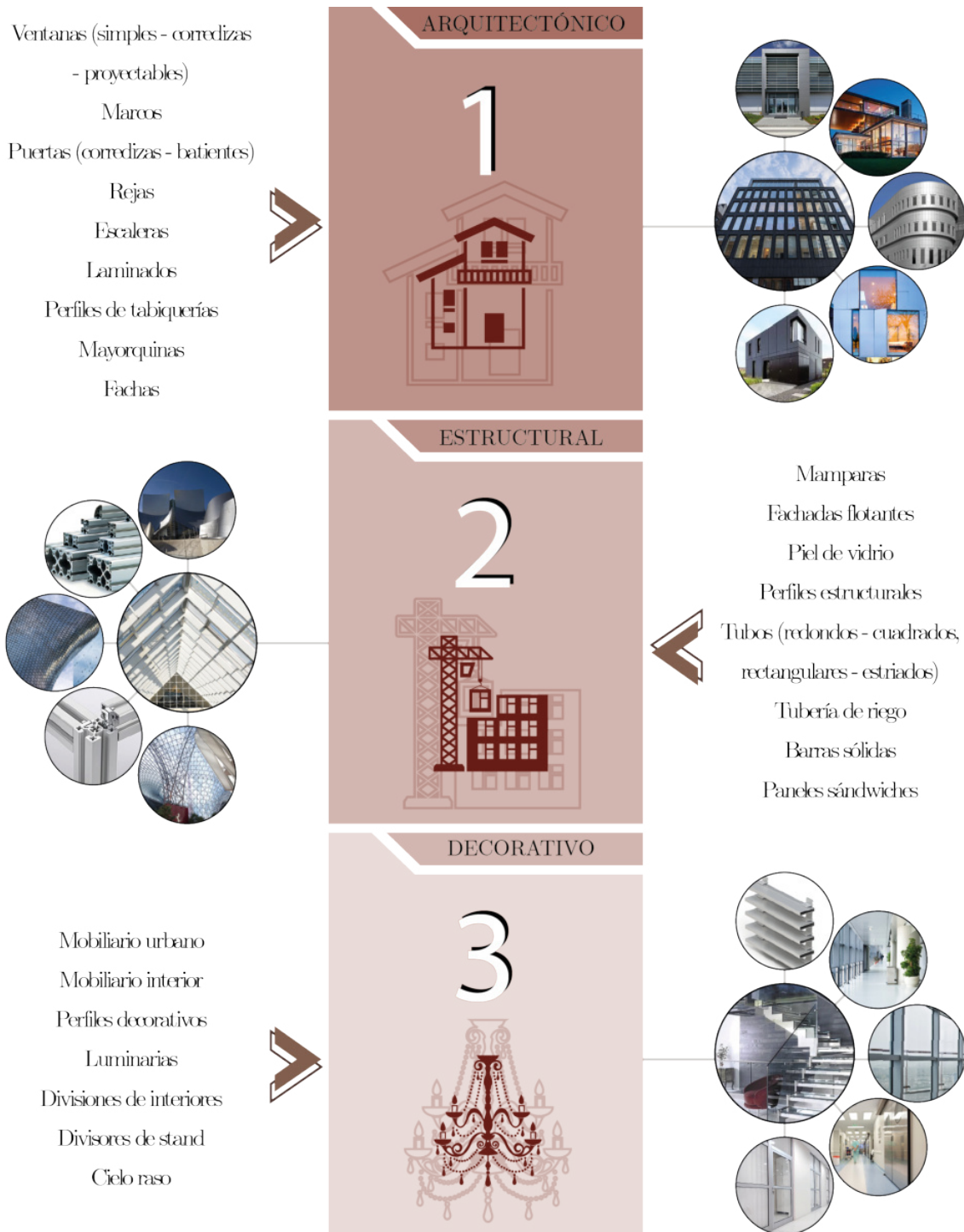
Elaboración: Autores

Para Bohorquez, 2016, el aluminio en la construcción tiene una clasificación de perfiles, como arquitectónicos, estructurales y de mobiliario o acabados. Los arquitectónicos se refieren a perfiles, barras, varillas y tubos extruidos utilizados en la construcción de puertas, ventanas, fachadas, mamparas, entre otros (Bohorquez, 2016). Los estructurales se refieren a perfiles, barras, varillas, viseras, puentes, torres, pilares, columnas, armazones, techados, barandillas, prefabricados, recubrimientos en fachadas. Finalmente, se los puede encontrar en mobiliario urbano, perfiles decorativos y luminarias (Pro Materiales, s.f.).

Dentro del área local los sistemas de aluminio son fabricados y comercializados por empresas y talleres que compran los perfiles de aluminio a los distribuidores de CEDAL y FISA, en la ciudad de Guayaquil, atribuyendo la mayor demanda de compra y uso en la construcción de diversos proyectos arquitectónicos (CEDAL, 2019).

La mayor utilización del aluminio en la construcción se da en los trabajos de cancelería como: ventanas, cortinas de baño, marcos, puertas, rejas, escaleras, barras, laminados, tubos, ventanas corredizas, mallas, perfiles de tabiquerías y perfiles de industriales como divisores de stand, aberturas entre otros (Pro Materiales, s.f.). Así también los sistemas de aluminio que se ofrecen para uso estructural en diferentes acabados y diseños, permiten el desarrollo de perfilería exclusiva y personalizada, productos como: ventanas corredizas, ventanas proyectables, mamparas, puertas corredizas, puertas batientes, divisiones de interiores, fachadas flotantes, piel de vidrio, perfiles estructurales, Tubos redondos, cuadrados, rectangulares, estriados, tubería de riego, barras sólidas, perfiles para carrocerías, ventanas y pasamanos (CEDAL, 2019).

Figura 1.18: Clasificación de los usos del aluminio en la construcción



Fuente: (Almexa, 2013)
 Elaboración: Autores

1.6. Análisis del ciclo de vida del material - Energía Incorporada

Nuestro planeta se encuentra actualmente con una situación crítica en la capa atmosférica, debido a que la cantidad de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) es liberada al planeta Tierra, rebasando la capacidad de carga de sus sumideros de carbono. Los materiales de construcción durante las etapas de extracción, transporte y fabricación, provocan un alto impacto ambiental debido a la energía incorporada y sus emisiones de CO_2 de origen fósil, sin embargo, no existe una metodología que evalúe los efectos de estos elementos ([Hernández, 2009](#)).

La energía es un recurso indispensable para los seres humanos vista desde un punto económico y tecnológico. La demanda de dicho recurso es elevada debido a que ayuda en la satisfacción de las necesidades en la producción de bienes y servicios, proporcionando bienestar a la sociedad. Antiguamente la población utilizaba de la fuerza muscular de los hombres y animales para obtener la satisfacción de estas necesidades, hasta que descubrieron los combustibles fósiles el cual es el petróleo, carbón, y gas, dichos combustibles constituyeron un suministro de energía tan eficaz, que la sociedad mundial no dudó en usarla para facilitar el trabajo pesado ([Odum & Warret, 2006](#)). No obstante, los combustibles fósiles no únicamente han traído consigo ayuda a la producción de energía, sino que también lo acompañan impactos negativos al medio ambiente.

La combustión de este tipo de recurso, genera emisiones de gases como el dióxido de carbono (CO_2) y el gas de efecto invernadero (GEI) que terminan en la capa atmosférica, dichos gases la población lo ha estado desechando de una manera muy rápida provocando la excedencia de los sumideros de carbono de la Tierra (bosques y océanos), lo cual ocasiona que no pueda eliminar todo y el exceso se acumule en la atmósfera terrestre contribuyendo al calentamiento global de la Tierra ([Hernández, 2009](#)). En relación a esto, el panel de expertos sobre cambio climático ([IPCC, 2006](#)) se muestra de acuerdo en que: “Las actividades humanas contribuyen al cambio climático provocando alteraciones en la atmósfera terrestre debido a las cantidades de gases de efecto invernadero, aerosoles (partículas pequeñas) y la nubosidad. El mayor índice de contaminación proviene de la combustión de fósiles, que libera el gas de dióxido de carbono a la atmósfera”, provocando un elevado impacto ambiental ([Hernández, 2009](#)).

La contaminación atmosférica en conjunto con la producción y el uso de energía afecta directamente la calidad de aire y del clima a nivel mundial, se ha manifestado que las temperaturas de la Tierra siguen variando, la distribución de las precipitaciones se está modificando, en los inviernos la nieve escasea y en los polos el hielo se están derritiendo provocando que el nivel del mar siga subiendo al igual que la temperatura de los océanos, este calentamiento es producido a lo largo de los últimos 30 años, evidenciando cambios progresivos a lo largo de la última década ([Arroyo & Miguel, 2019](#)). La Organización de las Naciones Unidas (ONU) informa que la

contaminación en las ciudades causa casi 3.4 millones de muertes prematuras a nivel mundial, dichas muertes son provocadas por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como en los ictus cerebrales. Los países más afectados son China con 1,4 millones de personas, seguido de la India con 645.000 personas y Pakistán con 100.00 personas ([Fresneda, 2016](#))

Figura 1.19: Contaminación atmosférica provocada por la industria de materiales.



Fuente: (Pixabay,2017; Pixabay,2019; Pixabay,2016)

Elaboración: Autores

En el año 2014, los principales países en emitir dióxido de carbono (CO₂) fueron China, los Estados Unidos, la Unión Europea, la India, la Federación de Rusia y Japón, puesto que estos son potencias en cuando a producción a nivel mundial. Estos datos incluyen las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles fósiles, así como la fabricación de cemento, aluminio y la quema de gas ([Arroyo & Miguel, 2019](#)).

Varios investigadores evidencian que las emisiones de CO₂ han contribuido más al cambio climático entre los años de 1750 y 2005 ([Luo & Wu, 2016](#)). Últimamente la humanidad corre riesgo de vida puesto que existe menor acceso al agua, alimentos, la salud y la tierra, causando cambios climáticos ambientales y repentinos. En

consecuencia, es importante encontrar la manera de minimizar las emisiones de CO₂ mediante la reducción del consumo de combustibles fósiles y de energía en el área industrial (Mirzaei & Bekri, 2017). Según informe de Bp Statistical Review of World Energy en el año 2016 las emisiones de CO₂ totales del mundo fueron de 33432.04 (MTon). Si bien Ecuador representa tan solo un porcentaje mínimo del total de emisiones, en el mismo año se produjeron 35.02 (MTon), valor que refleja una disminución al año 2018, año hasta el cual se mantenía una tendencia al crecimiento de estas (Arroyo & Miguel, 2019).

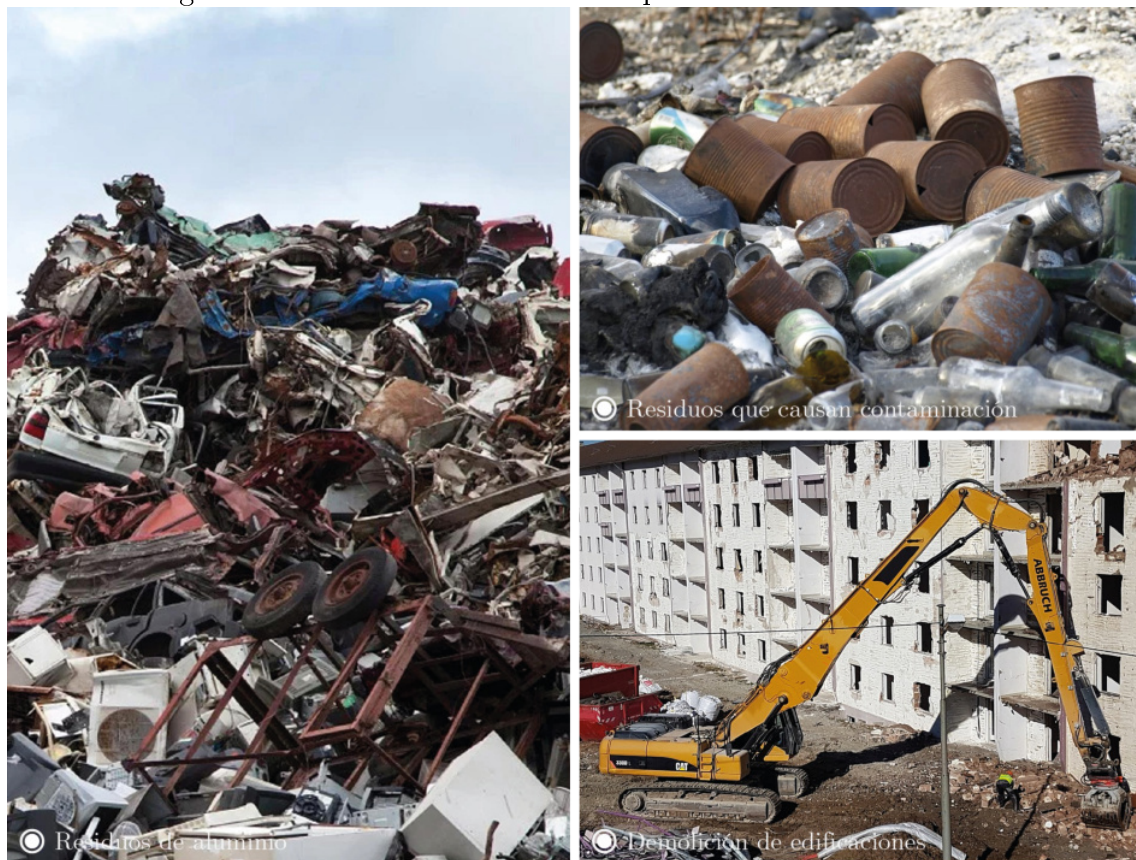
La capacidad del planeta Tierra en relación a la regeneración de los subproductos derivados de la explotación de sus recursos es limitada, hablando desde la idea economicista del medio natural, no se debería extraer más recursos de los que el ecosistema puede restablecer. Del mismo modo, tampoco se debería realizar más emisiones de gases a la atmósfera de las que el planeta podría eliminar, caso contrario se llegaría a exceder la capacidad de absorción y almacenamiento del océano y biosfera terrestre, provocando una alteración de su funcionamiento. De igual manera al estudiar el Presupuesto de Carbono Mundial (PCM) de las últimas décadas, nos muestra, que la cantidad de CO₂ que emite la humanidad a la atmósfera, sobrepasa dicha capacidad de carga de los sumideros de carbono de la Tierra, y está aportando a la alteración de su funcionamiento (Hernández, 2009).

El calentamiento global se trata cuando los sumideros de carbono ya sean los océanos o bosques, superan su capacidad de absorción y eliminación de gases que tienen, pierden su función de retener parte de la energía que emite el suelo al haber sido calentado éste por la radiación solar provocando los dichos gases de efecto invernadero, éstos comienzan a acumularse en la atmósfera, impidiendo la salida de energía hacia el espacio exterior, provocando con ello, un aumento gradual de la temperatura media del planeta. El calentamiento a su vez influye en el sistema atmosférico de la Tierra, y puede cambiar las condiciones climáticas en una escala regional o global, lo cual se conoce como cambio climático (Hernández, 2009).

Al hablar del presupuesto del carbono a nivel mundial nos referimos a la cantidad acumulada de emisiones de CO₂, permitidas a lo largo de un periodo de tiempo para mantener la temperatura de la Tierra en un cierto rango, de igual modo se debe tener en cuenta que es muy importante definir las metas de reducción de emisiones de gases a nivel global al igual que el presupuesto de carbono global. El contexto internacional, debería mantener el incremento de temperatura global en 1.5°C; se ha logrado mantener el presupuesto de carbono del mundo, el cual está entre 420 y 580 GtCO₂ (Gigatoneladas de CO₂). Para no rebasar el aumento de la temperatura en 2°C se opta por disminuir las reservas existentes de petróleo en un 33 %, las de gas natural en un 50 % y las de carbón en un 82 %. En el acuerdo de París, se determinó que el aumento de la temperatura de la Tierra debe de mantenerse por debajo de 2°C (incluso menos de 1.5°C) para evitar consecuencias desastrosas para el planeta, Reino Unido es el primer país en establecer un presupuesto de carbono con carácter vinculante (PMCE, 2019).

Según el quinto informe de evaluación del IPCC, las emisiones antropógenas totales de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de los sectores económicos en 2010, nos demuestra que las emisiones directas de GEI provienen de cinco sectores económicos principales. De igual modo se manifiesta que la industria y la producción de energía eléctrica y térmica son las que contienen mayor porcentaje de emisiones de GEI. Los datos de las emisiones de la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU) comprenden las emisiones terrestres de CO₂ debidas a incendios forestales, incendios de turba y descomposición de turba que se aproximan al flujo neto de CO₂ (IPCC, 2014).

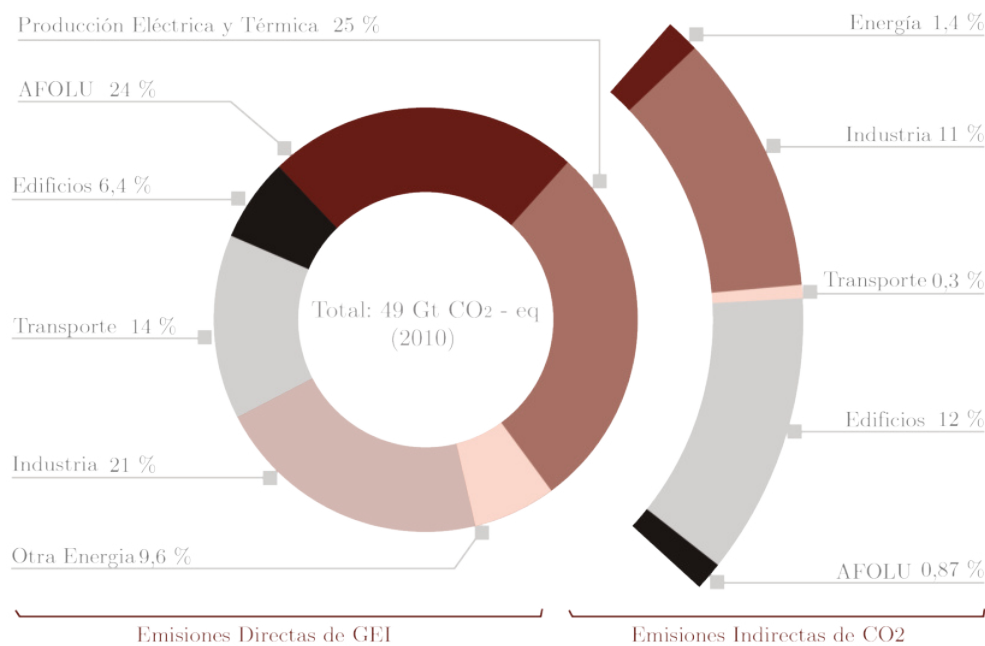
Figura 1.20: Residuos de Aluminio que causan contaminación.



Fuente: (Pixabay,2012; Pixabay,2014; Pixabay,2017)

Elaboración: Autores

Figura 1.21: Emisiones de gases de efecto invernadero por sector económico



Fuente: (IPCC, 2014)
 Elaboración: Autores

La industria es una de las principales actividades que causan la emisión de GEI debido a su gran ocupación de energía, al hablar de la fabricación de aluminio tenemos dos tipos de obtención del aluminio; el aluminio primario y el aluminio secundario, en este caso el aluminio primario es el que causa mayor impacto ambiental debido a que para poderlo fabricarlo se necesita de mucha energía debido a toda la maquinaria y todo el trabajo que se realiza desde la extracción de su materia prima hasta su distribución.

La producción de aluminio primario incluye tres procesos principales, extracción de bauxita, el refinado de la bauxita en alúmina y finalmente la reducción electrolítica de alúmina en aluminio. Cada proceso tiene su propio conjunto de impactos ambientales, como por ejemplo en la mina de bauxita se pueden producir importantes emisiones de partículas / polvo debido al proceso de extracción que consiste en el transporte de explosivos y de materias primas para la fundición, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) son generadas por el consumo de los ánodos de carbono en la reacción que convierte el óxido de aluminio en aluminio metálico, las emisiones de perfluorocarbonos (PFC) de CF₄ and C₂F₆ son generadas durante los efectos de ánodo, durante la fabricación también se emiten cantidades más pequeñas de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) y compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM) (Marks et al., 2006). Por otra parte el calentamiento global es de especial interés para la industria del aluminio, puesto que se requieren aproximadamente 14 MWh por cada tonelada para el proceso de refinado del aluminio, lo que conlleva asociados altos niveles de emisiones de gases de CO₂ (Sistema Español de Inventario de Emisiones Metodologías, 2000).

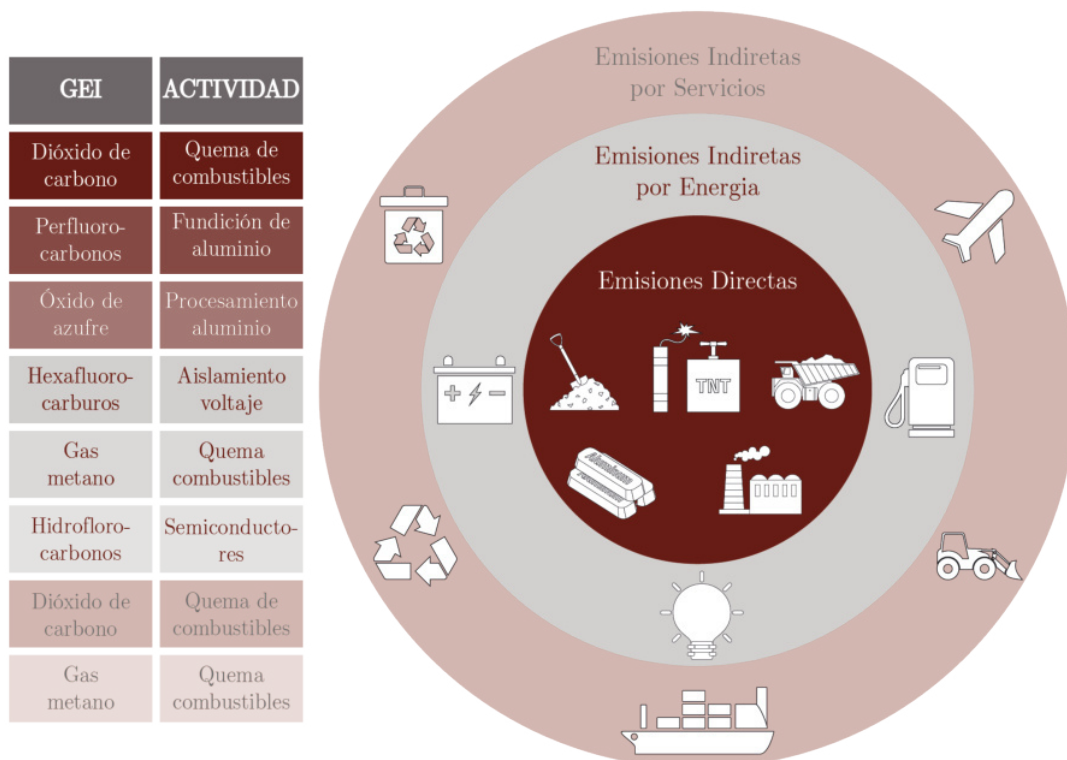
Por otra parte, el aluminio también causa un grave desastre al momento de extraer la bauxita o el mineral de aluminio puesto que se deforesta los bosques de los países donde se extrae dichos minerales. Los yacimientos de bauxita más importantes del mundo es el del Amazonas, donde existe una gran contaminación de las aguas superficiales y subterráneas debido a la eliminación del lodo rojo durante su extracción los cuales incorporan una mezcla de arcillas y sosa caustica altamente corrosiva (Abadía et al., 2017).

La producción primaria de aluminio conlleva a un gran consumo energético, se podría decir que es uno de los procesos industriales más contaminantes, ya que para obtener una sola tonelada de aluminio se necesitan 15.000 kwh en forma de calor y corriente eléctrica para los procesos de purificación, cantidad de energía tres veces superior a la empleada en fabricar 1 tonelada de acero. De igual modo, al producir 1 tonelada de aluminio, además, se generan cinco toneladas de residuos minerales cargados de metales pesados; se emiten una elevada cantidad de dióxido de azufre, fluoramina y vapores de alquitrán que contaminan la atmósfera y provocan lluvia ácida (Abadía et al., 2017).

El problema ambiental que causa el aluminio no es únicamente al momento de fabricarlo, sino después de usarlo y al momento de desecharlo genera residuos de aluminio metálico que, si son enterrados, contaminan las aguas superficiales y los acuíferos a causa de los aditivos y metales pesados que se incorporan al aluminio. Si son incinerados originan lo que sería contaminación de la atmósfera, como es el caso de los residuos de las gaseosas en lata, las cuales son consumidas en números elevados y en muchas ocasiones suelen depositarse en el mar. Igualmente dando aspectos negativos al ecosistema, atrapando animales marinos y aves, causándoles la muerte, y si por otro lado estos desechos terminan en el piso, habrán sido focos de contaminación que durarán ochenta años aproximadamente en descomponerse (Abadía et al., 2017).

Al comparar el impacto de la producción de aluminio con la de sus “rivales” acero, papel y plástico, se da a entender que todos causan impactos ambientales, por ejemplo al fabricar el acero se producen grandes cantidades de residuos líquidos y emisiones atmosféricas que si no se manejan adecuadamente pueden degradar el suelo, el agua y el aire; la fabricación de papel origina una gran cantidad de problemas: como el efecto invernadero, el cambio climático, la sequía, deforestación, incendios, erosión, extinción de especies, destrucción de hábitats y la del plástico contribuye a que presenten una gran resistencia a la degradación ambiental y a la biodegradación, por tal motivo todos estos materiales causan graves impactos ambientales cuando se los fabrica de primera, y la única solución para disminuir dichos impactos es únicamente reciclándolos (Abadía et al., 2017).

Figura 1.22: Emisiones generadas en el ciclo de vida de un material

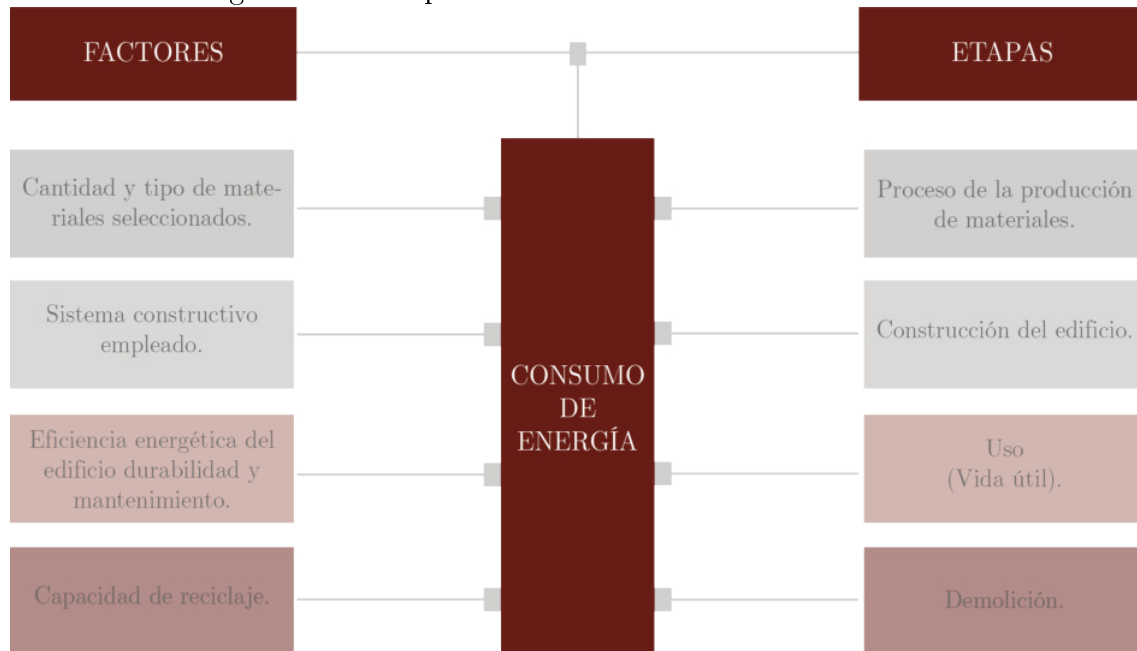


Fuente: (Morales & Hernández, 2017)
 Elaboración: Autores

“El reciclado del aluminio constituye uno de los programas más exitosos de comercialización e inclusión de la sociedad y del sector industrial para el logro de los objetivos de preservación de la energía y del medio ambiente” (Medina Párraga, 2010).

Al haber explicado todo el daño que causa la fabricación de aluminio en todos sus procesos, ya sea de extracción, fabricación, destrucción, entre otros. Cada uno de ellos tiene un porcentaje en cuanto al consumo de energía y el efecto medioambiental del consumo de energía en los procesos de la elaboración de dicho material convirtiéndolo en emisiones de CO₂ hacia la atmósfera. Al sumar todos los diferentes consumos de energía que se da a lo largo del ciclo de vida de la edificación se le llama Embodied Energy (energía incorporada) y está determinada por varios aspectos, se puede señalar entre los siguientes:

Figura 1.23: Etapas del ciclo de vida de una edificación



Fuente: (Hernández, 2009)

Elaboración: Autores

1.7. El reciclaje en los metales

Para González, (2012), reciclar significa separar o extraer materiales del flujo de desechos y adicionarlos para su comercialización de modo que puedan ser usados como materias primas en sustitución de materiales vírgenes. El proceso del reciclaje se ha dado a lo largo de los años como respuesta adaptativa a la escasez y demanda de los recursos naturales, que pretende causar un impacto a nivel social, económico y ambiental ya que mitiga la escasez de recursos naturales vírgenes, disminuye los riesgos de enfermedades y la alteración de ecosistemas (Medina, 1999, pág. 10).

El reciclaje de materiales ha venido ganando aceptación y popularidad como una forma de disminuir la cantidad de residuos que necesitan disposición final en rellenos sanitarios y de reducir el impacto ambiental negativo de las actividades productivas y de consumo por medio de las cuales las sociedades contemporáneas satisfacen sus necesidades (Medina, 1999).

El sector de reciclaje de metales es ciertamente complejo debido a los diferentes productos y procesos utilizados, en el que en muchos casos una misma empresa puede dedicarse a realizar actividades de reciclaje de diversos materiales y productos metálicos, en cuanto al reciclaje de chatarra y desechos de metal, comprende un proceso y tratamiento de materia para lograr la conversión de materia secundaria, para ello es necesario cumplir los siguientes pasos como: la trituración mecánica de chatarra y posterior clasificación y separación del material. Así mismo si el material o la pieza es muy grande se realiza una reducción mecánica. Finalmente se puede

utilizar otros métodos para el tratamiento de metales como el corte y compresión para reducir el volumen, de forma que la materia prima secundaria resultante apta para su utilización directa en un proceso industrial ([Observatorio Industrial del Sector Metal, 2010](#)).

Dentro del área del reciclaje se destaca la importancia del reciclador de metales ya que cumple un rol fundamental en la producción secundaria del mismo debido a que en la mayoría de ocasiones es el encargado de realizar tres fases fundamentales en la obtención de la materia prima.

En primer lugar, el acceso o recolección de los residuos metálicos generados por un tercero ya sea una empresa privada o pública que genere contenido metálico, bien sea a través de la recogida directa, en el caso de que este tercero genere un volumen importante de residuos, o bien comprándolos a un mayorista de chatarra. Normalmente, el reciclador recoge o compra los residuos, aunque en otros casos estos materiales de residuo son retirados de manera gratuita por parte del reciclador; facilitando la eliminación de estos residuos al poseedor o generador de los mismos ([Observatorio Industrial del Sector Metal, 2010](#)). En segundo término, el reciclador procede a clasificar y tratar los diversos residuos recogidos, aplicando procesos de transformación tanto físicos como: actividades de trituración, fragmentación, corte y cizallado, también realiza procedimientos químicos electrolíticos, y de electro refinación u otros medios separación manual, separación magnética, cribados, corrientes de inducción, separadores de Foucault y flotación en medios densos ([Observatorio Industrial del Sector Metal, 2010](#)).

De esta forma, los diversos materiales metálicos valorizables, son segregados y separados unos de otros procediéndose a su lavado y secado para retirar las impurezas y los posibles restos de sustancias químicas. Posteriormente, el reciclador agrupa las diversas chatarras obtenidas por materiales y calidades, y, generalmente, procede a prensar y empaquetar estas chatarras clasificadas para facilitar su transporte ([Observatorio Industrial del Sector Metal, 2010](#)). Finalmente, el reciclador procede a vender esta chatarra debidamente clasificada, reciclada y adaptada a las necesidades del cliente, directamente a plantas de fundición que operan con chatarra como materia prima ([Observatorio Industrial del Sector Metal, 2010](#)).

Figura 1.24: Reciclaje de materiales metálicos



Fuente: (Almexa, 2013)



Elaboración: Autores

1.7.1. Reciclaje de Aluminio

El aluminio es uno de los metales más importantes dentro de la industria del reciclaje, puesto que sus desechos tienen un valor económico en el mercado, ya que se considera que la energía, requerida para el proceso de producción primaria, está contenida en el metal en sí, consecuentemente, en la escoria también. De esta forma, se establece que la energía que demanda para el aluminio es tan solo un 5% de la energía total requerida para su producción primaria, Además, este elemento tiene la ventaja de que su estructura atómica no es alterada durante el proceso de fundición, por lo que es posible reciclarlo por completo sin que exista pérdida de calidad o de valor económico (De la Torre, Guevara, & Yépez, 2009). Es decir, el aluminio es 100 % reciclable y no merma ni pierde sus cualidades físicas, y su recuperación por medio del reciclaje se ha convertido en una faceta importante de la industria del aluminio (Basurto Cruz, 2017).

Las ventajas que se encuentran dentro del reciclado y procesamiento del aluminio es que es un proceso que se realiza desde hace tiempo porque, además de los beneficios ambientales, tiene interés económico en el cual se recupera y conserva gran parte sus propiedades. pudiendo repetir el proceso cuantas veces se quiera (Amigos de la Tierra, 2015, pág. 4).

Cuadro 1.2: Ventajas del reciclaje de aluminio

Ventajas del material	
	<ul style="list-style-type: none"> - Al utilizar aluminio reciclado se ahorra un 95,% de la energía empleada a partir de la producción del mineral primario. -Reduce el impacto ambiental, generado por emisiones de CO2 y gases de efecto invernadero. - Puede reciclarse indefinidamente sin perder sus propiedades, pudiéndose fabricar un producto con idénticas propiedades. - Se puede reciclar el 100% de los materiales y su recuperación es rentable, tanto de forma técnica y económica.
Ventajas en la construcción	
	<ul style="list-style-type: none"> - Dentro del ámbito de la construcción se denotan algunos usos y ventajas como la amplia gama de aleaciones, flexibilidad en el diseño, larga vida útil, bajo mantenimiento, alta resistencia. - La durabilidad y resistencia a la corrosión también influyen en el uso del aluminio en la construcción. Debido a esto, el aluminio es muy utilizado para acabados exteriores de edificios. - También presentan varios acabados superficiales en donde se puede obtener detalles de aluminio de imitación a madera, anodizados, lacados en diferentes colores con un alto poder reflector y alta conductividad térmica.

Fuente: (Padilla & Álvarez ,2016)

Elaboración: Autores

En sus inicios el reciclaje del aluminio fue una actividad de bajo perfil hasta finales de los años sesenta, cuando el uso creciente del aluminio para la fabricación de latas de refrescos trajo el tema al conocimiento de la opinión pública ([Basurto Cruz, 2017](#)).

A través del tiempo y de la alta demanda de la materia prima se ha recurrido a la técnica del reciclaje alcanzando porcentajes a nivel mundial que oscilan entre un 50 % a 85 %. El reciclado del aluminio es un proceso que desde el punto de vista técnico supone un gran ahorro de energía y de materia prima, que al recuperarse conserva gran parte de sus propiedades, permitiendo reutilizar el material múltiples veces ([Amigos de la Tierra, 2015](#)), al utilizar aluminio reciclado se ahorra un 95 % de la energía empleada a partir de la producción del mineral primario. De acuerdo a los procesos de reciclaje o reutilización de materiales se determina que la presencia de aluminio de segunda fase se lo puede encontrar de varias formas ya sea en envases, latas, instrumentos de electricidad y comunicación, transporte, edificación y construcción. Según índices mundiales de recolección de desechos y reciclaje en Europa, se recicla alrededor de un 42 % en las latas, 85 % en los materiales de construcción y 95 % en los vehículos de transporte y el país que lidera el reciclaje de aluminio es Brasil, donde la tasa llega al 97 %, seguido por Japón ([Soria Soto, 2013](#)).

En las últimas décadas se está produciendo un incremento masivo del consumo

de aluminio, debido a la diversidad de propiedades que posee y se espera que esta demanda se vea fuertemente incrementada en un futuro próximo. Una parte muy importante de esta demanda es satisfecha gracias al uso de aluminio de segunda fusión, cuya materia prima básica son las chatarras y recortes de aluminio ya usado, frente al aluminio de carácter primario, obtenido directamente de la bauxita. Estimaciones recientes apuntan a que un 30 - 35 % de la producción mundial de aluminio corresponde a la producción de aluminio reciclado, con importantes crecimientos positivos en los últimos años ([Observatorio Industrial del Sector Metal, 2010](#)). Para el desarrollo de la industria del reciclaje de aluminio se determina la procedencia de las mismas por medio de dos fuentes

- Chatarras obsoletas: Su procedencia es de bienes de consumo e inversión que han cumplido su vida de uso, como residuos urbanos con presencia de aluminio como: latas de bebida, papel de aluminio, equipos electrónicos utilizados, cables, derribos, entre otros.
- Chatarras de origen industrial: Generalmente son recortes y virutas que se producen durante la fabricación de productos de aluminio por parte de diversos sectores industriales

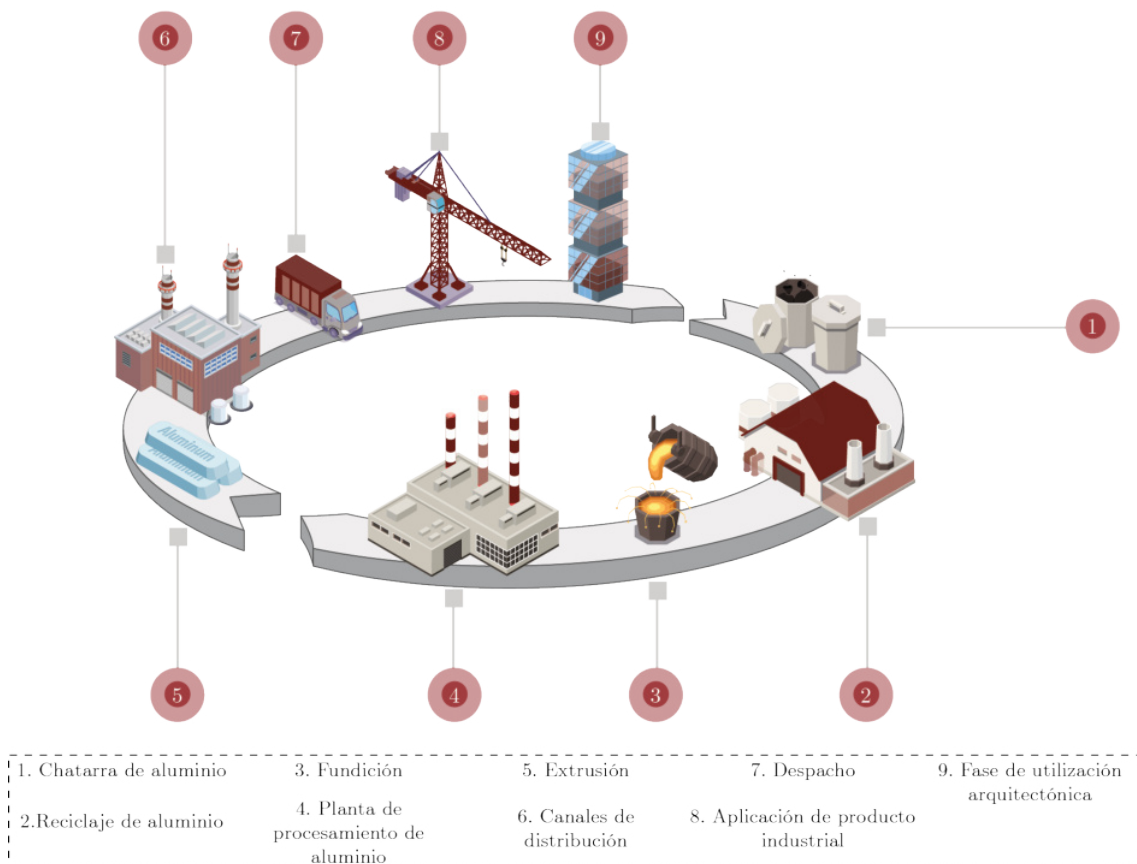
Figura 1.25: Reciclaje de Aluminio



*Fuente: (José Jarreño S.A, 2018)
Elaboración: Autores*

Una vez que este aluminio usado llega al reciclador, éste se encarga de darle la preparación óptima para su comercialización, que incluye su clasificación y preparación, separándolo de los restos de metales y materiales por diversos métodos (Observatorio Industrial del Sector Metal, 2010). Al igual que ocurre con el acero, el reciclado del aluminio necesita de una separación en origen y de una recogida selectiva previa, este es llevado a una planta de clasificación en donde es separado del resto de materiales mediante un Separador de Foucault, sistema que utiliza campos magnéticos opuestos y desvía el aluminio aparte de los otros tipos de envases (Amigos de la Tierra, 2015). Posteriormente el aluminio es fragmentado, triturado, cizallado, tratando de estandarizar la calidad del material para el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales existentes. Finalmente, la chatarra obtenida suele ser prensada y empaquetada para facilitar su transporte, bien a un mayorista de chatarras o directamente a la fundición para la producción de aluminio secundario (Observatorio Industrial del Sector Metal, 2010).

Figura 1.26: Proceso de reciclaje de aluminis



Fuente: (CEDAL, 2019)

Elaboración: Autores

A partir de aquí, al material se le realizan una serie de procesos destinados a conseguir que el aluminio pueda ser devuelto al ciclo del mercado, para ello es necesario que sea nuevamente triturado y se encuentre libre de impurezas por medio de lavado y secado que permitirá eliminar restos orgánicos y humedad. Finalmente

se introducen las virutas de aluminio en un horno de reverberación donde se funde el aluminio y se forman lingotes de aluminio o láminas, para la posterior fabricación de nuevos productos.

“Con un ciclo de vida sostenible de principio a fin, se puede afirmar que el aluminio es prácticamente un 100 % reciclable. Su tasa de recuperación en construcción es de un 95 %, y su reciclado ahorra el 95 % de la energía usada en su producción inicial” (Pro Materiales, s.f.)

1.7.1.1. Procesos industriales para el tratamiento de residuos de Aluminio

Los residuos de aluminio primeramente se someten a un proceso de clasificación, luego pasan a procesos de trituración, molienda, separación magnética, remoción de impurezas, y finalmente se somete estos materiales a una fundición (De la Torre, Guevara, & Yépez, 2009). En la fusión de aluminio secundario se emplean hornos clásicos, adaptados y adecuados según la necesidad, que pueden ser, hornos de reverbero, horno rotativo y hornos de inducción (Román, 1992).

Los hornos empleados funden diversos tipos de desechos, con el fin de recuperar este elemento en este proceso, se funde el aluminio a 660 C, de modo que se obtiene una colada (De la Torre, Guevara, & Yépez, 2009). En los hornos de reverbero, se emplea una variante de horno de reverbero de dos cámaras, en donde la primera cámara se funde chatarra y desechos, en la segunda cámara se rectifican las aleaciones y su capacidad duplica a la primera, posee ventajas, como acortamiento en el tiempo en que el aluminio fundido está en contacto con herramientas de hierro, lo que a su vez permite minimizar el contenido de este metal en las aleaciones. Asimismo, mejora la productividad por trabajador en un 20-25 %, se puede eliminar elementos mecánicos auxiliares, y disminuir pérdidas de material en el lingote (Patiño & Serrano, 2016).

Una variante más que se le puede dar a un horno de reverbero es el horno de baño externo o abierto. Su diseño no difiere de los hornos corrientes de reverbero, más que en la cuba externa. La ventaja principal de estos hornos consiste en pérdidas pequeñas de metal que se dan por oxidación (Patiño & Serrano, 2016). Respecto de los hornos rotativos, se puede indicar que estos son empleados en la fusión de productos finos, como virutas, limaduras, etc. Dicho horno está compuesto por un tambor de acero, revestido interiormente de refractario, el cual gira sobre bandas de rodaduras. En hornos de gran dimensión y bien equipados, la carga requiere un tiempo variable de 1 a 5 minutos por tonelada métrica, la fusión toma de 1 a 2 horas, la colada y evacuación de escoria no más de 15/20 minutos (Patiño & Serrano, 2016). Por otra parte, los hornos de inducción pueden ser de crisol o de canales según la disposición del baño inducido. Estos se emplean para fusión de virutas, recortes, mazarotas, rebabas y otros desperdicios de aluminio (Patiño & Serrano, 2016)

Los cloruros son muy importantes en la recuperación de aluminio ya que evitan

la oxidación del metal, sin embargo, su influencia en la coalescencia de las gotas de aluminio es mínima. Los fluoruros son muy eficientes para mejorar la coalescencia debido a que tienen la capacidad de disminuir la viscosidad de la mezcla de sales fundida. Este hecho permite que las gotas de aluminio se muevan con mayor facilidad, consecuentemente existen mejores condiciones para que las mismas se unan al baño del metal fundido. Adicionalmente, las sales presentan la capacidad para solubilizar los óxidos, por lo que concentraciones relativamente altas permiten mayor disolución de la capa superficial de óxido. De esta forma, se concluye que las adiciones de sales de flúor generan un ataque a las capas de óxido formadas y una disminución de la viscosidad de la mezcla de sales fundidas, permitiendo un aumento de la recuperación de aluminio metálico (De la Torre, Guevara, & Yépez, 2009).

Figura 1.27: Proceso de fundición de aluminio



Fuente: (CEDAL, 2019)

Elaboración: Autores

1.8. Centros de acopio en el contexto nacional

El componente de la cadena de valor relacionado con el reciclaje se encuentra ligado a los centros de acopio de material que se encargan de la recolección, clasificación y almacenamiento de materiales que pueden ser reutilizados para los procesos industriales, generalmente toda la materia para clasificación viene de sectores industriales y de procesos de recolección en las ciudades. El rol fundamental

que desempeña un centro de acopio es el paso del material por una serie de filtros, determinando los materiales aptos para reciclaje, donde una parte de esos residuos irán a un vertedero controlado y los realmente reutilizables se empaquetarán para su comercialización en empresas dedicadas a distribución y a la preparación de materiales procedentes de reciclado ([Medina Párraga, 2010](#)).

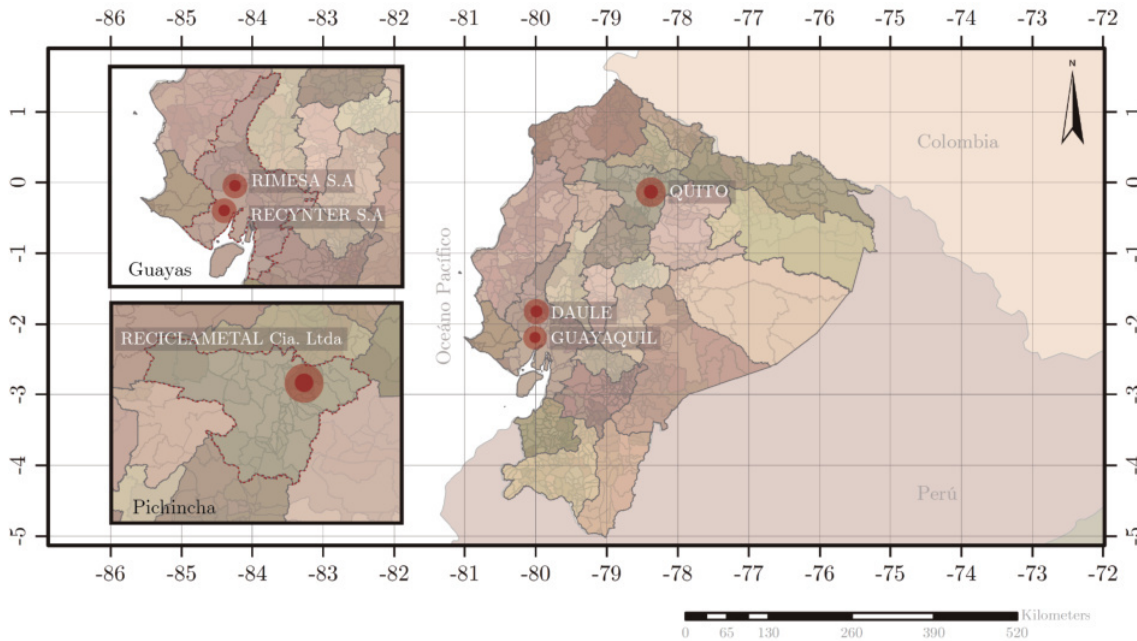
A nivel nacional según El Censo Nacional Económico realizado en el 2010 por el Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC), se muestra cifras de 24 establecimientos dedicados al procesamiento de desecho de metales, los cuales actualmente a nivel nacional reciclan alrededor de 400000 toneladas de metales, siendo el aluminio el material con mayor índice de reciclaje, obteniendo un porcentaje del 30 %, también se determina que el reciclaje de materiales metálicos genera un impacto social positivo ya que permite generar fuentes de empleo o ingresos suplementarios a las personas dedicadas a esta actividad.

El acopio informal es el más relevante en el contexto nacional, en donde el papel del recuperador es esencial Según datos estadísticos expuestos, en el 2008 se recolectó 253 mil desechos sólidos, lo que significó un ingreso de 27 millones de dólares. El monto de exportaciones efectuadas en el mismo año, según estadísticas de la Red Nacional de Recicladores del Ecuador fue de 98 millones de dólares, provenientes en mayor parte del acero, aluminio, cobre, y la demanda del cartón que fue de 20 mil toneladas por mes ([Medina Párraga, 2010](#)).

El gran consumo de aluminio y otros metales en el sector de la construcción genera cada día grandes cantidades de chatarra por lo que se hace necesario la presencia de centros encargados de clasificar, compactar y distribuir las toneladas de chatarra a los centros en donde se generan los siguientes procesos ([Medina Párraga, 2010](#)).

Dentro de los cuales a nivel nacional encontramos tres importantes como: **RI-MESA S.A**, **RECYNTER S.A.** y **RECICLAMETAL Cía. Ltda.- Quito**, pudiendo así nombrarlos como los centros de acopio generales o primarios, dentro del Ecuador. Así también se cuenta con otras tres medianas industrias en varios puntos fuera de la capital y el puerto principal, como lo son: **RECIMETAL S.A.**, **REXMETAL S.A**, **RECICLAMETAL Cía. Ltda.** y **METALAUSTRO**. Finalmente se encuentran las pequeñas industrias, negocios, fabricas o demás en las cuales se generan los desechos por diferentes actividades y por donde se empieza el proceso de recolección de materiales por parte de los denominado recicladores o chatarreros que recorren cada uno de estos espacios comprando los residuos para llevar a venderlos en las medianas industrias o centros de acopio.

Figura 1.28: Ubicación de centros de acopio a nivel nacional



Fuente: (GOOGLE Maps, 2020)

Elaboración: Autores

1.8.1. RIMESA S.A.

Figura 1.29: Instalaciones de Rimesa S.A.



Fuente: (GOOGLE Maps, 2019)

Elaboración: Autores

Recicladora Internacional de Metales, es una empresa que adquiere y comercializa metañes ferrosos y no ferrosos. Es una marca lider en el mercado nacional e internacional, genera empleos para cientos de familias ecuatorianas (Medina Párraga, 2010). Su principal actividad se basa en el reciclaje de productos que llegan en chatarra, pasando por todo su proceso, hasta llegar a un producto final que puede ser comercializado en el mercado Nacional y exportado a diferentes países del resto

del mundo, entre los cuales se encuentran Estados Unidos, Colombia, Perú, India, China, Japón, Corea, México, España, entre otros y el resto de países del mundo en general (Medina Párraga, 2010).

1.8.2. RECYNTER S.A

Se dedica a la comercialización nacional e internacional de metales reciclados. Sus principales clientes están ubicados en Estados Unidos, China, México, Holanda, España y Brasil. Los productos que se trabajan son metales ferrosos y no ferrosos, que compran a micro empresarios de todo el Ecuador. Los desechos son provenientes de la industria petrolera, textil, eléctrica, papelería, así como equipos que salen de uso por renovaciones industriales como: barcos y aviones, además de desechos metálicos y domésticos.

Su trabajo consiste en clasificar los diversos materiales, entregarlos reciclados y listos para fundición industrial (Medina Párraga, 2010). También exporta los productos clasificados en ferrosos y no ferrosos en sus diferentes países como aceros, aluminio, cobre, bronce, y la chatarra en general, a nivel nacional Recynter reporta unas estadísticas que hablan de 120.000 toneladas de chatarra ferrosa y 10.000 no ferrosa (aluminio, bronce y acero inoxidable) que se recogen entre los escombros al año (Medina Párraga, 2010).

Figura 1.30: Instalaciones de Recynter S.A.



Fuente: (GOOGLE Maps, 2015)

Elaboración: Autores

1.8.3. RECICLAMETAL Cia. Ltda – Quito

Es una empresa ecuatoriana con su principal centro de acopio operativo en la ciudad de Quito, su principal actividad está relacionada con el proceso de clasificación, reciclaje, compactación, almacenamiento, transportación y comercialización de materiales metálicos y electrónicos reciclados. Está constituida por un grupo de profesionales, capacitados y dedicados al desarrollo del reciclaje de metales y materiales

electrónicos, destrucción de materiales en desuso dados de baja por diferentes empresas. Reciclamental fue fundada en el año 2000 viendo la necesidad del reciclaje de metales, pudiendo así fomentar a la ciudadanía estos hábitos y evitar todos los desperdicios vayan a los rellenos sanitarios ([Medina Párraga, 2010](#)).

Figura 1.31: Instalaciones de Reciclamental Cia. Ltda



Fuente: (GOOGLE Maps, 2015)
Elaboración: Autores

1.9. Centros de acopio en el contexto, Cuenca - Ecuador

La recuperación informal de materiales reciclables constituye una estrategia de sobrevivencia para individuos pobres de la región. El Banco Mundial ha estimado que hasta el 2% de la población de los países subdesarrollados sobrevive de actividades de reciclaje informal. La Organización Panamericana de la Salud estima que 135 mil personas en América Latina sobreviven del reciclaje informal. Sin embargo, ese cálculo es muy bajo: tan sólo en Colombia, el número de familias de recicladores es de 50 mil. quienes recuperan materiales de desecho reciben distintos nombres, dependiendo del país y de los materiales de que se trate ([Medina, 1999](#)).

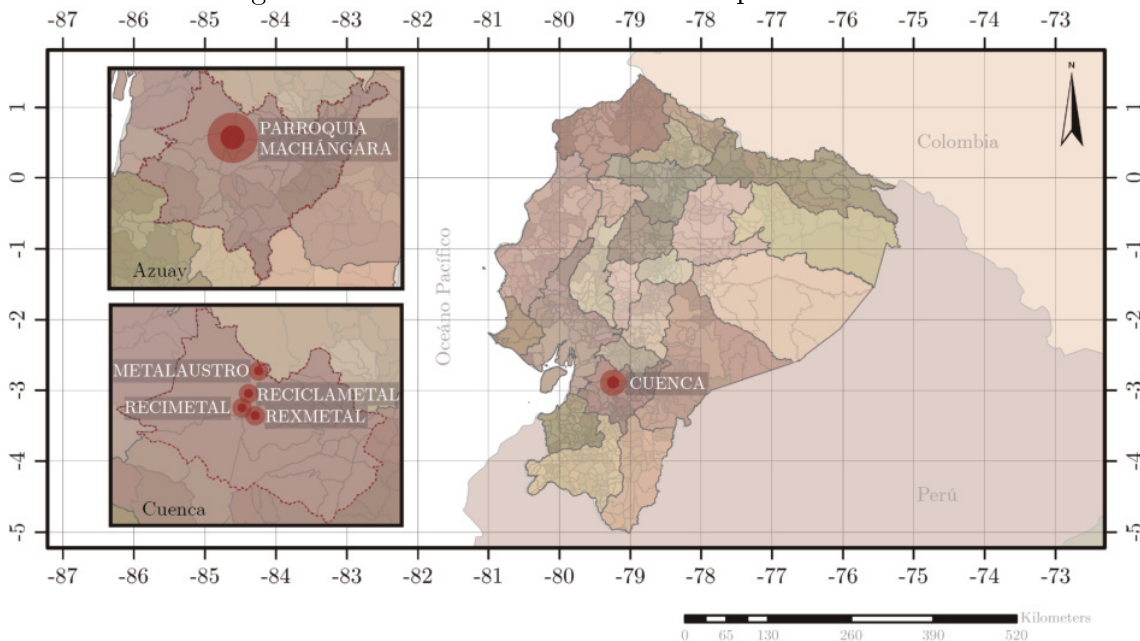
A nivel local se encuentran programas estipulados por el municipio de Cuenca y la EMAC, que permiten la recolección y clasificación de residuos metálicos para su reutilización ([EMAC, 2014](#)).

En la ciudad actualmente existen más de 15 negocios que se dedican a la compra y venta de residuos metálicos y otros materiales que se volvieron inservibles (Diario El Tiempo, 2019). Para el funcionamiento sistemático de los diversos centros de acopio de la ciudad la empresa pública municipal de aseo de Cuenca, EMAC EP, desarrolla categorías de recicladores, ya sean estos primarios y secundarios que se encargaran de abastecer constantemente a los centros de acopio ([Patiño & Serrano, 2016](#)).

De acuerdo a los requisitos y reglamentos estipulados por la empresa pública municipal de aseo de Cuenca, EMAC EP, se considera recicladores primarios a los que realizan labores de recolección de materiales reciclables de manera artesanal, empleando para su transporte medios no motorizados, teniendo así que cumplir con una entrega promedio de 200kg mensualmente, a su vez tener estipulado el centro de acopio en el que dejara los desechos recolectados (Patiño & Serrano, 2016). Por otra parte, los recicladores secundarios son aquellas personas naturales que poseen un vehículo motorizado y que interactúan con el reciclador primario, ya sea adquiriendo el material o apoyando en el transporte de los mismos hacia los centros de acopio (Patiño & Serrano, 2016).

Las empresas o proveedores más grandes de Cuenca en cuanto a acopio de chatarra de aluminio para el proceso de fundición en el país están: **RECIMETAL S.A., REXMETAL S.A. Y RECICLAMETAL Cía. Ltda** Los cuales entregan alrededor de 563.781 kilogramos brutos (Kg.) en un promedio por mes a la planta de CEDAL (Medina Párraga, 2010). También encontramos METALAUSTR0 que no simplemente se dedica a la recolección de chatarra de aluminio sino también de otros materiales metálicos, los cuales después del acopio se los vende a empresas como: ANDEC y ADELCA para la elaboración de barras

Figura 1.32: Ubicación centros de acopio en Cuenca



Fuente: (GOOGLE Maps, 2020)
Elaboración: Autores

1.9.1. RECIMETAL S.A

Figura 1.33: Ubicación Recimetal S.A en Cuenca



Fuente y Elaboración: Autores

Recicladores metálicos es una empresa dedicada al reciclaje de metales en el Ecuador, con puntos de compra y recepción en Cuenca, Manta, Machala, Santa Elena y otras ciudades. La empresa tiene sus propios programas de reciclaje de metales ferrosos y no ferrosos como: cartón, papel, plástico, vidrio que no esté roto, aluminio, cobre, metal, y elementos de hierro, en sus instalaciones clasifica, limpia y embala metales para exportación.

Según Medina, 2010 la disponibilidad de material reciclado es de 3000 toneladas por mes, de las cuales se extraen alrededor de 1800 toneladas métricas de materiales ferrosos y no ferrosos para su expendio. Además, cuenta con certificación medioambiental y sistema de control radioactivo que aseguran el buen manejo de los materiales, logrando así la conservación del medioambiente evitando el incremento de la contaminación ([Medina Párraga, 2010](#)).

1.9.2. REXMETAL S.A

Figura 1.34: Ubicación Rexmetal S.A en Cuenca



Fuente y Elaboración: Autores

Es una empresa dedicada a la compra y venta de materiales metalúrgicos ferrosos y no ferrosos se encuentra entre los líderes del mercado nacional, genera a través de sus actividades comerciales y ecológicas fuentes directas e indirectas de ingresos para cientos de familias ecuatorianas. Posee un número de 100 trabajadores de los cuales sus familias son las beneficiarias consignando el bienestar para cada una de ellas ([Medina Párraga, 2010](#)).

1.9.3. RECICLAMETAL Cía. Ltda.

Figura 1.35: Ubicación Reciclamental Cía. Ltda en Cuenca



Fuente y Elaboración: Autores

La empresa se encuentra ubicada en diferentes sectores de la ciudad su centro de acopio principal se encuentra en Quito y en varias provincias del país como Cuenca, Ambato y otras. El proceso que se realiza en la bodega de recolección de Reciclamental consiste en comprar, clasificar, cortar si el caso lo amerita y compactar para su posterior venta. En el proceso productivo de RECICLAMETAL CÍA LTDA., se identifican dos líneas de producción ([Medina Párraga, 2010](#)).

1.9.4. METALAUSTRRO Cía. Ltda.

Es una empresa que se encuentra en Cuenca, Azuay, Ecuador y forma parte de la industria de mayoristas de materiales reciclables ([EcuRed, s.f.](#)). Se dedica a la venta al por mayor de desperdicios y desechos, de chatarra metálica y de materiales para el reciclado; incluido la recogida, clasificación, separación y el desguace de productos usados, como automóviles, para obtener partes y piezas reutilizables, el embalaje y reembalaje, el almacenamiento y la entrega. Actualmente su centro de acopio tiene 12 empleados en total en todas sus ubicaciones y genera alrededor de 1.13 millones en ventas.

Figura 1.36: Ubicación MetalAustro en Cuenca



Fuente y Elaboración: Autores

La recolección del aluminio reciclado en la ciudad de Cuenca se maneja básicamente de dos formas ya que se tiene dos tipos de centros de acopio. El primero es aquel que compra la chatarra de aluminio a pequeños y medianos recolectores, quienes se desplazan hasta los centros de acopio con sus vehículos, los cuales son pesados en balanzas electrónicas con carga y posteriormente sin carga a fin de determinar el peso de la chatarra con la que llegan para ser vendida. El segundo tipo de centro de acopio es aquel que mantiene convenios con empresas de manufactura que generan desperdicios de algunos tipos de chatarra ya sea ferrosa o no ferrosa; en este contexto, personal de este centro se acerca a cada empresa, recoge el material desechado, lo lleva a sus instalaciones y finalmente lo clasifica (Patiño & Serrano, 2016).

Después de un análisis de procedencia de materia prima realizado en la ciudad Cuenca se determina que también se obtiene chatarra de aluminio procedente de la ciudad de Latacunga de una empresa denominada "Aluminex", misma que llega limpia a los centros de acopio, destacando mayormente los residuos o chatarra de cables conductores de alta tensión de aluminio. Adicionalmente, cumple con todos los parámetros y requisitos impuestos por empresas especializadas en la compra de este material para su posterior uso. En nuestro medio la empresa líder en la compra de este material es CEDAL, la misma que reutiliza el material sometido a otros procesos de limpieza realizado con imanes, todo ello a fin de verificar que en el aluminio recolectado no exista algún metal ferroso que pudiere contaminar la colada que está siendo procesada.

También en la ciudad se reutiliza residuos de aluminio generados en los procesos de perfilería. De acuerdo al recorrido realizado por varios centros especializados en perfilería de aluminio de la ciudad, se determina que la obtención de la materia prima primaria la hacen de dos empresas; CEDAL y FISA Ver anexo 3.9.1. Uno de los productores más grandes de perfilería de aluminio de la ciudad es INCOA, la cual compra su materia prima en la ciudad de Guayaquil en FISA, además de ser distribuidor exclusivo del mismo material en la provincia. Esta empresa semanalmente genera alrededor de 40 kg a 70 kg de residuos de aluminio, dependiendo de su actividad de trabajo, los cuales acumulan en un lugar estipulado para dichos residuos y su posterior venta. La comercialización la realizan a diferentes recicla-

dores que acuden a comprar a las instalaciones o al tener una alta acumulación de residuos las llevan directamente a los centros de acopio con un precio de venta de 1.40 ctvs de dólar por cada kilo o 0.60 ctvs la libra [Ver anexo 3.9.1](#) y [Ver Figura 1.37](#).

Dentro de este mismo análisis y recorrido se encuentran otras pequeñas medianas y pequeñas empresas dedicadas a la actividad de la perfilería de puertas, ventanas entre otras cosas. El Taller mil usos, es otro de estos lugares, el cual al igual que INCOA es distribuidor en la provincia de aluminio primario proveniente de CEDAL y a su vez es generador constate de residuos de aluminio los cuales vende a recicladores primarios que se acercan a su local principal. El costo de venta de residuos de perfilería de aluminio tiene un valor de 0.75ctvs la libra, generando alrededor de unos 60kg a 80 kg de residuos de aluminio, todo dependiendo la demanda de productos que tengan, mayor será la demanda de residuos que generen [Ver Figura 1.37](#)

El Taller mil usos, es otro de estos lugares, el cual al igual que INCOA es distribuidor en la provincia de aluminio primario proveniente de CEDAL y a su vez es generador constate de residuos de aluminio los cuales vende a recicladores primarios que se acercan a su local principal. El costo de venta de residuos de perfilería de aluminio tiene un valor de 0.75ctvs la libra, generando alrededor de unos 20kg a 40 kg de residuos de aluminio, todo dependiendo la demanda de productos que tengan, mayor será la demanda de residuos que generen [Ver Figura 1.37](#).

Cuadro 1.3: Cuantificación de aluminio reciclado

	Lugar	Cantidad semanal aprox (kg)	Destino
Generadores de desechos	TALLER MIL USOS	60 - 80	Centros de acopio o recicladores secundarios
	INCOA	60 - 80	
Centro de Acopio	RECIMETAL S.A	1000 - 1500	Andec – Adelca - Novacero Cedal - Fisa
	REXMETAL S.A	800 - 1000	
	RECICLAMETAL Cia. Ltda	1500 - 2000	
	METALAUSTRO Cia. Ltda	1500 - 2000	

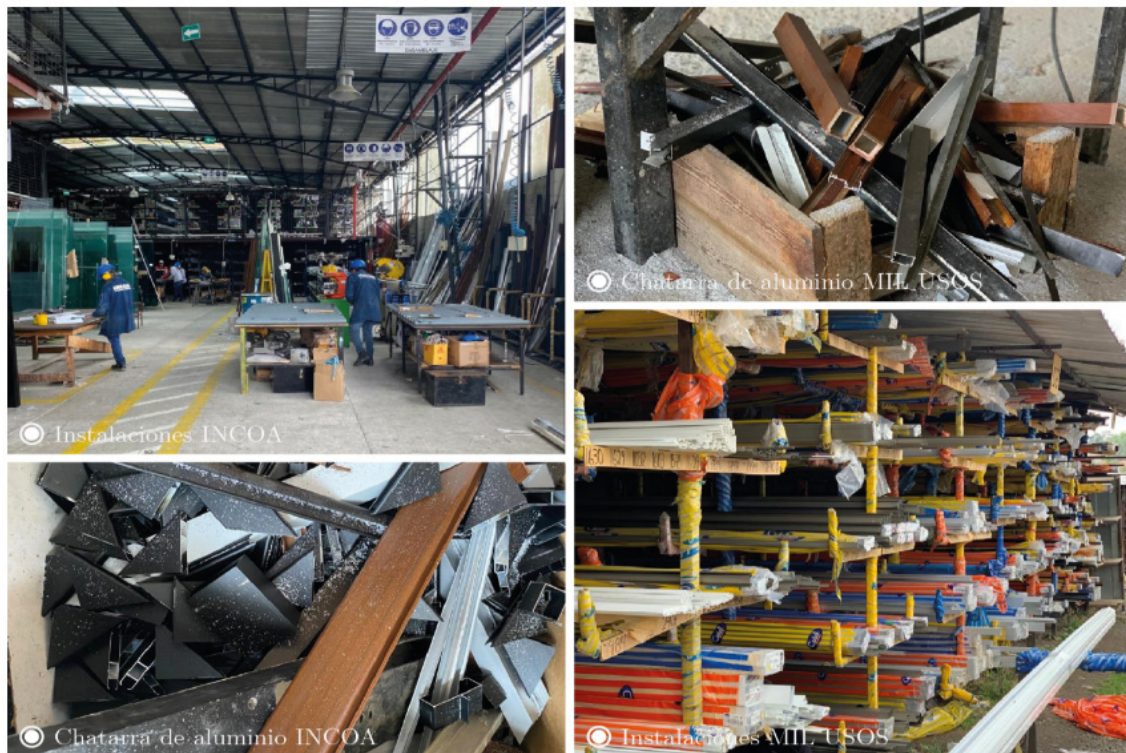
Fuente y Elaboración: Autores.

A partir del análisis y recorrido a los distribuidores de materia prima y generadores de residuos se determina la cantidad aproximada de producción de desechos en la ciudad de Cuenca, como se presenta en la [Ver Cuadro 1.3](#) en donde según datos de ([Patiño & Serrano, 2016](#)). Los volúmenes promedio de aluminio reciclado que manejan los centros de acopio de la ciudad de Cuenca se encuentran entre las

40 a 60 toneladas al año, dependiendo de la capacidad de cada centro, estos datos fueron tomados por entrevistas a 4 centros de acopio de esta ciudad.

Como datos finales, según [Patiño & Serrano, 2016](#), el valor que los centros de acopio pagan a los recolectores varía entre los 440 a 660 USD la tonelada, no obstante, esto depende del tipo de aluminio que es entregado. De acuerdo a información proporcionada por el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos del Ministerio de Ambiente ([MAE-PNGIDS, 2014](#)), en el Ecuador se genera alrededor de 11.341 toneladas diarias de residuos sólidos, es decir, un aproximado de 4'139.512 toneladas/año, de los cuales el 61,4% son orgánicos, papel/cartón 9,4%, plástico 11%, chatarra 4,6%, vidrio 3.2%, y otros 11,3%. Es decir, un aproximado del 25% del total de residuos sólidos urbanos generados diariamente en el Ecuador tiene potencial a ser reciclados ([Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo, 2015](#))

Figura 1.37: Instalaciones de Incoa & Taller Mil Usos



Fuente y Elaboración: Autores

Finalmente, el reciclaje y por ende la comercialización de chatarra en el Ecuador ha tenido un crecimiento significativo debido a la aplicación de políticas públicas desde el año 2008 en donde se crea el Programa de Reducción de la Contaminación Ambiental, racionalización del subsidio de combustibles de transporte público y su chatarrización, en donde se estipula en el Art. 6 la prohibición de exportar chatarra. En el año 2009 el Ministerio de Producción, Empleo y Competitividad dispuso prohibir la exportación de aluminio, cobre - estaño o bronce, y que el Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO) fije cupos de exportación de estos metales, la

industria del reciclaje de la chatarra ferrosa en Ecuador ha tenido un crecimiento en los últimos años, luego de que empresas como ADELCA, ANDEC y NOVACERO han realizado inversiones importantes en procesos de fundición y por ende, se ha incrementado considerablemente la cantidad de chatarra reciclada en el país ([Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo, 2015](#)). En base a información del Ministerio del Ambiente, en el período 2012-2014 se registra una inversión de capital de más de 100 millones de dólares en la industria de chatarra en el Ecuador.

Figura 1.38: Esquema resumen capítulo 1



Fuente y Elaboración: Autores

CAPÍTULO

Diseño y experimentación

2

Diseño y experimentación de revestimientos de aluminio reciclado

El desarrollo de la estructura de materiales metálicos y las diferentes relaciones con sus propiedades ha permitido la creación de revestimientos con este tipo de material y equipos cada vez más sofisticados, que han logrado el avance de investigaciones que conlleven a la existencia de estructuras de alta eficiencia, permitiendo así obtener materiales nuevos, innovadores y con mejores características, físicas, químicas y estéticas; como lo es el caso de los materiales livianos ([Gutiérrez & Oñoro, 2008](#)).

El aluminio mezclado con otros elementos, permite el desarrollo de características mecánicas, físicas y estéticas superiores a las de otros materiales convencionales. *“Las aleaciones se desarrollan debido a la necesidad de encontrar la cualidad de fundición idónea, como fluidez y capacidad de alimentación, así como valores optimizados para propiedades como resistencia a la tensión, ductilidad y resistencia a la corrosión”* ([Pando & Zapatán, 2012](#), p.55).

El desarrollo de las diferentes aleaciones se lo realiza mediante una fundición o aleado mecánico, las cuales pueden ser procesos ya sea forja o fundición ([Esparza Rodríguez et al., 2017, p. 4](#)). De los cuales se pueden obtener varios productos ya sean estos extruidos, planos, trefilados o fundidos ([Pando & Zapatán, 2012](#)).

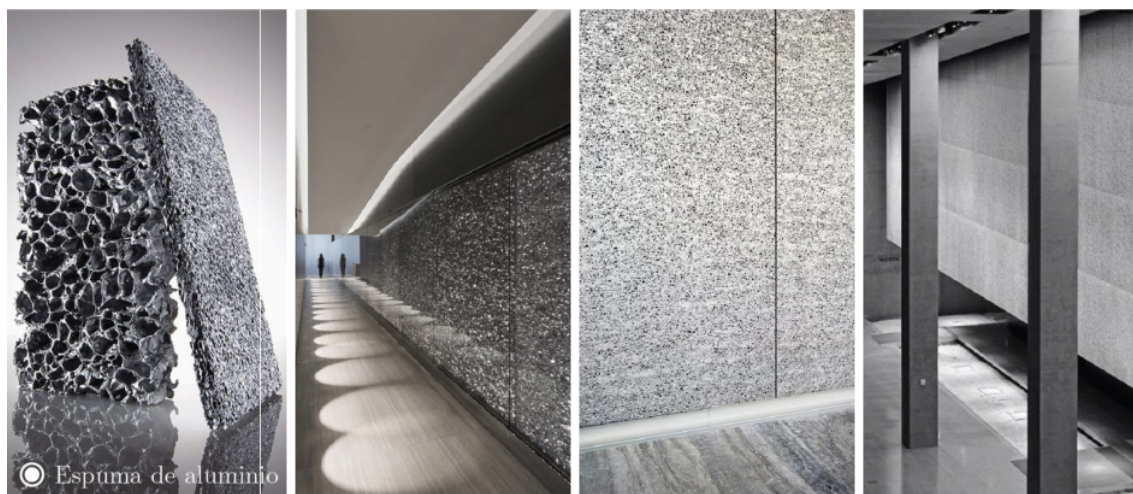
Las aleaciones con los elementos más comunes que se añaden son el magnesio, zinc, manganeso, silicio, circonio, titanio, torio y cerio que permiten una mejora en el aluminio tanto en ductilidad, resistencia, viscosidad, entre otras características ([Capilla, 2011, p.17](#)). El aluminio al ser un metal muy versátil no solo se puede realizar las diversas aleaciones con estos elementos sino a su vez con cloruros, sales y óxidos con la finalidad de generar cambios, mecánicos, físicos y estéticos como su porosidad, densidad y textura ([Esparza Rodríguez et al., 2017, p. 4](#)).

El desarrollo de las investigaciones ha sido un proceso lento, el cual ha permitido experimentar paulatinamente los métodos de elaboración de materiales metálicos

porosos, y no es hasta apenas unos años de estudio y experimentación que se ha permitido obtener y disponer industrialmente de este tipo de elementos constructivos (Gutiérrez & Oñoro, 2008).

Dentro de estos nuevos materiales se encuentran las espumas metálicas o aleaciones de poros o célula abierta los cuales son considerados materiales ultraligeros que ofrecen una gran variedad de aplicaciones estructurales, funcionales y estéticas *“las espumas metálicas son un caso particular, donde el gas se encuentra disperso en la matriz metálica. Esta morfología maximiza el área superficial, en la cual el gas ocupa del 50 al 90 % del volumen total, obteniéndose muy baja densidad (de 0,3 a 0,8 g/cm³). En particular, las espumas de aluminio, debido a su baja densidad, resistencia a la corrosión y un punto de fusión relativamente bajo que las hace fácilmente manejables, poseen interesantes combinaciones de propiedades mecánicas y físicas que les otorgan, entre otras características, alta tenacidad y gran absorción de energía de impacto, son utilizables en carpintería metálica y construcciones civiles en general, ya que estos materiales poseen buena capacidad para aislamiento acústico, alta rigidez específica, absorción de vibración y elevada disipación de calor. Las espumas de aluminio pueden fabricarse por diferentes métodos”* (Gutiérrez & Oñoro, 2008, p. 274).

Figura 2.1: Espumas de aluminio



Fuente: Cymat, 2020.

Elaboración: Autores

Para la obtención de este material se puede destacar el proceso de fundición del aluminio y la inyección de gas inerte en el mismo. Pese al poco desarrollo de procesos para la obtención de este nuevo material se ha podido destacar tres métodos por los cuales se puede obtener actualmente este producto. El Proceso Hydro – Alcan, el proceso Alporas y el proceso Formgrip (Gutiérrez & Oñoro, 2008).

Cada uno de estos procesos permiten que *“Los metales líquidos, en determinadas*

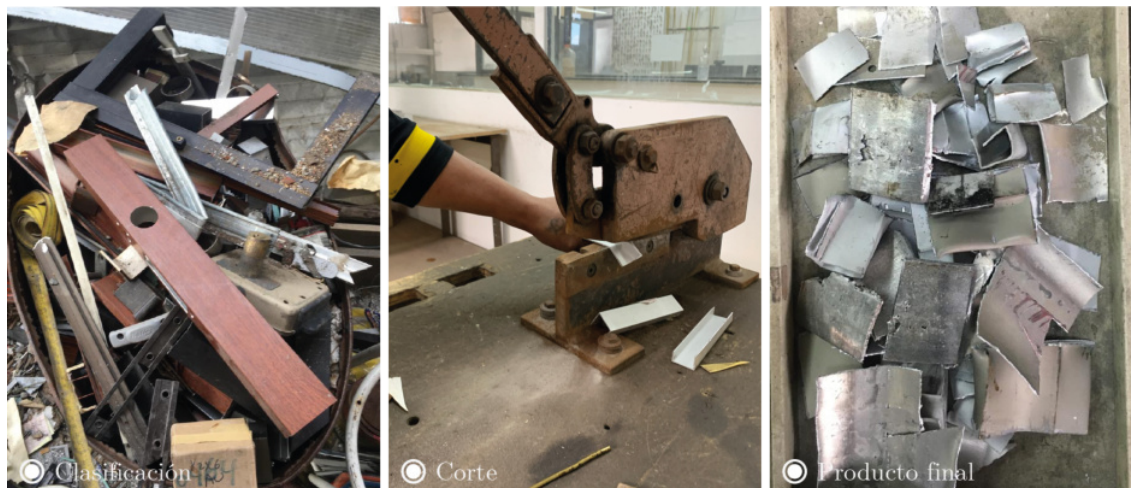
condiciones, pueden dar lugar a espumas por la introducción de burbujas de gas que quedan atrapadas en el interior del líquido. Las burbujas de gas formadas en un metal líquido tienden muy rápidamente a alcanzar la superficie debido a su menor densidad. Un aumento de la viscosidad del metal fundido y una adecuada modificación de las condiciones de presión y temperatura pueden dificultar la migración del gas y estabilizar temporalmente su permanencia dentro de un metal fundido hasta conseguir su solidificación“ (Gutiérrez & Oñoro, 2008, p. 460).

2.1. Obtención y Propiedades de materia prima

La composición de propiedades del aluminio con sus mezclas, logran que el material sea versátil, atractivo y económico, generando de esta manera una gama de usos y aplicaciones. El aluminio bien procesado puede resistir la corrosión por agua, sal (Maffia, 2013). A partir de la revisión bibliográfica se ha realizado la elección de 6 elementos a combinar con el aluminio, debido a las características que presentan al alearse con el mismo como espumado, viscosidad y la conservación de las propiedades y características del aluminio.

2.1.1. Aluminio

Figura 2.2: Obtención de aluminio



Fuente y Elaboración: Autores

Los lingotes de aluminio con los que se generan los perfiles en Ecuador tienen las aleaciones 6063, 6061 y 6005, las cuales sirven para aplicaciones de usos arquitectónico y estructurales (CEDAL, 2019). Para la obtención del aluminio secundario o reciclado se tomó en cuenta los puntos de reciclaje de la ciudad de Cuenca y a su vez los lugares en donde se trabajan con el aluminio de manera industrial y artesanal. La obtención de la materia prima se realizó en espacios de producción industrial

de elaboración de puertas, ventanas y pasamanos, pudiendo obtener una cantidad considerable de residuos. Ver anexo 3.9.1.

2.1.2. Cloruro de sodio

Figura 2.3: Obtención de cloruro de sodio



Fuente: Quangpraha, 2018; Hanny Fuks, 2019; Pixabay, 2020.
Elaboración: Autores

El cloruro de sodio o más conocida como sal marina es una sustancia blanca cristalina, soluble en agua y abundante en toda la naturaleza, proveniente del mar de depósitos subterráneos de sal mineral, siendo así uno de los elementos más abundantes a nivel mundial (MINSALUD, s.f., p.3). El punto de fusión es 801 °C y el punto de ebullición es 1465 °C. El proceso y obtención del cloruro de sodio se puede obtener por tres métodos diferentes “El primero mediante la utilización de los rayos solares, que consiste en colocar agua salada (agua de mar) en lugares donde la energía del sol evapora el agua y el resultado son residuos de sal. El segundo método consiste en la extracción de minas de sal que existen en el país y el tercero mediante la utilización de hornos industrializados que evaporan el agua del océano y recopilan los residuos que son convertidos en sal” (Reyes, et al., 2006, p. 64).

La obtención del cloruro de sodio en nuestro medio se da en varios puntos

estratégicos del océano pacífico especialmente por la empresa Emprosal, debido al uso común en nuestro medio. Ver anexo 3.9.1.

2.1.3. Carbonato de sodio

Figura 2.4: Obtención de carbonato de sodio



*Fuente: Sanchez, 2013; Koussi, 2010; Cosmos, s.f.
Elaboración: Autores*

El carbonato de sodio conocido como bicarbonato de soda o sal de vichy, es un compuesto blanco sólido cristalino que se obtiene de una planta llamada barrilla o la sosa que al ser quemada deja cenizas o residuos en los que se encuentra el mineral llamado natrón, el cual contiene grandes cantidades de sales que permite la obtención del bicarbonato sódico, que a través de varios procesos físico - químicos se obtiene el carbonato de sodio (Velasco Hernández, 2004).

El carbonato de sodio también se lo puede encontrar en soluciones de las aguas salinas o también en forma de costras en zonas costeras en regiones áridas, siendo así no solo la barrilla la materia prima para su obtención, sino también la hnaksita, glauberita o thenardita que se encuentran asociadas con los boratos, carbonatos y

sulfatos de sodio (Valentin, 1982).

El carbonato de sodio es un producto de libre venta a nivel nacional y se lo puede encontrar con gran facilidad ya sea en las distribuidoras más grandes del país Quimpac y Resiquim S.A. o si se lo necesita en cantidades pequeñas en las tiendas de abarrotes o boticas. Ver anexo 3.9.1.

2.1.4. Sulfato de Aluminio

Figura 2.5: Obtención de sulfato de aluminio



Fuente: (Zibo Ton Lamb Chemical Technology co., Ltda, 2019; Focus Technology Co., Ltda, 2020.)

Elaboración: Autores

El sulfato de aluminio es obtenido de la mezcla entre un mineral aluminico sean estos caolín, bauxita o hidrato de aluminio con ácido sulfúrico a temperaturas elevadas. El sulfato es una sal sólida y de color blanco de fórmula que por sus propiedades físico-químicas, utilizado “especialmente como agente coagulante y floculante primario en el tratamiento de aguas de consumo humano y aguas residuales” (SIDESA, s.f.). Su característica principal es agrupar los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación, contribuyendo a la disminución de la carga bacteriana,

así como la remoción del color y sabor (SIDESA, s.f.; Quimpac, s.f.). Se lo puede encontrar principalmente y en grandes cantidades en los lodos generados por las plantas potabilizadoras de agua (Villegas, Castaño & Paredes, 2005).

El sulfato de aluminio no es un elemento muy común para su compra, pero se los puede encontrar en varios lugares de producción de fertilizantes o compuestos químicos. Ver anexo 3.9.1.

2.1.5. Cloruro de magnesio

Figura 2.6: Obtención de cloruro de magnesio



Fuente: (Heraldo, 2019; BMnet Beauty Media Networks, 2015; Alibaba, 2020.)

Elaboración: Autores

El cloruro de magnesio tiene como materia prima los minerales conocidos como; magnesita, dolomita o carnalita, procedentes de los carbonatos o cloruros (Slideshare, 2015). La magnesia tiene como principal fuente a la magnesita, la cual es obtenida del agua del mar (IGME, 2018). Los principales yacimientos se encuentran en Venezuela y en España. Su uso es habitual especialmente en el área medicinal. Ver anexo 3.9.1.

2.1.6. Magnesio

Figura 2.7: Obtención de magnesio



Fuente: (Ámbito,2019; Fabre Minerals,2020; Alibaba,2020.)

Elaboración: Autores

El magnesio es el octavo elemento más abundante de la tierra, pertenece al segundo grupo principal de la tabla periódica, concretamente al grupo de los metales alcalinotérreos es por ello que no se lo puede encontrar de manera natural, sino en forma de diferentes minerales, en su mayoría óxidos y sales que, al pasar por dos tipos de procesos, físico – químicos se obtiene el magnesio (Capilla, 2011).

El magnesio al igual que el cloruro de magnesio se extrae de la magnesita, dolomita o carnalita (EcuRed, s.f.). El uso versátil del magnesio en actividades deportivas y actividades productivas como la industria agrícola, permite que se lo pueda encontrar de manera más fácil en nuestro medio. Ver anexo 3.9.1.

2.1.7. Feldespato

Figura 2.8: Obtención de feldespato



Fuente: (Contraparte,2016; Wikipedia,2020; FabreMinerals,2020.)

Elaboración: Autores

El feldespato también conocido como caolín, pertenece al grupo minera-lógico más importante de la corteza continental debido a su abundancia, ya que forma parte de más del 50 % del peso de rocas ígneas y sedimentarias (Sánchez, et al., 2003, p.183). Esta materia prima especialmente las arcillas constituyen el principal material en la industria de la construcción, especialmente para la elaboración del vidrio y la cerámica (Sánchez, et al., 2003).

Debido a sus características físicas, químicas y minera-lógicas varían ampliamente, incluso entre las capas de un mismo depósito arcilloso (Gómez, et al., 2020). Debido a su abundancia y uso frecuente en nuestro medio el feldespato se lo encuentra en diversas canteras de la ciudad. Ver anexo 3.9.1.

2.1.8. Propiedades de la materia prima

Con la finalidad de esquematizar las propiedades esenciales de la materia prima a utilizar dentro del siguiente proceso experimental se ha desarrollado una tabla de

características esenciales a tomar en cuenta dentro de este proceso como; el estado de la materia, puntos de fusión y ebullición.

Cuadro 2.1: Propiedades y características de elementos

Elemento	Estado de la materia	Densidad (g / cm ³)	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)
Aluminio (Al)	Sólido	2.70 g/ml	660	2450
Cloruro de sodio (NaCl)	Sólido (granular)	2.16	801	1465
Carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃)	Sólido (polvo)	2.54	851	1600
Sulfato de aluminio (Al ₂ O ₃)	Sólido (granular)	2.67	770	330
Cloruro de magnesio (MgCl ₂)	Sólido (cristales)	2.32	714	1412
Magnesio (Mg)	Sólido (polvo)	1.74	650	1091
Feldespato	Sólido (granular)	2.63	1180	-

Fuente: (Aguado & Carriedo, 1998; Wikipedia, 2020.)

Elaboración: Autores

2.2. Etapa de experimentación

En la elaboración de un panel de revestimientos de aluminio reciclado ya sea para paredes, cielo raso, mampostería, mobiliario, entre otros, no existe una normativa o proceso como tal que nos asegure su resistencia y durabilidad puesto que es un material nuevo y poco estudiado, por tal motivo se le ha asociado a técnicas experimentales de materiales con características similares, para paulatinamente tener una idea del comportamiento del material e ir realizando las aleaciones y obtener el prototipo de panel que cumpla con las condiciones técnicas, tecnológicas y constructivas. El panel de aluminio debe tener características que permitan su manipulación considerando el dimensionamiento, peso, y que proporcione una resistencia suficiente para garantizar una durabilidad estable con el paso del tiempo.

La fabricación de paneles que cumplirán la función de revestimientos se debe tener presente que el espesor no sobrepase un rango entre $\frac{1}{2}$ " hasta 1", debido a que será un material que cumplirá la función de recubrir superficies, que permita

tener una estandarización de los elementos de fijación y modulación existentes en el mercado. Las muestras del material se obtuvieron mediante varias fases de ensayo y experimentación; para obtener la porosidad y textura adecuada. Dentro de la etapa de experimentación y de acuerdo a las fuentes bibliográficas analizadas se ha determinado el uso y ensayos de aleaciones diferentes con 2 tipos de gases inertes como lo son argón, y aire, a través de los cuales se va a encontrar mezclas que permitan la estandarización de un modelo que cumpla con las condiciones técnicas y constructivas.

Las pruebas se las ha realizado en un molde de acero tipo caja de sección útil de 15x15 cm con una altura de 4 cm, el cual se encuentra sellado por dos placas de sección de 19x19 cm, sujetadas por 4 varillas roscadas, teniendo en el centro de la placa una válvula adherida por la cual se le inyectará los diferentes gases inertes, en las cuales se colocará la aleación previamente fundida en el horno de crisol a las diferentes temperaturas, dependiendo del elemento a fundir.

Después de fundir cada uno de los elementos en el horno de crisol se genera una colada homogénea la cual se coloca en el molde previamente calentado para que obtenga la forma de panel con un espesor aproximado de 1 cm y se procede a la inyección de los diferentes gases hasta su solidificación que sucede en alrededor de unos 5 minutos. Finalmente se deja enfriar y se desmolda el panel.

Figura 2.9: Procesos de elaboración de probetas



Fuente y Elaboración: Autores

2.2.1. Aleación de aluminio y cloruro de sodio

Dentro del proceso de aleación entre estos dos elementos, se somete primero al proceso de fundición el cloruro de sodio granulado (sal marina) a temperaturas mayores de 800 °C, alrededor de 15 minutos. Para realizar la aleación se va agregando poco a poco el aluminio hasta que se convierta en una colada homogénea y se proceda a colocarlo en el molde; finalmente se procede a la inyección del gas inerte.

Cuadro 2.2: Aleación de cloruro de sodio y aluminio

	Elemento		Aleación		Gas Inerte	Presión de Gas inerte
	Aluminio (%)	Aluminio (gr)	Cloruro de sodio (%)	Cloruro de sodio (gr)	(Argón - Aire)	-
Dosificación #1	50	200	50	200	Argón	600
Dosificación #2	75	300	25	100	Aire	-
Dosificación #3	60	240	40	160	Argón	600
Dosificación #4	90	360	10	40	Aire	-

Fuente y Elaboración: Autores

Figura 2.10: Procesos de aleación de aluminio y cloruro de sodio



Fuente y Elaboración: Autores

2.2.2. Aleación aluminio y carbonato de sodio

En este proceso de aleación se colocará el carbonato de sodio (bicarbonato) al proceso de fusión en el cual el horno se encontrará a una temperatura mayor a 850 °C alrededor de 15 minutos. Seguidamente se colocará el aluminio reciclado hasta que se encuentre totalmente líquido para obtener un material homogéneo y proceder a colocar en los moldes para la inyección de gas.

Cuadro 2.3: Aleación de carbonato de sodio y aluminio

	Elemento		Aleación		Gas Inerte	Presión de Gas inerte
	Aluminio (%)	Carbonato de sodio (gr)	Aluminio (%)	Carbonato de sodio (gr)	(Argón - Aire)	-
Dosificación #1	50	200	50	200	Argón	700
Dosificación #2	75	300	25	100	Argón	700
Dosificación #3	60	240	40	160	Argón	700
Dosificación #4	90	360	10	40	Argón	700

Fuente y Elaboración: Autores

Figura 2.11: Procesos de aleación de aluminio y carbonato de sodio



Fuente y Elaboración: Autores

2.2.3. Aleación de aluminio y sulfato de aluminio

Para el desarrollo de esta aleación se colocará primero el sulfato para el proceso de fundición a una temperatura de más de 750 °C, después de 15 minutos. Aproximadamente se colocará el aluminio para generar la aleación completa, se dejará alrededor de 15 minutos más para conseguir un material líquido-viscoso homogéneo y finalmente proceder a sacarlo en el molde y a la inyección de gas.

Cuadro 2.4: Aleación de sulfato de aluminio y aluminio

	Elemento		Aleación		Gas Inerte	Presión de Gas inerte
	Aluminio (%)	Aluminio (gr)	Sulfato de aluminio (%)	Sulfato de aluminio (gr)	(Argón - Aire)	-
	(%)	(gr)	(%)	(gr)	-	PSI
Dosificación #1	50	200	50	200	Argón	700
Dosificación #2	75	300	25	100	Argón	700
Dosificación #3	60	240	40	160	Argón	700
Dosificación #4	90	360	10	40	Argón	700

Fuente y Elaboración: Autores

Figura 2.12: Procesos de aleación de aluminio y sulfato de aluminio



Fuente y Elaboración: Autores

2.2.4. Aleación de aluminio y cloruro de magnesio

Para el desarrollo de esta aleación se fundirá primero el cloruro de magnesio a una temperatura mayor a 720 °C durante 15 minutos aproximadamente, posteriormente se coloca el aluminio y se deja llegar a su punto de fusión en alrededor de 15 minutos hasta conseguir la temperatura y estado de la materia deseado. Finalmente, se sacará del crisol y se colocará en el molde para la extracción e inyección de gas, para dejar enfriar y desmoldar.

Cuadro 2.5: Aleación de cloruro de magnesio y aluminio

	Elemento		Aleación		Gas Inerte	Presión de Gas inerte
	Aluminio (%)	Aluminio (gr)	Cloruro de magnesio (%)	Cloruro de magnesio (gr)	(Argón - Aire)	-
	(%)	(gr)	(%)	(gr)	-	PSI
Dosificación #1	50	200	50	200	Argón	600
Dosificación #2	75	300	25	100	Argón	600
Dosificación #3	60	240	40	160	Aire	-
Dosificación #4	90	360	10	40	Aire	-

Fuente y Elaboración: Autores

Figura 2.13: Procesos de aleación de aluminio y cloruro de magnesio



Fuente y Elaboración: Autores

2.2.5. Aleación de aluminio y magnesio

Dentro del proceso de esta aleación al igual que en las anteriores se inicia con la colocando el magnesio, que se encuentra previamente triturado ya que se adquiere en forma de bloque compactado, la fundición se realiza a una temperatura mayor a 660 °C durante 15 minutos aproximadamente para después agregar el aluminio y fundirlo conjuntamente hasta conseguir la aleación deseada. Finalmente se saca el crisol con la aleación para colocarlo en el molde y realizar la respectiva inyección de gas.

Cuadro 2.6: Aleación de magnesio y aluminio

	Elemento		Aleación		Gas Inerte	Presión de Gas inerte
	Aluminio (%)	Aluminio (gr)	Magnesio (%)	Magnesio (gr)	(Argón - Aire)	-
Dosificación #1	50	200	50	200	Argón	700
Dosificación #2	75	300	25	100	Argón	700
Dosificación #3	60	240	40	160	Argón	700
Dosificación #4	90	360	10	40	Argón	700

Fuente y Elaboración: Autores

Figura 2.14: Procesos de aleación de aluminio y magnesio



Fuente y Elaboración: Autores

2.2.6. Aleación de aluminio y feldespato

En este último proceso de aleación se coloca el feldespato triturado y tamizado en el tamiz #14 y se procede a colocar en el crisol a una temperatura de más de 1100 °C alrededor de 20 minutos para conseguir el punto de ebullición del mismo, posteriormente se colocará el aluminio para ser fundido y se espera alrededor de 15 minutos más para conseguir una mezcla homogénea entre los dos elementos. Finalmente, se coloca en el molde y se inyecta el gas inerte.

Cuadro 2.7: Aleación de feldespato y aluminio

	Elemento		Aleación		Gas Inerte	Presión de Gas inerte
	Aluminio		Feldespato		(Argón - Aire)	-
	(%)	(gr)	(%)	(gr)	-	PSI
Dosificación #1	50	200	50	200	Argón	650
Dosificación #2	75	300	25	100	Argón	650
Dosificación #3	60	240	40	160	Argón	650
Dosificación #4	90	360	10	40	Aire	-

Fuente y Elaboración: Autores

Figura 2.15: Procesos de aleación de aluminio y feldespato



Fuente y Elaboración: Autores

Al finalizar cada uno de estos procesos experimentales mediante el uso de varias aleaciones, se puede identificar ciertos parámetros a tomar en cuenta, como la dosificación, tipo de gas, altura del molde, y finalmente la inyección de gas inerte. Durante este proceso práctico se puede concluir que esta primera fase experimental permitió entender las características y comportamiento del material ante los diferentes procesos y aleaciones ejecutadas, en los cuales se pudo determinar la aleación y dosificación más cercana para la obtención del resultado esperada.

En la aleación realizada con cloruro de sodio y aluminio como se puede observar en el Cuadro 2.2 se determina que la mejor dosificación es la número 3 ya que al momento de la homogenización se presenta una mejor viscosidad que logra mantener la porosidad generada en el lingote por la inyección de argón, seguida de la dosificación número 1, con la cual se puede decir que se genera un grado menor de viscosidad a la dosificación antes mencionada pero se presentan porosidades, lo cual no sucede en los demás ensayos.

La segunda aleación realizada es la de carbonato de sodio y aluminio, de este proceso la combinación que presento mejores resultados es la número 2 como se lo puede encontrar en el Cuadro 2.3, lo que se destaca en esta aleación es que al momento de la fundición conjunta de los dos elementos se genera un espumado que permite generar porosidad ya que inmediatamente al ver esta reacción se procede a poner en el molde, inyectar aire y enfriarlo, obteniendo así una estructura un tanto porosa. En las dosificaciones restantes se observó un pequeño espumado, el cual no se pudo mantener al momento de solidificarse. manteniendo la porosidad de su geometría.

La tercera aleación realizada con sulfato de aluminio y aluminio, se identifica que la mejor dosificación es la número 2, como se lo puede observar en el Cuadro 2.4 ya que aquí se generó una mayor viscosidad que permite mantener la porosidad y por ende se puede realizar la inyección de aire y que estas porosidades permanezcan con la geometría hasta que se enfié, teniendo así un elemento un poco más espumoso con porosidades. En cuanto a las dosificaciones restantes también se notaron cambios, especialmente en la dosificación 4 que fue la segunda dosificación más eficiente, pero no superaron los resultados de la dosificación número 2.

La cuarta, combinación realizada entre cloruro de magnesio y aluminio no generó grandes cambios en cuanto a la aleación, se encontró una buena viscosidad, pero al momento de la inyección y enfriamiento del elemento no se logró mantener las formas o porosidades deseadas. Como se puede observar en el Cuadro 2.5 se denota que el mejor resultado es la número 4 sin obtener una adecuada homogenización en la aleación.

La quinta aleación realizada con magnesio, se logra observar que ocurre algo muy similar a lo realizado con el cloruro de magnesio ya que se genera una viscosidad en la aleación, pero no se puede mantener la consistencia de la porosidad descartando las aleaciones generadas a través del cloruro de magnesio y magnesio. Como se

observa en el **Cuadro 2.6** la mejor dosificación en cuanto a viscosidad es la número 4 y con respecto a las demás combinaciones no se nota algún cambio significativo que permitan su análisis.

En la última aleación realizada con feldespato y aluminio como se presenta en el **Cuadro 2.7** se destaca los mejores resultados, obtenidos con las dosificaciones número 1 y 3, que permiten tener una mejor aleación entre elementos, debido a las partículas cerámicas, pero no generan las porosidades deseadas al momento de la inyección y solidificación del elemento ya que al momento de este proceso la inyección es muy corta y el lingote se solidifica muy rápido.

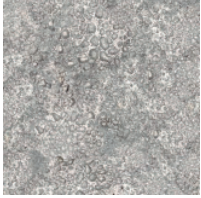
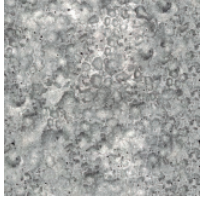




Finalmente, en este análisis de elementos y dosificaciones experimentales se destaca que los mejores resultados se generan a través de la mezcla de tres elementos como lo son; el cloruro de sodio, carbonato de sodio y sulfato de aluminio, debido a que cada uno de estos elementos en sus diferentes dosificaciones han generado un cierto grado de viscosidad, lo que permite que al momento de inyectar el gas a presión estos puedan mantener su forma por un poco más de tiempo, permitiendo así generar las texturas o porosidades deseadas.

Los mejores resultados generados de los ensayos con los dos tipos de gases empleados, es realizado con el argón a una presión de 650 PSI, marcando así un antecedente de aleaciones y combinaciones con un resultado positivo conjuntamente con las dosificaciones planteadas y analizadas con anterioridad.

A partir del análisis de todas las aleaciones y parámetros antes mencionados se puede tener un enfoque más específico del comportamiento y características de cada uno de los elementos fusionados, al igual que su reacción ante la presencia de un gas inerte en diversas formas y presiones. Es por ello que se realiza un esquema resumen como se muestra en el **Cuadro 2.8**, en donde se destacan los materiales que mejor comportamiento presentan, siendo estos; cloruro de sodio, sulfato de aluminio como generadores de viscosidad y carbonato de sodio como agente espumante, que permitieron un mayor desempeño en cuanto a mantenimiento de su geometría y porosidad antes de su proceso de solidificación.

En base a los resultados obtenidos en la fase de experimentación, es necesario realizar una segunda etapa de pruebas con los elementos y aleaciones con las que mejor resultado se obtuvo como se muestra en el **Cuadro 2.8**, siendo este el caso del cloruro de sodio, sulfato de aluminio y carbonato de sodio ya antes mencionados. En esta segunda fase se realiza una mezcla de 2 dosificaciones; la primera entre dos elementos más el aluminio, es decir entre un material que genera viscosidad y un espumante, la segunda entre dos materiales que generan viscosidad y el aluminio, con la finalidad de determinar su comportamiento. Adicionalmente se realiza un proceso más, que está compuesto primero por la extracción del aire encapsulado y posteriormente la inyección del argón.

Cuadro 2.8: Mejores resultados de aleaciones de aluminio

	Elemento (%)	Aleación (%)	Gas Inerte (PSI)	Muestra
Prueba 1 Dosificación #3	Aluminio	Cloruro de sodio	Argón	
	60	40	600	
Prueba 2 Dosificación #2	Aluminio	Carbonato de sodio	Argón	
	75	25	700	
Prueba 3 Dosificación #2	Aluminio	Sulfato de aluminio	Argón	
	75	25	700	
Prueba 4 Dosificación #4	Aluminio	Cloruro de magnesio	Aire	
	90	10	-	
Prueba 5 Dosificación #4	Aluminio	Magnesio	Argón	
	90	10	700	
Prueba 6 Dosificación #1	Aluminio	Feldespato	Argón	
	50	50	650	

Fuente y Elaboración: Autores

2.2.7. Aleación de aluminio, cloruro de sodio y carbonato de sodio

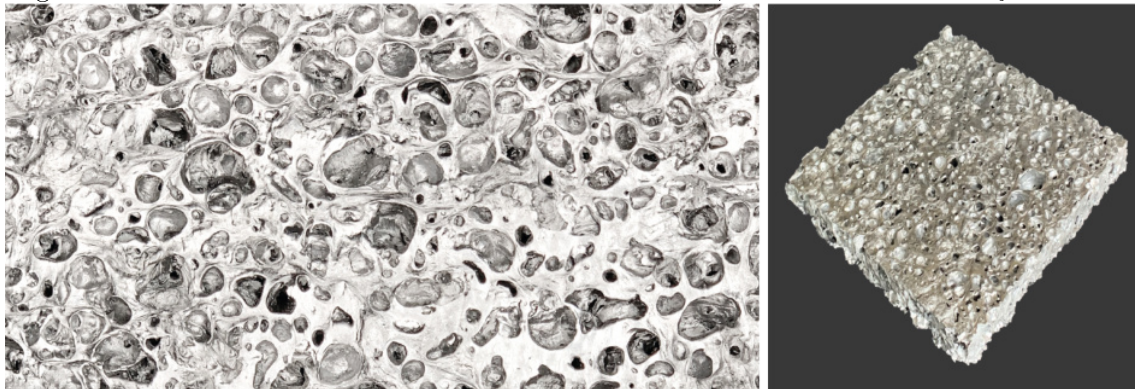
En esta segunda fase de experimentación se coloca primero el cloruro y el carbonato para que se fundan durante aproximadamente 20 minutos a una temperatura mayor a 850 °C, después se agrega el aluminio y se espera alrededor de 15 minutos más para conseguir una aleación homogénea entre los diversos elementos. Finalmente, a partir de la obtención de esta mezcla se coloca en el molde previamente caliente para la extracción de aire encapsulado y la inyección del argón, generando así un acercamiento a la textura y porosidad deseada.

Cuadro 2.9: Aleación de cloruro de sodio, carbonato de sodio y aluminio

	Elemento		Aleación		Aleación		Gas Inerte	Presión de Gas inerte
	Aluminio		Cloruro de sodio		Carbonato de sodio			
	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	-	PSI
Dosificación #1	60	240	20	80	20	80	Argón	650
Dosificación #2	75	300	15	60	10	40	Argón	650
Dosificación #3	50	200	20	80	30	120	Argón	650
Dosificación #4	65	260	25	100	10	40	Argón	650

Fuente y Elaboración: Autores

Figura 2.16: Procesos de aleación de cloruro de sodio, carbonato de sodio y aluminio



Fuente y Elaboración: Autores

2.2.8. Aleación de aluminio, cloruro de sodio y sulfato de aluminio

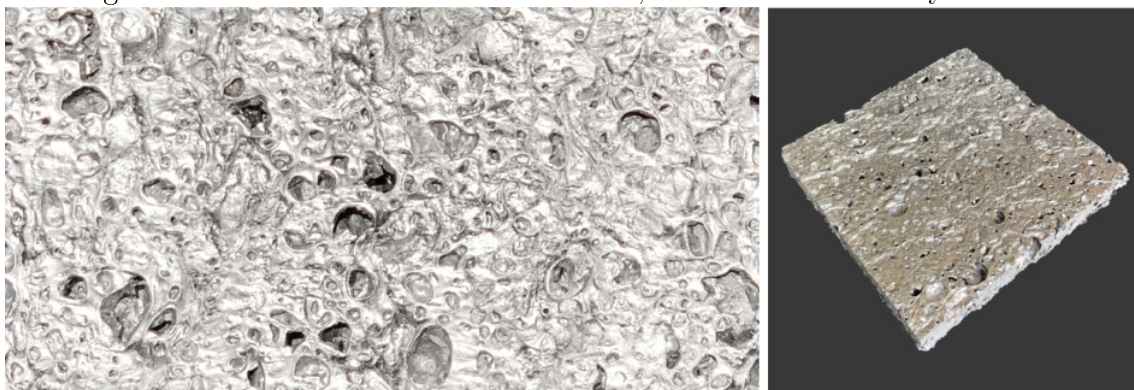
En esta segunda aleación al igual que en la anterior se coloca primero el cloruro de sodio y sulfato de aluminio a una temperatura mayor a 800 °C, alrededor de 20 minutos, después se coloca el aluminio hasta obtener una colada homogénea y se vierte en el molde, para la posterior extracción de aire e inyección de gas argón.

Cuadro 2.10: Aleación de cloruro de sodio, sulfato de aluminio y aluminio

	Elemento		Aleación		Aleación		Gas Inerte	Presión de Gas inerte
	Aluminio	Cloruro de sodio	Sulfato de aluminio					
	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	-	PSI
Dosificación #1	50	200	30	120	20	80	Argón	650
Dosificación #2	60	240	30	120	10	40	Argón	650
Dosificación #3	65	260	25	100	10	40	Argón	650
Dosificación #4	70	280	15	60	15	60	Argón	650

Fuente y Elaboración: Autores

Figura 2.17: Procesos de cloruro de sodio, sulfato de aluminio y aluminio



Fuente y Elaboración: Autores

A partir de los resultados obtenidos en esta última fase de experimentación, se determinan los dos procesos con los mejores comportamientos y reacciones ante las

diferentes aleaciones, la primera conformada por 60 % aluminio + 20 % cloruro de sodio + 20 % carbonato de sodio, como se muestra en la dosificación número 1 de el Cuadro 2.9, la cual presenta un estado de espumado mayor al de cualquier otra prueba antes realizada debido al uso del carbonato, que es el elemento encargado de generar esta reacción, sin embargo, no puede mantener totalmente la geometría de su forma al solidificarse. El segundo proceso de experimentación se encuentra conformado por 65 % aluminio + 25 % cloruro de sodio + 10 % sulfato de aluminio, como se muestra en la dosificación número 3 de el Cuadro 2.10, siendo estos dos elementos que permiten tener una viscosidad superior a la de otras combinaciones, manteniendo por más tiempo la geometría del estado de la materia antes de su solidificación, pese a este factor favorable se puede evidenciar que no existe un cambio en cuanto a la porosidad y textura del panel, es por ello que para finalizar este proceso de experimentación se toma en cuenta estos factores, con la finalidad de obtener la mejor aleación y dosificación para la elaboración del prototipo final, sabiendo que la mezcla necesariamente deberá tener el aluminio + 2 generadores de viscosidad + 1 agente espumante.

2.3. Elaboración de prototipo

2.3.1. Preparación de materia prima

Después de la obtención del aluminio reciclado, se realiza una clasificación del material más limpio o libre de impurezas, es decir las que se encuentran sin ningún color o tinte, posteriormente se comienza con la laminación del material (por medio de golpes) y se procede a cortar en pedazos pequeños de aproximadamente 3 cm o 4 cm en una cizalla manual de banco con la finalidad de obtener un material totalmente maleable y que dé con facilidad en el molde de crisol.

Figura 2.18: Preparación de aluminio y elementos



Fuente y Elaboración: Autores

En cuanto al cloruro de sodio, sulfato de aluminio y carbonato de sodio, se realiza el respectivo gramaje y se los separa para su posterior uso, ya que cada uno de estos elementos no necesitan pasar por ningún tamiz ni clasificación.

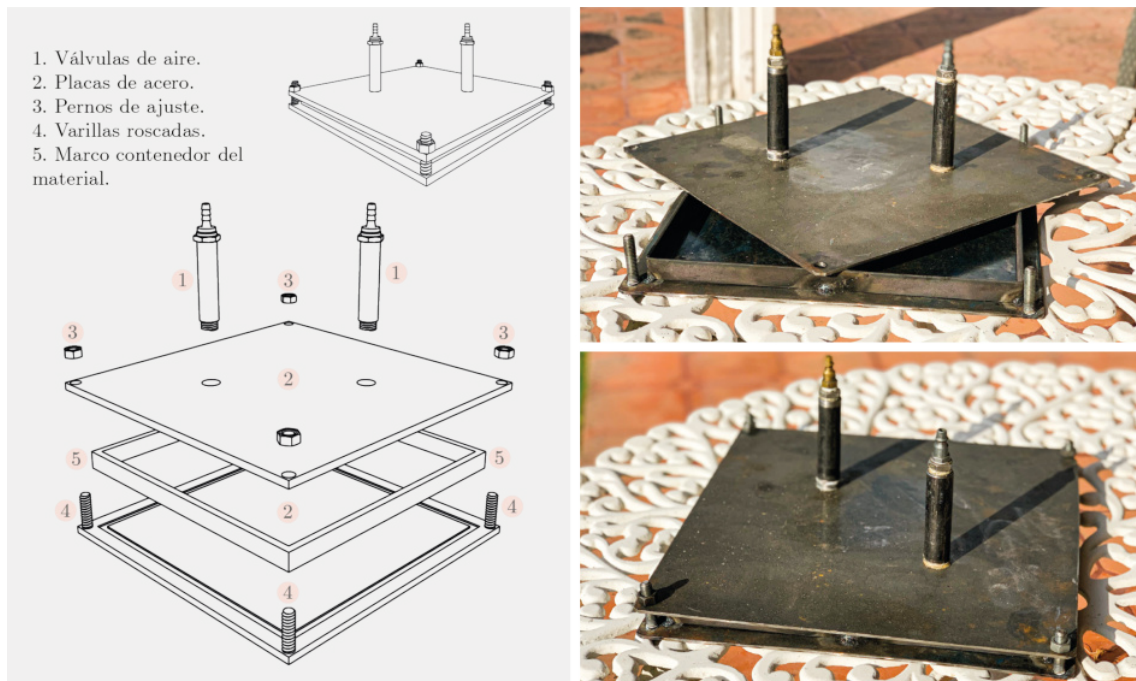
2.3.2. Elaboración de molde

Se fabrica un molde de sección útil de 30 cm x 30cm con una altura de 2cm, compuesto por una caja metálica y dos placas ranuradas de 34cm x 34cm que van en la parte superior e inferior respectivamente, dichas placas cumplen la función de hermetizar la caja. Estas dos tapas están diseñadas para encajar por medio de cuatro varillas roscadas de sección de 7 mm. Las ranuras realizadas en la parte de las placas, sirven para que la caja encaje perfectamente y quede sellado completamente durante el proceso de elaboración del panel Ver Figura 2.19.

La tapa superior de dicho molde tiene la adaptación de dos conductos en la parte central, permitiendo conectar al sistema de válvulas, las cuales sirven para transferir y regular las presiones. La presión negativa, ayudará a sellar bien las tapas de la caja del molde. En cambio, la presión positiva a la que es sometida ayuda a poder inyectar el gas de una manera adecuada, logrando infiltrar por todos los espacios intersticiales que existen entre la mezcla de los elementos.

La mayoría de componentes del molde están fabricados con acero, puesto que este material es comercialmente accesible en el medio ecuatoriano. La utilización del acero es la mejor opción porque es un metal que tiene gran resistencia a las altas temperaturas, su punto de fusión se encuentra en los 1454 °C que es superior al punto de fusión del aluminio, suficiente para soportar la temperatura del proceso.

Figura 2.19: Axonometría y dimensiones de molde



Fuente y Elaboración: Autores

2.3.3. Preparación y uso de equipos

2.3.3.1. Horno crisol eléctrico

Para la fundición de los diferentes materiales se utiliza un horno de fusión con calentamiento eléctrico, en este caso se realizó con el modelo CEIA F4 / D, el cual presenta las características de regulación, pausado y precisado del calentamiento. Se utilizó este tipo de horno debido a que el material a fundir no se contamina con las emisiones del calentamiento por combustible, como sucede en un horno tradicional por combustión.

Su funcionamiento consiste en la generación de un arco eléctrico que permite la generación de calor controlado para así poder cumplir el proceso de fusión del material depositado en el crisol.

También para el depósito de los materiales en el horno es necesario el uso de un crisol, el cual es un recipiente de grafito recubierto por otro de cerámica que resistente altas temperaturas, en este caso se ha utilizado el modelo F4 CEIA 18K Ceramic Shell & Graphite 2 Lb.

2.3.3.2. Horno de mufla eléctrico

El horno de mufla eléctrico es una cámara cerrada de materiales refractarios que cuentan con resistencias calefactoras ocultas o visibles que permiten la absorción y acumulación de calor, pudiendo así alcanzar hasta temperaturas de 1200 °C de forma regulada y progresiva a través de sus mecanismos de control.

En este proceso se ha utilizado el modelo tipo caja TEFIC 1200 C.

2.3.3.3. Soplete de gas propano

Es una herramienta que consiste en aplicar calor directos. Su función es generar una llama por medio de una antorcha de aire a presión atmosférica generando el efecto Venturi es decir crea un diferencial de presión que hace que el aire entre en la corriente del gas a través de agujeros de entrada de un tamaño preciso ([Wikipedia, 2019](#)).

Finalmente, al mezclar el combustible con el aire se genera una llama imperfecta que con ayuda del oxígeno y la presión puede generar temperaturas elevadas y mantener el calor constante en el material o elemento expuesto.

2.3.3.4. Tanque de gas argón

El argón es un gas comprimido que no reacciona con ningún otro elemento, generado a través de la purificación del aire y luego enfriado por compresión y

descompresión hasta alcanzar una temperatura de 193°C a la cual se licua, obteniendo así un gas de alta pureza (INDURA, s.f.). El tanque de gas argón presurizado contiene una válvula reguladora de presión que permite medir ya sea en VAR o PSI. En la elaboración del panel se utilizó un tanque de gas argón de 10 m³ con una presión inicial de 2000 PSI.

2.3.3.5. Pirómetro

Es un elemento que permite la toma de temperatura a objetos y superficies sin necesidad de acercarse a los mismos.

En este caso se lo utiliza con la finalidad de obtener la temperatura real a la que se encuentra el crisol y los elementos ya que es necesario aclarar que la termocupla (medidor de temperatura digital) del horno mufla. Este mide la temperatura dentro del molde. Se aplica un método iterativo, es decir se programa paulatinamente varios valores de temperatura en el horno crisol hasta conseguir la temperatura deseada, expresada en la toma de datos del equipo. El pirómetro utilizado dentro de la elaboración del panel es el ETEKCITY LASERGRIP 800.

2.3.3.6. Sistema de válvulas

El sistema está conformado por tres válvulas o llaves de paso, que permitirán la extracción o inyección alternada de aire o gas hacia el molde cuadrangular, en el que se encuentra la aleación de aluminio.

La válvula 1 conecta o desconecta la bomba de vacío con el molde, la válvula 2 conecta o desconecta el tanque de gas argón con el molde, y la válvula 3 conecta o desconecta el molde del resto del sistema.

2.3.3.7. Bomba de vacío

La bomba de vacío se utiliza en este proceso de elaboración del panel ya que es un equipo mecánico que permite la extracción de gases del interior de recipientes o moldes, permitiendo así extraer todo el aire excedente para consecuentemente realizar el proceso de inyección de gas.

El modelo de la bomba de vacío utilizada en este proceso es ROBINAIR VACU MASTER 15300.

Figura 2.20: Fotografías de equipos



Fuente: (Amazon,2020)

Elaboración: Autores

2.3.4. Preparación de la mezcla y elaboración del panel

Para la preparación de la mezcla se establece una dosificación ideal, tomando en cuenta las consideraciones mencionadas en las dos fases experimentales; como tener elementos que generen viscosidad y efervescencia, para ello se estipula la dosificación ideal, teniendo como base la relación en porcentajes tanto del material viscoso como espumante, ya que la suma entre los dos no debe sobrepasar el 40 % del total de la aleación, para la obtención de un resultado favorable y que el panel siga conservando las características esenciales del aluminio.

Debido a todos los parámetros tomados en cuenta se genera la relación 6-2-2 comprendida entre 60 % aluminio, 10 % cloruro de sodio, 10 % sulfato de aluminio (generadores de viscosidad), y el 20 % carbonato de sodio (agente espumante), teniendo así un total equilibrio en cuanto a estos dos parámetros, ya que al fundirse se generará espuma gracias al agente espumante y al solidificarse logra mantener las mismas gracias al agente viscoso de los dos elementos.

Finalmente, se ha identificado que la extracción de aire antes de la inyección de gas inerte a resultado favorable para la obtención de la geometría del panel. Por lo tanto, la dosificación ideal a realizar en el prototipo a escala de 30x30cm, se encuentra expresado de el siguiente cuadro:

Cuadro 2.11: Dosificación final

Dosificación	Elemento		Aleación		Aleación		Aleación		Gas Inerte	Presión de Gas
	Aluminio		Cloruro de sodio		Sulfato de aluminio		Carbonato de sodio			-
	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	-	(PSI)
	60	500	10	50	10	50	20	100	Argón	750

Fuente y Elaboración: Autores

Una vez obtenida la dosificación ideal para la elaboración del panel se realiza la fabricación del PAR, el cual se realiza a partir de la recolección, corte y clasificación de la materia prima previamente explicada, obteniendo así retazos de aluminio de dimensiones no mayores a 4 cm para su uso. En cuanto a los otros 3 elementos a utilizar no requieren ningún proceso previo antes de su uso.

Figura 2.21: Colocación y fundición de materia prima



Colocación de materia prima en crisol

Pesaje de materia prima

Colocación de molde en horno de mufla

Fuente y Elaboración: Autores

Primeramente, se comienza con la clasificación y pesaje de cada uno de los elementos, aluminio 500 gr, carbonato de sodio 100 gr, cloruro de sodio 50 gr, y

sulfato de aluminio 50 gr, pudiendo así alcanzar la dosificación adecuada en cuanto a porcentajes.

A partir de ello se procede al encendido del horno de fundición, inicialmente a una temperatura de 880 °C, (calibrándola constantemente hasta llegar al punto de fusión que requiera cada elemento) y el horno de mufla a una temperatura de 900 °C, ya que en el primero se realizara la fundición de los diferentes materiales y el horno de mufla se utiliza para que el molde cuadrangular de 34 x 34 cm permanezca a una temperatura óptima hasta culminar todo el proceso de aleación y verter la colada homogénea en el mismo Ver Figura 2.21.

Figura 2.22: Procesos de aleación de elementos



Fuente y Elaboración: Autores

Después de tener el horno de crisol a una temperatura de 880 °C establecida inicialmente, se calibra y modifica hasta llegar a una temperatura interna de 850 °C a través del pirómetro, esto se debe a que la temperatura a la que se calibra el horno no será la misma que se transmite al interior del crisol. Se agrega inicialmente el carbonato de sodio y se espera alrededor de 10 minutos para que fusione totalmente y poco a poco se va agregando el sulfato de aluminio, modificando y controlando la temperatura interna a 770 °C alrededor de 15 minutos, posteriormente se agrega el cloruro de sodio cuidadosamente ya que los demás elementos se encuentran en estado líquido y caliente, provocando una reacción detonante al momento de colocar el cloruro en el crisol, es por ello que al poner este material, inmediatamente se lo sella hasta que se fusione totalmente y se pueda controlar la temperatura a 800 °C,

tardando alrededor de 20 minutos hasta llegar a su punto de fusión.

Al finalizar con la aleación de los 3 elementos se procede a mover la colada con una barra de grafito hasta que se homogeneice totalmente y se coloca paulatinamente el aluminio dentro del crisol hasta que todo se encuentre fundido (se va introduciendo el aluminio realizando pequeñas pausas, pese a que son pedazos pequeños dejan vacíos dentro del crisol y no permite que se pueda colocar todo dentro del mismo, es por ello que se espera lapsos de tiempo hasta que se caliente y se vaya fundiendo todo el material), en realizar todo este proceso se demora alrededor de 20 minutos, después de terminar la fundición del aluminio se comienza a mover la colada y se elimina la escoria o impurezas del aluminio, las mismas que se adhieren a la barra de grafito, teniendo como resultado una colada homogénea entre todos los elementos Ver Figura 2.22.

Figura 2.23: Procesos de colocación de la colada



Fuente y Elaboración: Autores

Una vez obtenida la aleación entre todos los elementos inmediatamente se procede a sacar el molde cuadrangular del horno de mufla y encamisarlo de cal (es decir se lo cubre interiormente de cal para que poder desmoldar fácilmente), y se lo acomoda entre cuatro ladrillos de dimensiones de 27x12x7 cm, ubicados de dos en dos lateralmente a una separación de 25 cm entre ellos, lo que permitirá asentar el molde y dejar un espacio debajo del mismo para poder seguir con el proceso de conservación de temperatura por medio del soplete de gas propano.

Mientras se sigue con este proceso se destapa la caja cuadrangular hermética y se vierte rápidamente la colada homogénea y se la sella inmediatamente, mientras se realiza este proceso se sigue calentando por debajo el molde, por medio del gas propano con la finalidad de evitar la rápida solidificación de la aleación (Ver figura 2.23). A su vez paralelamente se realiza el proceso de conexión de las mangueras a las válvulas para comenzar con la extracción e inyección de aire (Ver figura 2.24).

Figura 2.24: Procesos de extracción e inyección de gas



Fuente y Elaboración: Autores

La extracción se genera por medio de la conexión de una manguera a la válvula del molde cuadrangular, la que a través de la bomba al vacío comienza a extraer el aire encapsulado dentro del molde hermético durante 10 – 15 segundos aproximadamente, llegando a alcanzar una presión de -9.5 PSI, inmediatamente se cierra este sistema de válvula y se comienza con la inyección de gas argón a una presión de 750 PSI alrededor de 2 - 3 minutos, que es el tiempo que se demora en solidificarse totalmente la aleación de aluminio.

Figura 2.25: Desmoldado y lavado del panel



Fuente y Elaboración: Autores

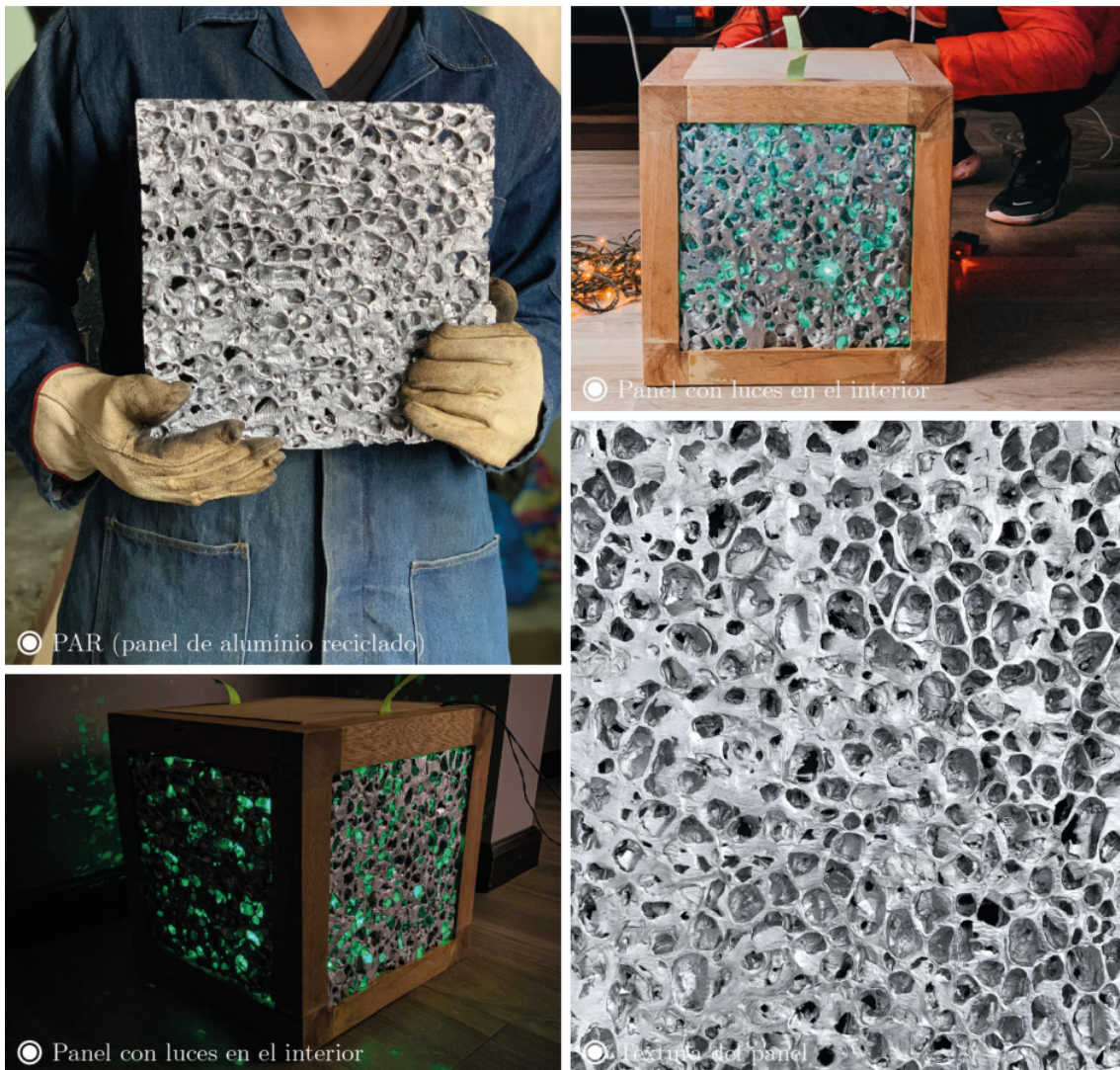
Al finalizar el proceso de elaboración del panel de aluminio reciclado, se espera aproximadamente unos 30 minutos a que se enfríe el molde, se desconecta todo el sistema de válvulas y se procede a desatornillar la tapa superior del molde para así poder sumergirlo en agua y desmoldar fácilmente el panel.

Figura 2.26: Procesos de obtención final



Fuente y Elaboración: Autores

Figura 2.27: Prototipo final



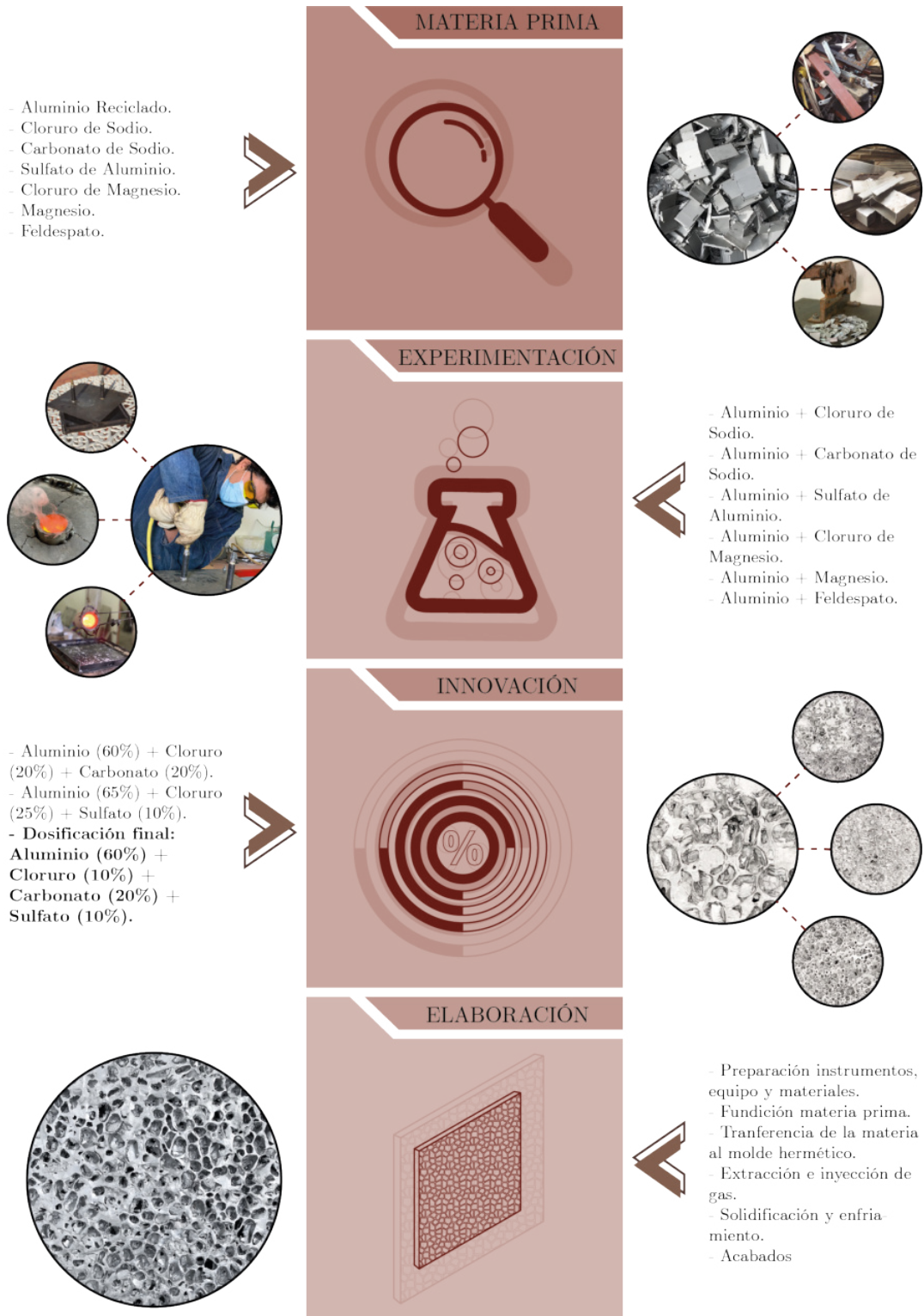
Fuente y Elaboración: Autores

Al desmoldar el panel se encuentran residuos en forma de costra producto del cloruro de sodio, lo cual envuelve la parte superior del panel. Posteriormente se coloca el panel en agua y se procede a hervir, hasta que se disuelva totalmente el NaCl, y se va cambiando constantemente el agua aproximadamente cada 10 minutos hasta conseguir que el panel se encuentre totalmente libre del cloruro. Este proceso dura alrededor de 30 - 40 minutos.

Finalmente, el panel pasa por dos procesos; el prensado que se genera debido a las leves irregularidades del panel por lo que se somete a una pequeña carga de presión de 60 bar en una prensa hidráulica BP como se muestra en la [Figura 2.26](#), y el corte que se lo hace para obtener un panel totalmente regular en sus lados por medio de una amoladora con disco de diamante.

Los residuos que se generan en el corte se reutilizan en la elaboración de los siguientes revestimientos, contribuyendo así al reciclaje, por medio de la recolección, reutilización y reducción de residuos. Teniendo como resultado el PAR (panel de aluminio reciclado), como se muestra en la [Figura 2.27](#).

Figura 2.28: Esquema resumen capítulo 2



Fuente y Elaboración: Autores

CAPÍTULO

Resultados de los ensayos

3

Resultados de los ensayos

Los ensayos físico-mecánicos se realizaron en el Laboratorio de estudios de suelos de la Universidad Católica de Cuenca con la colaboración del Ing. Marco González y el Sr. Atanacio. Estos métodos de ensayo se han realizado bajo el cumplimiento y aplicación de la norma [ASTM E9](#) para la compresión, y finalmente la norma [ASTM D790 - 03](#) para flexión.

3.1. Ensayo a la compresión

Para el ensayo a la compresión del panel de aluminio prefabricado se ha determinado el uso de la norma ([ASTM E9](#)) “Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature.”

Este método de ensayo consiste en someter el modelo a una creciente carga axial de compresión tanto de la carga y la tensión se pueden controlar ya sea de forma continua o en incrementos finitos, y las propiedades mecánicas en compresión determinada ([Amacha, 2012](#)).

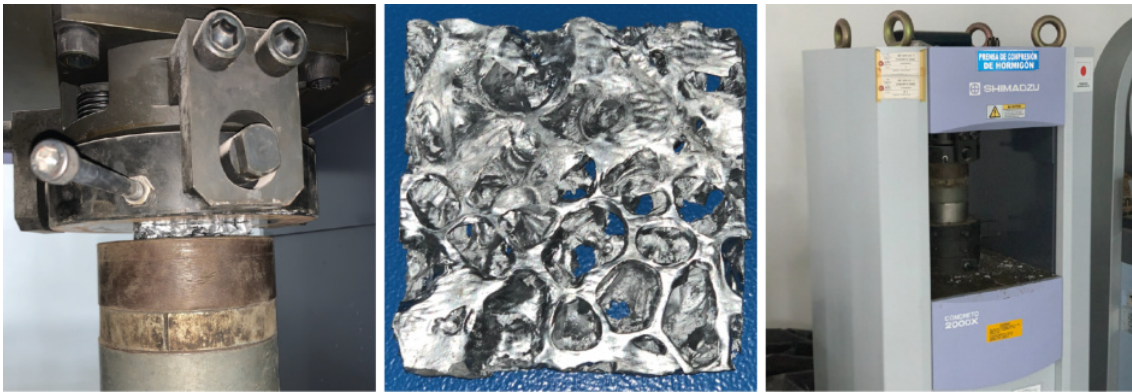
De acuerdo a la normativa empleada se ha estipulado el ensayo a la prueba de compresión de 3 probetas con dimensiones de 5cm x 5cm x 5cm, en el caso específico de los paneles de aluminio se ha determinado la realización de 6 probetas de láminas de aluminio con dimensiones de 9cm x 9cm y 1.2 cm de espesor, debido a su porosidad e irregularidades en las secciones.

Los datos obtenidos a partir de una prueba de compresión pueden incluir la resistencia a la fluencia, el límite de elasticidad, la curva de esfuerzo y deformación, y la resistencia a la compresión. En el caso de que un material no falle en la compresión por una fractura o rotura, su resistencia a la compresión será medido de acuerdo a un valor que depende de la deformación total y de la geometría de la muestra.

Para los ensayos de compresión se utiliza una prensa de compresión modelo digital SHIMADZU CONCRETO 2000X con capacidad de hasta 210 TN [Figura](#)

3.1, platos de rótula de segmento esférico, advirtiéndose que los apoyos sean igual o mayores a las muestras de experimentación. Además, cuantifica y proporciona la carga máxima (kN) aplicada antes de la fractura del elemento, luego los datos son promediados; en esta experimentación es necesario conocer el área de contacto (en este caso se debe transformar la superficie cuadrangular en circular) ya que en la toma de datos digitales la máquina solo permite expresar la superficie de contacto en este modo.

Figura 3.1: Probetas y equipo en la prueba de compresión



Fuente y Elaboración: Autores

La fórmula aplicada para esta transformación es la siguiente:

$$\Phi = A = \frac{(\pi r^2)}{4}$$

En donde:

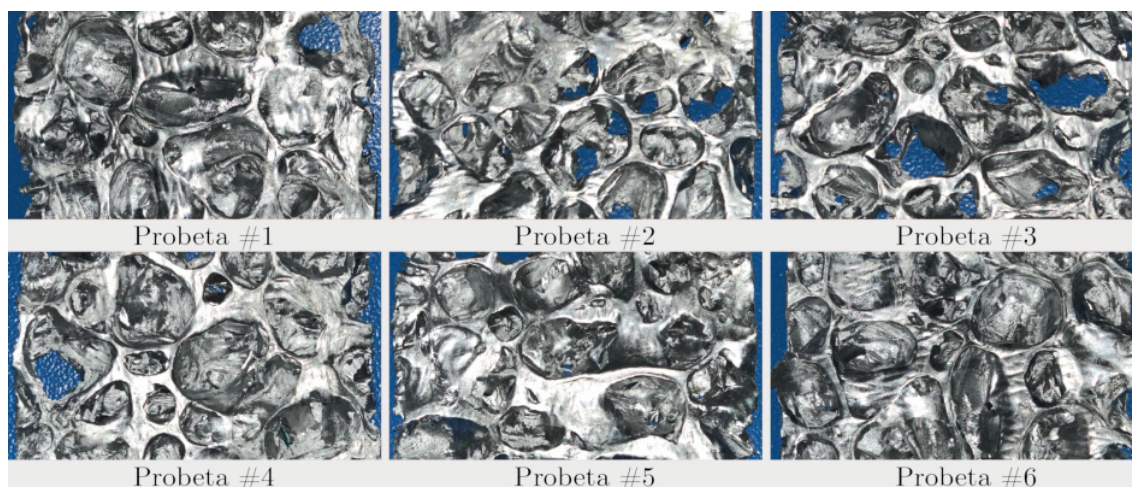
Φ = área circular

π = constante

r = área cuadrangular

Una vez transformada la sección de la probeta (cm^2), siendo esta 10.16, se inserta el dato en la computadora para el cálculo de fuerza ejercida en la probeta obteniendo los datos en (Kg. f), como se muestra en el Cuadro 3.1, y la Figura 3.3 en donde se identifica que la probeta número 4 es la que presenta la mayor resistencia a la carga aplicada con una carga de 53251,43 Kg. f, y a su vez se identifica la probeta de menor resistencia a la carga, siendo esta la probeta #3, con una resistencia a la carga de 7046,40 Kg. f.

Figura 3.2: Probetas sometidas a compresión



Fuente y Elaboración: Autores

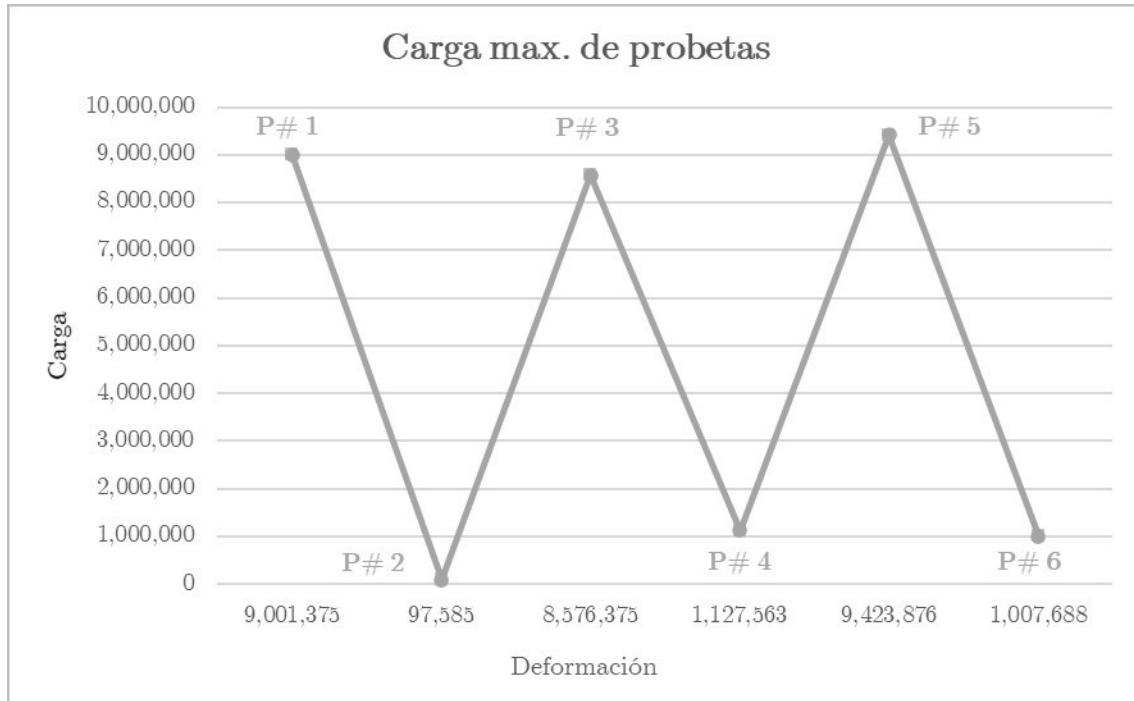
Al finalizar y determinar las cargas máximas admisibles en cada una de las probetas, se escoge la que mejor comportamiento mantiene para poder determinar el punto máximo de carga admisible en el panel como se lo muestra a continuación en cada una de las probetas. [Ver anexo 3.9.1.](#)

Cuadro 3.1: Esfuerzo deformación máxima de paneles de aluminio

	Tiempo (Seg)	Fuerza máx. (Kg. f)	Desplazamiento (mm)
Probeta #1	19	13838,38	9,001,375
Probeta #2	25	13751,05	97,585
Probeta #3	21	7046,40	8,576,375
Probeta #4	30	53251,43	1,127,563
Probeta #5	25	16278,88	9,423,876
Probeta #6	29	22219,42	1,007,688

Fuente y Elaboración: Autores

Figura 3.3: Fuerza máxima admitida en las probetas



Fuente y Elaboración: Autores

A partir del esfuerzo máximo en cada una de las probetas es necesario aplicar la fórmula para saber la resistencia a la compresión (kN) de las muestras. La fórmula aplicada es la siguiente:

$$P = \frac{F}{A}$$

En donde:

P = resistencia a la compresión

F = fuerza máxima

A = área cuadrangular

A través de esta fórmula se realiza las operaciones con cada una de las 6 probetas y se determina un promedio entre si dando como resultado la resistencia a la compresión de cada ensayo en donde se identifica que la probeta #3 es la que presenta la menor resistencia a la compresión dando un resultado de 86.99 kN y a su vez el de mayor resistencia a la compresión con un valor de 657.43 kN , produciéndose estos cambios entre cada uno de los ensayos debido a que la superficie de los paneles no en todos los casos es la misma, debido a sus porosidades como se muestra en el Cuadro 3.2, y la Figura 3.4

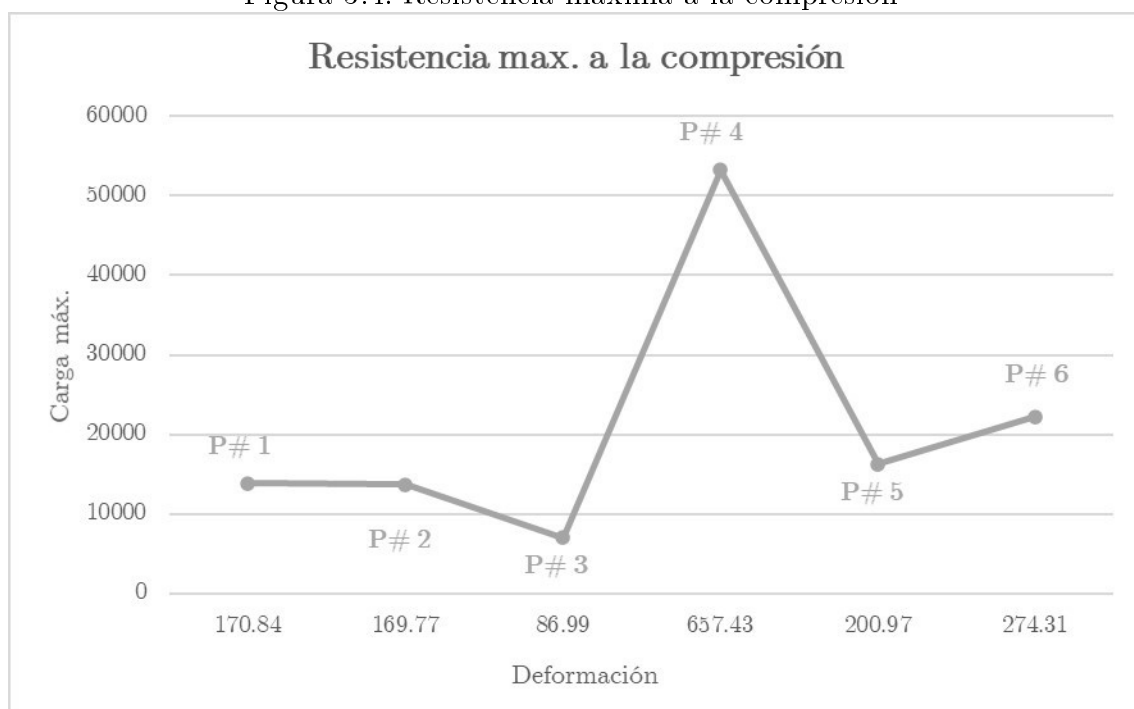
Al finalizar cada uno de estos ensayos y análisis se procede a sacar un promedio entre todas las resistencias y se determina que la resistencia a la compresión de los paneles es 260.052 kN. [Ver anexo 3.9.1.](#)

Cuadro 3.2: Resistencia máxima a la compresión

	Fuerza máx. (Kg. f)	Área probeta (cm ²)	Resistencia a la compresión (kN)
Probeta #1	13838.38	81	170.84
Probeta #2	13751.05	81	169.77
Probeta #3	7046.30	81	86.99
Probeta #4	53251.43	81	657.43
Probeta #5	16278.88	81	200.97
Probeta #6	22219.42	81	274.31

Fuente y Elaboración: Autores

Figura 3.4: Resistencia máxima a la compresión



Fuente y Elaboración: Autores

Para finalizar con la prueba a la compresión se realiza un cuadro comparativo con materiales de similares características o funciones como se muestra en la [Cuadro 3.3](#) en la cual se determina que el PAR está dentro de los índices de referencia con los demás materiales, teniendo un valor muy superior al panel de fibras naturales de tamo de arroz.

Cuadro 3.3: Resistencia máxima a la compresión

	Nombre	Uso	Resistencia a la compresión (kN)
Material #1	Panel de fibras naturales (trigo y café)	Mampostería interior y decorativa	214.16
Material #2	Panel de Hormigón translúcido	Mampostería y Revestimiento interior y exterior	350
Material #3	Mármol	Revestimiento exterior e interior	860.9
Material #4	Panel de fibras naturales (tamo de arroz)	Mampostería interior y decorativa	67.7
Material #5	PAR (Panel de aluminio reciclado)	Revestimiento exterior	260.052

Fuente y Elaboración: Autores

3.2. Ensayo a la flexión

Para el ensayo a la flexión del panel de aluminio prefabricado se determinó el uso de la norma [ASTM D790 - 03](#) “Métodos de Prueba Estándar para las Propiedades de Flexión de Materiales Metálicos reforzados y no reforzados.”, a su vez se toma como referencia los ensayos y tamaños de probetas realizados en el documento “Ensayo de resistencia a la flexión.”, realizado por ([Zarza, et al., 2018](#)).

Este método de ensayo consiste en medir la fuerza requerida para doblar un material bajo condiciones de carga de tres puntos. El panel de aluminio se prueba en flexión como una viga simplemente apoyada en dos puntos y con una carga puntual en el punto medio, obteniendo así el punto de tensión máximo.

De acuerdo a lo estipulado por la normativa se delimita un enunciado en la cual se debe cumplir una relación entre largo y ancho de la muestra, en donde se determina la elaboración de 3 probetas, con dimensiones de 10 cm de largo x 1 cm de ancho y 1 cm de espesor, a partir de ello y debido al tamaño de las porosidades del panel se realizan las probetas a una escala mayor de dimensiones de 20 cm de largo x 4 cm de ancho y 1.2 cm de espesor.

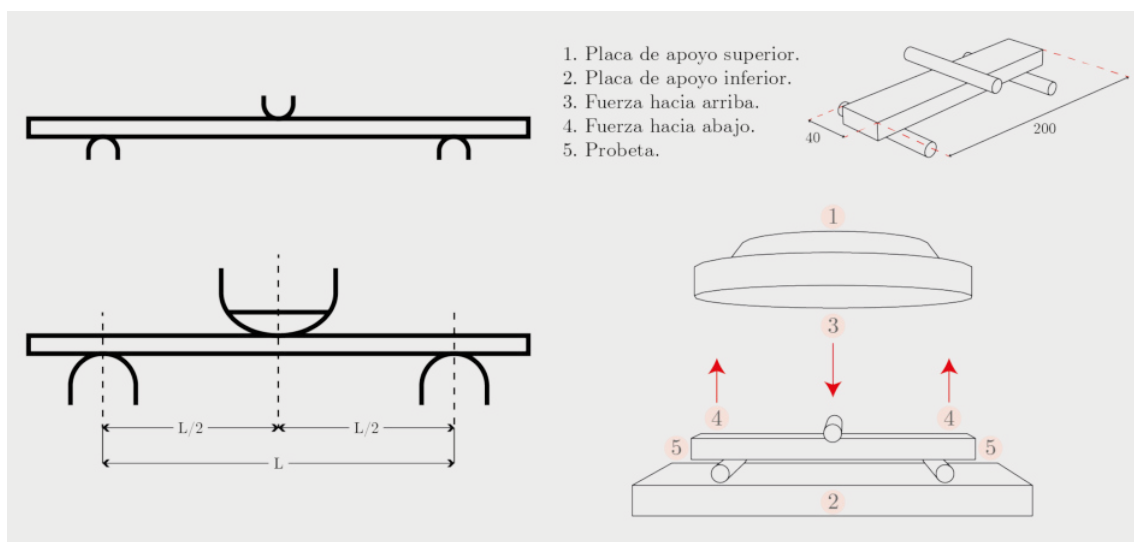
Figura 3.5: Probetas y equipo en la prueba de flexión



Fuente y Elaboración: Autores

Para los ensayos a flexión usamos una prensa modelo CBR con capacidad de hasta 110 TN con una celda o anillo de carga **Figura 3.5**, a su vez también se utiliza un deformímetro para comenzar con el proceso de toma de datos. Para comenzar con el ensayo se realiza el cálculo entre apoyos, es decir la distancia en donde se colocará las barras circulares para ejercer presión, como se estipula en la normativa, la cual establece que se tiene que colocar las barras en los extremos a 2.5 cm a cada lado quedando un largo total (L) el cual se dividirá ($L/2$) para determinar obtener el punto central en donde se colocará el apoyo o carga puntual (P).

Figura 3.6: Aplicación de cargas en el panel para prueba de flexión



Fuente y Elaboración: Autores

A partir de esta división y cálculo de apoyos se determina la longitud para los extremos de 2.5 cm quedando un largo libre (L) de 15 cm, en el cual se aplicará la

fórmula $(L/2)$, es decir tiene que tiene un punto central en 7.5 cm a partir de los 2.5cm de los extremos estipulados en la norma como se muestra en la [Figura 3.6](#).

Después de ello se comienza con la toma de datos y la aplicación de carga puntual hasta que el panel (barra en forma de viga) sufra una ruptura y la curva de esfuerzo deformación comience con el descenso, es decir hasta encontrar el módulo de ruptura, para poder generar estos datos se toma los datos de la deformación cada 10 segundos y enseguida la carga ejercida con la cual se podrá calcular la carga.

La fórmula aplicada es la siguiente:

$$Y (X) = 0,30935355 * X (D) + 0,43186871$$

$$Y (X) = 0,799505415 * X (D) + -295,78717$$

En donde:

X = lectura de carga

D = deformación

Y = carga

El método de obtención de carga se lo puede realizar a través de las fórmulas antes descritas o a su vez a través de tablas estipuladas, obteniendo como resultado global de la carga ejercida, la carga puntual (P) y la fuerza expresada en el [Cuadro 3.4](#), con la cual se podrá calcular el módulo de ruptura.

Cuadro 3.4: Carga máxima a la flexión soportada por las probetas

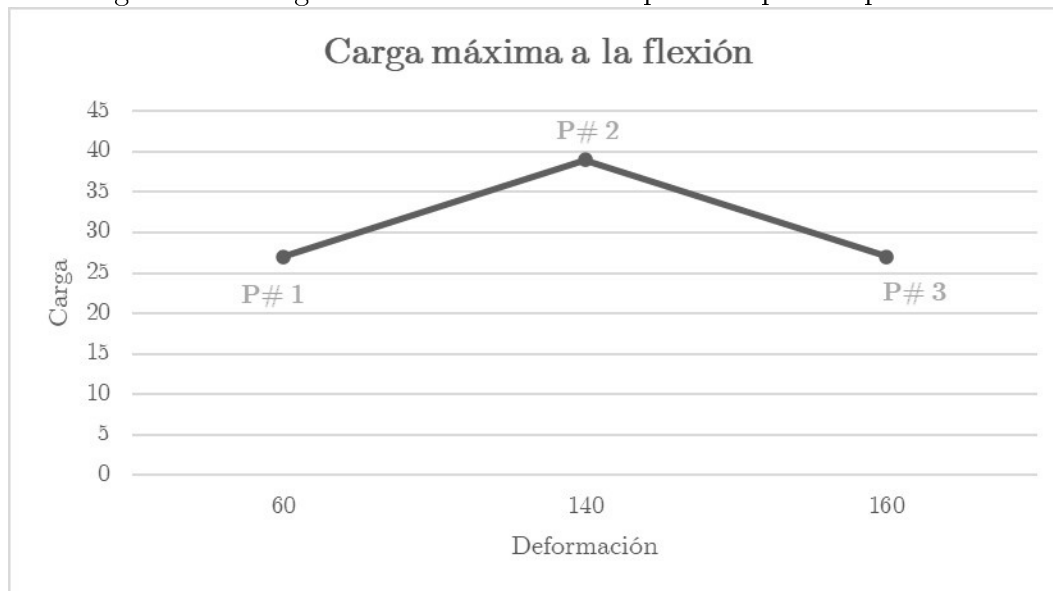
	Deformación	Lectura de Carga (Kg. f)	Carga (kN)
Probeta #1	60	27	9
Probeta #2	140	39	12
Probeta #3	160	27	9

Fuente y Elaboración: Autores

Como se muestra en el [Cuadro 3.4](#), y [Figura 3.7](#), la probeta #1 y #2 presentan una lectura de carga y carga, iguales, siendo estas 9 kN, pero en otro rango de deformación, en tanto la probeta número #2 es la que mejor comportamiento presenta

en cuanto a la aplicación de carga teniendo como resultado una carga máxima de 12 kN con una lectura de carga o punto máximo de 39 Kg. f. [Ver anexo 3.9.1.](#)

Figura 3.7: Carga máxima a la flexión soportada por las probetas



Fuente y Elaboración: Autores

Después de obtener los datos de la carga (P) a través de cualquiera de los dos procesos antes mencionado se determina la flexión máxima en el punto interno de la probeta en donde su resistencia máxima en un tiempo determinado es considerablemente menor a comparación con los ensayos de compresión. A partir de los datos ya obtenidos se determina el cálculo del módulo de ruptura (MPa).

La fórmula aplicada es la siguiente:

$$\delta = \frac{3.P.L}{2.b.d^2}$$

En donde:

δ = tensión en las fibras externas en el punto medio

P = carga máxima

L = espacio de apoyo

b = ancho de la viga probada

d = profundidad de la viga probada

A partir del cálculo de módulo de ruptura se determina que la probeta # 2 es la que presenta el mejor comportamiento, presentando un módulo de ruptura de 46.88 MPa, a su vez la probeta número #1 y## presenta el mismo módulo de ruptura con un valor máximo de 35.16 MPa.

Como se muestra en el Cuadro 3.5, y Gráfico 3.8.

Cuadro 3.5: Cálculo del módulo de ruptura a flexión

	(P)	(L)	(b)	(d)	(δ)
Probeta #1	9	15	4	1.2	35.16
Probeta #2	12	15	4	1.2	46.88
Probeta #3	9	15	4	1.2	35.16

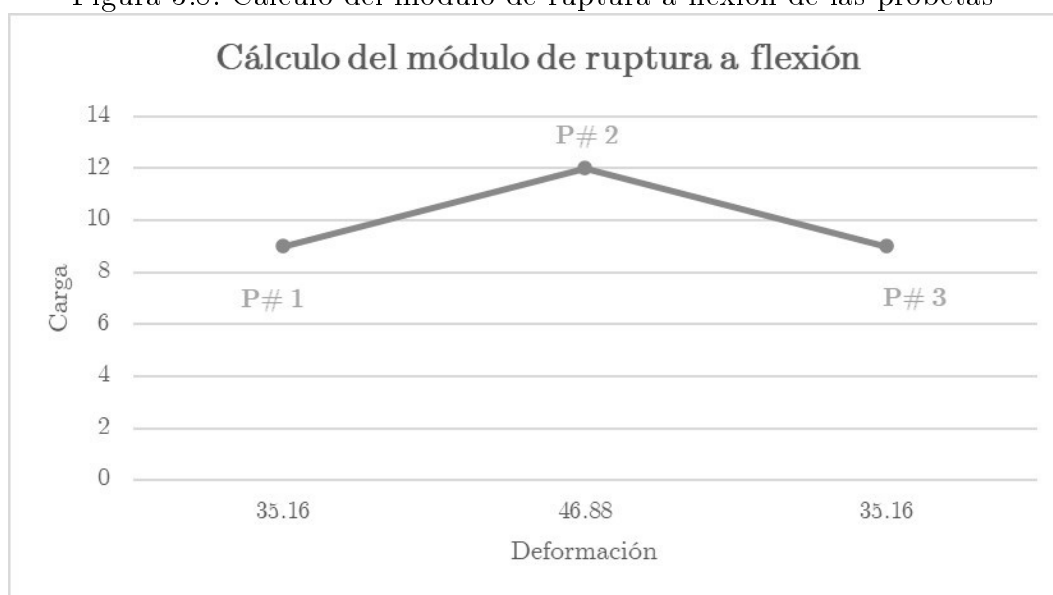
Fuente y Elaboración: Autores

Con este resultado se determina la obtención de un promedio entre los tres mejores resultados de los 3 ensayos realizados Ver anexo 3.9.1.

Teniendo como resultado 39.06 Kg / cm² equivalente al módulo de ruptura, cumpliendo con lo exigido en la norma ANSI 208.1:1999, que requiere un mínimo de 30 Kg / cm² para tableros de densidad baja LD.

Para finalizar con la prueba a la flexión se realiza un cuadro comparativo con materiales de similares características o funciones como se muestra en la Cuadro 3.6 en la cual se determina que el PAR está dentro de los índices de referencia con los demás materiales, teniendo un valor superior al panel de fibras naturales de trigo y café e inferior al del mármol.

Figura 3.8: Cálculo del módulo de ruptura a flexión de las probetas



Fuente y Elaboración: Autores

Cuadro 3.6: Cuadro comparativo de resistencia a la flexión

Nombre	Uso	Resistencia a la flexión (Kg / cm ²)
Material #1	Panel de ferrocemento	Mampostería interior y exterior 34,16
Material #2	Tablero de densidad media (Fibreborad – MDF - laminados)	Revestimiento interior y decorativo 45.22
Material #3	Mármol	Revestimiento exterior e interior 161.00
Material #4	Panel de fibras naturales (trigo y café)	Mampostería interior y decorativa 30.5
Material #5	PAR (Panel de aluminio reciclado)	Revestimiento exterior 39.06

Fuente y Elaboración: Autores

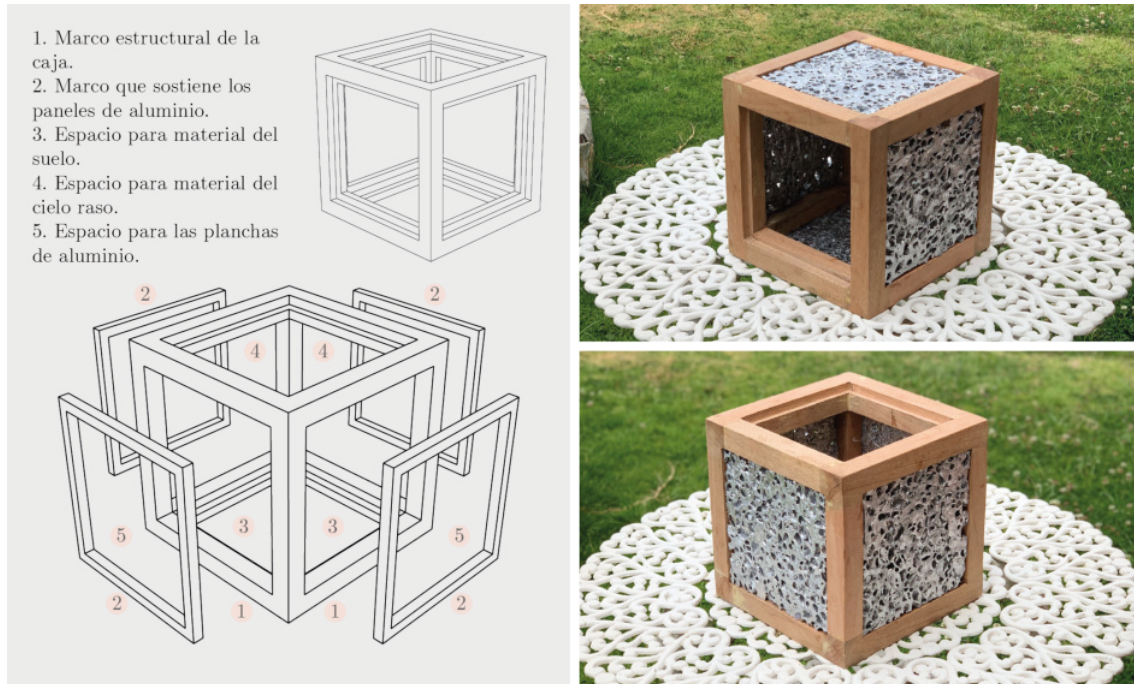
3.3. Prueba de aislamiento termo – acústico

Dentro de este proceso de pruebas se analizará el nivel de aislamiento térmico y aislamiento acústico del panel, diseñado dentro de esta investigación, con la finalidad de determinar el nivel de conductividad térmica y aislamiento acústico que presentan los materiales que conforman el mismo.

La importancia de este tipo de ensayos es el cumplimiento de los estándares de calidad y confort en cuanto a materiales, pudiendo así determinar las ventajas y beneficios de los mismos, puesto que cada vez son mayores las exigencias en materiales que logren mejorar las condiciones de confort térmico y acústico en los proyectos arquitectónicos, estipulados en la [NEC - HS - EE](#). Para las siguientes pruebas se ha utilizado las especificaciones dispuestas y detalladas en la norma [NEC 11](#), utilizando como base las ideas y conceptos que implican estos fenómenos físicos ([Peña, 2016](#)).

Para el montaje y desarrollo experimental de los paneles prefabricados se ha tomado en cuenta como referencia las pruebas higrotérmicas y acústicas “*Resultados de la prueba de evaluación de materiales prefabricados – nueva Unidad Educativa La Asunción. 2013*” ([GEA, 2015](#)). A partir de dicho documento se genera otro documento base denominado como “Panel Prefabricado a base de fibras naturales” ([Peña, 2016](#)). En los cuales se menciona que es preciso construir un módulo cúbico con lados de 1m de longitud y 1m de altura, conformado por los paneles ([Peña, 2016](#)). Debido a que el panel de aluminio propuesto tiene dimensiones de 30cm x 30cm, se diseñó un cubo de 38 cm de longitud por 38 cm de altura compuesto por 4 paneles de aluminio en total y 2 de madera en sus caras superior e inferior, el cual fue llamado módulo experimental.

Figura 3.9: Axonometría y composición de caja de ensayos



Fuente y Elaboración: Autores

3.3.1. Descripción del montaje del módulo

Se construyó un módulo cúbico de 38 cm x 38 cm x 38 cm, compuesto por 6 paneles de 30cm x 30cm, 4 de ellos unidos al módulo por medio de silicona con aplicador de pistola y los otros 2 paneles por medio de tornillos autorroscantes, con una estructura de madera chanul compuesta por tiras de espesores de 4cm x 4cm con destajes de 1.5 cm para poder colocar los paneles, unidos a través de machimbrados. Sobre la parte inferior a igual que en la parte superior se asienta un tablero de MDF de 1 cm.

Debido al diseño del panel no se necesita realizar un sellado profundo en uniones o juntas, sino más bien se refuerza colocando una línea continua de silicona transparente con aplicador de pistola, especializada para el pegado de vidrios y ventanas de aluminio, permitiendo así que se cree una junta hermética interior entre el módulo cúbico y los paneles como se muestra en la [Figura 3.10](#).

Finalmente, para poder colocar y manipular los instrumentos dentro de la caja para las pruebas, se dejó el panel superior móvil, es decir puede ser colocado con los tornillos autorroscantes cuando se lo necesite o simplemente puede ser asentado en los destajes de madera de 1.5 cm dispuestos en módulo. Para que sea fácil la extracción del panel se generó unas viñetas que permitan halar uno de los extremos y alzar fácilmente el panel cuando se lo necesite, de esta forma se trató en lo posible

de hermetizar y sellar lo más que se pueda para garantizar que la experimentación resulte favorable.

Figura 3.10: Procesos de elaboración de módulo experimental



Fuente y Elaboración: Autores

3.3.2. Instrumentos para la obtención de datos

■ Anemómetro:

(HOLDPEAK 846A) Es un instrumento digital para CFM con pantalla LCD para la medición de velocidad del viento, velocidad del aire, flujo de aire, medición de temperatura, anemómetro de mano con sensores de velocidad del viento, registrador de datos, con un nivel de precisión de $\pm 3\%$.

■ Pirómetro:

(Etekcitcity Lasergríp 800) Es un termómetro infrarrojo digital que permite determinar la temperatura de una superficie plana de cualquier objeto, sin necesidad de contacto, con un nivel de precisión $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

■ Sonómetro:

(Tacklife MLM02) Es un instrumento digital que permite medir el nivel o intensidad acústica en un espacio. El instrumento tiene un rango total de medición de 30 dB hasta 130dB con simulación de sonido, retención de datos máxima/mínima, modo rápido/lento, medidor de ruido de auto calibración y los datos se guardan en la memoria interna y son compatibles con otros softwares, nivel de exactitud de ± 1.5 db.

- **Equipo de JBL CLIP 3:**
Parlante de 330 W de potencia.
- **Calefactor con termostato**

Figura 3.11: Instrumentos utilizados para pruebas



Fuente y Elaboración: Autores

3.4. Prueba de aislamiento térmico

Para el desarrollo de prueba de aislamiento térmico se ha tomado en consideración los conceptos expresados en la norma (NTE INEN 2506), la cual define el aislamiento térmico como “material utilizado para disminuir el flujo de calor, caracterizado por su bajo coeficiente de conductividad térmica”. El objetivo principal de este ensayo es determinar la capacidad que tiene el panel para transferir calor, es decir determinar la conductividad térmica del panel de aluminio.

La conductividad térmica de un material es un factor importante para lograr un buen nivel de confort de temperatura. Según la Norma (UNE - EN ISO 7730) el

confort térmico "Es esa condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico".

Para realizar el ensayo de aislamiento térmico, primero se debe estudiar una serie de parámetros y conceptos básicos, que nos ayudarán a entender el fenómeno físico que ocurre en el módulo experimental desarrollado. De esta forma, también establecer la manera de cómo utilizar los equipos de medición antes descritos para esta prueba.

Según la norma ([NTE INEN 2506](#)), "El aislamiento térmico en la envolvente del edificio limitará adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el confort térmico", es decir si un material que compone la edificación tiene una alta permeabilidad de calor en un clima cálido, la edificación carecerá de confort térmico al igual que si se encuentra un envolvente permeable en lugares fríos, este también perderá su energía calorífica y ende totalmente su confort ([Peña, 2016](#)).

Es por ello que el confort térmico se encuentra íntimamente ligado a los factores ambientales y a las características que tenga el material envolvente determinado por dos factores: clima y usos del edificio y características de aislamiento e inercia de materiales usados en la construcción de cubiertas, paredes y ventanas del edificio.

Para el desarrollo de las pruebas de aislamiento térmico se realiza el procedimiento dividido en 2 partes:

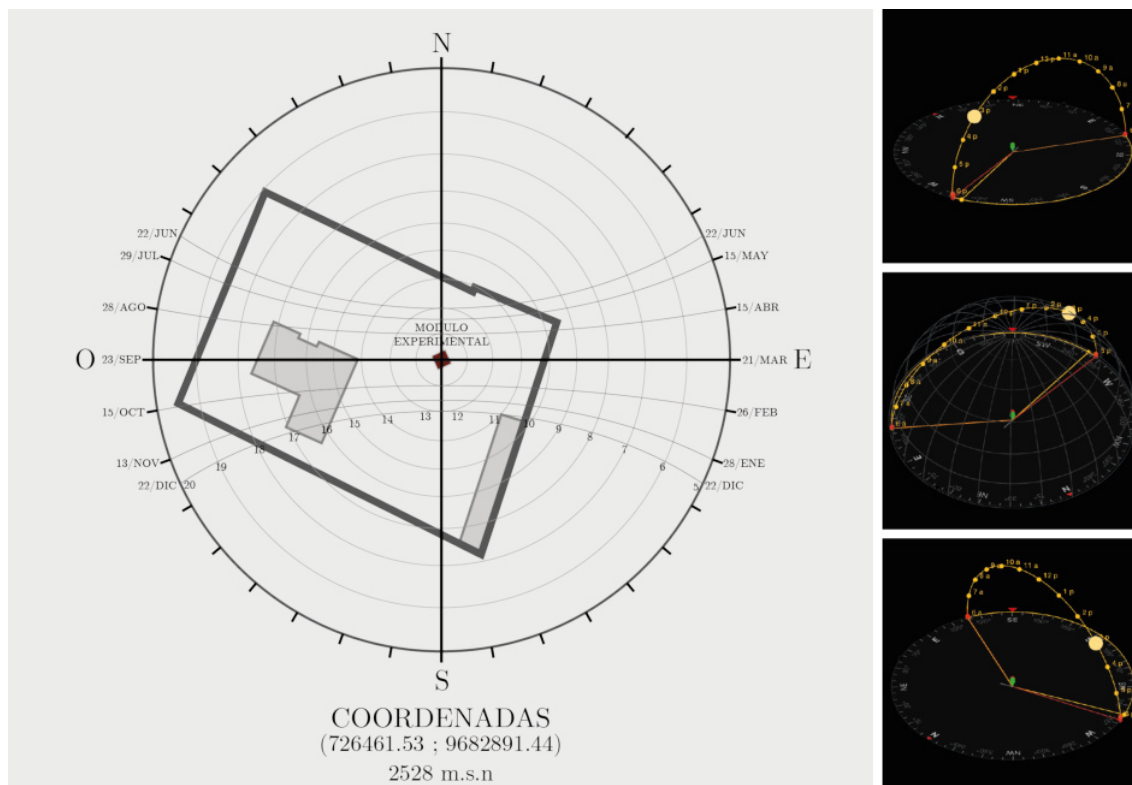
1. **Prueba Exterior:** Determinación de conductividad térmica del material del panel propuesto.
2. **Prueba Interior:** Evaluación del comportamiento térmico del panel a través del módulo experimental.

3.4.1. Localización y emplazamiento del módulo de ensayo

Para el desarrollo de las pruebas se tiene que tomar en cuenta elementos y factores climáticos que puedan alterar o cambiar las condiciones atmosféricas, limitadas a un espacio, tiempo y posición. En donde los factores y elementos a considerar son; temperatura, humedad, presión, velocidad de vientos, precipitaciones entre otros.

Una vez tomada en cuenta todos estos factores y a través de las predicciones climatológicas de la ciudad de Cuenca se determina el inicio de los ensayos la primera semana de noviembre del presente año en la parroquia Ricaurte, teniendo como resultado algunos de los días más soleados y calurosos del año en un piso climático frío- templado como lo determina la norma ([NTE INEN 2506](#)).

Figura 3.12: Emplazamiento del módulo experimental



Fuente y Elaboración: Autores

3.4.2. Análisis del comportamiento del panel - Prueba Exterior

La prueba número 1 o la exterior se realizó durante dos días consecutivos 02 y 03 de noviembre del 2020, debido a sus favorables condiciones climáticas, en el exterior de una vivienda. Para la obtención de los datos se tomó en cuenta un rango de horas comprendidas entre las 8H00 a.m. hasta las 20H00 p.m. durante 2 días.

Para el desarrollo de la prueba experimental se utiliza el Anemómetro #1 para medir la temperatura interior (TAI) al igual que la velocidad del viento, el Anemómetro #2 para medir la temperatura exterior (TAE) y de la misma forma la velocidad del viento, el uso del pirómetro se lo hace para obtener las temperaturas de las caras internas del panel (TPI), al igual que la temperatura externa de la cara del panel (TPE).

El proceso de toma de datos se realiza de cada uno de los parámetros antes mencionados cada 15 minutos durante 12 horas dividida en 2 días consecutivos, a su vez los datos obtenidos se los compara con la base de datos del anemómetro que cuenta con data logger [Ver anexo 3.9.1.](#)

Figura 3.13: Proceso de toma de datos para cálculo del comportamiento del panel



Fuente y Elaboración: Autores

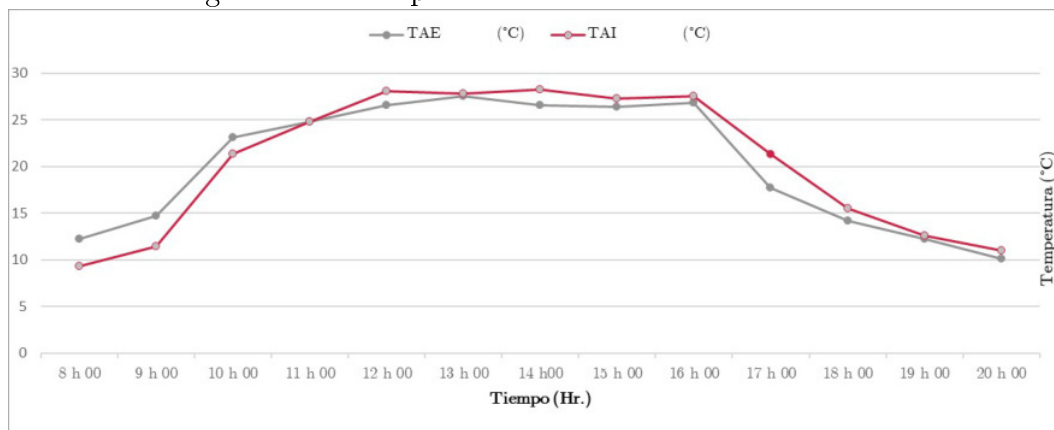
Como se observa en el Cuadro 3.7 se determina el promedio de la temperatura del aire exterior (TAE) es 20.93 °C, la temperatura de aire interior (TAI) es 21.33 °C, la temperatura de panel exterior (TPE) 23.31 °C, la temperatura del panel interior (TPI) 23.07 °C y finalmente la velocidad del viento exterior (VVE) 1.50 m/s.

Cuadro 3.7: Análisis del comportamiento térmico del panel

Fecha	Hora	TAE (°C)	TAI (°C)	TPE (°C)	TPI (°C)	VVE (m/s)
03-nov-20	8 h 00	12.2	9.3	17.2	16.8	1.8
	8 h 15	12.7	9.6	18.4	17.1	1.57
	8 h 30	13.4	10.1	19.2	16.9	2.4
	8 h 45	14.3	10.3	20.8	17.6	0.6
	9 h 00	14.7	11.4	22.6	17.8	0.4
	9 h 15	16.3	13.2	30.7	23.5	0.8
	9 h 30	19.5	16.5	29.5	23.3	0.6
	9 h 45	20.1	19	22.1	17.7	0.4
	10 h 00	23.1	21.3	27.3	20.1	1.83
	10 h 15	23.3	22.9	26.8	25.8	0.9
	10 h 30	23.6	23.7	29.5	21.4	0.3
	10 h 45	23.6	24.1	29.4	23.7	0.68
	11 h 00	24.8	24.8	30.1	24.3	0.24
	11 h 15	24.2	25.5	29.8	26.9	0.8
	11 h 30	25.3	26.5	39.3	33.7	0.87
	11 h 45	25.7	26.8	38.9	33.4	0.95
	12 h 00	26.6	28.1	38.8	36	0.43
	12 h 15	26.4	28.3	35.6	34.4	0.87
	12 h 30	26.1	28.6	32.7	31.6	0.99
	12 h 45	26.7	29.2	33.1	33.1	0.85
02-nov-20	13 h 00	27.5	27.8	27.9	28.3	1.4
	13 h 15	27.7	28.1	28.9	29.3	0.5
	13 h 30	26.9	27.9	27.3	25.4	1.2
	13 h 45	27.1	28.2	27.2	27.1	0.6
	14 h 00	26.6	28.2	27.9	25.7	3.09
	14 h 15	27	28.3	28.6	28.5	1.48
	14 h 30	26.7	27.8	22.9	24	0.74
	14 h 45	25.9	27.6	26.1	25.9	1.73
	15 h 00	26.4	27.3	26.9	27	0.62
	15 h 15	26.2	27.9	24.2	27.9	2.69
	15 h 30	25.2	27.4	22.4	25.2	1.4
	15 h 45	26.9	27.4	24.1	27.2	1.78
	16 h 00	26.8	27.5	24.1	27.4	2.85
	16 h 15	25.4	26.5	22.9	25.7	2.71
	16 h 30	24.3	25.2	19.9	23.8	3.88
	16 h 45	22.8	24.1	18.2	21.5	2.99
	17 h 00	17.7	21.3	16	20	3.63
	17 h 15	16.7	19	16	19.1	1.89
	17 h 30	15.6	16.9	13.9	18.4	3.68
	17 h 45	15	16	13	16.9	2.78
18 h 00	14.2	15.5	13.4	16.6	1.46	
18 h 15	13.5	14.5	12.6	14.7	2.56	
18 h 30	12.6	13.6	11.7	15.1	1.46	
18 h 45	12.5	13	10.1	15	1.25	
19 h 00	12.2	12.6	10.6	14.9	1.06	
19 h 15	11.7	12	10.9	14.7	1.46	
19 h 30	10.6	11.7	9.4	13.6	1.68	
19 h 45	10.5	11.2	10.2	13.3	1.14	
20 h 00	10.1	11	10.3	12.9	0.96	
PROMEDIOS		20.93	21.33	23.31	23.07	1.50

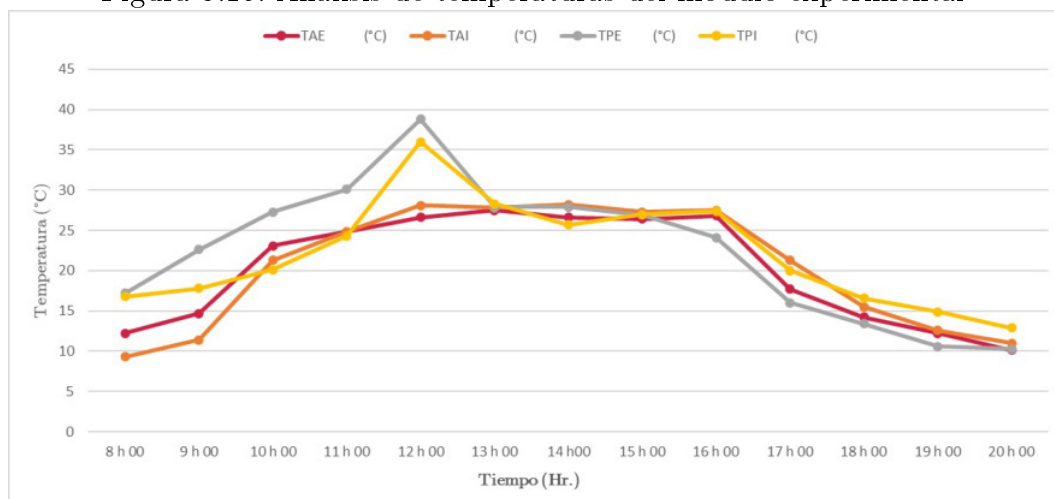
Fuente y Elaboración: Autores

Figura 3.14: Temperatura del aire exterior – interior



Fuente y Elaboración: Autores

Figura 3.15: Análisis de temperaturas del módulo experimental



Fuente y Elaboración: Autores

Al finalizar en la [Figura 3.14](#) y [Figura 3.15](#), se expresan los cambios de temperatura tanto al interior como al exterior del panel teniendo sus puntos o temperaturas más elevadas a partir de las 10h00 a.m. hasta las 17h00 p.m., pudiendo así identificar la temperatura máxima externa de $38.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 12h00 y una temperatura interior del panel de $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ de igual forma a la misma hora.

3.4.3. Cálculo de conductividad térmica - Prueba Interior

La prueba número 2 o la interior se realizó durante 1 día, en un tiempo determinado de 40 minutos, el 03 de noviembre del 2020. Para la obtención de datos se tomó en cuenta intervalos de 5 minutos entre toma de temperaturas para el cálculo del coeficiente de conductividad térmica del material del panel propuesto. [Cuadro 3.9](#).

Para el desarrollo de la prueba experimental se utiliza el Anemómetro #1 para medir la temperatura interior (TAI), el Anemómetro #2 para medir la temperatura exterior (TAE), el uso del Pirómetro para obtener las temperaturas de las caras internas del panel (TPI), al igual que la temperatura externa de la cara del panel (TPE) y finalmente el uso del calefactor para transmitir calor por convección durante la prueba.

Figura 3.16: Proceso de toma de datos para cálculo de la conductividad térmica del panel



Fuente y Elaboración: Autores

Para la obtención y el cálculo de la conductividad térmica es necesario tener un coeficiente de conductividad térmica tan bajo como sea posible debido a que la pérdida de energía calorífica es proporcional a este valor. Para realizar el estudio de este parámetro es necesario hacerlo en el llamado estado estacionario, que es “aquel en el que la temperatura de cada punto del sistema en estudio no varía con el tiempo”, es decir, debe hacerse con valores de temperatura constantes, siendo este

calor, coeficiente de convección (a), potencia calorífica (Q), resistencia térmica (R) y finalmente conductividad térmica (k) (Peña, 2016).

1. Calor: energía calorífica transmitida entre dos objetos, ya sea por conducción, convección o radiación.

2. Coeficiente de convección: coeficiente de transmisión de calor, siendo el encargado de la conducción de la energía calorífica del interior (a_i) y la energía calorífica del exterior (a_e) del revestimiento o viceversa. El valor de (a_e), es una constante conocida y su valor es:

$$a = \frac{(8,1W)}{(m^2K)}$$

3. Potencia calorífica: es el calor transmitido a través de una superficie (S) por unidad de tiempo, siendo este valor referencial de las temperaturas entre cara y revestimiento:

$$Q = a * S * (T_1 - T_2)$$

4. Resistencia térmica: es un factor de proporcionalidad de la resistencia a la transmisión térmica en un revestimiento y se lo determina mediante la siguiente fórmula:

$$R = \left(\frac{(T_1 - T_2)}{Q} \right)$$

5. Conductividad térmica: es la cantidad de energía que pasa por el revestimiento de un determinado espesor (d) en un tiempo determinado a diferente temperatura entre ambas caras, obteniendo como resultado la capacidad de un material de transferir calor conocido como conductividad térmica (W/mK).

La fórmula aplicada para la obtención de este valor es:

$$K = \frac{D}{(R * S)}$$

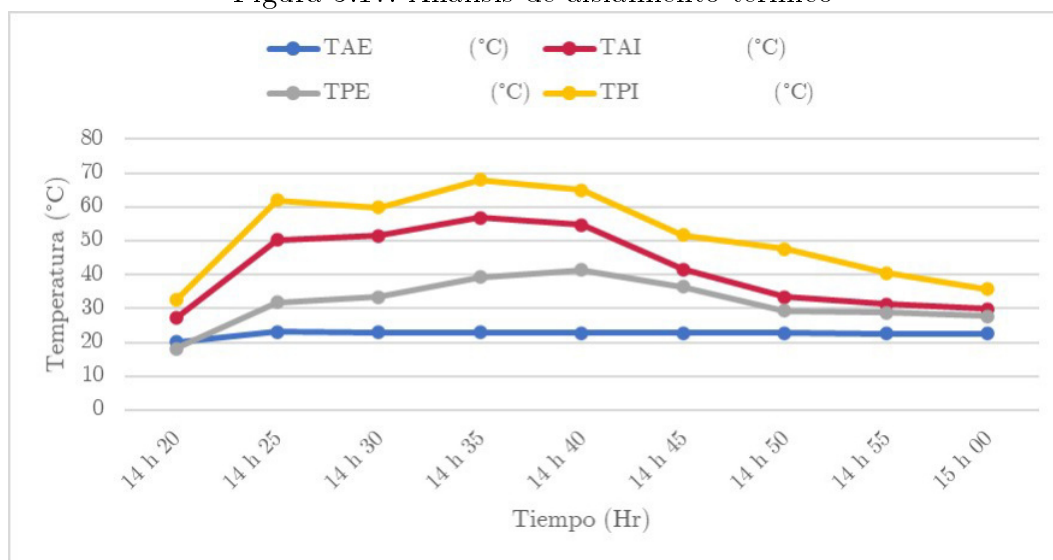
Después de la toma de datos se genera la tabla con el cálculo de conductividad térmica, en la cual se encuentran todos los valores registrados y obtenidos mediante las diferentes fórmulas y se determina que la temperatura externa promedio es de $22.80^\circ C$, la temperatura de aire interior es de $43.68^\circ C$ y las temperaturas externas e internas del panel llegan a $33.55^\circ C$ y $53.80^\circ C$ respectivamente, como se expresa en el Cuadro 3.8 y Figura 3.17

Cuadro 3.8: Análisis del comportamiento térmico del panel

Fecha	Hora	TAE (°C)	TAI (°C)	TPE (°C)	TPI (°C)	Q	R	k
03-nov-20	14 h 20	20.2	27.3	18.2	32.5	4.83	2.96	0.00
	14 h 25	23.1	50.3	31.9	61.9	18.51	1.62	0.01
	14 h 30	22.9	51.5	33.5	59.8	19.46	1.35	0.01
	14 h 35	23	56.8	39.2	68.1	23.00	1.26	0.01
	14 h 40	22.7	54.7	41.4	65	21.77	1.08	0.01
	14 h 45	22.8	41.6	36.4	51.7	12.79	1.20	0.01
	14 h 50	22.7	33.4	29.4	47.7	7.28	2.51	0.00
	14 h 55	22.6	31.3	28.8	40.5	5.92	1.98	0.01
	15 h 00	22.6	29.8	27.8	35.7	4.90	1.61	0.01
PROMEDIO		22.80	43.68	33.55	53.80	14.20	1.43	0.01

Fuente y Elaboración: Autores

Figura 3.17: Análisis de aislamiento térmico



Fuente y Elaboración: Autores

3.4.4. Resultados de aislamiento térmico

En cuanto a los resultados del comportamiento del panel en condiciones de calor o frío, se determina que el material no genera un gran aislamiento térmico en

cuanto al calor debido a la forma y tamaño de sus porosidades.

El panel tiene una conformación metálica que va a permitir que la transmisión de calor o conductividad térmica sea mucho más elevada que otros elementos, permitiendo así que su temperatura se eleve y se transmita de una cara hacia la otra, a su vez siendo capaz de resistir temperaturas mucho más elevadas que otro material convencional. De acuerdo a lo reflejado en los análisis expresados en el [Cuadro 3.7](#) y [Figura 3.14](#), se determina que tanto el panel interior y exterior alcanzan temperaturas elevadas, pero la temperatura interna del módulo experimental desarrolla otro comportamiento, es decir llega a una temperatura máxima de $29.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, a las 12h45 p.m. y una mínima de $9.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, a las 8h00 a.m. y 20h00 p.m.

Al finalizar la prueba exterior se demuestra que el panel diseñado genera un leve aislamiento, pese a que no existen picos de altas o bajas temperaturas sino al contrario mantiene las temperaturas a lo largo de las horas evaluadas. A su vez lo que se denota al finalizar los ensayos y cálculos el diseño del panel permite la entrada de ventilación natural y por ende la generación de una ventilación cruzada para el confort de los espacios, es por ello que de acuerdo al análisis y comportamiento del mismo se determina el uso óptimo del panel como parte de la denominada fachada ventilada como lo determina la norma [UNE - EN ISO 6946](#) “Componentes y elementos para la edificación. Resistencia térmica y transmitancia térmica.” En donde se explica la creación del “efecto chimenea”, que consiste en crear una cámara de aire entre revestimiento y mampostería como se muestra en la [Figura 3.18](#), es decir activar de una forma eficaz la ventilación natural, produciendo un aislamiento seco, para que esto genere un ahorro en el consumo de energía. Considerado como un proceso efectivo que aísla el edificio, elimina los puentes térmicos, así como los problemas de condensación.

En cuanto a los resultados del análisis de aislamiento térmico o prueba interior del panel se identifica que el coeficiente de conductividad térmica máxima es de 0.01 (W/mK) como se muestra en el [Cuadro 3.8](#), siendo este comparable con los coeficientes de conductividad térmica de algunos materiales como el corcho que es de 0.028 W/mK , el adobe 0.024 W/mK , y otros materiales metálicos prefabricados como wall panel que presentan coeficientes de conductividad térmica de 0.023 W/mK , en paneles de espesores menores al propuesto. [Ver anexo 3.4](#). Para finalizar con la prueba térmica se realiza un cuadro comparativo con materiales de similares características o funciones como se muestra en el [Cuadro 3.9](#).

Finalmente se destaca en la norma [UNE - EN 13162](#) una selección de materiales, en donde se separa a los que tienen una conductividad térmica (k), a los que tengan valor superior a 0.060 W/mK o cuya resistencia térmica sea inferior a $0.25\text{ m}^2\text{ K/W}$, es decir el panel se encuentra dentro de los parámetros establecidos para considerarse un material óptimo para el uso de aislamiento térmico en las edificaciones ([Palomo, 2017](#)).

3.5. Prueba de aislamiento acústico

Para el desarrollo de prueba de aislamiento acústico se ha tomado en consideración los conceptos expresados en el documento “Medición de aislamiento acústico entre dos recintos” la misma que está realizada bajo la norma [UNE - EN ISO 74040](#) o la norma [UNE - EN ISO 140 - 4](#) “Medida de Aislamiento Acústico de los Edificios y Elementos Constructivos”, en donde se determina que “El aislamiento acústico consiste en impedir que los sonidos se propaguen de un lado a otro, o por lo menos, que al transmitirse pierdan parte de su intensidad” ([Paya, 1976](#)).

Al realizar el ensayo de aislamiento acústico, se debe tener claro que este proceso físico se da en la etapa de experimento. De esta manera, se establece la manera en que se utilizan los equipos y software de medición para esta prueba. En el transcurso de la prueba es necesario tomar en cuenta algunos factores y parámetros para una obtención y entendimiento de resultados, siendo estos los siguientes: sonido, frecuencia (Hz), nivel acústico (dB), ruido rosa, aislamiento acústico admisible (AAA) y aislamiento acústico bruto (AAB).

a.- Sonido: conjunto de vibraciones que provocan una sensación en el oído, que se dispersan a través del aire y agua.

b.- Frecuencia: es el proceso físico que expresa la cantidad de vibraciones por segundo, siendo 20 Hz y 20000 Hz, las frecuencias admisibles para el ser humano.

c.- Nivel acústico: es una fuente de emisión sonora que determina el ruido que produce, se expresa en decibeles (dB), pueden ser desde 10 dB una conversación baja hasta 130 dB que es el umbral de dolor del ser humano.

d.- Ruido rosa: es un ruido cuya señal está conformada por valores aleatorios, con un nivel acústico constante entre frecuencias, considerado especialmente para hacer mediciones acústicas y para poder ecualizar salas o habitaciones.

e.- Aislamiento acústico admisible: es el nivel acústico medio admisible en un espacio.

f.- Aislamiento acústico bruto: es considerado como el índice de reducción aparente que es la diferencia en decibeles de los dos campos acústicos analizados, la fórmula para el cálculo es la que se presenta a continuación:

$$AAB = L_{P1} - L_{P2}$$

En donde:

L_{P1} = nivel acústico exterior

L_{P2} = nivel acústico interior

La prueba se llevó a cabo en la parroquia Ricaurte dentro un espacio con el mayor nivel de aislamiento acústico, debido a que las ondas sonoras no se deben dispersar para conseguir con mayor efectividad los datos para el cálculo. La prueba se efectuó el día 05 de noviembre del 2020, durante intervalos de tiempo de 30 segundos, alrededor de 7 minutos, los equipos utilizados dentro de esta prueba son sonómetro, equipo y parlante. En el transcurso de la misma se utiliza una fuente estacionaria que altera el campo acústico denominado ruido rosa, monitoreado a través del software de I- MAC, para el manejo y cambios de frecuencia.

Figura 3.19: Proceso de toma de datos para el cálculo de aislamiento acústico



Fuente y Elaboración: Autores

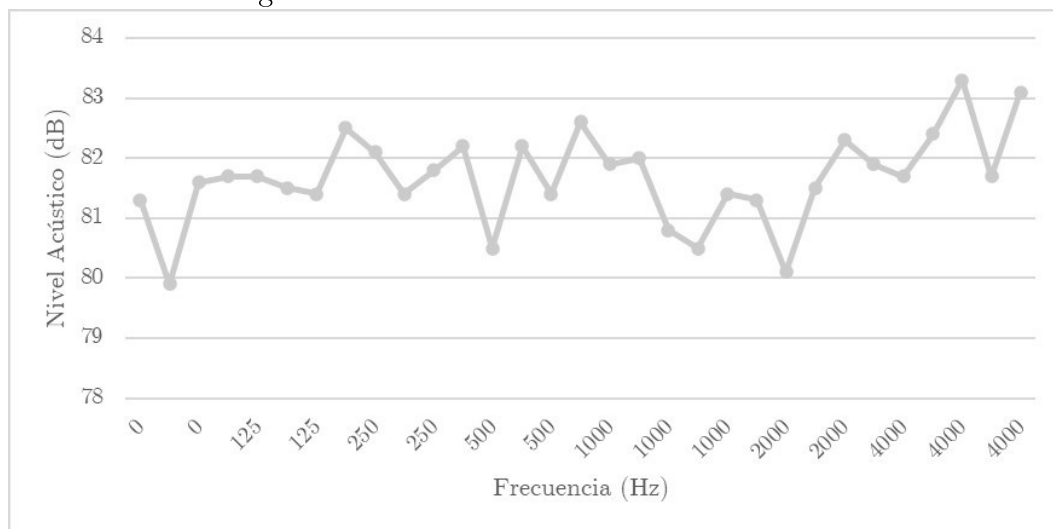
Para la obtención y medición de los parámetros para el cálculo del nivel acústico se utilizó 2 sonómetros, usados para medir los decibeles dentro y fuera del módulo experimental como se muestra en la [Figura 3.19](#), a partir de ello se registraron los distintos parámetros: Frecuencia de la fuente (f_i), siendo la unidad de medida (Hz) a los que se colocara el ruido rosa cumpliendo rangos a partir de 100 Hz hasta 5000 Hz; Nivel Acústico Exterior (NAE), es el ruido emitido en el estudio de grabación antes de la toma de datos, es decir es el ruido inicial; Ruido de Fondo Emisor (RFE), es el ruido que se encuentra dentro del módulo experimental antes de la toma de datos; Nivel Acústico en Recepción (NAR), es el ruido registrado por el sonómetro fuera del módulo experimental; y Aislamiento Acústico Bruto (AAB), que es nivel de aislamiento acústico aparente obtenido a través de la fórmula antes mencionada.

Cuadro 3.10: Análisis del comportamiento de aislamiento acústico bruto del panel

f_i (Hz)	NAE (Db)	RFE (Db)	NAR (Db)	AAB (Db)
0	94.2	32.3	81.3	12.9
0	94.2	32.3	79.9	14.3
0	92.1	32.3	81.6	10.5
125	92.1	32.3	81.7	10.4
125	94.2	32.3	81.7	12.5
125	93.2	32.3	81.5	11.7
125	94.2	32.3	81.4	12.8
250	94.2	32.3	82.5	11.7
250	94.2	32.3	82.1	12.1
250	94.2	32.3	81.4	12.8
250	94.2	32.3	81.8	12.4
500	94.2	32.3	82.2	12
500	94.2	32.3	80.5	13.7
500	94.2	32.3	82.2	12
500	94.2	32.3	81.4	12.8
500	94.2	32.3	82.6	11.6
1000	94.2	32.3	81.9	12.3
1000	94.2	32.3	82	12.2
1000	94.2	32.3	80.8	13.4
1000	94.2	32.3	80.5	13.7
1000	94.2	32.3	81.4	12.8
2000	94.2	32.3	81.3	12.9
2000	94.2	32.3	80.1	14.1
2000	94.2	32.3	81.5	12.7
2000	93.2	32.3	82.3	10.9
2000	94.2	32.3	81.9	12.3
4000	94.2	32.3	81.7	12.5
4000	94.2	32.3	82.4	11.8
4000	94.2	32.3	83.3	10.9
4000	91.6	32.3	81.7	9.9
4000	94.2	32.3	83.1	11.1

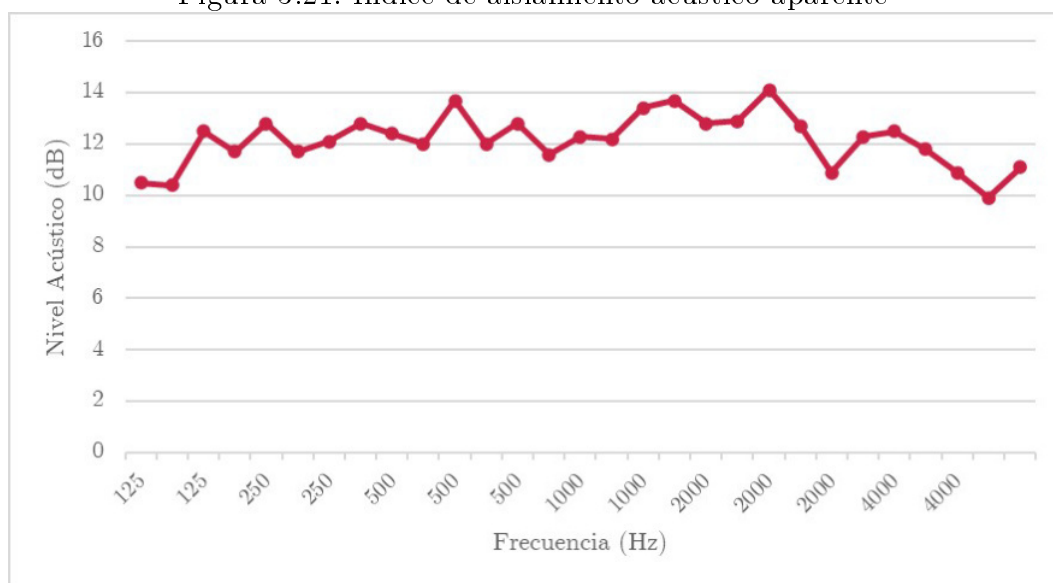
Fuente y Elaboración: Autores

Figura 3.20: Análisis de aislamiento acústico



Fuente y Elaboración: Autores

Figura 3.21: Índice de aislamiento acústico aparente



Fuente y Elaboración: Autores

3.5.1. Resultados de la determinación del índice de aislamiento acústico

Como se muestra en el Cuadro 3.10, se registraron los valores mínimos de aislamiento acústico bruto (AAB) de 9.9 dB en un rango de frecuencia de 4000 Hz y un valor máximo de 14.3 dB con una frecuencia de 0.0 dB. A su vez se identifican los picos más elevados dentro de 200 Hz y 2000 Hz como se expresa en el Figura 3.20.

Analizando la [Figura 3.21](#), en la prueba de aislamiento acústico, se puede observar que hay un leve aislamiento en todas las frecuencias evaluadas, el nivel de aislamiento va disminuyendo conforme aumenta los valores de frecuencia. En general los paneles demuestran tener un nivel medio de aislamiento acústico; en las frecuencias altas hay un nivel bajo de aislación acústica, probablemente se hubiera podido obtener mejores resultados, con un módulo totalmente macizo, ya que debido las porosidades del módulo propuesto no tiene gran capacidad de aislamiento acústico, pero según los ensayos logra obstaculizar de una manera u otra el sonido. De esta forma se establece que el aislamiento acústico bruto o índice de aislamiento acústico aparente promedio es de 12.25 dB.

Cuadro 3.11: Cuadro comparativo de índice de aislamiento acústico

f _i (Hz)	NAE (Db)	RFE (Db)	NAR (Db)	AAB (Db)
0	94.2	32.3	81.3	12.9
0	94.2	32.3	79.9	14.3
0	92.1	32.3	81.6	10.5
125	92.1	32.3	81.7	10.4
125	94.2	32.3	81.7	12.5
125	93.2	32.3	81.5	11.7
125	94.2	32.3	81.4	12.8
250	94.2	32.3	82.5	11.7
250	94.2	32.3	82.1	12.1
250	94.2	32.3	81.4	12.8
250	94.2	32.3	81.8	12.4
500	94.2	32.3	82.2	12
500	94.2	32.3	80.5	13.7
500	94.2	32.3	82.2	12
500	94.2	32.3	81.4	12.8
500	94.2	32.3	82.6	11.6
1000	94.2	32.3	81.9	12.3
1000	94.2	32.3	82	12.2
1000	94.2	32.3	80.8	13.4
1000	94.2	32.3	80.5	13.7
1000	94.2	32.3	81.4	12.8
2000	94.2	32.3	81.3	12.9
2000	94.2	32.3	80.1	14.1
2000	94.2	32.3	81.5	12.7
2000	93.2	32.3	82.3	10.9
2000	94.2	32.3	81.9	12.3
4000	94.2	32.3	81.7	12.5
4000	94.2	32.3	82.4	11.8
4000	94.2	32.3	83.3	10.9
4000	91.6	32.3	81.7	9.9
4000	94.2	32.3	83.1	11.1

Fuente y Elaboración: Autores

Para finalizar con la determinación del índice de aislamiento acústico se realiza un cuadro comparativo con materiales de similares características o funciones como se muestra en el **Cuadro 3.11** en la cual se determina que el PAR esta dentro de los índices de aislamiento acústico, siendo este superior al panel de fibras naturales (trigo- café y tamo de arroz) e inferior al silensis.

3.6. Pruebas de campo

Se denominan pruebas de campo pese a que se rigen a una normativa, no se las realiza en un espacio determinado y con un equipo específico. Los métodos de ensayo se han realizado bajo el cumplimiento y aplicación de la norma UNE EN ISO 2440:2001 para la corrosión o envejecimiento acelerado, AAMA 2605-02 para la resistencia al agua, la norma ASTM D732 – 02 para la resistencia al corte y finalmente la prueba a la resistencia a la adhesión a través de la norma D 3359-17.

3.6.1. Prueba de transmitancia lumínica

Debido a la forma y textura del panel propuesto se ha determinado el ensayo a la transmitancia lumínica o paso de luz natural y artificial para determinar el comportamiento que tiene el panel, es por ello que se ha determinado el ensayo de campo en un espacio exterior, en un día soleado y en un espacio interior con presencia de luz artificial directa.

Para el desarrollo del ensayo de luminosidad se ha determinado el uso del módulo experimental como se muestra en la **Figura 3.10**, en donde se realizarán las pruebas de transmitancia lumínica de una cara a otra medida a través de un luxómetro interior y otro exterior.

3.6.1.1. Prueba de transmitancia lumínica natural

La prueba de transmitancia lumínica natural se la ha realizado durante un lapso de 20 minutos en intervalos de toma de datos de 2 minutos en el cual se ha colocado un luxómetro digital interno (basado en una aplicación de móvil) al igual que otro luxómetro interior.

A partir de ello se ha tomado los datos guardados en el data logger de la aplicación se ha comparado los datos entre la iluminación externa del panel (IEP) y la iluminación interna del panel (IIP), obteniendo como resultado la diferencia de transmitancia lumínica (DTL) entre el exterior e interior del módulo experimental.

Figura 3.22: Prueba de transmitancia lumínica natural



Fuente y Elaboración: Autores

Cuadro 3.12: Comportamiento de transmitancia lumínica natural

Tiempo	IEP (Lux)	IIP (Lux)	DTL (Lux)	DTL (%)
15 h 00	1315	182	1133	13.84%
15 h 02	1323	183	1140	13.83%
15 h 04	1239	199	1040	16.06%
15 h 06	1257	161	1096	12.81%
15 h 08	2041	190	1851	9.31%
15 h 10	2036	182	1854	8.94%
15 h 12	2098	196	1902	9.34%
15 h 14	2237	162	2075	7.24%
15 h 16	2242	161	2081	7.18%
15 h 18	2165	164	2001	7.58%
15 h 20	2239	163	2076	7.28%
15 h 22	2162	162	2000	7.49%
15 h 24	2316	161	2155	6.95%
15 h 26	2166	164	2002	7.57%
15 h 28	2164	173	1991	7.99%
15 h 30	2312	179	2133	7.74%
15 h 32	2355	186	2169	7.90%
15 h 34	2311	181	2130	7.83%
15 h 36	2313	182	2131	7.87%
15 h 38	2305	178	2127	7.72%
15 h 40	2473	194	2279	7.84%

Fuente y Elaboración: Autores

3.6.1.2. Prueba de transmitancia lumínica artificial

El desarrollo de esta prueba de campo se lo ha hecho en la noche con la interferencia de la luz artificial, determinando así la cantidad de luz que ingresa dentro del cubo de ensayo como se lo muestra en el Cuadro 3.13.

Figura 3.23: Prueba de transmitancia lumínica artificial exterior



Fuente y Elaboración: Autores

Cuadro 3.13: Comportamiento de transmitancia lumínica artificial

Tiempo	IEP (Lux)	IIP (Lux)	DTL (Lux)	DTL (%)
20 h 00	118	8	110	6.78%
20 h 02	95	10	85	10.53%
20 h 04	103	6	97	5.83%
20 h 06	123	11	112	8.94%
20 h 08	100	10	90	10.00%
20 h 10	103	9	94	8.74%
20 h 12	105	10	95	9.52%
20 h 14	111	10	101	9.01%
20 h 16	110	10	100	9.09%
20 h 18	112	6	106	5.36%
20 h 20	95	5	90	5.26%
20 h 22	103	8	95	7.77%
20 h 24	111	10	101	9.01%
20 h 26	118	11	107	9.32%
20 h 28	109	11	98	10.09%
20 h 30	102	8	94	7.84%
20 h 32	94	9	85	9.57%
20 h 34	98	9	89	9.18%
20 h 36	99	12	87	12.12%
20 h 38	101	7	94	6.93%
20 h 40	105	6	99	5.71%

Fuente y Elaboración: Autores

De igual manera que en la prueba de transmitancia lumínica exterior se realiza el mismo procedimiento de la toma de datos cada 2 minutos a través de un luxómetro interior y otro exterior, a excepción de que en esta ocasión se encenderá una luz artificial y la caja de ensayo se colocó perpendicularmente a la misma. A partir de la observación del comportamiento del panel se realiza un ensayo más adicionalmente para determinar el comportamiento con la colocación de luz artificial internamente, pudiendo así determinar el efecto e impacto visual que genera el panel con luz artificial internamente, en este caso se ha colocado una manguera de luz led internamente lo que genera dicho efecto que se observa en la [Figura 3.24](#), pudiendo así concluir que dependerá del área y el lugar y tipo de iluminación que se genere en el panel para obtener diversos efectos y versatilidad en el mismo.

Figura 3.24: Prueba de transmitancia lumínica artificial interior



Fuente y Elaboración: Autores

3.6.1.3. Resultados de prueba de transmitancia lumínica

Al finalizar los dos ensayos de transmitancia lumínica se ha determinado que el paso de iluminación con luz natural se alcanza un máximo de 13.84% como se muestra en el [Cuadro 3.12](#), en cuanto al interior con luz artificial se determina un índice menor de paso de luz artificial siendo este el valor máximo de 12.12% como se muestra en el [Cuadro 3.13](#).

Pese a que se encuentran en porcentajes muy cercanos los dos tipos de transmitancia se debe tomar en cuenta que, la primera al ser una luz natural permite la iluminación de los espacios con un ahorro de luz eléctrica ya que el espacio no se encontrará totalmente hermetizado o cerrado para el paso de los rayos de luz, en cuanto a la iluminación artificial se determina que la incidencia y posición que tenga la luminaria afectará a su comportamiento de transmitancia lumínica, es decir de acuerdo como se coloque la misma se tendrá efectos diversos en cuanto al paso de la luz.

Para finalizar con la determinación del índice de transmitancia lumínica se

realiza un cuadro comparativo con materiales de similares características o funciones como se muestra en el **Cuadro 3.14** en la cual se determina que el PAR es superior al PET e inferior a los demás elementos como el panel de hormigón translúcido que ha sido elaborado específicamente para ese fin.

Cuadro 3.14: Cuadro comparativo de índice de transmitancia lumínica

Nombre	Uso	Transmitancia lumínica (%)	
Material #1	PET (panel o bloques de plástico)	Mampostería interior y exterior	9.00
Material #2	Panel de Hormigón translúcido	Mampostería y Revestimiento interior y exterior	31.52
Material #3	Vidrio (panel o láminas)	Revestimiento exterior e interior	70
Material #4	Panel de metacaolín, vidrio reciclado y fibra óptica	Mampostería y Revestimiento interior y exterior	33.33
Material #5	PAR (Panel de aluminio reciclado)	Revestimiento exterior	12.12

Fuente y Elaboración: Autores

3.6.2. Prueba a la corrosión, envejecimiento acelerado o artificial

Figura 3.25: Resultados de la prueba del envejecimiento acelerado



Fuente y Elaboración: Autores

Para el ensayo al envejecimiento acelerado, se ha determinado el uso de la norma **UNE - EN ISO 2440** “Materiales poliméricos celulares flexibles y rígidos. Ensayos de envejecimiento acelerado. “Este método de ensayo consiste en acelerar el proceso de exposición de un material a los cambios medioambientales para simular sus efectos a largo plazo. Para el desarrollo de este ensayo se ha utilizado una probeta de

dimensiones de 30 cm x 30 cm el cual ha sido expuesto directamente a los diferentes cambios medioambientales y se ha determinado su comportamiento a lo largo de 2 semanas de experimentación, teniendo como resultado un cierto grado de cambio en su coloración, pero sin ningún tipo de corrosión, es así que se determina que pese a las aleaciones realizadas en el mismo el aluminio no ha perdido sus características esenciales de ser uno de los únicos metales en no corroerse.

3.6.3. Prueba a la resistencia al agua

Figura 3.26: Resultados de prueba a la resistencia al agua



Fuente y Elaboración: Autores

Para el ensayo a la resistencia al agua del panel de aluminio se ha determinado el uso de la norma [AAMA 2605 -05](#), “Voluntary Specification, Performance Requirements and Test Procedures for Superior Performing Organic Coatings on Aluminum Extrusions and Panels”. Este método de ensayo se estipula que el material metálico tiene que estar expuesto al agua hirviendo por un mínimo de 2 horas y al finalizar la prueba determinar los cambios que ha sufrido, y si a partir de las 2 horas no se presenta ningún cambio alguno el material pasa la prueba. En el caso del panel de aluminio prefabricado se ha determinado el uso de 3 probetas con dimensiones de 20cm x 4 cm, las cuales se encuentran sometidas al calor del agua hirviendo, teniendo como resultado una resistencia mayor a la que estipula la norma sin tener cambio alguno, siendo así 4 horas el tiempo que se ha dejado el material metálico dentro del agua hirviendo y sin ningún cambio.

3.6.4. Prueba a la resistencia al corte

Para el ensayo a la resistencia al corte del panel de aluminio prefabricado se ha determinado el uso de la norma [ASTM D732 - 02](#) “Método de prueba estándar para la resistencia al corte de plásticos mediante una herramienta de perforación” Este método de ensayo cubre el ensayo de corte tipo punzón y está diseñado para determinar la resistencia al corte de probetas en forma de láminas y discos moldeados

en espesores de 0,127 a 12,7 mm. Para el desarrollo de la prueba se ha realizado los cortes en los 4 lados de 1 panel de dimensiones de 10cm x 10 cm y se ha perforado en 2 puntos distinto para la colocación de tornillos o pernos autorroscantes, en donde se denota que el panel propuesto cumple con la prueba a la resistencia al corte, perforación y que no ha existido ningún tipo de rotura, corte o alguna señal de que impida generar los mismos.

Figura 3.27: Resultados de prueba de resistencia al corte



Fuente y Elaboración: Autores

3.6.5. Prueba a la resistencia a la adhesión

Figura 3.28: Procesos de elaboración de módulo experimental



Fuente y Elaboración: Autores

Para el experimento a la resistencia a la adhesión del panel de aluminio prefabricado se determinó el uso de la norma [ASTM D3359](#) “Método de Prueba Estándar para la medición de la adhesión de la prueba con cinta adhesiva”. Este método de prueba cubre los procedimientos para evaluar la adhesión de películas de recubrimiento sobre sustratos metálicos, aplicando y quitando la cinta adhesiva con presión

sobre los cortes hechos en película.

Para el desarrollo de la prueba se ha tomado las muestras de 3 probetas de dimensiones de 30 cm x 5 cm, en el cual se ha experimentado con 3 diferentes tipos de cintas adhesivas, para ello se ha colocado la cinta en diferentes ángulos y caras del mismo, obteniendo como resultado que el panel prefabricado no presenta ningún tipo de desgaste o desprendimiento de la película envolvente.

3.7. Solución constructiva e instalación del panel

Luego del estudio del comportamiento del panel y haber señalado las características, físico, mecánicas, térmicas, acústicas y de transmitancia lumínica, entre otras, se procede a determinar el uso y aplicación del mismo.

Con los resultados obtenidos en los análisis expuestos anteriormente, se logra demostrar que el panel si cumple con los rangos de las normas vigentes, pese a ello por las características de porosidad se ha determinado el uso óptimo del panel como; un sistema con aplicaciones que genere una cortina que difumine e impida el paso de luz directa en diferentes espacios y permita la protección de fachadas. A su vez también se determina la aplicación en revestimientos de muros interiores, tabiquería liviana no portante, cielo raso y el uso decorativo o para mobiliario de espacios en diversas formas, lo cual se deja como precedente de la versatilidad del material y las bases para un posible desarrollo investigativo en dichas áreas, todo esto debido a la presencia de varias características y beneficios, tales como:

- Resistencia mecánica adecuada no estructural
- Facilidad de montaje
- Sistema de montaje seco y liviano
- Sistema limpio, no desprende mucha cantidad de desperdicios.
- Ahorro de mano de obra en tiempo de montaje
- Transmitancia lumínica - difuminación e impedimento de paso de luz directa
- Ahorro energético (producción, montaje y usos)
- No requiere mucho mantenimiento
- Fácil modificación a futuro

El panel de aluminio, puede ser utilizado como elemento de revestimiento de los materiales convencionales como ladrillo, bloque, hormigón, vidrio entre otros, destacando así también sus características estéticas. Una vez analizado el comportamiento del material en cuanto a las diversas pruebas físicas, mecánicas y de campo se identifican las zonas en las que podría tener mayor relevancia como:

-
- Centros comerciales
 - Oficinas
 - Museos
 - Salas de conferencia
 - Restaurantes – Cafeterías
 - Fachadas ventiladas
 - Espacios de recreación nocturna (Bar - Discoteca)
 - Pasillos
 - Revestimientos área interior y exterior
 - Stands publicitarios (letreros y tótems)
 - Dispositivo de control solar (partesol - lamas)
 - Mobiliario

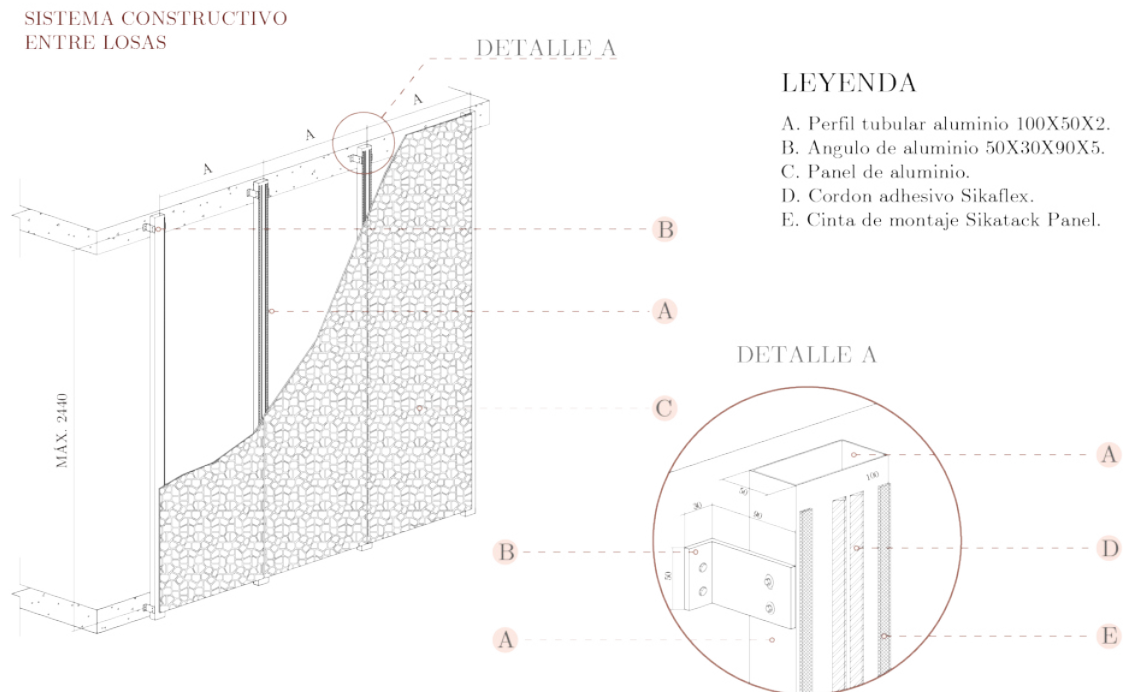
Teniendo como resultado una versatilidad en cuanto a usos y aplicaciones tanto arquitectónicas como constructivas del revestimiento de aluminio reciclado, enfocados directamente al uso de revestimiento para exteriores. Debido al valor funcional y estético que aporta los paneles de aluminio, se puede considerar un material ideal para un sin número de usos, como los expuestos anteriormente. Su forma de instalación es fácil y sin grandes cantidades de desperdicio. El sistema utilizado en tabiquerías internas es conocido como drywall realizado a base de soportes, ya sean de madera o de aluminio, en los cuales se pueda apoyar los paneles de aluminio, dichos paneles pueden ser fijados por medio de tornillos autoperforantes o autorroscantes, para una mayor fijación o adherencia, a su vez también se puede utilizar los cordones adhesivos sikaflex los cuales los mantendrá el panel pegado a la estructura en su parte posterior, con la misma eficacia de los tornillos autoperforantes.

En el caso de la instalación de paneles exteriores se utiliza estructura metálica (perfilería de aluminio) para una sujeción adecuada tanto en anclaje panel mampostería como en rieles de soporte fijados por medio de tornillos autoperforantes o los cordones adhesivos sikaflex los cuales los mantendrá el panel pegado a la estructura en su parte posterior, con la misma eficacia de los tornillos autoperforantes.

Debido a la versatilidad en usos del PAR se deja un ligero precedente la forma de instalación en el caso de cielo raso y mampostería interior no estructural, teniendo como fundamento el sistema constructivo desarrollado para la colocación del yeso cartón, con el sistema drywall, a través de una estructura metálica con tornillos autoperforantes o cordones adhesivos sikaflex, teniendo como gran diferencia que el panel de aluminio reciclado no generara grandes cantidades de residuos al momento de su instalación y mucho menos va a requerir un acabado posterior a la instalación como sucede en otros materiales.

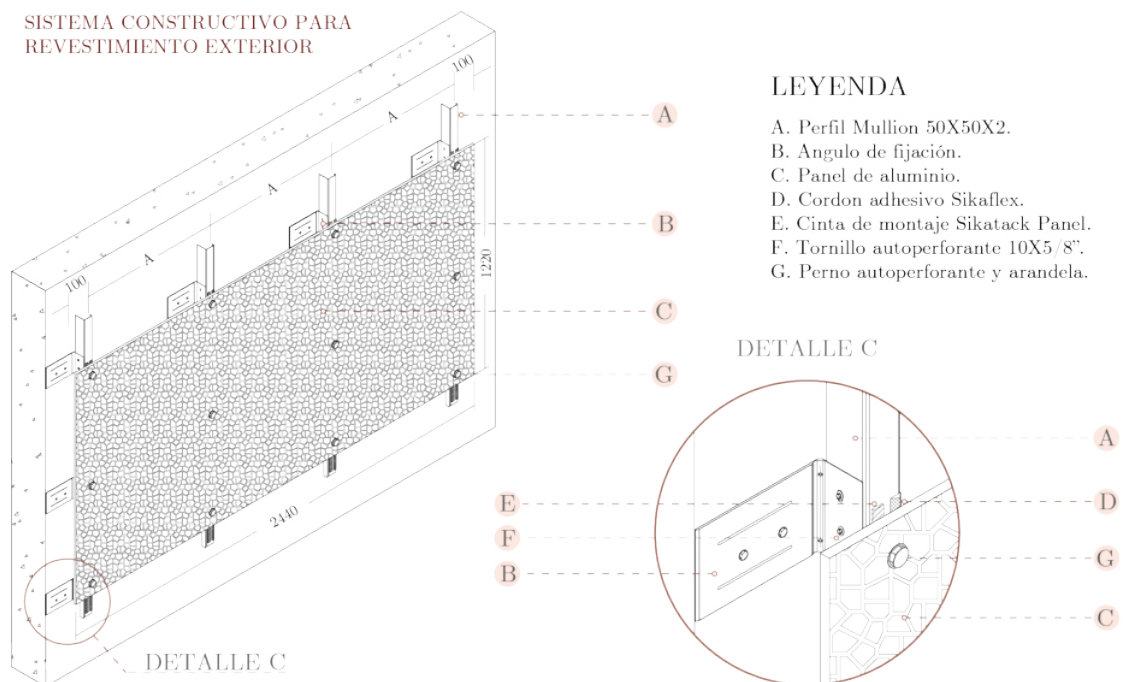
Finalmente, una explicación más detallada de estos procesos constructivos en diferentes perspectivas se encuentra representados a continuación:

Figura 3.29: Detalle constructivo para uso entre panel prefabricado y losa



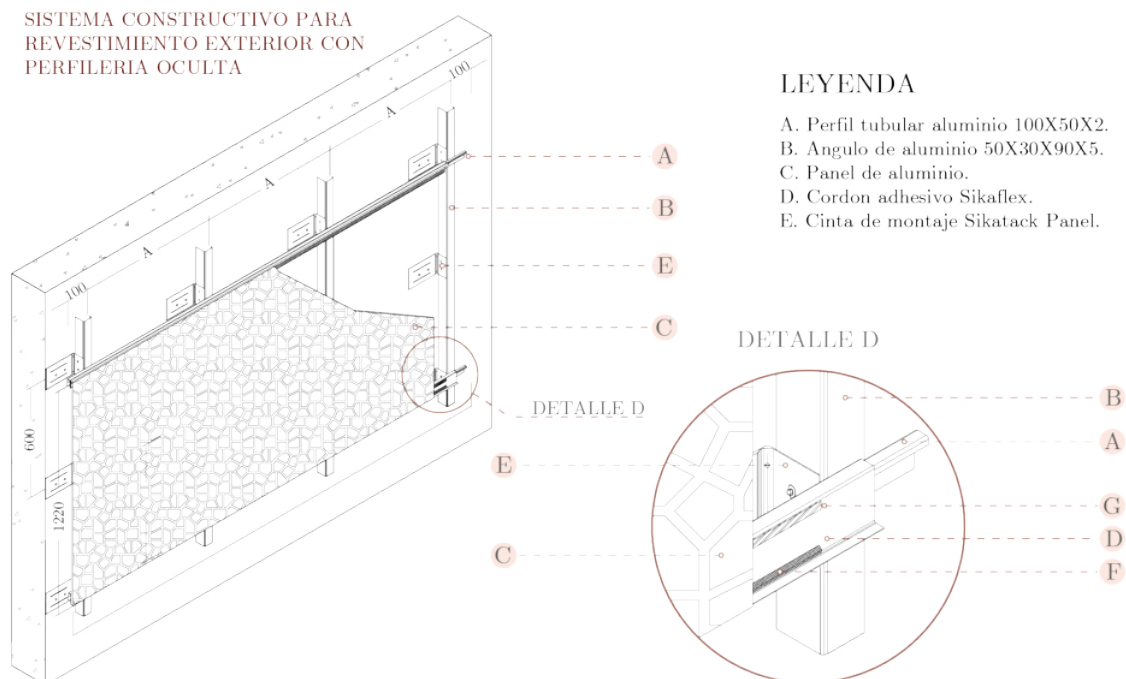
Fuente y Elaboración: Autores

Figura 3.30: Detalle constructivo para uso de revestimiento exterior



Fuente y Elaboración: Autores

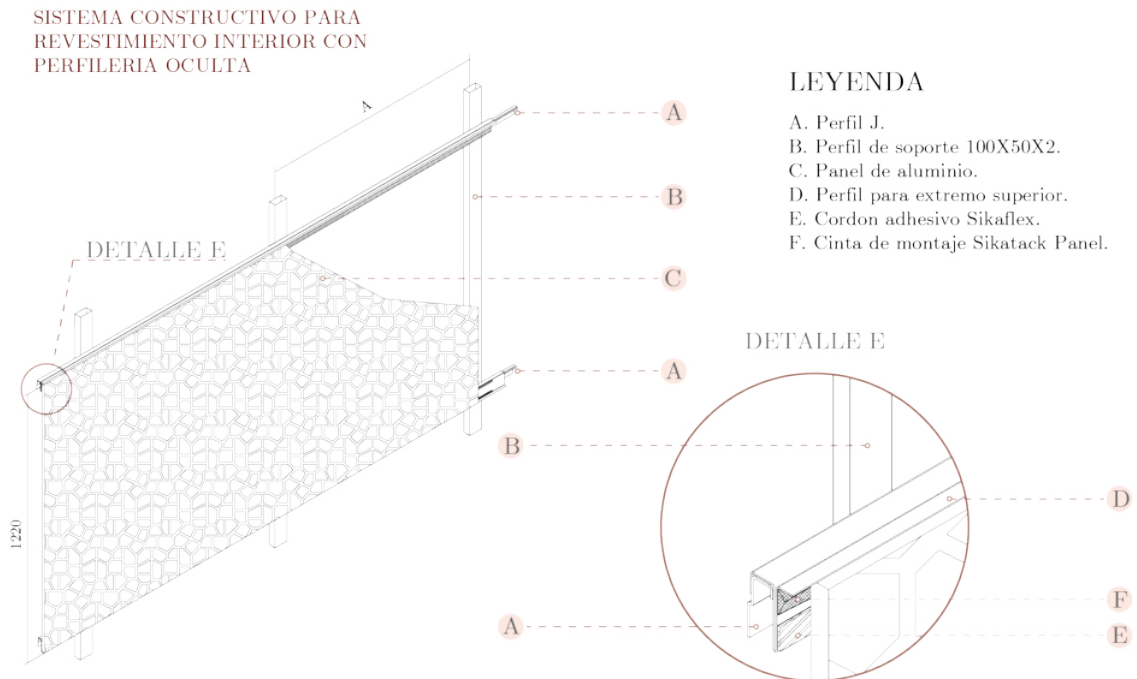
Figura 3.31: Detalle constructivo para uso de revestimiento exterior oculto



Fuente y Elaboración: Autores

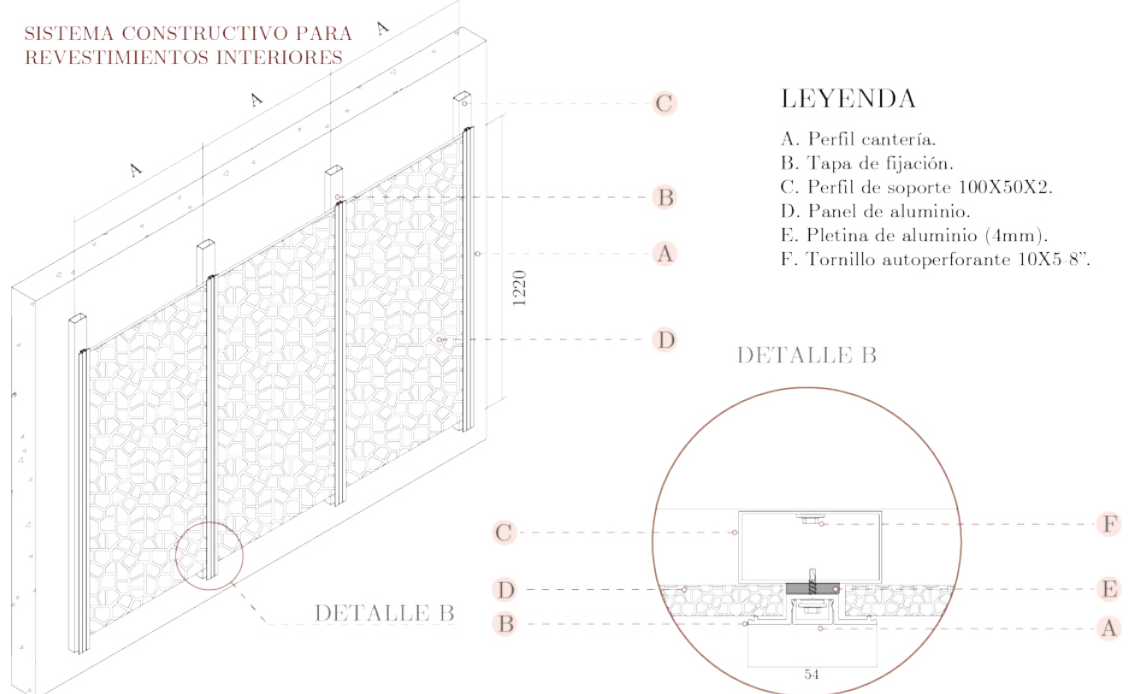
Al finalizar todo el proceso de ensayos y pruebas físico - mecánicas, se determina el uso del revestimiento para exteriores cumpliendo así el objetivo de la presente investigación, sin dejar de lado cada uno de los parámetros en cuanto a respeto de normas e índices mínimos y máximos establecidos; como lo son los factores climáticos a los que estará expuesto, es por ello que en el transcurso del trabajo de investigación surge la necesidad imperiosa de no solo enfocar el estudio en revestimientos exteriores sino más bien denotar un abanico de posibilidades en cuanto a usos debido al comportamiento presentado ante cada una de las pruebas de laboratorio y campo, es por ello que se deja como precedente para futuras investigaciones el uso del PAR en revestimientos interiores, cielo raso y demás usos que se podrán complementar y hablar de manera más específica en el desarrollo profundo de este tema, teniendo como base lo antes mencionado y los sistemas constructivos pensados para un posible uso del panel de aluminio reciclado en estas áreas como se lo demuestra a continuación:

Figura 3.32: Detalle constructivo para uso en revestimiento interior



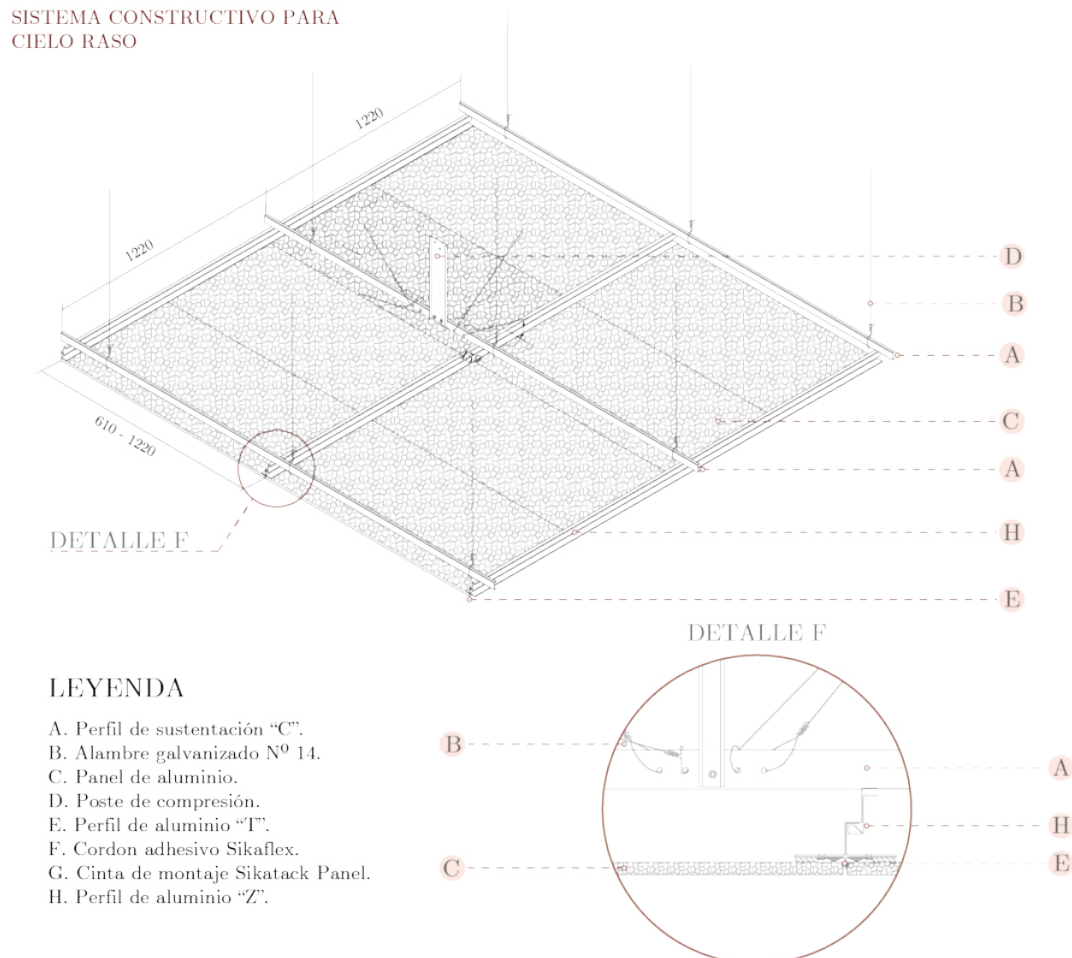
Fuente y Elaboración: Autores

Figura 3.33: Detalle constructivo para uso de revestimiento interior oculto



Fuente y Elaboración: Autores

Figura 3.34: Detalle constructivo para uso de cielo raso



Fuente y Elaboración: Autores

3.8. Usos y aplicaciones de panel de aluminio reciclado

A partir de la explicación detallada de algunos de los sistemas constructivos en los que puede ser utilizado el panel de aluminio reciclado, se establece una visualización aproximada de cómo se podría utilizar el panel en espacios exteriores, y con posibles usos en espacios interiores ya sean como mampostería, cielo raso o elementos decorativos y los diferentes usos que puede tener en un programa arquitectónico. Debido a la versatilidad del panel en cuanto a uso, color y textura, puede ser mimetizado y combinado con cualquier otro material como madera, hormigón, cerámicas y demás materiales utilizados tradicionalmente, sin perder ninguna de sus características físicas, mecánicas y estéticas.

Figura 3.35: Uso de panel de aluminio reciclado en revestimiento exterior



*Fuente: Papazian, s.f.
Elaboración: Autores*

Figura 3.36: Uso de panel de aluminio reciclado en el cielo raso interior



*Fuente: Tangora Studio, 2020.
Elaboración: Autores*

Figura 3.37: Uso de panel de aluminio reciclado en counter de recepción



*Fuente: Homify, s.f.
Elaboración: Autores*

Figura 3.38: Uso de panel de aluminio reciclado en el cielo raso interior



*Fuente: Homify, s.f.
Elaboración: Autores*

Figura 3.39: Uso de panel de aluminio reciclado en mampostería interior



*Fuente: MARKS Photo, 2014.
Elaboración: Autores*

Figura 3.40: Uso de panel de aluminio reciclado en fachada ventilada



*Fuente: Gris Studi, s.f.
Elaboración: Autores*

Figura 3.41: Uso de panel de aluminio reciclado cielo raso interior y panel decorativo



*Fuente: Cymat Technologies, 2019.
Elaboración: Autores*

Figura 3.42: Uso de panel de aluminio reciclado en mampostería interior



*Fuente: Capa, 2020.
Elaboración: Autores*

Figura 3.43: Uso de panel de aluminio reciclado en mampostería interior



*Fuente: Loli, 2016.
Elaboración: Autores*

3.9. Análisis y evaluación de la factibilidad del panel

Para el desarrollo de factibilidad del panel es necesario realizar el análisis de precios unitarios para determinar el costo de fabricación y venta de la unidad de 30cm de alto x 30cm largo x 1.2cm de espesor y el m².

Cuadro 3.15: Análisis de precios unitarios panel

Análisis de precios Unitarios					
Rubro:	Panel de aluminio texturizado 30 cm x 30 cm x 1.2 cm				
Unidad:	u				
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Total
Horno de crisol eléctrico	1	2.00	2.00	0.20	0.80
Horno de mufla eléctrico	1	1.50	1.50	0.20	0.45
Prensa Hidráulica	1	1.00	1.00	0.03	0.03
Bomba de vacío	1	1.50	1.50	0.20	0.45
Molde de acero	1	1.00	1.00	0.20	0.20
Herramienta menor 5% mano de obra					0.15
Subtotal de equipo:					2.08
Mano de obra					
Descripción	Cantidad	Jornal/hora	Costo Hora	Rendimiento	Total
Fundidor	1	3.93	3.93	0.2	3.09
Subtotal de mano de obra:					3.09
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total	
Aluminio reciclado	Lb	1.1	1.1	1.21	
Carbonato de sodio	Lb	0.22	3.8	0.84	
Cloruro de sodio	Lb	0.11	0.9	0.10	
Sulfato de aluminio	Lb	0.11	3.9	0.43	
Cal	Lb	0.04	0.45	0.02	
Gas argón	m ³	0.002	65	0.13	
Agua	m ³	0.05	0.3	0.02	
Subtotal de materiales:					2.74
Total, costo directo (E + MA + MO)					7.91
Indirecto y utilidades					1.42
Costo total del rubro					9.33
Valor ofertado					9.40

Fuente y Elaboración: Autores

Cuadro 3.16: Precio de panel por m²

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Precio Total
PAR (Panel de aluminio reciclado)	m ²	11.11	9.40	104.43
Valor ofertado				105.00

Fuente y Elaboración: Autores

En el análisis de precios unitarios se determina que el costo por panel de aluminio reciclado es de \$9.40 y el costo por m² es de \$105.00 como se observa en el Cuadro 3.15 y el Cuadro 3.16, teniendo que utilizar para un m² la cantidad de 11 paneles.

3.9.1. Factibilidad del panel

Para el desarrollo de factibilidad se establece una comparativa entre materiales que cumplan características similares en el mercado, tal es el caso del alucobond, granito, cuarzo, mármol, madera, panel de yeso cartón, teniendo en cuenta sus características, dimensiones y espesores.

Cuadro 3.17: Precios comparativos de materiales

Uso	Descripción	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Costo (u)	Costo (m ²)
	PAR (Panel de aluminio reciclado)	30	30	1.20	24	110
Revestimiento (interior y exterior)	Alucobond	500	120	0.30	230	39
	PVDF (Panel de aluminio compuesto)	120	120	0.30	165	114.60
Revestimientos	Mármol	240	65	2.00	390	250
	Cuarzo	240	65	2.00	175	112
	Granito	240	65	2.00	95	61.50
Mobiliario y decoración	Tablero de madera alistonado	240	120	2.00	207.61	72
Cielo raso y mampostería	Panel de yeso cartón	240	120	1.50	10.50	3.65

Fuente y Elaboración: Autores

Al finalizar este análisis como se muestra en el Cuadro 3.17 el precio comercial de algunos de los materiales conocidos en el mercado ecuatoriano son inferiores al del panel propuesto, pese a ello ninguno de ellos cumple la serie de usos y aplicaciones que se le puede dar al PAR (panel de aluminio reciclado), es por ello que se analiza la posibilidad de la reducción de costos en una producción industrial para así poder tener un panel más competitivo a nivel nacional ya que a nivel internacional se encuentran revestimientos con similares características a costos superiores al del PAR, como es el caso de las empresas XIAMAN & ALUSION en los continentes asiáticos y europeos respectivamente que ofertan un panel de 1.20m x 1.20m con características similares a un costo aproximado que varía entre los \$250 - \$350, utilizados en la actualidad en varios proyectos arquitectónicos a nivel mundial como se muestra las siguientes figuras.

Figura 3.44: Centro de artes y música ubicado en New Jersey - USA



*Fuente: Cymat Technologies, 2019.
Elaboración: Autores*

Figura 3.45: Pandora ubicado en Roma - Italia



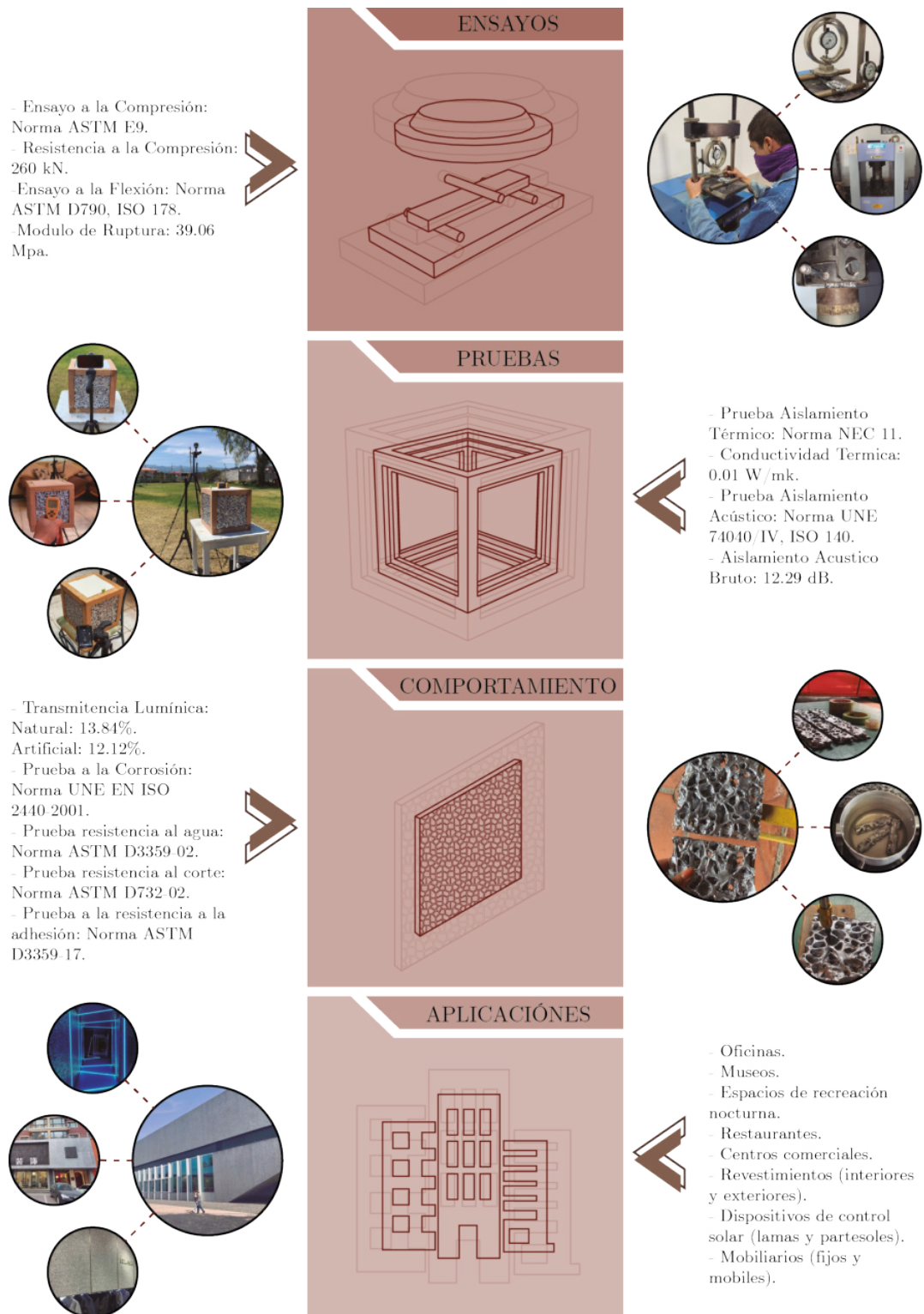
*Fuente: Cymat Technologies, 2019.
Elaboración: Autores*

Figura 3.46: Bar 417 ubicado en Tokio - Japón



*Fuente: Cymat Technologies, 2019.
Elaboración: Autores*

Figura 3.47: Esquema resumen capítulo 3



Fuente y Elaboración: Autores

Conclusiones

Al concluir el presente trabajo se destaca la importancia e imperiosa necesidad del reciclaje de materiales utilizados en la construcción en especial los metales como el aluminio, debido a la alta demanda que ha desencadenado el crecimiento exponencial de la generación de impactos ambientales severos; los cuales en la mayoría de casos son irreversibles debido a su gran magnitud; como es el caso de los materiales metálicos como el aluminio, precedido del hierro y el cobre que impactan de manera significativa al ambiente. No solo en el ámbito de la construcción sino también en diversas áreas como; alimentaria, automovilística, aeroespacial entre otras, dejando como residuo un impacto ambiental considerable.

A través de dicho análisis se plantea y desarrolla la obtención del panel de aluminio a través de la técnica del reciclaje, teniendo como resultado el ahorro energético de un 95 % en todos los procesos utilizados tanto para su extracción, es decir desde su producción mineral, como para su elaboración, permitiendo así; la reducción de emisión de gases CO₂, destrucción del suelo debido a la extracción de la bauxita (materia prima para la obtención del aluminio), gases de efecto invernadero, dióxido de azufre, vapores de alquitrán y un alto consumo energético; que mediante la elaboración de varias políticas públicas como el PNGIDS (El Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos) en Ecuador y desde épocas pretéritas el tratado de Kioto, se hace énfasis en la reducción de impactos ambientales para la reducción del calentamiento global, siendo una de las opciones la creación y uso de materiales alternativos en la construcción a través del método del reciclaje, que permitan la extensión de los ciclos de vida útil de los materiales contribuyendo con los principios de economía circular en donde la reutilización es un pilar fundamental en el ecodiseño constructivo.

Uno de los aportes fundamentales dentro de la investigación fue la aplicación y aprovechamiento de materiales renovables y reciclables, siendo el aluminio un material 100 % reciclable y que no sufre alteración alguna de sus características. Considerando además que en el desarrollo de la fabricación del panel el 70 % de su composición es reciclable como el aluminio, sulfato de aluminio y 30 % de materiales son renovables como el cloruro de sodio, bicarbonato de sodio y el argón, lo cual convierte esta investigación en una alternativa de construcción sostenible.

Pese a la poca información sobre la elaboración de espumas de aluminio o revestimientos de aluminio reciclado, se optimizó los recursos, tiempo y desarrollo experimental en dos fases para obtener el panel deseado, con características versá-

tiles como se lo demuestra en cada uno de las pruebas físicas- mecánicas y de campo.

Con el estudio realizado a partir de las fuentes bibliográficas o materiales alternativos semejantes se ha logrado la obtención del panel o revestimiento de aluminio reciclado teniendo como características su buena resistencia físico- mecánica no estructural, siendo esta la resistencia a la compresión realizado a través de la norma [ASTM E9](#), que alcanza valores promedio de 260 kg/cm², al igual que el ensayo a la flexión por medio de la norma [ASTM D790 - 03](#), con un módulo de ruptura de 39.06 Kg/cm², el mismo que cumple con lo exigido por la norma [ANSI 208.1:1999](#), para ser clasificado en la categoría de tableros de densidad baja.

En cuanto al aislamiento térmico y acústico, realizado por medio de las normas [NEC 11](#) y [UNE - EN ISO 74040](#) respectivamente, el panel no representa un gran impacto ante estos factores debido a la geometría porosa, pese a ello se rige a los parámetros térmicos que exige la norma técnica [UNE - EN 13162](#), con un coeficiente de conductividad térmica de 0.01(W/mK); en cuanto a la resistencia acústica, se obtiene como resultado el índice de aislamiento acústico bruto de 12.25 dB, que permite la protección de los espacios, impidiendo la entrada de sonido en un 12.32 %.

A partir de dichos análisis y observar el comportamiento del panel se identifican una serie de características del PAR (panel de aluminio reciclado) el cual es óptimo para ponerlo a prueba en condiciones extremas, siendo certificado para climas con alcalinidad, salinidad y polución ácida (industrial); sin ser afectados por los cambios de temperatura, ni alteraciones producidas por los rayos U.V, determinados y demostrados mediante las diferentes pruebas de campo por medio de las normas [UNE - EN ISO 2440](#), para la corrosión o envejecimiento acelerado, , la norma [ASTM D732 - 02](#) para la resistencia al corte y finalmente la prueba a la resistencia a la adhesión a través de la norma [ASTM D3359](#).

En cuanto a las especificaciones técnicas presentadas por el PAR se determina que es un material liviano con un peso de 600 gr en una sección de 30x 30cm (generado por varios factores entre ellos la inyección y extracción de aire), resistente al fuego (al no ser un material inflamable por la características físico- mecánicas del aluminio), resistente a hongos, musgo y óxido determinados a través de los ensayo de resistencia al agua e intemperie mediante la norma [AAMA 2605 -05](#), teniendo como resultado una durabilidad superior a la de otros materiales como madera o panel de yeso cartón que adicionalmente de prestar las características antes mencionadas requiere un mínimo mantenimiento para su durabilidad, siendo esta la limpieza con agua por medio de una hidrolimpiadora.

Sin duda alguna la versatilidad es uno de los factores más influyentes dentro del PAR ya que puede ser mimetizado o combinado con cualquier otro tipo de material; color, textura, teniendo una infinidad de usos como: revestimiento exterior e interior, fachadas ventiladas (evitando de esta forma un edificio con altas temperaturas por una radiación directa en los muros), cielos rasos, mobiliario, entre otras más

aplicaciones que se le puede dar tanto tecnológicas, constructivas y arquitectónicas.

El costo del PAR por m² es de \$105, con lo cual se establece que la viabilidad en cuanto a costo del material sería mucho mejor si existiera una producción en serie o a su vez se cuente con maquinaria más sofisticada para la elaboración del panel en módulos a escala mayor, sin representar esto grandes esfuerzos en cuanto a mano de obra o transporte debido a la versatilidad y peso del material, estableciendo que los costos aproximados en una producción en serie se podrían reducir alrededor de un 30 % a 40 %. Debido a la optimización de maquinaria y mano de obra que son los rubros más representativos en cuanto a la producción del PAR.

Finalmente, se destaca que la elaboración de este tipo de revestimientos puede ser desarrollado en cualquier parte del mundo y a cualquier escala sin ninguna limitante, debido a la abundancia de la materia prima utilizada en la misma y a los procesos de obtención que se generan para la elaboración del panel, permitiendo generar un aumento en las áreas del reciclaje y por ende la generación o aumento de empleo en los chatarreros o recicladores primarios y secundarios que a partir de índices mundiales de recolección de desechos metálicos y de reciclaje en Europa, se recicla alrededor de un 84 %, Brasil el país que lidera el reciclaje con un 97 %; seguido de Japón con un 87 % y como lo demuestra el índice de reciclaje de chatarras a nivel nacional se cuenta con una aproximación del 25 % en desechos reciclables y específicamente un 4.6 % en metales o aluminio.

Recomendaciones

Contribuir en el desarrollo del reciclaje para la generación de empleo en chatarreros y recicladores, permitiendo así mejorar la calidad de vida de las personas dedicadas a esta actividad.

Seguir constantemente con la práctica del reciclaje, no solo de aluminio o metales sino de varios materiales que puedan servir para la elaboración de objetos o materiales de construcción.

Se propone el estudio de otros métodos de obtención del PAR, con igual o similares características, que permitan reducir los costos de producción y fabricación.

Fomentar las futuras investigaciones acerca del PAR (panel de aluminio reciclado) ya que, al tratarse de un material de innovación en nuestro medio, se puede implementar y desarrollar procesos de industrialización.

La incorporación y búsqueda de maquinaria que permita facilitar la producción industrial del PAR, aumentando los rendimientos y por ende la reducción de costos.

La utilización de equipo y protección de seguridad industrial (mascarilla con filtro P100, gafas de protección, mandil industrial y guantes de cuero) para la fabricación y manipulación de este tipo de materiales.

Para la elaboración del panel tener un conocimiento previo del uso de cada uno de los equipos, las mezclas y reacción de cada uno de los elementos a utilizarse, debido a que puede generarse accidentes por mezclas indebidas.

Para la instalación de los paneles sobre estructura metálica, se emplean pernos de sujeción con arandela de ser necesario, caso contrario simplemente el uso del cordón adhesivo Sikaflex, debido a la ligereza del panel.

Finalmente, para la durabilidad y conservación del PAR, se recomienda una limpieza a presión con agua a través de la hidrolimpiadora cada 6 meses para mantener el panel en óptimas condiciones.

Bibliografía

- Abad León, W. (2018). Estudio de la evolución del sector metalmecánico cuya actividad es la fabricación de metales comunes en el Ecuador en el período 2010-2015, 100. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 05 de Diciembre de 2019, de <http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6090/1/T2557-MAE-Loor-Estudio.pdf>
- Abud, J. (2017, 21 noviembre). Caracterización del efluente en el proceso de transformación de bauxita a alúmina en la empresa Corporación Venezolana de Guayana – Bauxilum, Ciudad Guayana, Venezuela. *Revista ID de tecnólogo*. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/1713>
- Almexa. (2013). Aplicaciones del Aluminio. México. Recuperado el Abril 12, 2020, de <https://www.almexa.com.mx/aplicaciones-del-aluminio/decoracion/>
- Almexa. (2013). *Aplicaciones del aluminio | Almexa aluminio*. <http://www.almexa.com.mx/aplicaciones-del-aluminio/>
- Amancha Guangasi, D. (2012). ESTUDIO DE PANDEO BAJO LA NORMA ASTM E9-89a PARA ELABORAR LA GUÍA PRÁCTICA EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 256. Ambato, Ecuador. Recuperado el 17 de Septiembre de 2020
- American National Standard. (1999). ANSI 208.1:1999. Comparing properties of North American Manufactured Particleboard and Medium Density Fiberboard- Part I: Particleboard. Recuperado el 10 de Octubre de 2020
- American Architectural Manufacturers Association. (2005). AAMA 2605 - 05. Voluntary Specification, Performance Requirements and Test Procedures for Superior Performing Organic Coatings on Aluminum Extrusions and Panels. Recuperado el 15 de Agosto de 2020, de www.aamanet.org
- Amigos de la Tierra. (2015). *REDUCCIÓN DE RESIDUOS el reciclaje no es suficiente para alcanzar una economía circular*. Zero Waste Europe. https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2015/07/reduccion_residuos_economia_circular.pdf
- Amigos de la Tierra. (s.f). *Menos es más Eficiencia de los recursos mediante la recogida, reutilización y reciclaje de residuos de aluminio*,

algodón y litio en Europa. Obtenido de https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2015/03/menos_es_mas.pdf

Arroyo, F., & Miguel, L. (2019). Análisis de la variación de las emisiones de CO2 escenarios al 2030 en Ecuador. *ESPACIOS*, 40(13), 5.

ASTM International. (2017). ASTM D3359 - 17. Standard Test Methods for Rating Adhesion by Tape Test. West Conshohocken, USA. Recuperado el 29 de Septiembre de 2020, de www.astm.org

ASTM International. (2019). ASTM E9. Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature. West Conshohocken, USA. doi:10.1520/E0009-19

ASTM International. (s.f.). ASTM D732 – 02 . Standard Test Method for Shear Strength of Plastics by Punch Tool. doi:10.1520/D0732-02

ASTM International. (s.f.). ASTM D790 - 03. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, 11. West Conshohocken, USA. Recuperado el 15 de Octubre de 2020, de www.astm.org

ASTM International. (s.f.). ASTM D732 – 02 . Standard Test Method for Shear Strength of Plastics by Punch Tool. doi:10.1520/D0732-02

Abadía, M., Ballarín, L., Ferrer, S., Sabés, P., & Zanuy, S. (2017). La basura doméstica: un grave problema, una solución sencilla. IES Sierra de San Quílez de Binéfar (Huesca). <http://iesbinef.educa.aragon.es/departam/webinsti/otros/alu/index.html>

BASURTO CRUZ , C. A. (2017). “*MEJORAMIENTO EN EL PROCESO PRODUCTIVO EN LA FABRICACIÓN DE VENTANAS DE ALUMINIO Y VIDRIO*” (TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL). UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL.

Batista, J. (Julio de 2001). Estrategia de desarrollo de clusters basados en recursos naturales: el caso de la bauxita en el norte de Brasil. CEPAL - SERIE Desarrollo productivo, 105. Recuperado el 09 de Diciembre de 2019, de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/4486-estrategia-desarrollo-clusters-basados-recursos-naturales-caso-la-bauxita-norte>

Bohorquez Alvarado, B. (Septiembre de 2016). Plan estratégico para afrontar los cambios impositivos actuales en el sector productivo: Aluminio, 59. Guayaquil, Ecuador.

Bustillo, M. (2008). LOS RECURSOS MINERALES Y LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Enseñanza en la ciencia de la tierra, 3. Recuperado el Octubre de 2019

-
- Capilla Povea, D. (2011). Estudio de magnesio extruido en estado semisólido, 119. Catalunya, España: Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado el 05 de Agosto de 2020, de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/11906>
- Carrillo , M., & Flores , K. (Noviembre de 2011). RECICLAMET Empresa recicladora y fundidora de metales no ferrosos, 125. Guayaquil, Ecuador. Recuperado el 16 de Marzo de 2020
- Ceban, M. (2019). *Aluminio noble: reflejo en la arquitectura moderna*, 47. (Ensayo, Universidad Politécnica de Madrid). Recuperado el 03 de Noviembre de 2019, de <https://1library.co/document/yeeol2ry-aluminio-noble-reflejo-en-la-arquitectura-moderna.html>
- CEDAL. (2019). PROCESOS DE PRODUCCIÓN DEL ALUMINIO. Recuperado el 17 de Mayo de 2020, de <http://www.cedal.com.ec/index.php/es/produccion.html>
- Dettmer, J., & Smith, G. (2015). ANSI 208.1:1999. BioResources, 10(3), 6014 - 6031. Recuperado el 05 de Octubre de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/282470882_Comparing_Properties_of_North_American_Manufactured_Particleboard_and_Medium_Density_Fiberboard_-_Part_I_Particleboard
- Dettmer, J., & Smith, G. (2015). ANSI 208.1:1999. BioResources, 10(3), 6014 - 6031. Recuperado el 05 de Octubre de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/282470882_Comparing_Properties_of_North_American_Manufactured_Particleboard_and_Medium_Density_Fiberboard_-_Part_I_Particleboard
- EcuRed. (s.f). Recuperado el Octubre 08, 2020, de <https://www.ecured.cu/Magnesio>
- EMAC. (2014). Reciclaje. Recuperado el Octubre de 2019, de <https://emac.gob.ec/servicios/reciclaje/>
- Esparza Rodríguez, M., Garay Reyes, C., & Martínez Sánchez, R. (2017). El aluminio, material trascendente en la historia humana. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 21(61), 3-9. https://www.researchgate.net/publication/313241822_El_aluminio_material_trascendental_en_la_historia_humana
- European Aluminium Association. (s.f). *La sostenibilidad del aluminio en la edificación*. (20.^a ed.). (2020). (20.^a ed.). Brussels. Recuperado de www.aluminium.org
- Fresneda, C. (2016). No Alerta mundial por la contaminación en las ciudades de todo el planeta.
- GEA. (2015). Arquitectura Viva. Resultados prueba de evaluación de materiales prefabricados - nueva unidad educativa la Asunción. 2013. Recuperado el 17 de Julio de 2020

-
- Gómez Rodrigo, A., Bedoya Muñoz, M., Ríos Urrego, K., & Isaza Cortés, C. (10 de Junio de 2020). Abastecimiento de materia prima importadas de feldespatos y arcillas de proveedores nacionales para la empresa Suministros de Colombia S.A. Recuperado el 17 de Agosto de 2020, de <http://repositorio.esumer.edu.co/jspui/handle/esumer/2102>
- De la Torre, E., Guevara, A., & Yépez, S. (2009). *Influencia de sales de cloro y flúor en el reciclaje de aluminio por fusión* (Trabajo de Titulación). Universidad Politécnica de Quito.
- Gutiérrez Vázquez, J., & Oñoro, J. (2008). Espumas de aluminio. Fabricación, propiedades y aplicaciones. *Revista de Metalurgia*, 44(5). doi:<https://doi.org/10.3989/revmetalm.0751>
- Gutiérrez Vázquez, J., & Oñoro, J. (2010). Fabricación y Comportamiento de Espumas de Aluminio con Diferente Densidad a Partir de un Precursor AlSi12. *Revista de metalurgia*, 46(3). doi: <https://doi.org/10.3989/revmetalm.0841>
- Guzmán Montenegro, F., & Caiza Calderón, G. (2011). Aseguramiento de la calidad en las fundiciones de aluminio, en base a los procedimientos de moldeo en el laboratorio de fundición de la facultad mecánica. Aseguramiento de la calidad en las fundiciones de aluminio, en base a los procedimientos de moldeo en el laboratorio de fundición de la facultad mecánica, 151. Riobamba, Ecuador. Recuperado el Lunes de Enero de 2020, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1015>
- Hernandez, F. (2009). ENERGÍA INCORPORADA Y EMISIONES DE CO2 EN LA EDIFICACIÓN Metodología para Evaluación del Nivel de Sustentabilidad de Materiales de Construcción - ACERO. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 18 de Junio de 2020
- Hernández, F. (2019). Energía incorporada y emisiones de CO2 en la edificación. Metodología para evaluación del nivel de sustentabilidad de materiales de construcción. Caso de estudio: el acero. México, D.F, México. Recuperado el 05 de Noviembre de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/322369199_Energia_incorporada_y_emisiones_de_CO2_en_la_edificacion_Metodologia_para_evaluacion_del_nivel_de_sustentabilidad_de_materiales_de_construccion_Caso_de_estudio_el_acero
- IGME. (2018, Diciembre 13). 26 MAGNESITA 2016. Panorama Minero 2017, 567 - 582. Recuperado el Noviembre 20, 2020, de [https://www.igme.es/PanoramaMinero/actual/MAGNESITA%202016-PM_2017\(final\).pdf](https://www.igme.es/PanoramaMinero/actual/MAGNESITA%202016-PM_2017(final).pdf)
- INEC. (2010). Población y Demografía. Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- INDURA grupo AIR PRODUCTS. (s.f). Manual de Gases. SOLUCIONES TECNOLÓGICAS CON GASES Y SOLDADURAS PARA UN MUNDO DE PROCESOS. Recuperado el 16 de Septiembre de 2020, de www.indura.net

-
- Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo. (2015). RECICLAJE INCLUSIVO Y RECICLADORES DE BASE EN ECUADOR. Recuperado el Enero de 2021, de <https://latitudr.org/wp-content/uploads/2016/04/Reciclaje-Inclusivo-y-Recicladores-de-base-en-EC.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (07 de Mayo de 2009). NTE INEN 2506 : 2009. Eficiencia energética en edificaciones. Requisitos. Quito, Ecuador. Recuperado el 03 de Septiembre de 2020, de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2506.pdf>
- IPCC. (2006). 3(2), 54 - 67. Recuperado el Julio de 2020, de <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- IPCC. (2014). Cambio Climático 2014. Informe de Síntesis. In Contribución de los Grupos de trabajo I,II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- López Sangil, J. (1991). *Proceso electrolítico de obtención de aluminio*, 32. La Coruña, España. Recuperado el Diciembre de 2019, de <https://core.ac.uk/download/pdf/61904944.pdf>
- Luo, C., & Wu, D. (2016). Environment and economic risk: An analysis of carbon emission market and portfolio management. *Environmental Research*, 297 - 301. Recuperado el Julio de 2020, de <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.02.007>
- Luo, C., & Wu, D. (2016). Riesgo medioambiental y económico: un análisis del mercado de emisiones de carbono y la gestión de cartera. *Environmental Research*, 149, 297 - 301. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.02.007>
- MAE-PNGIDS. (2014). Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos. Recuperado el Diciembre de 2020, de <https://www.ambiente.gob.ec/el-programa-nacional-de-gestion-integral-de-desechos-solidos-mae-pngids-difundio-los-resultados-de-su-gestion/>
- Maffia , E. (2013). Estructura y propiedades de las aleaciones: Aluminio y sus aleaciones, 19. Recuperado el 15 de Enero de 2020, de https://www.academia.edu/9320946/ESTRUCTURA_Y_PROPIEDADES_DE_LAS_ALEACIONES
- Marks, J., Lubetsky, J., Steiner, B., Faerden, T., & Tranell , G. (2006). *Directrices Del IPCC de 2006: Para Los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*. Emisiones de la industria de los metales, 94. Recuperado el 14 de Abril de 2020
- Medina Párraga, J. (2010). *“ESTUDIO INTEGRAL PARA LA RECUPERACIÓN DE CHATARRA DE ALUMINIO”* (Magíster en Gerencia de Negocios). UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL .

-
- Medina, M. (1999). *Reciclaje de desechos sólidos en América Latina*. *FRONTERA NORTE*, 11(21), 25. Recuperado el 15 de Diciembre de 2019, de <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38481720/1-f21.pdf?1439651660=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D-Reciclaje.pdf&Expires=1607972185&Signature=AF5pkUBh983o-wpEjrIZQnid9rSnYQGxw4RIK-i~VY~PkdHKuua1q-2LA15GgM4b96RXNIOok3hvCnazoqGq7K0WClkeb>
- Millán Delgado, F., Sánchez García, D., & Olaya Flórez, J. (2015). Reciclaje de aluminio: oportunidades de desarrollo en Bogotá. *Revista Gestión y Ambiente*, 18(2), 135 - 152. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/44573>
- MINSALUD. (s.f). Documento Técnico Sal / Sodio. Colombia. Recuperado el 12 de Abril de 2020, de www.minsalud.gov.co
- Mirzaei, M., & Bekri, M. (2017). Energy Consumption and CO 2 Emissions in Iran, 2025. Recuperado el 15 de Junio de 2020, de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28161426/>
- Morales, D., & Hernandez, A. (2017). Revista de aluminio. Obtenido de https://issuu.com/diegomorila/docs/aluminio_revista
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (06 de Abril de 2011). NEC 11. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR. Ecuador. Recuperado el 22 de Septiembre de 2020, de <https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-13-eficiencia-energ3a9tica-en-la-construccic3b3n-en-ecuador-021412.pdf>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (Febrero de 2018). NEC - HS - EE. EFICIENCIA ENERGÉTICA en Edificaciones Residenciales (EE). Ecuador. Recuperado el Octubre de 05 de 2020, de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Normalización Española. (1999, Abril). UNE - EN ISO 140- 4. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. España. Recuperado el Septiembre 14, 2020, de <https://www.en.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une?c=N0051626>
- Normalización Española. (Diciembre de 2014). UNE EN ISO 2440:2001. Materiales poliméricos celulares flexibles y rígidos. Ensayos de envejecimiento acelerado. España. Recuperado el 16 de Octubre de 2020, de <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?c=N0054132>
- Normalización Española. (2006, Octubre). UNE - EN ISO 7730. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. Recuperado el Septiembre 26, 2020, de <https://www.normativa-iso-une-pdf.com/descarga/pdf/une-en-iso-77302006/>

-
- Normalización Española. (1984). UNE 74040 . MEDIDA DEL AISLAMIENTO ACUSTICO DE LOS EDIFICIOS Y DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS. MEDIDA "IN SITU" DEL AISLAMIENTO AL RUIDO AEREO ENTRE LOCALES. Recuperado el 22 de Octubre de 2020, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0021067>
- Normalización Española. (2012, Abril). UNE - EN ISO 6946. Componentes y elementos para la edificación. Resistencia térmica y transmitancia térmica. Ecuador. Recuperado el Septiembre 19, 2020, de <https://www.en.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une?c=N0051626>
- Normalización Española. (Diciembre de 2014). UNE EN ISO 2440:2001. Materiales poliméricos celulares flexibles y rígidos. Ensayos de envejecimiento acelerado. España. Recuperado el 16 de Octubre de 2020, de <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?c=N0054132>
- Normalización Española. (2015). UNE - EN 13162 :2013. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana mineral (MW). España. Recuperado el 22 de Octubre de 2020, de <https://www.en.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une?c=N0051626>
- Observatorio Industrial del Sector del Metal. (2010). El sector de reciclaje de metales en España, 138. España. Recuperado el 02 de Febrero de 2020
- Odum, E., & Warret, G. (2006). Fundamentos de Ecología. Thomson. Recuperado el 15 de Junio de 2020
- Ortega Toledano, P. (2017). *Aplicación de refractarios de microsilice en un horno de fusión de reciclado de Aluminio*. (Tesis Fin de Carrera). Escuela Técnica Superior para Ingenieros de Minas y Energías.
- Palomo, M. (2017). AISLANTES TÉRMICOS CRITERIOS DE SELECCIÓN POR REQUISITOS ENERGÉTICOS. España: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf
- Padilla, J., & Álvarez, C. (2016, Junio). Influencia del vidrio, azufre y sales de metales alcalinos en la porosidad del aluminio reciclado. Portal de la Ciencia(10), 76 - 92. Recuperado el Enero 10, 2020
- Pando Bacuilima , F., & Zapatán Palacios, C. (2012). Análisis del proceso de fundición de aluminio y propuestas de mejoras en la eficiencia de producción de bases dentadas en la empresa PRESS FORJA S.A, 373. Cuenca, Azuay, Ecuador. Recuperado el 12 de Enero de 2020, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2129>
- Patiño Novillo, C., & Serrano Ullauri, R. (2016). Caracterización del aluminio que se recicla en la ciudad de Cuenca, en miras de aprovecharlo para la fabricación de partes automotrices. Cuenca, Ecuador. Recuperado el 12 de Mayo de 2020, de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6234>

-
- Paya Peinado, M. (1976). Aislamiento y Acondicionamiento Acustico en la Edificación. En *El Libro Español* (pág. 148). Barcelona, España. Recuperado el 16 de Julio de 2020
- Peña Romero, B. (Julio de 2016). PANEL PREFABRICADO A BASE DE FIBRAS NATURALES, 142. Cuenca, Ecuador.
- Piña, A. (03 de Mayo de 2015). Explotaciones de bauxita en el mundo. Recuperado el 15 de Noviembre de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/275716628_Explotaciones_de_bauxita-_en_el_Mundo
- PMCE. (2019). Presupuesto de Carbono, 03, 6 - 7. Recuperado el 24 de Abril de 2020
- Pro Materiales. (s.f.). Aluminio en la Construcción sostenibilidad maleable. *Pro Materiales*, 38-54. <https://promateriales.com/pdf/pm0706.pdf>
- Quimbita Naranjo, R. G., & Navarro Ramón, W. M. (2016). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa industrial dedicada a la fabricación e instalación de aluminio y vidrio, ubicada en el barrio Edén del Valle, del Distrito Metropolitano de Quito*. (Trabajo de Titulación). Universidad Central del Ecuador. Recuperado el 22 de Noviembre de 2019, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15378>
- Quimpac Ecuador S.A. (s.f.). Quimpac Ecuador S.A. Recuperado el 26 de Agosto de 2020, de <https://www.quimpac.com.ec/>
- Recemsa. (2020). RECUPERACIÓN DE CHATARRA. Recuperado el 2020, de <https://www.elchattarrero.com/>
- Reyes Ortiz, O., Camacho Tauta, J., & Troncoso R, J. (2006). Uso de cloruro de sodio en bases granulares. *Dialnet*, 16(1), 9. Recuperado el Febrero 18, 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2332333>
- Reyes Ortiz, O., Camacho Tauta, J., & Troncoso Rivera, J. (2006). Uso de cloruro de sodio en bases granulares. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 16(1), 63 - 71. Recuperado el 10 de Mayo de 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=9629>
- Ríos Ocampo, J. P., Olaya Morales, Y., & Rivera León, G. J. (2017). Proyección de la demanda de materiales de construcción en Colombia por medio de análisis de flujos de materiales y dinámica de sistemas. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 75-95. <https://doi.org/10.22395/rium.v16n31a4>
- Román Ortega, F. (1992). INTRODUCCIÓN A LA RECUPERACIÓN Y RECI-CLADO DE LOS METALES NO FERREOS. España: Instituto Tecnológico Geo-Minero dde España.
- Salomón, A. (2005). La industria de los materiales de construcción. *COMERCIO EXTERIOR*, 55(6). Recuperado el Enero de 2020

-
- Garrido, F., Sampaio, J., Medeiros, M., Santos, R., & Silva, F. (2008). ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA BAUXITA DEL NORTE DEL BRASIL. IX JATRAMI. <https://www.cetem.gov.br/imagens/congressos/2008/CAC01310008.pdf>
- Sánchez Muñoz, L., García Guinea, J., Saenz, J., & Carda, J. (05 de Mayo de 2003). Feldespatos, materias primas fundentes y otros materiales afines. Recuperado el 15 de Agosto de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/285883498_Feldespatos_materias-_primas_fundentes_y_otros_materiales_afines/citation/download
- Schneider, H., & Samaniego, J. (2010). La Huella de carbono en la Producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)(46). Recuperado el Mayo 22, 2020, de http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3753/S2009834_es.pdf?sequence=1
- Sistema Español de Inventario de Emisiones Metodologías. (2000). *FABRICACIÓN DE ALUMINIO (EMISIONES DE PROCESO)*. SEI. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/040301-fabric-aluminio_tcm30-502319.pdf
- SIDESA . (s.f). Silicatos y Derivados S.A de C.V, 33. México. Recuperado el 05 de Octubre de 2020, de [https://aniq.org.mx/pqta/pdf/Respaldo/Sulfato%20de-%20Al.Sol.%20Libre%20de%20Fe\(toda%20LIT\).pdf](https://aniq.org.mx/pqta/pdf/Respaldo/Sulfato%20de-%20Al.Sol.%20Libre%20de%20Fe(toda%20LIT).pdf)
- Slideshare. (21 de Febrero de 2015). El Magnesio. Recuperado el 19 de Agosto de 2020, de <https://es.slideshare.net/irv01/el-magnesio-44960690>
- Soria Soto, L. A. (2013). *DISEÑO DE UN PLAN DE PRODUCCIÓN BASADO EN UN ANÁLISIS DEL INVENTARIO Y DE LA DEMANDA*, 147. (Mestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. Recuperado el 23 de Octubre de 2019. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11094>
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2018). Bauxita Balance 2012 - 2016. Modelo de oferta y demanda 2018 - 2035. UPME. http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-nal/MNAL_bauxita.pdf
- Valentin Reveberi, O. (1982). Carbonato de Sodio Natural en la República Argentina. Servicio Minero Nacional. Recuperado el 12 de Agosto de 2020, de <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/3485>
- Velasco Hernández, F. J. (2004). LA SOSA-BARRILLA: UNA SEÑA DE IDENTIDAD DEL CAMPO DE CARTAGENA EN LOS SIGLOS XVI AL XIX. *Revista Murciana De Antropología*, (10), 145-158. Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/rmu/article/view/72361>
- Vicentin, M., Nasich, L., Mansilla Bossa, F., & Kersul Diaz, R. (2018). El Aluminio, 31. Recuperado el 12 de Noviembre de 2019

Villegas, J., Castaño, J., & Paredes, D. (Octubre de 2005). Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en plantas de potabilización de agua. *Scientia et Technica*, 223 - 228. doi:<https://doi.org/10.22517/23447214.6847>

Wikipedia. (2019, Octubre). Soplete. Recuperado el Septiembre 22, 2020, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Soplete>

Zarza Ospino, M., Vargas Torres, R., Acevedo Monterrosa, M., Torres Montes, E., & Herazo Padilla, B. (2018, Octubre). Ensayo de resistencia a la flexión. Recuperado el Octubre 17, 2020, de [researchgate.net/publication/328518073_ENSAYO_DE_RESISTENCIA_A-_LA-_FLEXION](https://researchgate.net/publication/328518073_ENSAYO_DE_RESISTENCIA_A_LA_FLEXION)

AMÉXOS

Cap 1 - Cap 2 - Cap 3

ANEXO 1. Marco teórico	153
ANEXO 1.1 Obtención de datos en campo.....	153
ANEXO 1.2 Costos del aluminio reciclado en relación a las diferentes empresas.....	154
ANEXO 2. Diseño y experimentación de revestimientos de aluminio reciclado	155
ANEXO 2.1 Costos y lugares de obtención de materia prima	155
ANEXO 3. Resultado de los ensayos	156
ANEXO 3.1 Cálculo y resultados a la compresión.....	156
ANEXO 3.2 Cálculo y resultados a la flexión.....	161
ANEXO 3.3 Resultados y gráficos de los ensayos de aislamiento térmico	165
ANEXO 3.4 Tabla de valores de conductividad térmica de varios materiales	168

Marco Teórico

Anexo 1.1 Obtención de datos en campo



Anexo 1.2 Costos del aluminio reciclado en relación a las diferentes empresas

Empresa	Dirección	Sector	Costo	
			Kg	Lb
ALUCENTER	José Martí, Cuenca	Monay	1.00	0.60
VITRALUM	Octavio Cordero 3 - 57 y Mariscal Lamar	San Sebastián	0.90	0.55
EL CONSTRUCTOR	Huayna Cápac y José Joaquín de Olmedo	Chola cuencana	0.90	0.55
TALLER MIL USOS	Alfonso Bernal S/ N	Ricaurte	0.80	0.45
ALUTEC	Calle Vieja y Elia Liut	Miraflores	1.00	0.60
INCOA	Av. de las Américas y Miguel Cabello	Yanuncay	0.85	0.50
ADISCOM	Av. de las Américas y Don Bosco	Don Bosco	1.00	0.60
ALANCAR	Paseo de los Cañaris 5 - 35 y Cacique	El Vergel	0.90	0.50
RECIMETAL S.A	Av. de las Américas	Quinta chica	1.40	0.80
REXMETAL S.A	Av. de las Américas	Quinta chica	1.40	0.80
RECICLAMETAL Cia. Ltda	Av. de las Américas	Quinta chica	1.40	0.80
METALAUSTRO Cia. Ltda	Av. de las Américas	Quinta chica	1.40	0.80

Fuente y Elaboración: Autores

Anexo 2 Diseño y experimentación de revestimientos de aluminio reciclado

Anexo 2.1 Costos y lugares de obtención de materia prima

Material	Estado y color del material	Lugar de obtención a nivel nacional	Lugar de obtención a nivel local	Costo	
				Lb	Kg
Aluminio	Sólido (Plomo)	CEDAL & FISA	Taller INCOA Taller MIL USOS	0.75 - 1.60 ctvs.	1.20 - 2.80 ctvs.
Cloruro de sodio	Sólido Granular (Blanco)	Emprosal S.A	Supermercado SUPERMAXI	\$0.90	-
Carbonato de sodio	Sólido Polvo (Blanco)	QUIMPAC S.A & RESIQUIM S.A	Botica Olmedo La Drogería	\$3.80	\$7.10
Sulfato de Aluminio	Sólido Granular (Blanco)	QUIMPAC & FERMAGRI S.A	Distribuciones Agrícolas R.G.	\$3.90	\$7.30
Cloruro de magnesio	Sólido Cristales (Blanco)	FERMAGRI S.A	Botica Olmedo Botica Internacional	\$12.50	\$24.00
Magnesio	Sólido Polvo (Blanco)	FERMAGRI S.A	UNISPORT John S.	\$4.50 - 6.00	\$9.00 - \$10.00
Feldespatos	Sólido Granular (Marrón)			-	

Fuente y Elaboración: Autores

Anexo 3 Resultado de los ensayos

Anexo 3.1 Cálculo y resultados a la compresión



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

ENSAYO A LA COMPRESIÓN

Proyecto:	UNA VISIÓN CONTEMPORÁNEA: ELABORACIÓN DE REVESTIMIENTOS CON ALUMINIO RECICLADO
Muestra	PANEL PREFABRICADO DE ALUMINIO
Solicitado por:	ADRIÁN BENALCÁZAR Q. / MA. BELÉN GUAMBAÑA S.
Fecha de ensayo:	09 – NOVIEMBRE-2020
Norma:	ASTM E9
Tamaño de la muestra:	9 cm x 9 cm
Número de muestras:	6

Fórmulas utilizadas:



$$\phi = A = \frac{\pi \cdot r^2}{4}$$

En donde: ϕ = área circular
 π = constante
 r = área cuadrangular

$$P = \frac{F}{A}$$

En donde: P = resistencia a la compresión
 F = fuerza máxima
 A = área cuadrangular

Adrián Benalcázar Q.

Estudiante

Ma. Belén Guambaña S.

Estudiante

Ing. Marco González.

Laboratorista

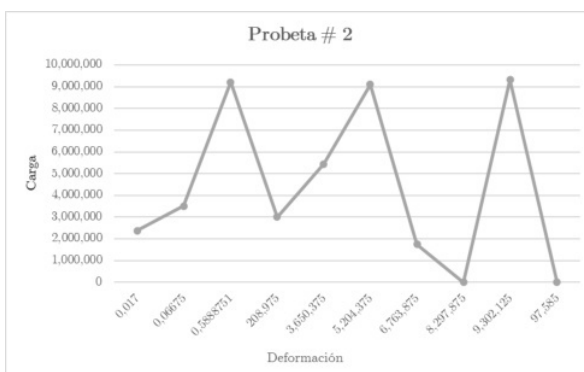
PROBETA #1

Tiempo (seg)	Fuerza (Kgf)	Desplazamiento (mm)
1	1,368	0,25175
3	2,726,826	1,168,125
5	4,906,795	2,180,875
7	747,219	3,213,625
9	1,120,974	4,247
11	1,895,941	5,281,125
13	2976,85	631,325
15	4,803,811	7,336,626
17	8,542,045	8,344,625
19	13838,38	9,001,375



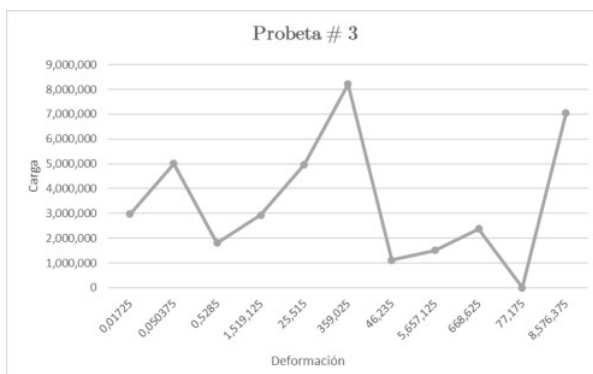
PROBETA #2

Tiempo (seg)	Fuerza (Kgf)	Desplazamiento (mm)
1	2,379,328	0,017
4	3,507,401	0,06675
7	9,215,842	0,5888751
10	3,001,389	208,975
13	5,441,334	3,650,375
16	9,098,173	5,204,375
19	1,746,861	6,763,875
22	4805,95	8,297,875
24	9,320,999	9,302,125
25	13751,05	97,585



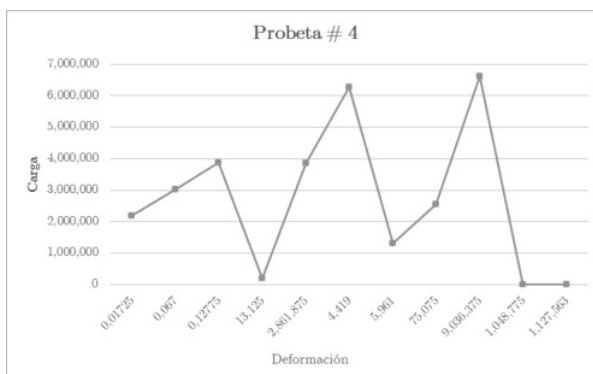
PROBETA #3

Tiempo (seg)	Fuerza (Kgf)	Desplazamiento (mm)
1	2,969,297	0,01725
3	5,001,774	0,050375
5	1,799,407	0,5285
7	2,932,343	1,519,125
9	4,970,979	25,515
11	8,211,597	359,025
13	1,115,658	46,235
15	1,513,466	5,657,125
17	2,372,196	668,625
19	3910,46	77,175
21	7,046,408	8,576,375



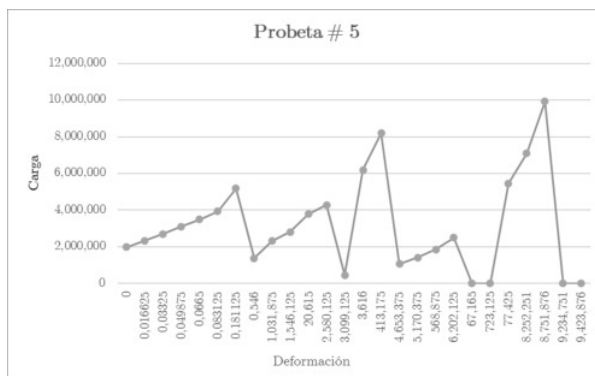
PROBETA #4

Tiempo (seg)	Fuerza (Kgf)	Desplazamiento (mm)
1	2,197,798	0,01725
4	3,024,404	0,067
7	3,876,942	0,12775
10	206,619	13,125
13	3,860,734	2,861,875
16	6,279,285	4,419
19	1,319,295	5,961
22	2,554,082	75,075
25	6,617,934	9,036,375
28	22554,99	1,048,775
30	53251,43	1,127,563



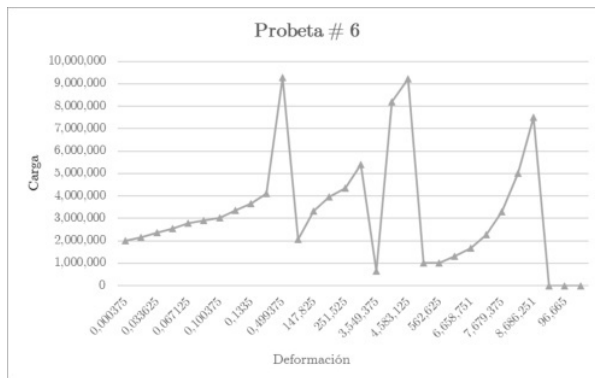
PROBETA #5

Tiempo (seg)	Fuerza (Kgf)	Desplazamiento (mm)
0	1,993,578	0
1	2,333,945	0,016625
4	3,491,193	0,0665
7	1,380,593	0,546
10	3,789,095	20,615
13	6,185,603	3,616
16	1,413,852	5,170,375
19	3333,36	67,165
22	7,093,476	8,252,251
23	9,921,309	8,751,876
24	14091,19	9,234,751
25	16278,88	9,423,876



PROBETA #6

Tiempo (seg)	Fuerza (Kgf)	Desplazamiento (mm)
0	2,003,303	0,000375
1	2,149,174	0,017
4	2,797,493	0,067125
7	3,361,529	0,117
10	9,287,157	0,499375
13	3,962,845	1,997,125
16	659,534	3,549,375
19	1,013,386	50,985
22	1,673,115	6,658,751
25	5,024,887	8,184,501
28	15564,08	96,665
29	22219,42	1,007,688



Tablas generales de cálculo aplicando las fórmulas

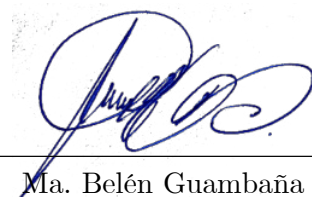
	Tiempo (seg)	Fuerza máx. (Kg/f)	Desplazamiento (mm)
Probeta #1	19	13838,38	9,001,375
Probeta #2	25	13751,05	97,585
Probeta #3	21	7,046,408	8,576,375
Probeta #4	30	53251,43	1,127,563
Probeta #5	25	16278,88	9,423,876
Probeta #6	29	22219,42	1,007,688

	Fuerza máx. (Kg/f)	Área probeta (cm2)	Resis. a la compresión (kN)
Probeta #1	13838.38	81	170.84
Probeta #2	13751.05	81	169.77
Probeta #3	7046.30	81	86.99
Probeta #4	53251.43	81	657.43
Probeta #5	16278.88	81	200.97
Probeta #6	22219.42	81	274.31
		Total	1560.31
		Promedio	260.052



Adrián Benalcázar Q.

Estudiante



Ma. Belén Guambaña S.

Estudiante



Ing. Marco González.

Laboratorista

Anexo 3.2 Cálculo y resultados a la flexión



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

ENSAYO A LA FLEXIÓN

Proyecto:	UNA VISIÓN CONTEMPORÁNEA: ELABORACIÓN DE REVESTIMIENTOS CON ALUMINIO RECICLADO
Muestra	PANEL PREFABRICADO DE ALUMINIO
Solicitado por:	ADRIÁN BENALCÁZAR Q. / MA. BELÉN GUAMBAÑA S.
Fecha de ensayo:	09 - NOVIEMBRE-2020
Norma:	ASTM D790 o ISO 178
Tamaño de la muestra:	20cm x 4 cm
Número de muestras:	3
Fórmulas utilizadas:	:

$$Y(X) = 0.30935355 * X(D) + 0.43186871$$

$$Y(X) = 0.799505415 * X(D) + -295.78717$$

En donde: X = lectura de carga

D = deformación

Y = carga

$$\delta = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2}$$

En donde: δ = tensión en las fibras externas en el punto medio

P = carga máxima

L = espacio de apoyo

b = ancho de la viga probada

d = profundidad de la viga probada



Adrián Benalcázar Q.

Estudiante

Ma. Belén Guambaña S.

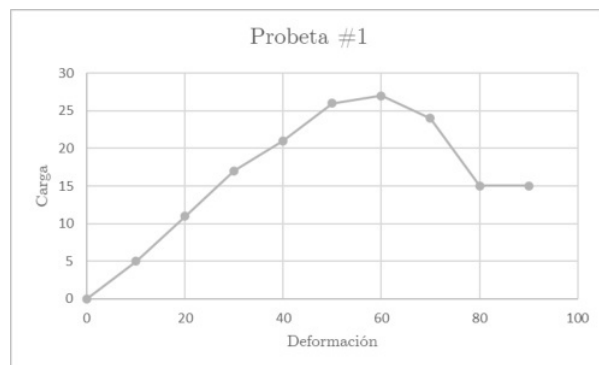
Estudiante

Ing. Marco González.

Laboratorista

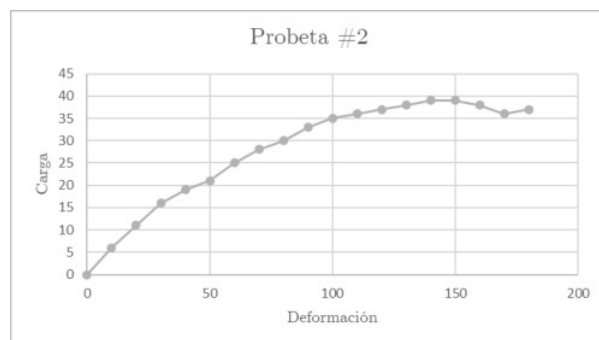
PROBETA #1

Deformación	Lectura de Carga (Kgf)	Carga (lb)
0	0	0
10	5	2
20	11	4
30	17	6
40	21	7
50	26	8
60	27	9
70	24	8
80	15	5
90	15	5

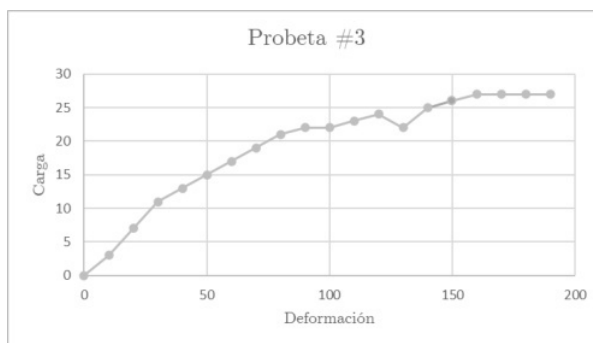


PROBETA #2

Deformación	Lectura de Carga (Kgf)	Carga (lb)
0	0	0
10	6	2
20	11	4
30	16	5
40	19	6
50	21	7
60	25	8
70	28	9
80	30	10
90	33	11
100	35	11
110	36	12
120	37	12
130	38	12
140	39	12
150	39	12
160	38	12
170	36	12
180	37	12



PROBETA #3		
Deformación	Lectura de Carga (Kgf)	Carga (lb)
0	0	0
10	3	1
20	7	2
30	11	4
40	13	4
50	15	5
60	17	6
70	19	6
80	21	7
90	22	7
100	22	7
110	23	8
120	24	8
130	22	7
140	25	8
150	26	8
160	27	9
170	27	9
180	27	9
190	27	9



Tablas generales de cálculo aplicando las fórmulas

	Deformación	Lectura de Carga (Kgf)	Carga (kN)
Probeta #1	60	27	9
Probeta #2	140	39	12
Probeta #3	160	27	9

	(P)	(L)	(b)	(d)	(δ)
Probeta #1	9	15	4	1.2	35.16
Probeta #2	12	15	4	1.2	46.88
Probeta #3	9	15	4	1.2	35.16
				Total	117.19
				Promedio	39.06



Adrián Benalcázar Q.

Estudiante

Ma. Belén Guambaña S.

Estudiante

Ing. Marco González.

Laboratorista

Anexo 3.3 Resultados y gráficos de los ensayos de aislamiento térmico



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

ENSAYO DE AISLAMIENTO TÉRMICO

Proyecto:	UNA VISIÓN CONTEMPORÁNEA: ELABORACIÓN DE REVESTIMIENTOS CON ALUMINIO RECICLADO
Muestra	PANEL PREFABRICADO DE ALUMINIO
Solicitado por:	ADRIÁN BENALCÁZAR Q. / MA. BELÉN GUAMBAÑA S.
Fecha de ensayo:	02/ 03 – NOVIEMBRE-2020
Norma:	ISO 7730 – INEN 2506
Tamaño de la muestra:	MÓDULO EXPERIMENTAL CUBICO DE 38cm X 38 cm
Número de muestras:	1
Fórmulas utilizadas:	:

$$a = \frac{8.1 W}{m^2 \cdot K}$$

$$Q = a \times S \times (T_1 - T_2)$$

$$R = \left(\frac{T_1 - T_2}{Q} \right)$$

$$k = \frac{d}{(R - S)}$$

Adrián Benalcázar Q.

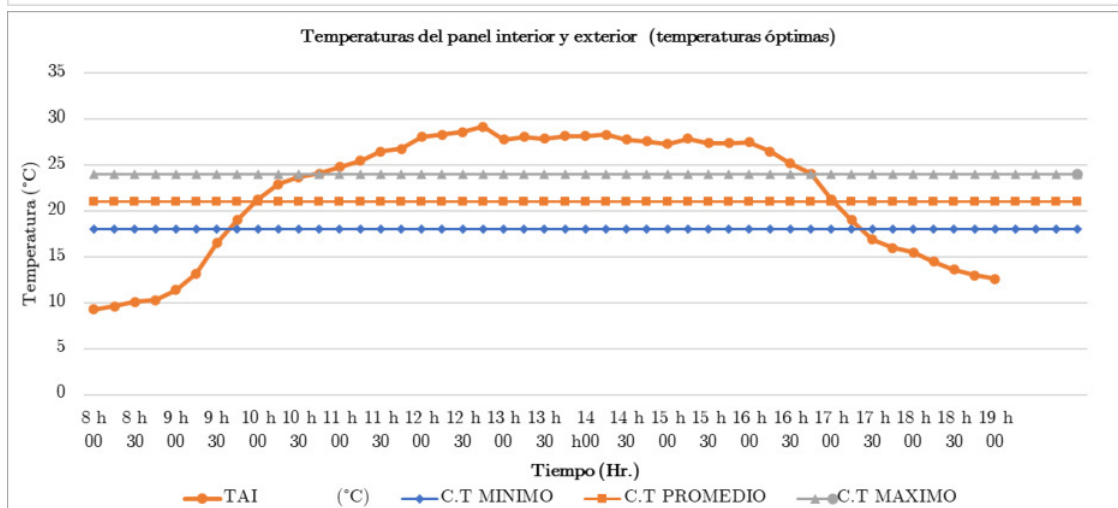
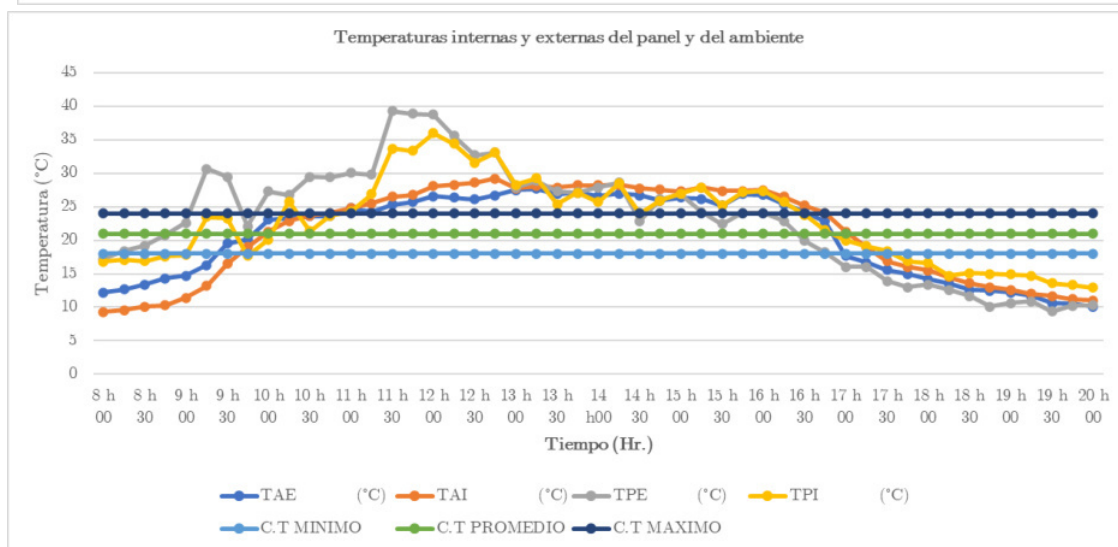
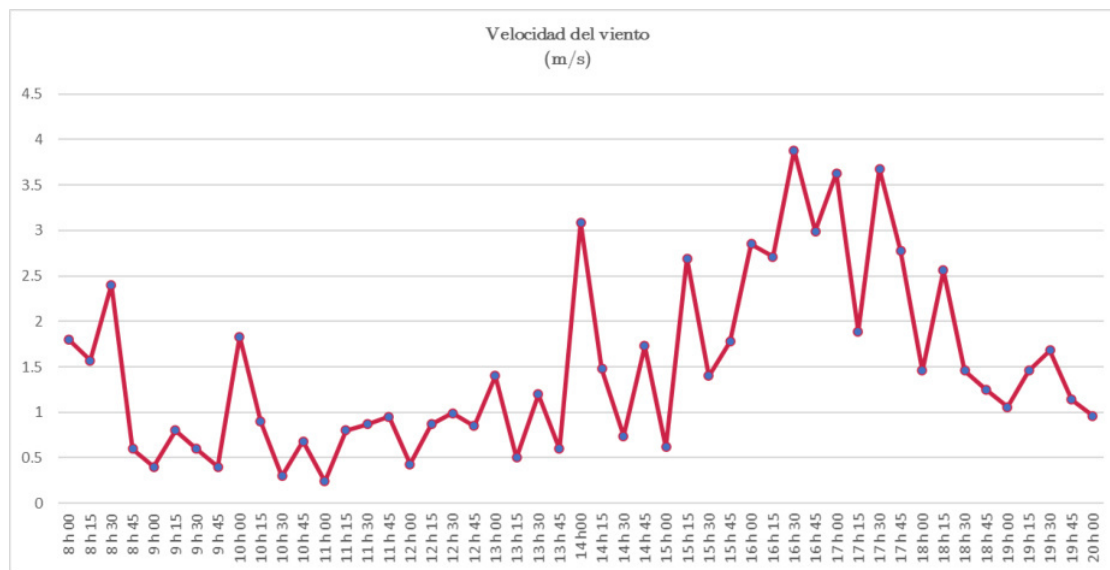
Estudiante

Ma. Belén Guambaña S.

Estudiante

Determinación de conductividad térmica del material del panel propuesto.

Fecha	Hora	TAE (°C)	TAI (°C)	TPE (°C)	TPI (°C)	HAE. (°C)	HAI. (°C)	VVE (m/s)
03-nov-20	8 h 00	12.2	9.3	17.2	16.8	n/a	n/a	1.8
	8 h 15	12.7	9.6	18.4	17.1	n/a	n/a	1.57
	8 h 30	13.4	10.1	19.2	16.9	n/a	n/a	2.4
	8 h 45	14.3	10.3	20.8	17.6	n/a	n/a	0.6
	9 h 00	14.7	11.4	22.6	17.8	n/a	n/a	0.4
	9 h 15	16.3	13.2	30.7	23.5	n/a	n/a	0.8
	9 h 30	19.5	16.5	29.5	23.3	n/a	n/a	0.6
	9 h 45	20.1	19	22.1	17.7	n/a	n/a	0.4
	10 h 00	23.1	21.3	27.3	20.1	n/a	n/a	1.83
	10 h 15	23.3	22.9	26.8	25.8	n/a	n/a	0.9
	10 h 30	23.6	23.7	29.5	21.4	n/a	n/a	0.3
	10 h 45	23.6	24.1	29.4	23.7	n/a	n/a	0.68
	11 h 00	24.8	24.8	30.1	24.3	n/a	n/a	0.24
	11 h 15	24.2	25.5	29.8	26.9	n/a	n/a	0.8
	11 h 30	25.3	26.5	39.3	33.7	n/a	n/a	0.87
	11 h 45	25.7	26.8	38.9	33.4	n/a	n/a	0.95
	12 h 00	26.6	28.1	38.8	36	n/a	n/a	0.43
	12 h 15	26.4	28.3	35.6	34.4	n/a	n/a	0.87
	12 h 30	26.1	28.6	32.7	31.6	n/a	n/a	0.99
	12 h 45	26.7	29.2	33.1	33.1	n/a	n/a	0.85
	13 h 00	27.5	27.8	27.9	28.3	n/a	n/a	1.4
	13 h 15	27.7	28.1	28.9	29.3	n/a	n/a	0.5
	13 h 30	26.9	27.9	27.3	25.4	n/a	n/a	1.2
	13 h 45	27.1	28.2	27.2	27.1	n/a	n/a	0.6
14 h 00	26.6	28.2	27.9	25.7	n/a	n/a	3.09	
14 h 15	27	28.3	28.6	28.5	n/a	n/a	1.48	
14 h 30	26.7	27.8	22.9	24	n/a	n/a	0.74	
14 h 45	25.9	27.6	26.1	25.9	n/a	n/a	1.73	
15 h 00	26.4	27.3	26.9	27	n/a	n/a	0.62	
15 h 15	26.2	27.9	24.2	27.9	n/a	n/a	2.69	
15 h 30	25.2	27.4	22.4	25.2	n/a	n/a	1.4	
15 h 45	26.9	27.4	24.1	27.2	n/a	n/a	1.78	
16 h 00	26.8	27.5	24.1	27.4	n/a	n/a	2.85	
16 h 15	25.4	26.5	22.9	25.7	n/a	n/a	2.71	
16 h 30	24.3	25.2	19.9	23.8	n/a	n/a	3.88	
16 h 45	22.8	24.1	18.2	21.5	n/a	n/a	2.99	
17 h 00	17.7	21.3	16	20	n/a	n/a	3.63	
17 h 15	16.7	19	16	19.1	n/a	n/a	1.89	
17 h 30	15.6	16.9	13.9	18.4	n/a	n/a	3.68	
17 h 45	15	16	13	16.9	n/a	n/a	2.78	
18 h 00	14.2	15.5	13.4	16.6	n/a	n/a	1.46	
18 h 15	13.5	14.5	12.6	14.7	n/a	n/a	2.56	
18 h 30	12.6	13.6	11.7	15.1	n/a	n/a	1.46	
18 h 45	12.5	13	10.1	15	n/a	n/a	1.25	
19 h 00	12.2	12.6	10.6	14.9	n/a	n/a	1.06	
19 h 15	11.7	12	10.9	14.7	n/a	n/a	1.46	
19 h 30	10.6	11.7	9.4	13.6	n/a	n/a	1.68	
19 h 45	10.5	11.2	10.2	13.3	n/a	n/a	1.14	
20 h 00	10.1	11	10.3	12.9	n/a	n/a	0.96	
PROMEDIOS		20.93	21.33	23.31	23.07	-	-	1.50



Anexo 3.4 Tabla de valores de conductividad térmica de varios materiales

	Materiales	M. Prima	M. Secundario	Formato	Dimensi ones (cm)	Espesor (cm)	Densidad (kg/m ²)	Conduc. Térmica (W/mk)
Tradicionales	Adobe	Arcilla	Arena y Paja	Bloque	20 x 40	15 20	450	0.024
	Bahareque	Arcilla	Madera y Carrizo			15 20	120	0.45 0.8
	Bloques de paja	Paja	Madera y Carrizo	Fardo	40 x 80	20 45	100	0.045 0.065
	Entramado de Bambú	Bambú	Metal	Caña	3000	10	700	0.5
Prefabricados	Yeso Cartón	Yeso	Cartón	Panel	1.22 x 3.44	1.2 2.5	900 1000	0.21
	OSB	Madera	Resina sintética	Panel	1.22 x 3.44	25	600 660	0.13
	Plywood	Madera	Resina sintética	Panel	1.22 x 3.44	0.4 1.8	400 500	0.15
	MDF	Madera	Resina sintética	Panel	1.22 x 3.44	0.3 3.8	350 500	0.065 0.17
	Plasbam	Bambú	Resina sintética	Panel	1.22 x 3.44	2 3.5	700	0.2
	Esterbam	Bambú	Resina sintética	Panel	1.22 x 3.44	1 1.5	400	0.15
	RedBond	Aluminio		Panel	1.22 x 3.44	2.0 3.0	355 555	0.207
	Aluminobond	Aluminio		Panel	1.22 x 3.44	0.3 0.4		0.015
Aislantes	Fibras de madera	Madera	Madera	Rollo y panel	60 x 120	4 10	25	0.04
	Fibra de lino	Lino	Resina sintética	Rollo y panel	50 x 120	40 100	25	0.04
	Fibras de coco	Coco	Resina sintética	Rollo y panel	62 x 120	1.3 4	50 140	0.045 0.05
	Corcho	Corcho	Resina natural	Panel	50 x 120	02 10	80 200	0.04 0.055

Fuente y Elaboración: Autores

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

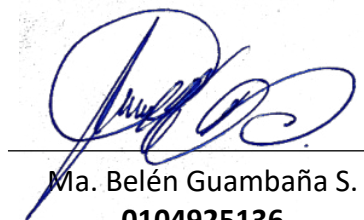
Nosotros, **Adrián Benalcázar Quizhpi**, con cédula de identidad 0104793377, y **Ma. Belén Guambaña Sánchez**, con cédula de identidad 0101925136. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación denominado **“Una visión contemporánea: Elaboración de revestimientos con aluminio reciclado”**, 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 114 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 22 de febrero de 2021

Atentamente



Adrián Benalcázar Q.
0104793377



Ma. Belén Guambaña S.
0104925136