

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ing. Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Arquitectura



**ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE FACHADA MULTICAPAS UTILIZANDO
COMO COMPONENTE DE REVESTIMIENTO MADERA TRATADA
TÉRMICAMENTE A UNA EDIFICACIÓN CON TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA
BALLOON FRAME PARA MEJORAR SU EFICIENCIA ENERGÉTICA Y
HABITABILIDAD EN LA CIUDAD DE MOLLENDO, AREQUIPA - PERÚ 2021**

Tesis presentada por el Bachiller:

Ayala Castro, Kenneth Bernie

para optar el Título Profesional de

Arquitecto

Asesor:

Arq. Márquez Arrisueño, Víctor

Arequipa- Perú

2021

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ARQUITECTURA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 25 de Mayo del 2021

Dictamen: 001415-C-EPA-2021

Visto el borrador del expediente 001415, presentado por:

2013402411 - AYALA CASTRO KENNETH BERNIE

Titulado:

ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE FACHADA MULTICAPAS UTILIZANDO COMO COMPONENTE DE REVESTIMIENTO MADERA TRATADA TÉRMICAMENTE A UNA EDIFICACIÓN CON TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA BALLOON FRAME PARA MEJORAR SU EFICIENCIA ENERGÉTICA Y HABITABILIDAD EN LA CIUDAD DE MOLLENDO, AREQUIPA - PERÚ 2021

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**2151 - LLANQUE CHANA JOSUE ELISEO
DICTAMINADOR**



**2469 - ZUÑIGA ALFARO ALVARO EDUARDO
DICTAMINADOR**



**3123 - PAREDES MALMA DANIELA KAREN
DICTAMINADOR**



Dedicatoria

A toda aquella persona que crea que el conocimiento y su correcta aplicación puedan transformar al mundo.



Agradecimientos

A mi familia por su constante apoyo, a mis maestros por su paciencia y dedicación, a las Instituciones que hicieron viable esta investigación y a mis amigos cercanos que me acompañaron en esta aventura.



RESUMEN

La eficiencia energética en la proyección de edificios es una variable poco desarrollada y valorada en la arquitectura peruana del día a día, esto sumado a una normativa nacional aún incipiente, genera una poca comprensión sobre la importancia de la habitabilidad y confort térmico, el consumo energético y los materiales biodegradables. Por ello la presente investigación tiene como objetivo comparar la aplicación de un sistema de fachada multicapas con un sistema balloon frame típico de la arquitectura costera de la ciudad de Mollendo, a través del análisis de variables como el coeficiente de transmisión térmica de los muros opacos de la edificación, la investigación del micro y macro clima y el estudio de las propiedades físicas de un material biodegradable como la madera tratada térmicamente. A través de un diseño metodológico de tipo experimental, se identificó los agentes atmosféricos de la ciudad de Mollendo a través del método de Scheffer, el grado de conservación del sistema balloon frame original mediante los estándares de la norma europea UNE-EN 335:2013, se determinó las propiedades físicas de la madera tratada térmicamente mediante normas ASTM e ISO, se establecieron variables de diseño del sistema de fachada multicapas (geometría del elemento, componentes de capas y resistencias térmicas) para finalmente validar el sistema propuesto a través de la metodología del Código Técnico de Edificación DB-HE y el software THERM. Los resultados mostraron que el factor de severidad climática para la casa de estudio en Mollendo se clasifica como “Severo”, significando la necesidad de una rehabilitación del edificio, respecto a la madera tratada térmicamente de la especie Tornillo, el coeficiente de absorción de agua se redujo en 73 % (lo que significa una mayor facilidad al momento de emplearlo), sus niveles de anisotropía se redujeron en un 26 % (representando una categoría de “muy estable” para trabajos de construcción); asimismo se observó una mejor textura y color y finalmente el

valor de transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame propuesto fue de $0.50 \text{ W/m}^2\text{K}$. Este valor es más que adecuado a lo solicitado por el Código Técnico de Edificación para una zona climática como la de Mollendo, significando la mejora en el confort térmico dentro de la vivienda en temporadas lluviosas o de invierno.

Palabras claves:

Madera tratada térmicamente, transmitancia térmica, sistema de fachada.



ABSTRACT

The energy efficiency in the projection of buildings is a variable little developed and valued in the Peruvian architecture of the day to day, this added to a still incipient national regulation, generates a little understanding about the importance of the habitability and thermal comfort, the energy consumption and biodegradable materials. For this reason, the present research aims to compare the application of a multilayer façade system with a balloon frame system typical of the coastal architecture of the city of Mollendo, through the analysis of variables such as the thermal transmission coefficient of the opaque walls of the building, the investigation of the micro and macro climate and the study of the physical properties of a biodegradable material such as heat-treated wood. Through an experimental methodological design, the atmospheric agents of the city of Mollendo were identified through Scheffer's method, the degree of conservation of the original balloon frame system through the standards of the European standard UNE-EN 335: 2013, The physical properties of the heat-treated wood were determined using ASTM and ISO standards, design variables of the multilayer facade system were established (element geometry, layer components and thermal resistance) to finally validate the proposed system through the methodology of the Technical Building Code DB-HE and THERM software. The results showed that the climatic severity factor for the study house in Mollendo is classified as "Severe", meaning the need for a rehabilitation of the building, with respect to the heat-treated wood of the Tornillo species, the water absorption coefficient is reduced by 73% (which means greater ease of use), its anisotropy levels were reduced by 26% (representing a category of "very stable" for construction work); Likewise, a better texture and color were observed and finally the thermal transmittance value of the opaque wall of the proposed balloon frame system was $0.50 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$. This value is more than adequate to what is requested by the Technical

Building Code for a climatic zone such as Mollendo, meaning the improvement in thermal comfort inside the house in rainy or winter seasons.

Key words:

Thermally treated wood, thermal transmittance, facade system.



INTRODUCCIÓN

Según el Boletín Epidemiológico del Perú (2018) “El descenso de temperaturas en la costa peruana sucede de manera precoz y por debajo de lo habitual, favoreciendo la circulación de virus de influenza y otros virus respiratorios (OVR) como los virus sincitiales respiratorios (VSR)”, en donde la temperatura mínima en Mollendo alcanza valores de 13,8 °C en invierno, siendo los meses entre junio y octubre los más fríos del año. Es en esta temporada donde la habitabilidad y durabilidad en las casas es más crítica debido a las filtraciones de humedad al interior de las construcciones, el choque térmico reduce la vida útil de los materiales sometidos al exterior, sumada a la abundante humedad relativa del ambiente que puede llegar a valores del 82 %.

Frente a esta situación presentada, se propone dar una solución arquitectónica a través de un sistema de fachada que evite las filtraciones de humedad y la pérdida de calor al interior de las construcciones, mejorando la calidad de vida de las personas que lo habitan.

El documento está compuesto de las siguientes partes:

El capítulo I, denominado como Generalidades, hace referencia al planteamiento del problema, la hipótesis, los objetivos, las limitaciones, justificación, viabilidad y metodología de la investigación.

El capítulo II, se refiere al Marco teórico y conceptual, donde se muestra el estado del arte, las bases teóricas y definiciones de términos básicos, señalando las terminologías y definiciones, que contribuyen a la comprensión teórica del estudio.

El capítulo III, contempla al Marco referencial, en el cual se analiza los procesos constructivos y constitución del sistema de fachada balloon frame y las técnicas de conservación de la madera

El capítulo IV, hace referencia al Marco Normativo, donde se examina la Norma

Técnica Peruana E.010, normas ASTM e ISO que sirvieron como base para realizar los ensayos de laboratorio en la madera tratada térmicamente.

El capítulo V, Marco operativo, se desarrolla el proceso de las etapas que permitieron evaluar el factor climático de la ciudad de Mollendo, las pruebas de laboratorio en la madera tratada térmicamente y el diseño y validación del sistema de fachada multicapas.

Finalmente, se analizó los resultados obtenidos entre el sistema de fachada balloon frame original y el sistema de fachada multicapas propuesto, así como las conclusiones finales y recomendaciones.



Índice General

<i>Dedicatoria</i>	ii
<i>Agradecimientos</i>	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN.....	viii
CAPITULO I.....	2
1. GENERALIDADES.....	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Formulación del Problema	3
1.2.1 Problema Principal	4
1.2.2 Problemas Secundarios	4
1.3 Hipótesis.....	4
1.4 Variables y definición operacional.....	4
1.4.1 Variable independiente (causa): El Sistema de Fachada Adaptativo	4
1.4.2 Variable dependiente (efecto): Habitabilidad y Vida útil de la vivienda	5
1.5 Objetivos de la Investigación	8
1.5.1 Objetivo General	8
1.5.2 Objetivos Específicos	8
1.6 Justificación de la Investigación	9
1.6.1 Importancia de la Investigación	9
1.6.2 Viabilidad de la Investigación	9
1.7 Limitaciones de la Investigación	10
1.8 Metodología.....	11
1.8.1 Enfoque de la investigación.....	11
1.8.2 Nivel de investigación.....	11
1.8.3 Método de investigación.....	12
1.8.4 Diseño metodológico.....	13
1.8.5 Método de muestreo.....	13
1.8.6 Tamaño de la muestra.....	13
1.8.7 Técnica e instrumentos	14
1.8.7.1 Instrumentos para recopilación de datos.....	14
1.8.7.2 Instrumentos y maquinaria de laboratorio	15
1.8.7 Proceso de recolección de datos.....	15
CAPITULO II.....	20
2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	20
2.1 Bases Teóricas.....	20

2.1.1 Sistema de Fachada Adaptativo	20
2.1.1.1 Diseño Receptivo	20
2.1.1.2 Diseño mediante ensamblaje (DFA).....	21
2.1.1.3 Diseño mediante desmontaje (DFD)	21
2.1.2 Revestimiento de edificios con madera tratada térmicamente	22
2.1.2.1 Durabilidad de la Termomadera:.....	22
2.1.2.2 Reconstrucción de fachadas de edificios con termo-madera:.....	23
2.1.3 Eficiencia energética y habitabilidad	25
2.1.3.1 Reconstrucción de objetos arquitectónicos y eficiencia energética:	25
2.1.3.2 Estándares de confort térmico	26
2.1.4 Software THERM	27
2.1.5 Software Design Builder	28
2.2 Definición de términos básicos	28
2.2.1 Edificios de consumo casi nulo.....	28
2.2.2 Transmitancia global de la envolvente térmica (K)	29
2.2.3 Diseño bioclimático	29
2.2.4 Confort	29
2.2.5 Aislamiento térmico de edificios	30
2.3 Estado del Arte	30
CAPITULO III.....	37
3. MARCO REFERENCIAL	37
3.1 La madera como material de construcción.....	37
3.2 Comercialización de la madera.....	37
3.3 Dimensiones Comerciales y Dimensiones Reales	39
3.4 Madera de construcción no estructural	41
3.4.1 Clasificación General.....	41
3.4.2 Usos según Densidades.....	42
3.4.3 Contenido de Humedad.....	43
3.4.4 Durabilidad Natural y Preservación	43
3.4.5 Requisitos de Calidad Generales	43
3.5 Protección de la Madera	44
3.5.1 Preservación	44
3.5.2 Métodos de Preservación.....	45
3.6 Sistema Estructural Entramado Global o Integral.....	47
3.6.1 Ventajas del Sistema Entramado.....	48
3.6.2 Desventajas del Sistema Entramado.....	49
3.7 Muros.....	50

3.8 Productos maderables semielaborados para revestimientos exteriores	51
3.8.1 Madera perfilada para revestimiento en paredes.....	52
CAPITULO IV	55
4. MARCO NORMATIVO	55
4.1 Variable: Sistema de Fachada Adaptativo	55
4.1.1 Reglamento Nacional de Edificaciones E.010	55
4.1.1.1 Diseño y construcción con madera del Reglamento Nacional (2006)...	55
4.1.1.2 Criterios de protección	56
4.1.1.3 Requisitos de fabricación y montaje.....	57
4.1.2 Métodos de prueba estándar para la medición directa del contenido de humedad de madera y materiales de base de madera – ASTM D4442 - 07.....	58
4.1.2.1 Método B – Secado en Horno (Secundario).....	59
4.1.3 Métodos de prueba estándar para densidad y gravedad específica (densidad relativa) de madera y materiales de base de madera – ASTM D2395 - 14.....	60
4.1.3.1 Método B – Volumen por inmersión de agua	62
4.1.4 Comportamiento higrotérmico de materiales y productos de construcción. Determinación del coeficiente de absorción de agua por inmersión parcial – EN ISO 15148:2002	64
4.2 Variable: Habitabilidad y Vida útil de la vivienda	69
4.2.1 Durabilidad de la madera y los productos derivados de la madera – Clases de uso – Norma Internacional ISO 21887.....	69
4.2.1.1 Definición de clases de uso	70
4.2.2 Código Técnico de la Edificación (CTE)	73
4.2.2.1 Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE).....	74
CAPITULO V	77
5. MARCO OPERATIVO	77
5.1 Etapa I: Agentes atmosféricos	77
5.1.1 Índice de exposición básica (I_{s0})	79
5.1.1.1 Exposición exterior.....	79
5.1.1.2 Exposición exterior en Mollendo	82
5.1.2 Factor de severidad climática (K_{s1})	85
5.1.2.1 Factor de severidad climática (K_{s1}) para la localidad de Mollendo.....	87
5.1.3 Discusión de resultados	88
5.1.3.2 Número Medio de días/mes con precipitación superior a 0,2 mm (D) ..	89
5.1.3.3 Índice de Scheffer para Mollendo - Islay	89
5.1.3.4 Índice de Exposición Básica (I_{s0})	89
5.1.3.5 Factor de Severidad Climática (K_{s1})	90
5.2 Etapa II: Estado de conservación del sistema constructivo	91
5.2.1 Clima del Material.....	93

5.2.1.1	Protección frente a la lluvia y la nieve:	93
5.2.1.2	Protección frente a la humidificación prolongada de las fachadas y revestimientos exteriores:	95
5.2.1.3	Protección frente a los ascensos de humedad	95
5.2.1.4	Protección frente a las condensaciones	96
5.2.2	Clases de servicio	98
5.2.2.1	Clase de servicio para del revestimiento exterior del objeto de estudio en Mollendo	99
5.2.2.1.4	Diseño constructivo en elementos ubicados al exterior (K_{s5})	108
5.2.3	Clases de uso	111
5.2.3.1	Clase de uso para el revestimiento exterior de la casa de estudio en Mollendo	113
5.2.4	Discusión de resultados	116
5.2.4.2	Clases de Uso	117
5.3	Etapa III: Propiedades físicas del revestimiento del sistema	118
5.3.1	Introducción	118
5.3.2	Método de ensayo	119
5.3.2.1	<i>Preparación de la Probeta</i>	119
5.3.2.2	Materiales y Equipos	122
5.3.3	Procedimiento	125
5.3.3.1	<i>Ensayo de Contenido de Humedad</i>	125
5.3.3.2	Ensayo de Densidad Básica	126
5.3.3.3	Ensayo de Coeficiente de Absorción	127
5.3.3.4	Ensayo de Estabilidad Dimensional	129
5.3.4	Variables y parámetros a medir y calcular	130
5.3.4.1	<i>Ensayo de Contenido de Humedad</i>	130
5.3.4.2	Ensayo de Densidad Básica	131
5.3.4.3	Ensayo de Coeficiente de Absorción	131
5.3.4.4	Ensayo de Estabilidad Dimensional	132
5.3.5	Resultados	134
5.3.5.1	Ensayos físicos sin tratamiento térmico	134
5.3.5.2	Ensayos físicos con madera tratada térmicamente a 160 °C	146
5.3.5.3	Ensayos físicos con madera tratada térmicamente a 180 °C	159
5.3.6	Discusión de resultados	173
5.3.6.1	Ensayo de Contenido de Humedad	173
5.3.6.2	Ensayo de Densidad Básica	174
5.3.6.2	Ensayo de Coeficiente de Absorción	176
5.3.6.2	Ensayo de Estabilidad Dimensional	177

5.4 Etapa IV: Diseño de sistema de fachada adaptativo	181
5.4.1 El aislamiento térmico de los edificios	181
5.4.1.1 Ámbito de aplicación	181
5.4.1.2 Tipologías constructivas.....	182
5.4.2 Materiales del sistema de fachada	184
5.4.2.1 Espuma de poliuretano	184
5.4.2.1 Elastómero de Poliuretano	186
5.4.2.1 Madera tornillo tratado térmicamente.....	188
5.4.3 Sistema de fachada propuesto	188
5.4.4 Discusión de resultados	190
5.4.4.1 Tipologías constructivas.....	190
5.4.4.2 Materiales del sistema de fachada multicapa.....	191
5.5 Etapa 5: Validación del sistema de fachada adaptativo	192
5.5.1 El Código Técnico de Edificación (CTE).....	192
5.5.1.1 Condiciones para el control de la demanda energética	193
5.5.1.1 Correlaciones de severidades climáticas estacionales y definición de zonas climáticas	196
5.5.1.2 Calculo de parámetros característicos de la envolvente.....	199
5.5.2 Transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame original	202
5.5.2.1 Resistencia Térmica del entablado exterior de madera pino radiata ..	203
5.5.2.2 Resistencia Térmica del papel fieltro.....	203
5.5.2.3 Resistencia Térmica del listón de madera pino radiata	203
5.5.2.4 Resistencia Térmica del enlucido de yeso	204
5.5.2.5 Resistencia Térmica de la cámara de aire	204
5.5.2.6 Resistencias Térmicas superficiales en relación al aire interior y exterior	204
5.5.2.7 Resistencias Térmicas total del componente constructivo	204
5.5.3 Transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame propuesto	207
5.5.3.1 Resistencia Térmica del entablado exterior de madera tornillo tratado térmicamente.....	208
5.5.3.2 Resistencia Térmica del elastómero de poliuretano	208
5.5.3.3 Resistencia Térmica de la espuma de poliuretano	209
5.5.3.4 Resistencia Térmica del listón de madera pino radiata	209
5.5.3.5 Resistencia Térmica del enlucido de yeso	209
5.5.3.6 Resistencia Térmica de la cámara de aire	209
5.5.3.7 Resistencias Térmicas superficiales en relación al aire interior y exterior	209
5.5.3.8 Resistencias Térmicas total del componente constructivo	209

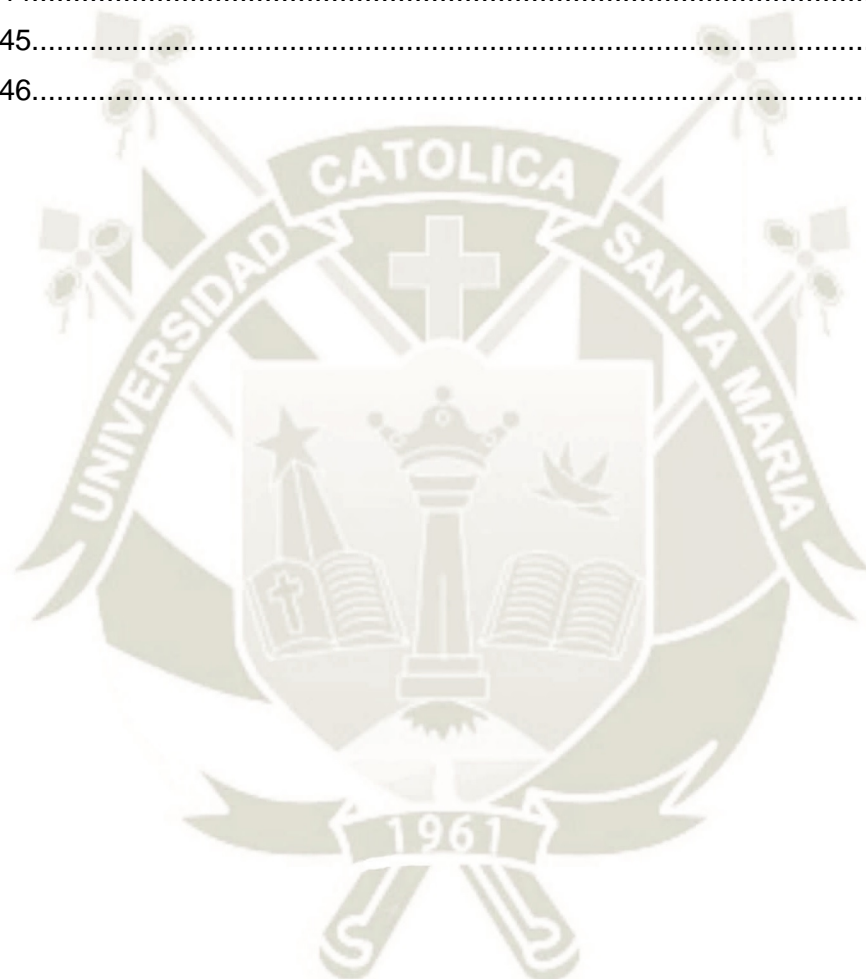
5.5.4	Discusión de resultados	212
5.5.4.1	Transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame original	212
5.5.4.2	Transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame propuesto	213
5.6	Contraste de la hipótesis.....	214
5.7	Conclusiones y recomendaciones.....	214
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	217
	ANEXOS.....	220



Índice de Tablas

Tabla 1.....	6
Tabla 2.....	83
Tabla 3.....	84
Tabla 4.....	84
Tabla 5.....	85
Tabla 6.....	86
Tabla 7.....	92
Tabla 8.....	98
Tabla 9.....	101
Tabla 10.....	104
Tabla 11.....	107
Tabla 12.....	109
Tabla 13.....	110
Tabla 14.....	111
Tabla 15.....	115
Tabla 16.....	134
Tabla 17.....	134
Tabla 18.....	136
Tabla 19.....	137
Tabla 20.....	138
Tabla 21.....	139
Tabla 22.....	140
Tabla 23.....	141
Tabla 24.....	142
Tabla 25.....	142
Tabla 26.....	143
Tabla 27.....	146
Tabla 28.....	148
Tabla 29.....	149
Tabla 30.....	150
Tabla 31.....	151
Tabla 32.....	153
Tabla 33.....	154
Tabla 34.....	155
Tabla 35.....	155
Tabla 36.....	156

Tabla 37.....	159
Tabla 38.....	161
Tabla 39.....	162
Tabla 40.....	163
Tabla 41.....	164
Tabla 42.....	166
Tabla 43.....	167
Tabla 44.....	168
Tabla 45.....	168
Tabla 46.....	169



Índice de Figuras

Figura 1.	38
Figura 2.	39
Figura 3.	41
Figura 4.	50
Figura 5.	51
Figura 6.	53
Figura 7.	56
Figura 8.	56
Figura 9.	63
Figura 10.	66
Figura 11.	68
Figura 12.	88
Figura 13.	100
Figura 14.	102
Figura 15.	103
Figura 16.	105
Figura 17.	106
Figura 18.	122
Figura 19.	123
Figura 20.	123
Figura 21.	124
Figura 22.	124
Figura 23.	125
Figura 24.	126
Figura 25.	127
Figura 26.	129
Figura 27.	130
Figura 28.	131
Figura 29.	160
Figura 30.	184
Figura 31.	189
Figura 32.	189
Figura 33.	193
Figura 34.	195
Figura 35.	196
Figura 36.	198

Figura 37.	201
Figura 38.	202
Figura 39.	202
Figura 40.	205
Figura 41.	205
Figura 42.	207
Figura 43.	208
Figura 44.	210
Figura 45.	211
Figura 46.	211



Índice de Gráficos

Gráfico 1.....	135
Gráfico 2.....	137
Gráfico 3.....	139
Gráfico 4.....	140
Gráfico 5.....	144
Gráfico 6.....	144
Gráfico 7.....	145
Gráfico 8.....	146
Gráfico 9.....	147
Gráfico 10.....	149
Gráfico 11.....	151
Gráfico 12.....	152
Gráfico 13.....	153
Gráfico 14.....	157
Gráfico 15.....	157
Gráfico 16.....	158
Gráfico 17.....	159
Gráfico 18.....	161
Gráfico 19.....	163
Gráfico 20.....	164
Gráfico 21.....	165
Gráfico 22.....	166
Gráfico 23.....	170
Gráfico 24.....	171
Gráfico 25.....	171
Gráfico 26.....	172



CAPITULO I

GENERALIDADES

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial aproximadamente la tercera parte de la energía primaria es utilizada en los procesos constructivos de las edificaciones, en el Perú el consumo de energía se relaciona principalmente a tres factores: al diseño arquitectónico, a los implementos energéticos que contiene un edificio como artefactos de iluminación, ventilación, calefacción y a los hábitos de los usuarios (Norma EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética, 2014).

Zeballos y Sardón (2015), indican que la utilización de la madera como material de construcción en la ciudad de Mollendo tuvo importancia en el pasado, destacándose su utilización a partir de 1860, cuando se inician las construcciones de las casas con el sistema constructivo balloon frame utilizando como material pino Oregon, construcciones que hasta la fecha pueden observarse, constituyendo parte de la memoria e historia de la ciudad. Zeballos y Sardón (2015) también indican que a pesar de ello, por muchos años este tipo de construcciones han sido catalogados como “arquitectura menor” por lo cual no están protegidas ni debidamente catalogadas por las autoridades competentes, dando como resultado el deterioro, modificación o destrucción de muchas de ellas. Según Leser (2014), el sistema constructivo balloon frame consiste en una serie de piezas de madera equidistantes que forman paredes, entre pisos y techumbres, esta estructura luego es revestida por ambos lados con una capa de tablas que constituye una garantía contra las deformaciones, el armazón está constituido por un entramado de piezas normalizadas (madera aserrada y dimensionada). Las principales desventajas observadas recaen sobre la cobertura del sistema, producto del uso de la madera sin protección como material de revestimiento final. Como consecuencia, es susceptible al ataque de insectos y hongos,

degradación frente a los rigores del clima, y las filtraciones de humedad en temporada de invierno.

Según SENAMHI (2019), la temperatura promedio en Mollendo oscila entre 19.7° C y 23.2° C durante todo el año; mientras que las precipitaciones anuales son de 20 mm; podemos decir que la ciudad de Mollendo se encuentra en una ubicación clasificada como BWh por Köppen y Geiger; siendo B, clima seco; W, desierto y h, calor). Un factor importante a tener en cuenta para el uso de la madera, en la zona de Mollendo, serán las precipitaciones, puesto que estas son unos los principales factores de deterioro de la misma. La precipitación más baja ocurre en el mes de octubre con un promedio de 0 mm. Mientras que con un promedio de 4 mm, la mayor precipitación cae entre los meses de enero a marzo. La temperatura máxima en Mollendo es de 27° C, siendo los meses entre diciembre a abril los más calurosos del año, lo cual sumado a las precipitaciones existentes entre el mes de enero a marzo, son un factor a tener en cuenta para la propuesta de sistema adaptativo debido a que los componentes del sistema puedan ser susceptibles a cambios bruscos de temperatura y humedad; La temperatura mínima es de $13,8^{\circ}$ C en invierno, siendo los meses entre junio y octubre los más fríos del año (SENAMHI, 2019). Es en esta temporada donde la habitabilidad en las casas es más crítica debido a las filtraciones de humedad al interior de las construcciones, sumada a la abundante humedad relativa del ambiente llegando a valores del 82 %, lo que aumenta las posibilidades de contraer enfermedades respiratorias como el asma, sinusitis e infecciones pulmonares (Boletín Epidemiológico del Perú, 2018).

1.2 Formulación del Problema

Las casas de madera en la ciudad de Mollendo con el sistema constructivo Balloon Frame presentan condiciones energéticas y de habitabilidad deficientes frente a las características bioclimáticas de la zona “Desértico Marino”.

1.2.1 Problema Principal

¿Cuáles serían los componentes y los requerimientos técnicos de un sistema de fachada multicapas que permitan mejorar las condiciones de habitabilidad y durabilidad en casas de madera con el sistema constructivo Balloon Frame?

1.2.2 Problemas Secundarios

- ¿Cuáles son los efectos desfavorables de los agentes atmosféricos sobre los revestimientos externos de las construcciones en madera?
- ¿Cuáles son las variables de diseño de un sistema de fachada multicapas para hacer frente de forma eficaz a los fenómenos atmosféricos de la ciudad de Mollendo?
- ¿De qué forma se determina la durabilidad de la madera como material de revestimiento en edificios frente al clima exterior?
- ¿Cómo se valida la habitabilidad y eficiencia energética de un sistema de fachada adaptativo en un zona bioclimática “Desértico Marino”?

1.3 Hipótesis

Dado que un sistema de fachada adaptativo se compone de múltiples capas con resistencias térmicas bajas, es probable que pueda adecuarse a construcciones de madera con el sistema constructivo Balloon Frame mejorando la sensación térmica y el grado de comodidad de los usuarios y la durabilidad de la vivienda según los parámetros del Código Técnico de Edificación DB-HE, Ahorro de Energía (2020).

1.4 Variables y definición operacional

1.4.1 Variable independiente (causa): El Sistema de Fachada Adaptativo

Para la variable independiente se utilizaron estándares ASTM e ISO en la última capa del sistema de fachada (capa de madera tratada térmicamente) debido a que el recubrimiento final enfrenta los rigores del clima exterior (humedad, radiación y degradación biológica).

Las normas utilizadas fueron las siguientes: la norma ASTM D4442 (2014) para determinar el contenido de humedad, la norma ASTM D2395 (2014) para determinar la densidad básica, la norma ISO 15148 (2002) para determinar el coeficiente de absorción y la norma ASTM D-143 (1994) para determinar la estabilidad dimensional. Finalmente se diseñó el orden y espesores de las capas y se calcularon sus transmitancias térmicas de acuerdo a las recomendaciones del Código Técnico de Edificación DB-HE (2020).

1.4.2 Variable dependiente (efecto): Habitabilidad y Vida útil de la vivienda

Para la variable dependiente se utilizaron los estándares de la Norma Internacional ISO 21887 para poder evaluar de manera objetiva y científica la vida útil de la edificación a la cual se realizará la intervención a través del método de Clases de Uso, determinado por la Norma ISO 21887. También se utilizó el método paramétrico desarrollado por el Ingeniero-investigador del INIA - Madrid, Juan Ignacio Fernández-Golfín, que a través de su método, permite interpretar y profundizar el desarrollo de Clases de Uso para sistemas constructivos y aplicaciones arquitectónicas e ingenieriles. Finalmente el sistema se validó a través del Código Técnico de Edificación DB-HE (2020) y el software de simulación de isotermas THERM, desarrollado por la Universidad de California.

Tabla 1.

Operacionalización de variables

	VARIABLE	TIPO	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD	MÉTODO	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS
INDEPENDIENTE	Sistema de Fachada Adaptativo	Cuantitativa	Evaluación de propiedades físicas	Contenido de humedad	%	Se utilizó como referencia la norma internacional ASTM D4442, el método "B". Las muestras se pesaron y se secaron en una estufa a una temperatura de 103 °C, después se procedió a pesar nuevamente las muestras secadas y a través de una ecuación se determinó el %.	- Recipientes de plástico - Balanza de precisión - Horno de convección - Desecador
				Densidad Básica	g/cm ³	Se utilizó como referencia la norma internacional ASTM D2395-14. Cada probeta se colocó en un recipiente con 1 L de agua destilada. Las probetas se dejaron saturando durante 3 días, después la muestra se sumerge en un tubo graduado alargado para determinar el volumen de la muestra por diferencia de nivel de agua, después se procede a secar las muestras al horno. El cociente entre la masa anhidra de la muestra con el volumen es la densidad básica.	- Recipientes de plástico - Balanza de precisión - Horno de convección - Desecador - Tubo graduado
				Coefficiente de absorción	kg/m ²	Se utilizó como referencia la norma internacional ISO 15148-2002. Se midió la masa de cada una de las probetas, después, cada probeta se sumergió parcialmente sobre un recipiente de plástico abierto a la intemperie llenado con agua potable. Posteriormente se tomaron datos de 08 pesajes, con el fin de obtener puntos que definan una recta ascendente de absorción.	- Tina de plástico - Balanza de precisión - Humidificador - Vernier
				Estabilidad dimensional	%	Se utilizó como referencia la norma internacional ASTM D-143-94. Se identificaron las direcciones radial, tangencial y longitudinal de cada probeta para luego tomar tres mediciones en cada dirección. Posteriormente se sometieron a saturación en agua destilada. Después del estado saturado, se registró medidas en los mismos lugares de las probetas. Se aplica el mismo procedimiento en estado anhidro.	- Recipientes de plástico - Balanza de precisión - Horno de convección - Desecador - Vernier
				Transmitancia térmica de capas del sistema	W/m ² K	Se utilizó como referencia el Código Técnico de Edificación DB-HE y la norma UNE-EN 10456:2012. Se identificaron las transmitancias y conductividades térmicas de cada componente del sistema, siguiendo los parámetros matemáticos de las normas mencionadas. También se graficaron los resultados en el software THERM	- Calculadora - AUTOCAD - Software THERM

	VARIABLE	TIPO	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD	MÉTODO	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS
DEPENDIENTE	Habitabilidad y Vida útil de la vivienda	Cuantitativa	Evaluación de la vida útil por Clases de Uso – Norma Internacional ISO 21887	Índice de exposición básica	I_{s0}	Para determinarlo es necesario calcular el Índice de Scheffer de la ciudad en donde se encuentra el producto maderable a través de una data histórica climática (SENAMHI).	- Calculadora científica
				Factor de severidad climática	K_{s1}	Para determinarlo es necesario analizar el macro y meso clima de la ciudad en donde se encuentra el producto maderable, después se valora el resultado según los parámetros de la Norma Internacional ISO 21887	- Cámara fotográfica - Brújula
				Geometría del elemento	K_{s2}	Para determinarlo es necesario analizar el espesor del recubrimiento de la vivienda y el tipo de madera que lo conforma, después se calcula el resultado según los parámetros de la Norma Internacional ISO 21887	- Calculadora científica
				Aleros y cornisas	K_{s3}	Para determinarlo es necesario saber el tamaño de los aleros de la vivienda y las zonas expuestas o protegidas frente a la intemperie, después se valora el resultado con los parámetros de la Norma Internacional ISO 21887	- Wincha
				Distancia al suelo	K_{s4}	Para determinarlo es necesario saber la distancia de la fachada de la vivienda con el suelo para evitar humedecimiento, después se valora el resultado con los parámetros de la Norma Internacional ISO 21887	- Wincha
				Diseño constructivo	K_{s5}	Para determinarlo es necesario saber la disposición del entablado de la fachada y si es ventilada o no, después se calcula el resultado con los parámetros de la Norma Internacional ISO 21887	- Calculadora científica
			Validación del sistema de fachada mediante software de simulación THERM y Código Técnico de Edificación DB-HE	Valores de transmitancia térmica máximos posibles	W/m^2 K	Se utilizó como referencia el Código Técnico de Edificación DB-HE, en donde los valores límite de transmitancia térmica para muros opacos y suelos en contacto con el exterior está en función con la severidad climática de invierno. Se debe de determinar los valores límites máximos de la ciudad de Mollendo realizando los procedimientos matemáticas del Código Técnico.	- Calculadora científica
			Severidad climática de invierno	$^{\circ}C$	Se utilizó como referencia el Código Técnico de Edificación DB-HE, en donde para determinar la severidad climática de invierno es necesario conocer las temperaturas máximas y mínimas de la ciudad (Mollendo) de los meses más fríos del año, el número de horas de sol máximas y los coeficientes de regresión otorgadas por la norma.	- Calculadora científica	
			Puentes térmicos y condensaciones	W/m^2 K	Se utilizó el software THERM, en donde es necesario dibujar el sistema de fachada propuesto con los materiales seleccionados, se introducen las conductividades térmicas de cada material, los factores climáticos exteriores e interiores de la vivienda y el programa simula los puentes térmicos y condensaciones	- Calculadora científica - Software THERM - Autocad - Revit Architectural	

1.5 Objetivos de la Investigación

1.5.1 Objetivo General

Adaptar un sistema de fachada multicapas utilizando como componente de revestimiento madera tratada térmicamente a una edificación con tipología constructiva balloon frame para mejorar su habitabilidad y eficiencia energética.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Identificar los agentes atmosféricos (radiación, humedad, salinidad, temperatura) de la ciudad de Mollendo para determinar sus efectos desfavorables sobre los revestimientos externos (muros) de la construcción en madera.
- Analizar el estado de conservación de una construcción con el sistema constructivo balloon frame para conocer el grado de reemplazo o sobrepuesto del recubrimiento externo de la construcción en madera.
- Establecer variables de diseño del sistema de fachada multicapas (geometría del elemento, distancia al suelo, componentes de capas) en función a la humedad superficial crítica y a la condensación intersticial para determinar su eficacia frente a estos fenómenos atmosféricos
- Determinar las propiedades físicas (densidad, coeficiente de absorción, estabilidad dimensional y degradación) del revestimiento de madera tratada térmicamente para corroborar su grado de durabilidad frente al clima exterior
- Validar el sistema de fachada multicapas propuesto en el software THERM y mediante el Código Técnico de Edificación para determinar la habitabilidad y eficiencia energética de la construcción en madera.

1.6 Justificación de la Investigación

1.6.1 Importancia de la Investigación

Según el Boletín Epidemiológico del Perú (2018) “El descenso de temperaturas en la costa peruana de manera precoz y por debajo de lo habitual, favorecen la circulación de virus de influenza y otros virus respiratorios (OVR) como los virus sincitiales respiratorios (VSR)”, en este contexto presentado, considero que es necesario dar respuesta a este problema a través de un sistema de fachada que evite las filtraciones de humedad al interior de las construcciones, mejorando la calidad de vida de las personas.

Actualmente en Mollendo existen construcciones en madera con el sistema balloon frame con carácter patrimonial no declaradas que son considerados símbolos arquitectónicos con un importante potencial turístico, debido a ello la presente investigación pretende no dejar en el olvido y propiciar la conservación y ejecución de esta técnica constructiva en construcciones nuevas, con sistemas tecnológicos modernos que cumplan parámetros de confort y ahorro energético.

Para ello, se propone desarrollar un sistema de fachada experimental mejorado a través de un revestimiento final de madera tratada térmicamente que mejora las propiedades de la madera como una mayor estabilidad dimensional, resistencia a los hongos e insectos, desgaste frente a las influencias atmosféricas directas como la lluvia, humedad y radiación UV, permitiendo una mayor durabilidad de la misma frente a las inclemencias del clima.

1.6.2 Viabilidad de la Investigación

El presente proyecto de tesis es subvencionado por el CONCYTEC, en el marco del Proyecto de Investigación Aplicada en Saneamiento y Construcción SENCICO E041-2018. La Universidad Católica San Pablo es una entidad asociada al proyecto, por lo tanto, para la

elaboración de los ensayos en laboratorio propuestos en la presente tesis se utilizará las instalaciones de esta universidad. La entidad asociada cuenta con equipamiento e infraestructura suficiente para el desarrollo del proyecto de investigación.

1.7 Limitaciones de la Investigación

Los datos de transmitancia térmica del sistema, durabilidad del material de revestimiento y habitabilidad - eficiencia térmica, se enfocaran solamente a una tipología típica en madera con el sistema constructivo balloon frame, de tal manera que la interpretación de resultados al final del estudio servirán como pautas generales y posible aplicación a otras casas con el mismo sistema constructivo.

Los datos climatológicos como temperatura, radiación, humedad relativa, dirección de vientos y salinidad del ambiente serán recolectados exclusivamente en base a la información que brinde SENAMHI, no se realizaran mediciones de los datos anteriores en campo. La composición del sistema constructivo original de la casa intervenida será tomada y diseñada en base a la bibliografía del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984). La validación del sistema propuesto se realizará en base a normativa extranjera (española), a través del Código Técnico de Edificación DB-HE (2020), debido a que la normativa nacional (Norma EM.110) es insuficiente y limitado.

La validación de la habitabilidad y la transmitancia térmica solo se comprobaran en los muros opacos de la tipología seleccionada. No se tomará en cuenta el factor de transmitancia de vidrios, suelos o techos.

Para poder analizar la Etapa II del Marco Operativo se escogió una edificación con tipología balloon frame en Mollendo que presentara los elementos arquitectónicos necesarios requeridos por la European Standard EN 1995-1-1. Cabe resaltar que no se

pretende intervenir en la vivienda seleccionada, solo se toma como referencia sus elementos constructivos como elementos necesarios para determinar las clases de servicio en edificaciones típicas con el sistema constructivo balloon frame en Mollendo y así poder aplicarse a posibles construcciones nuevas con este sistema. Esta clase de servicio sirve como una referencia para su aplicación en otras edificaciones con el sistema constructivo balloon frame, para una mayor precisión y un análisis particular de otra casa con elementos constructivos diferentes se puede seguir los mismos pasos mostrados anteriormente cambiando, obviamente, las especificaciones constructivas necesarias.

1.8 Metodología

1.8.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación presentada es de tipo **cuantitativo** debido al siguiente carácter:

Secuencial y probatorio: Cada etapa operativa precede a la siguiente, debido a este orden secuencial no es posible obviar el paso anterior. Según Hernández Sampieri et al (1997), el objetivo general debe de acotarse y una vez recién limitada, se deben de derivar los objetivos específicos y preguntas de investigación, revisándose la literatura y construyendo el marco teórico.

La presente investigación busca recopilar y analizar los resultados encontrados en las distintas fuentes confiables de investigación y los ensayos realizados en todos los componentes del sistema de fachada multicapas.

1.8.2 Nivel de investigación

La presente investigación es de nivel **correlacional-explicativo**, como explica Hernández Sampieri et al (1997), la tesis tiene como objetivo principal realizar un estudio

explicativo entre la relación causa - efecto de los componentes y requerimientos técnicos de un sistema de fachada multicapas con las condiciones de habitabilidad en las casas de madera con el sistema constructivo Balloon Frame en Mollendo – Arequipa y es correlacional debido a que esta investigación tiene “como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 1997).

El presente estudio se realizó bajo el planteamiento metodológico de enfoque experimental de tipo “puro” debido a que se hace uso de variables independiente y dependiente, se mide el efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente y existe un control interno de las situaciones experimentales, como indica Hernández Sampieri et al (1997).

1.8.3 Método de investigación

El método utilizado es el **hipotético-deductivo**, como indica Rodríguez y Pérez (2017), se debe de partir de una hipótesis inferida por principios y leyes o sugerida por datos empíricos (datos que se obtienen a través de la experimentación u observación), y aplicando reglas de deducción, se puede llegar a establecer predicciones que se someten a verificación empírica, y si hay correspondencia con los hechos se comprueba la veracidad o no veracidad de la hipótesis inicial.

El método explicado es el más adecuado debido a que se podrá comprobar la veracidad o falsedad de la hipótesis que se plantea mediante fuentes teóricas y empíricas debido a que el sistema de fachada multicapas se someterá a pruebas de laboratorio, cálculos matemáticos y software de simulación.

1.8.4 Diseño metodológico

El diseño metodológico de la investigación es de carácter **experimental**, debido a que en este estudio “se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 1997).

1.8.5 Método de muestreo

El método de muestreo para los ensayos de madera tornillo tratado y no tratado térmicamente fue **no probabilístico** debido a que “la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 1997).

En la investigación realizada se tuvo que elegir las mejores probetas cortadas de madera, libre de nudos, fisuras o grietas para la confiabilidad de los resultados.

1.8.6 Tamaño de la muestra

Se clasificó el tamaño de la muestra en la madera tratada térmicamente en dos tipos: Para los ensayos físicos de las propiedades de Contenido de Humedad, Estabilidad Dimensional y Densidad Básica realizados bajo los parámetros de normas ASTM y los ensayos físicos de la propiedad de Coeficiente de Absorción realizado bajo los parámetros de las normas ISO.

Primero, para los ensayos realizados bajo los parámetros de normas ASTM D4442 (2014), ASTM D2395 (2014) y ASTM D143 (1994), se establece que para el muestreo de

probetas de madera se realice los ensayos en 15 probetas por especie y procedimiento, escogiendo entre ellas 7 a 8 probetas que tengan resultados confiables (resultados parecidos entre ellas) para el levantamiento de datos y procedimientos matemáticos.

Segundo, para los ensayos realizados bajos los parámetros de la norma ISO 15148 (2002) se establece que para el muestreo de probetas de madera se realice los ensayos en 3 probetas por especie y procedimiento, la cara expuesta de esta probeta debe de superar las 100 cm² para poder aumentar la confiabilidad del ensayo, el procedimiento también puede realizarse con probetas que estén entre 50 y 60 cm², pero en este caso tendrían que ser 6 probetas por especie y procedimiento.

1.8.7 Técnica e instrumentos

Las técnicas empleadas en el proyecto de investigación serán a través de la recolección de datos secundarios y observación. Según Hernández Sampieri et al (1997), los datos secundarios son todos aquellos que pueden obtenerse a través de revisión de archivos, libros, revistas, entre otras fuentes literarias. Esta técnica es útil para recopilar y evaluar información previa sobre las variables que se pretende estudiar.

La observación es la técnica que “consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 1997). Debido a que los ensayos con madera tratada y no tratada se realizarán mediante pruebas de laboratorio validado por normativas internacionales.

1.8.7.1 Instrumentos para recopilación de datos

- Fichas de laboratorio.
- Manual de ensayo de laboratorio (elaboración por el equipo técnico).

- Registro fotográfico.
- Normas ASTM para ensayos físicos en madera.
- Normas ISO para ensayos físicos en madera.
- Código Técnico de Edificación DB-HE.
- Software de simulación y validación THERM.
- Normas UNE para la determinación del estado de conservación del objeto de estudio.
- Cuadros y tablas de información.

1.8.7.2 Instrumentos y maquinaria de laboratorio

- Desecador
- Estufa de convección
- Recipientes de plástico
- Balanza de precisión milimétrica
- Pesas
- Humidificador
- Recipientes de plástico para acondicionamiento de madera
- Caja térmica
- Regla metálica.
- Vernier
- Guantes de látex
- Guantes de nitrilo

1.8.7 Proceso de recolección de datos

Para la realización de la investigación se estableció una secuencia ordenada de etapas que permitieron llevar a cabo la ejecución de los objetivos propuestos

Etapa 1: Identificación de los agentes atmosféricos (radiación, humedad, temperatura) de la ciudad de Mollendo para determinar sus efectos desfavorables sobre los revestimientos externos (muros) de la construcción en madera mediante el método de Scheffer (2009).

Actividades:

- Actividad 1: Identificar el índice de exposición básica para tener conocimiento del clima de referencia (macroclima).
- Actividad 2: Analizar el factor de severidad climática para la caracterización del clima local (mesoclima).
- Actividad 3: Determinar el índice de Scheffer, valorando si es posible incorporar presencia de condensaciones en el cálculo matemático original.

Etapa 2: Análisis del estado de conservación de una construcción con el sistema constructivo balloon frame para conocer el grado de reemplazo o sobrepuesto del recubrimiento externo de la construcción en madera mediante los estándares de la norma europea UNE-EN 335:2013

Actividades:

- Actividad 1: Determinar las clases de uso del revestimiento exterior del objeto de estudio en base al tipo de exposición ambiental.
- Actividad 2: En base a la determinación de las clases de uso, determinar las clases de servicio de acuerdo a la norma europea EN 1995-1-1.
- Actividad 3: Determinar los agentes biológicos y sus efectos en la madera expuesta a la intemperie, según las clases de servicio definidos anteriormente.

Etapa 3: Determinar las propiedades físicas (densidad, coeficiente de absorción, contenido de humedad, estabilidad dimensional y degradación acelerada) del revestimiento de dos especies de madera tratada térmicamente (Tornillo y Zapote) para corroborar su grado de durabilidad frente al clima exterior mediante las normas:

ASTM D4442 - 2014: Contenido de humedad

ASTM D2395 - 2014: Densidad

Norma ISO 1514 - 2002: Coeficiente de absorción

ASTM D-143- 1994: Estabilidad dimensional

Actividades:

- Actividad 1: Determinar la durabilidad del revestimiento exterior del sistema en laboratorio para predecir su durabilidad frente al clima exterior.
- Actividad 2: Determinar la densidad, contenido de humedad, coeficiente de absorción y estabilidad dimensional para establecer su comportamiento frente a una humedad relativa determinada.

Etapa 4: Establecer variables de diseño del sistema de fachada multicapas (geometría del elemento, distancia al suelo, componentes de capas) en función a la humedad superficial crítica y a la condensación intersticial, corroborando su eficacia a través de los métodos de cálculo del Código Técnico de Edificación DB-HE.

Actividades:

- Actividad 1: Determinar la tipología de revestimiento más adecuada para la restauración de la casa seleccionada

- Actividad 2: Determinar el espesor y el tipo de material que conformarán la fachada multicapas, tomando en cuenta su coeficiente de transmitancia térmica y disponibilidad en el mercado local.
- Actividad 3: Determinar las condicionantes de diseño del sistema de fachada como el orden de las capas y las geometrías del elemento.

Etapa 5: Validar el sistema de fachada multicapas propuesto en el software de simulación THERM y mediante cálculos matemáticos determinados por el Código Técnico de Edificación DB-HE para determinar la habitabilidad y eficiencia energética de la construcción en madera mediante el cálculo de isotermas, U-factor y vectores de flujo y temperaturas.

Actividades:

- Actividad 1: Simulación del sistema de fachada en el software THERM para el cálculo de transferencia de calor.
- Actividad 2: Determinación de la severidad climática de invierno de la ciudad de Mollendo a través de las ecuaciones determinadas por el Código Técnico de Edificación DB-HE.



CAPITULO II
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Bases Teóricas

2.1.1 *Sistema de Fachada Adaptativo*

Según Lommi (2017) una fachada adaptativa; puede definirse como un tipo de cerramiento que interactúa con el entorno; es decir, un elemento “inteligente” capaz de adaptarse en función de sus cambios climáticos de su entorno inmediato. Pueden estar compuestas por piezas capaces de moverse, plegarse, inclinarse, etc. En la última década, los expertos investigaron y desarrollaron aplicaciones avanzadas en edificios, en particular para la envolvente del edificio, “centrándose en comportamientos dinámicos de los componentes del edificio que podrían reaccionar o cambiar o adaptarse con el tiempo a diferentes requisitos y diferentes condiciones del entorno” (Lommi, 2017).

2.1.1.1 Diseño Receptivo: Representa un campo de la tecnología de construcción donde la arquitectura puede lograr una relación más cercana con las condiciones climáticas, en donde las envolventes de los edificios pueden reaccionar a los cambios exteriores e interiores. En los últimos años, el campo de investigación de fachadas receptivas se ha centrado en soluciones más factibles que en el pasado, tratando de explorar nuevas estrategias y procedimientos de construcción como: instalaciones en el sitio, procesos de prefabricación y soluciones enfocadas a las renovaciones de elementos constructivos (Lommi, 2017). Las envolventes de construcciones con diseño receptivo se pueden realizar de dos maneras:

- **Enfoques de macro escala:** Se refiere cuando en los envolventes de los edificios se utilizan dispositivos de sombreado cinemático o utilizando controles electrónicos y de automatización (Lommi, 2017).
- **Enfoques de micro escala:** Se refiere cuando se administran y mejoran las propiedades físicas de los materiales de construcción (Lommi, 2017).

2.1.1.2 Diseño mediante ensamblaje (DFA): El DFA proporciona un procedimiento sistemático para analizar los diseños propuestos desde el punto de vista del ensamblaje y la fabricación. Este procedimiento da como resultado productos más simples y confiables que son menos costosos de ensamblar y fabricar. Las herramientas de DFA fomentan el diálogo entre los diseñadores y los ingenieros de fabricación y cualquier otra persona que participe en la determinación de los costos del producto final durante las primeras etapas del diseño. Esto significa que se fomenta el trabajo en equipo y se pueden lograr los beneficios de la ingeniería simultánea. La idea detrás de la mayoría de los métodos sistemáticos de DFA es considerar cada parte en el turno en el cual es insertado en el producto, medir la dificultad del proceso de ensamblaje y luego sumar los resultados para obtener una calificación numérica de la dificultad de ensamblaje (G. Boothroyd & L. Alting, 1992).

2.1.1.3 Diseño mediante desmontaje (DFD): El DFD tiene una gran influencia en la reciclabilidad y el fácil desmontaje permite reutilizar, remanufacturar y reciclar materiales de manera eficiente. La reutilización y la refabricación ahorrarán muchos recursos al prolongar la vida útil de los productos y las unidades funcionales. Hoy

en día, muchos productos no se reparan cuando fallan. Esto se debe en parte a los altos costos de reparación ya que los productos no están diseñados para reparación. Si los productos estuvieran diseñados para reparación o servicio y se aplicaran los principios DFD, muchos productos tendrían una vida útil más larga. El DFD puede facilitar la reparación y el servicio, y permite que muchos usuarios realicen la reparación del servicio ellos mismos (G. Boothroyd & L. Alting, 1992).

2.1.2 Revestimiento de edificios con madera tratada térmicamente

Los productos con madera tratada térmicamente (termo-madera) se utilizan para revestimientos externos, en forma de una amplia gama de madera aserrada (tablas y listones). La termo-madera es una madera procesada térmicamente. El tratamiento térmico se realiza a altas temperaturas (160–260 °C). Este proceso seca completamente la madera y los azúcares de la madera se cristalizan. El tratamiento térmico elimina la resina de la madera de coníferas. Por lo tanto, no hay resina para fugas y goteo, significando que los revestimientos de fachada no requieren ningún mantenimiento especial (Ivanovic et al., 2015).

2.1.2.1 Durabilidad de la Termomadera:

- **Reducción de la hinchazón y contracción del material:** La alta temperatura a la que la madera es sometida en un tratamiento térmico reduce su curva de hinchazón y contracción en un 50 %, lo que significa que la madera procesada térmicamente puede estar expuesta a altos niveles de humedad e influencias atmosféricas directas (Ivanovic et al., 2015).

- **Resistencia a hongos xilófagos y pudrición:** La madera tratada térmicamente tiene un contenido de humedad más bajo y considerando que en este proceso los azúcares de la madera se cristalizan, dicha madera es extremadamente resistente al ataque de hongos e insectos (Ivanovic et al., 2015).
- **Reducción del deterioro y envejecimiento:** Las etapas de meteorización comienzan con la degradación de los componentes estructurales de la madera (lignina y holocelulosas), la acción de la lluvia contribuye a este proceso. A medida que la degradación de los rayos UV y el lavado con agua continúan, la madera pierde fibras y aparecen grietas debido a la dinámica continua de contracción y expansión. El color cambia en función del tiempo, y una madera de color claro comienza a volverse amarilla en las primeras etapas expuesta a la intemperie, pero después de aproximadamente 1 año, la madera se ha vuelto de un tono naranja, para finalmente convertirse en un tono gris plateado (Herrera, 2017).
- **Reducción de la higroscopicidad:** La higroscopicidad es la capacidad del material de absorber humedad, cuando se aplica el tratamiento térmico al material se reduce esta condición, que a su vez contribuye a una mayor estabilidad dimensional, las muestras de madera sometidas a este proceso presentan una recuperación volumétrica de más del 70 %, mientras los valores de cambio dimensional pueden reducirse hasta en un 1% (Herrera, 2017).

2.1.2.2 Reconstrucción de fachadas de edificios con termo-madera:

Una de las ventajas del uso de termo-madera es su posible aplicación en los procedimientos de reparación y reconstrucción, independientemente del material del

que está hecho la parte estructural principal de las paredes, porque este material puede ser componente de un sistema que se adhiera indirectamente sobre la subestructura a la pared de la fachada existente. Si un revestimiento final está hecho de elementos prefabricados, el montaje se lleva a cabo a un costo de mano de obra muy bajo. Existen dos posibilidades de reconstruir una fachada:

- **Reemplazo de la fachada existente:** Originalmente envuelta con madera o algún otro revestimiento, se considera el sistema constructivo original y parámetros normativos que indicaran el grado de reemplazo de los componentes. Una de las ventajas de este procedimiento es su posible aplicación en los procesos de reparación y reconstrucción, independientemente del material del que está hecho la parte estructural principal de las paredes, porque este tipo de “doble fachada” se adhiere indirectamente sobre la subestructura a la pared de la fachada existente. Si un revestimiento final está hecho de elementos prefabricados, el montaje se lleva a cabo a un costo de mano de obra muy bajo (Ivanovic et al., 2015).
- **Sobre colocación de un revestimiento:** El diseño y la construcción de fachadas de madera deben realizarse de acuerdo con los criterios de selección adecuada de las especies de madera, el tratamiento adecuado de la superficie, la protección adecuada contra diversos efectos nocivos y la protección contra incendios. La intensidad de la descomposición del revestimiento de madera depende de las condiciones ambientales y la orientación de un edificio (Ivanovic et al., 2015).

2.1.3 Eficiencia energética y habitabilidad

La Comisión Mundial de Desarrollo y Medio Ambiente (1987) lo define como "La satisfacción de las necesidades presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades". Debido a ello, la construcción sustentable estará enfocado en reducir la cantidad de recursos que consumen los edificios habitacionales durante su ciclo de vida. En su mayoría estos recursos no son renovables y su utilización tiene repercusiones directas en el ambiente. Siendo de este modo la eficiencia en el uso de la energía característico de las construcciones sustentables (H. Hernández & L. Meza, 2011). Para lograr que un edificio habitacional tenga un bajo consumo energético se pueden adoptar diferentes estrategias, para esta investigación se consideran las siguientes:

- Aislamiento y estanqueidad que permitan controlar los flujos de energía a través de los elementos envolventes de la vivienda. El aislamiento, por absorción y transmisión, brindarán estabilidad térmica interior y resistencia a la pérdida de energía (F. Rey & E. Velasco, 2006).
- Utilización de materiales de construcción recuperable, reutilizables y con baja energía incorporada (Energy Embodied). La reutilización de materiales de construcción necesariamente conllevará a disminuir la energía incorporada a una nueva edificación (H. Hernández & L. Meza, 2011).

2.1.3.1 Reconstrucción de objetos arquitectónicos y eficiencia energética:

- **Materiales de construcción inofensivos para el medio ambiente:** Como no se requieren productos químicos y solo se utiliza agua y calor, el proceso para elaborar madera tratada térmicamente es ecológico, además no genera una cantidad significativa de agua residual. Los componentes sólidos de las

aguas residuales generadas se separan en un depósito de sedimentación especial, y el resto se procesa en las obras de aguas residuales (International ThermoWood Association, 2003).

- **Eficiencia energética en la envolvente de los edificios:** Las construcciones y edificaciones deben de disponer de una envolvente que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico. Esto implica que se consideran todos los tipos de usos energéticos relacionados con el edificio (calefacción, iluminación, refrigeración, aire acondicionado, ventilación) y las condiciones climáticas y locales exteriores, así como los requisitos de clima interior, incluidas las interacciones a veces complejas y dinámicas entre estos diversos aspectos (ISO 52000-1, 2017).
- **Gestión de residuos de la construcción y demolición:** Según Lund (1996), la actividad de la construcción y de la demolición genera residuos sólidos, que se denominan RCD, “Residuos de la Construcción y Demolición”. En general, se sabe que estos residuos presentan bajo riesgo a la salud humana y al ambiente. La problemática fundamental de gestión y disposición de los mismos se refiere a su gran volumen, y, por lo tanto, a los costos de transporte y al espacio necesario disponible que ello implica. No obstante, se debe considerar una fracción de residuos peligrosos en su composición que habrá que gestionar adecuadamente a fin de prevenir daños ambientales

2.1.3.2 Estándares de confort térmico:

- **Voto medio estimado (PMV):** El PMV predice el valor medio de los votos sobre la sensación térmica que emitiría un grupo numeroso de personas

sometidas al mismo ambiente. No obstante, los votos individuales están dispersos alrededor del valor medio, siendo útil el poder estimar el número de personas que, probablemente, sentirán incomodidad debida al calor o al frío, sobre una escala de 7 niveles de sensación térmica (ISO 7730, 2005).

- **Voto estimado de insatisfechos (PPD):** EL PPD es un índice que establece una predicción cuantitativa del porcentaje de personas que se sentirán insatisfechas por notar demasiado frío o demasiado calor. Para el propósito de esta norma internacional, las personas térmicamente insatisfechas son aquellas que votarán muy caluroso, caluroso, fresco o frío, sobre una escala de 7 niveles de sensación térmica (ISO 7730, 2005).

2.1.4 Software THERM

THERM es un programa informático para el Análisis de la Transmisión del Calor Bidimensional a través de Elementos Constructivos. Está desarrollado por Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), es gratuito. Según Campos (2013), el análisis bidimensional de la transmisión de calor en THERM se basa en el método de los elementos finitos, que permite modelizar complejas geometrías. El interfaz gráfico del programa permite dibujar la sección transversal del elemento a analizar a partir de ficheros DXF o BMP importados, o introducir las medidas de forma manual. Una vez creado el modelo, el cálculo restante (mallado y transmisión de calor) es automático. “Se pueden visualizar los resultados de THERM de diversas formas, incluyendo los cálculos del U-factor, isotermos, vectores de flujos y temperaturas en cada punto” (Campos, 2013).

2.1.5 Software Design Builder

Según Ordoñez (2014), Design Builder es una herramienta de software basada en Energy Plus utilizada para la medición y control de energía, carbono, iluminación y confort. Está desarrollado para facilitar el proceso de simulación de edificios comparando diseños de edificios alternativos mediante el uso de métodos de comparación de resultados basados en la función y el rendimiento de los diversos análisis de manera rápida y económica. También combina el modelado rápido de edificios tridimensionales con simulaciones dinámicas de energía con su facilidad de uso única. “Gracias a esta característica, se considera una herramienta de software única para crear y evaluar diseños de edificios, donde se pueden desarrollar módulos especialmente para ser utilizados efectivamente en cualquier etapa del proceso de diseño” (Ordoñez, 2014).

2.2 Definición de términos básicos

2.2.1 Edificios de consumo casi nulo

Según el Código Técnico de Edificación (2020), se define como edificio de consumo de energía casi nulo, aquel edificio, nuevo o existente, que cumple con las exigencias reglamentarias establecidas en el Documento Básico “DB HE Ahorro de Energía” en lo referente a la limitación del consumo energético para edificios de nueva construcción. Esta definición se concreta en la limitación de los niveles máximos de consumo de energía primaria, tanto total como de aquella con origen no renovable, y es aplicable a edificios nuevos o a existentes cuando sobre ellos se llevan a cabo determinadas intervenciones. De esta manera se puede decir, en término medio, que los edificios de vivienda no podrán consumir anualmente más de 60 kWh/m² de energía primaria total ni más de 30 kWh/m² de energía primaria no renovable.

2.2.2 Transmitancia global de la envolvente térmica (K)

Según el Código Técnico de Edificación (2020), la transmitancia global de la envolvente térmica (k) integra las características de los elementos que configuran la envolvente térmica, su proporción, así como el cuidado de los puentes térmicos con el objetivo de asegurar la eficiencia de la envolvente térmica en relación a la transmisión de calor, teniendo en cuenta el volumen habitable protegido y su superficie de intercambio térmico con el exterior.

2.2.3 Diseño bioclimático

Según el Código Técnico de Edificación (2020), se comprende como diseño bioclimático a aquel que busca disminuir los impactos ambientales intentando reducir los consumos de energía teniendo en cuenta las condiciones climáticas y aprovechando los recursos naturales disponibles (sol, vegetación, lluvia, vientos, etc.).

2.2.4 Confort

Según el Código Técnico de Edificación (2020), este término hace referencia al “consumo racional de energía manteniendo el confort de los ocupantes”, sin embargo estos criterios de confort, aun, no están definidos actualmente. Por otra parte resulta necesaria una definición de los criterios de confort térmico porque permitirá abordar las cuestiones de pobreza energética y evaluar las intervenciones en edificación así como detallar los niveles de confort que permite alcanzar el cumplimiento de la normativa. Actualmente se está trabajando en la definición de estos criterios de confort en relación a la normativa internacional existente para poder fijar diferentes niveles o categorías basados en la evaluación del bienestar térmico mediante los índices de voto medio estimado (PMV) y porcentaje estimado de insatisfechos (PPD) y teniendo en cuenta que el diseño térmico recoge

no solo la temperatura de funcionamiento sino también variables como corrientes, diferencias verticales de temperatura de aire, temperatura del suelo o asimetría de la temperatura radiante.

2.2.5 Aislamiento térmico de edificios

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007), el aislamiento térmico es la piedra angular de la edificación sostenible. Su empleo de forma óptima garantiza el equilibrio entre los beneficios sociales, económicos y medioambientales minimizando los diversos costes durante la vida útil de los edificios.

2.3 Estado del Arte

Los siguientes artículos descritos fueron mencionados y tomados como fuentes referenciales para la elaboración de la presente investigación. Los temas más resaltantes en los cuales se centran estos artículos son: madera tratada térmicamente, eficiencia energética en sistemas de fachadas y sistemas de fachadas multicapas.

Ignacio Guillén, Vicente Gómez-Lozano, José María Fran, P. Amparo López-Jiménez (2014) elaboran el artículo científico *Thermal behavior analysis of different multilayer façade: Numerical model versus experimental prototype*, donde el objetivo de la investigación es introducir nuevos conceptos sobre materiales y elementos de construcción que lleguen al final de su primer ciclo de vida y evaluar el potencial de reciclabilidad de esos materiales. El método de investigación se basa en una pirámide invertida jerárquica que da prioridad a la reutilización y el reciclaje de materiales y luego permite la creación de niveles de reciclabilidad de los materiales y elementos. Los resultados muestran que los conceptos creados con respecto a los materiales reciclados, infracicados, reutilizados e infrutilizados son más adecuados para la situación actual. Los índices de reciclabilidad cuantifican la

mejora del medio ambiente en los procesos de construcción de edificios que están hechos de materiales reciclados o reciclables. De esta manera, la reciclabilidad permite cambiar la forma en que los arquitectos diseñan y construyen edificios, y es un paso adelante hacia el ciclo de material de ciclo cerrado.

Lommi (2017) elabora el artículo científico *The mediterranean smart adaptive wall. an experimental design of a smart and adaptive facade module for the mediterranean climate*, donde presenta la propuesta de diseño para un prototipo experimental de un módulo de fachada inteligente y adaptable, que incluye materiales avanzados, como materiales de cambio de fase y materiales de alto aislamiento, basados en un sistema constructivo modular de madera seca, con alta viabilidad y alto rendimiento térmico, abordando la energía y temas medioambientales y cuestiones de tecnología de la construcción. El objetivo de su trabajo fue la evaluación energética de un módulo de fachada experimental llamado The Mediterranean Smart Adaptive Wall (MSAW) que está diseñado y optimizado para que se adapte a diferentes condiciones climáticas, típicas de contextos de clima seco marino, permitiéndole modificar la secuencia interna de capas en relación con los diferentes requisitos de rendimiento térmico, acoplando una alta capacidad térmica con un espesor reducido.

J.Ivanovic, J. Cikiric & N. Sekularac. (2015) elaboran el artículo científico *Application of wood as an element of facade cladding in construction and reconstruction of architectural objects to improve their energy efficiency*, donde realizan un estudio para la rehabilitación de edificios existentes, con el fin de mejorar su eficiencia energética aplicando un sistema de fachadas de múltiples capas, es decir, un sistema de fachada que posee un aislamiento térmico adicional en las paredes existentes y un revestimiento de fachada final

como una capa separada. Ellos consideraron las fachadas de madera como una opción adecuada para el revestimiento final de las estructuras arquitectónicas nuevas y modernas, así como para el proceso de reconstrucción de las existentes.

B. Pelaz, J. Blanco, J. Cuadrado, Z. Egiluz & A. Buruaga (2017) elaboran el artículo científico *Analysis of the influence of wood cladding on the thermal behavior of building facades; characterization through simulation by using different tools and comparative testing validation*, donde consideran que las nuevas políticas de eficiencia energética en edificios tienen como objetivo mejorar nuestro medio ambiente. Se basaron en los requisitos de la UE sobre la reducción de la demanda de energía para lograr edificios de energía casi cero así como también la reducción de la contaminación y el consumo de materias primas. Al abordar estos parámetros, necesitaron analizar el ciclo de vida del edificio, no solo para reducir el consumo de energía, sino también para fomentar el uso de materiales renovables. Otras prioridades que consideraron fueron el mantenimiento del edificio y la gestión de materiales de construcción al final de la vida útil del edificio. En el estudio que realizaron evaluaron la eficiencia energética según los reglamentos del Gobierno español, a través del Código Técnico de la Edificación. Por lo tanto, en su análisis de las fachadas de madera examinaron su influencia en el comportamiento térmico de todo el edificio, considerando tanto las propiedades del material como el diseño estructural, enfocado en el revestimiento exterior o la capa protectora.

Jaime Santa Cruz Astorqui, César Porrás-Amores (2017) elaboran el artículo *Ventilated Façade with double chamber and flow control device*, en donde el objetivo principal es evaluar el potencial del sistema propuesto en la mejora de la eficiencia energética del edificio, utilizando un modelo estable de dinámica de fluidos computacional (CFD). Con

este fin, se realizó un estudio comparativo del rendimiento energético, así como el comportamiento dinámico térmico y de fluidos, entre el sistema de dos cámaras propuesto y el sistema de fachada ventilada convencional con junta cerrada, en diferentes épocas del año. Los resultados muestran que el sistema propuesto permite un aumento del 38% de eficiencia en el período de verano y 333% en el período de invierno, en comparación con una fachada ventilada convencional con junta cerrada.

Jerzy Smardzewski, Krzysztof Witold Wojciechowski (2019) elaboran el artículo *Response of wood-based sandwich beams with three-dimensional lattice core* en donde el objetivo principal es iniciar una investigación basada en el diseño de un panel sándwich delgado con un núcleo reticular auxético (es decir, con una relación de Poisson negativa) utilizando compuestos de madera y tecnología de impresión 3D. Los paneles sándwich se fabricaron uniendo las estructuras piramidales 3D LayWooden a las hojas frontales de HDF con el adhesivo de PVC. Las resistencias mecánicas y los mecanismos de falla bajo la carga de flexión se estimaron experimentalmente, analíticamente y numéricamente. Los resultados mostraron que las propiedades mecánicas de las vigas aumentan con un ángulo de inclinación creciente de los puntales y / o la densidad relativa del núcleo. No se observaron signos de daño, como el aplastamiento de la cara (FC) o arrugas (FW), el aplastamiento del miembro central (CB, CC) (delaminación o fractura). Los datos podrían proporcionar información sobre el diseño de paneles sándwich optimizados o casi optimizados.

Sherif Abdelmohsen, Sigrid Adriaenssens, Rana El-Dabaa, Stefano Gabriele, Luigi Olivieri, Luciano Teresi (2019) elaboran el artículo, *A multi-physics approach for modeling hygroscopic behavior in wood low-tech architectural adaptive systems* en donde

se presenta un modelo mecánico, junto con su implementación numérica; El modelo se compara con algunos experimentos prototípicos, realizados mediante el uso de parámetros de material real. El parámetro de control en el modelo es el cambio de humedad relativa en la madera que determina el fenómeno de hinchamiento / deshinchado ortotrópico, y se combina con el comportamiento elástico de la madera. Este modelo está integrado en un enfoque de diseño de materia programable que combina la exploración física y computacional. El enfoque se ilustra para un panel de fachada de edificio higromórfico. Los enfoques y algoritmos presentados en este documento tienen otras aplicaciones para el diseño asistido por computadora de materiales y sistemas inteligentes con funcionalidades intercambiables.

Emilia-Adela Salca, Salim Hiziroglu (2014) elaboran el artículo *Evaluation of hardness and surface quality of different wood species as function of heat treatment* en donde se evalúa el efecto del tratamiento térmico sobre la rugosidad y dureza de la superficie de cuatro especies de madera, a saber, aliso negro (*Alnus glutinosa* L.), roble rojo (*Quercus falcata* Michx.), Pino del sur (*Pinus taeda* L.) y álamo amarillo (*Liriodendron tulipifera*). Las muestras se expusieron a programas de tratamiento térmico con dos niveles de temperatura y exposición de 120 ° C y 190 ° C durante 3 y 6 h, respectivamente. El valor de dureza promedio de las muestras de roble rojo expuestas a una temperatura de 190 C durante 6 h fue 41.7% menor que el registrado antes del tratamiento térmico. La temperatura de 190 C produjo valores de dureza 7.9% más bajos para el aliso negro con un mayor tiempo de exposición de 3 ha 6 h. No se encontraron diferencias significativas entre los mismos tipos de especímenes de pino del sur y álamo amarillo antes y después del tratamiento térmico en términos de sus valores de dureza. Entre las cuatro especies consideradas en este estudio, el roble rojo con la estructura anatómica más porosa mostró la

superficie más rugosa. Se observó una mejora en la calidad de la superficie (Ra) con 7,46% al extender el tiempo de exposición de 3 ha 6 h al nivel de temperatura de 190 ° C. Sin embargo, los cuatro tipos de especies de madera mantenidas en el horno a 190°C durante 6 h presentaron una calidad de superficie más lisa. Se encontró que el aumento de la temperatura de 120 C a 190 C para ambos tiempos de exposición mostró diferencias significativas con respecto a la calidad de la superficie de las muestras no tratadas con un nivel de confianza del 95%. La estructura anatómica de las muestras también se observó mediante microscopio electrónico de barrido (SEM) y se determinó cierto daño de la pared celular debido al tratamiento térmico. Los resultados de este estudio demostraron que el tratamiento térmico resultó en un efecto adverso sobre las características de dureza de las muestras. Por otro lado, la calidad de la superficie de las muestras de todas las especies se mejoró como resultado del tratamiento térmico. Por lo tanto, dicho tratamiento térmico se consideraría para mejorar la calidad de la superficie de la muestra para aplicaciones de muebles donde las superficies lisas son ideales, agregando un valor potencial en el material de madera para ser utilizado más efectivamente en la fabricación de muebles.



CAPITULO III

MARCO REFERENCIAL

CAPITULO III

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 La madera como material de construcción

Como explica la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), la madera es el único material con que se puede construir enteramente una vivienda. Dentro de una vivienda o construcción en base a madera deben distinguirse dos categorías de material: Madera de construcción estructural y madera de construcción no estructural. Toda madera empleado con fines resistentes, principalmente para el entramado de muros, techos, pisos elevados o columnas constituirán la estructura de la edificación. En la segunda categoría se encuentra el material utilizado para revestimientos, puertas, ventanas y muebles, estos elementos de madera no están destinados a resistir cargas importantes.

3.2 Comercialización de la madera

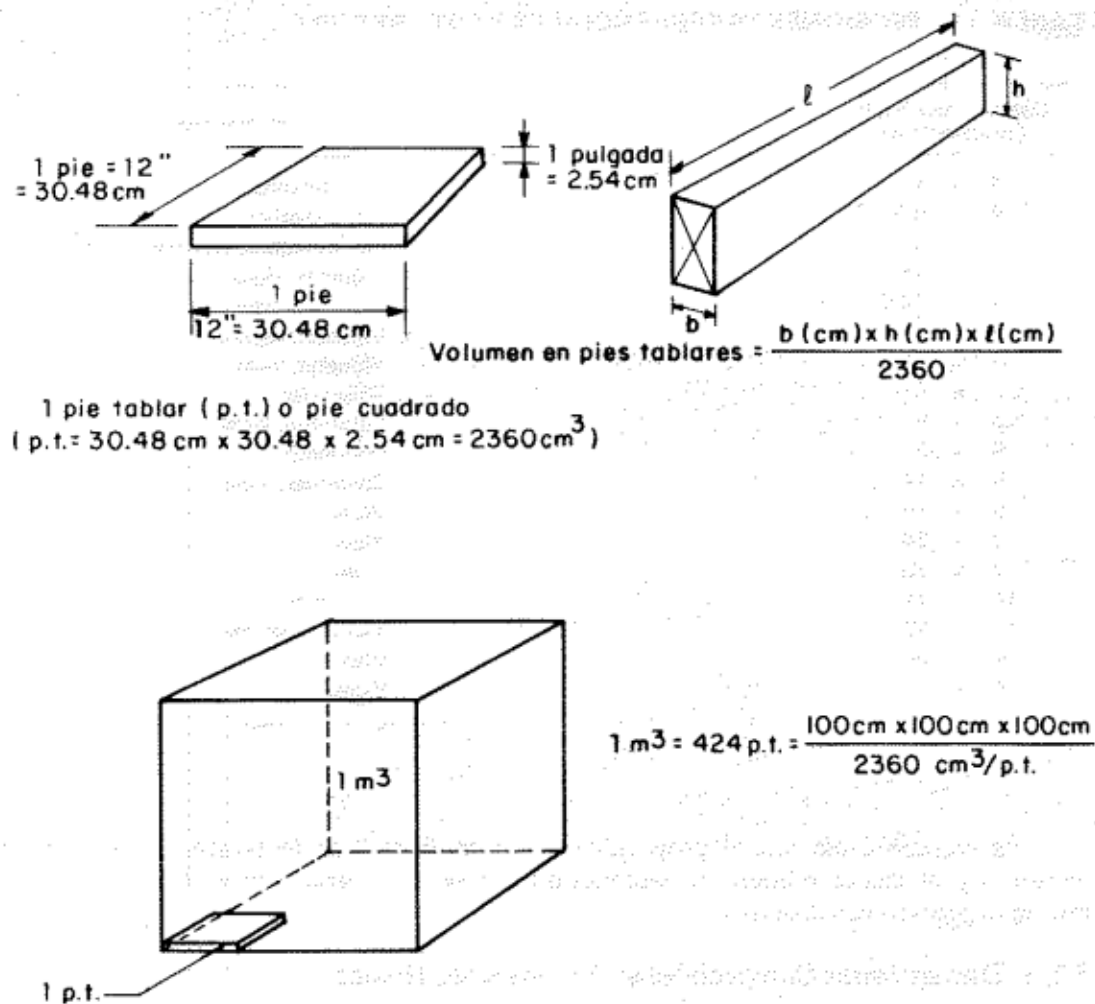
Como indica la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), la madera se emplea tal como se obtiene del árbol, excepto en el caso que se realice un secado artificial, una impregnación con preservantes o un tratamiento previo. La madera aserrada es el producto maderable final obtenido luego de cortar la troza del árbol longitudinalmente hasta convertirla en un conjunto de piezas esbeltas de sección transversal rectangular. Para que sus caras y cantos sean paralelos, perpendiculares y lisos las piezas son generalmente cepilladas.

La madera se comercializa por volumen siendo la cubicación cuantificada en metros cúbicos (m^3), en varios países andinos también se comercializa en pies cuadrados, esta medida equivale a una pieza cuadrado de doce pulgadas de lado (1 pie) y una pulgada de

espesor. Un metro cubico equivale a 424 pies cuadrados (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Figura 1.

Unidades de comercialización de madera



Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984)

Para la identificación de estas unidades, los factores que han tomado en cuenta la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984) son los siguientes:

- Eficiencia de las formas estructurales

- Adaptabilidad al mercado actual
- Facilidad de obtención de unas a partir de las otras
- Satisfacer la necesidad de contar con un número adecuado de escuadrías para construcción de viviendas y construcciones pequeñas.

La Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), recomienda el uso de las siguientes secciones y el menor número de secciones diferentes para lograr mayor eficiencia y economía en el proceso constructivo.

Figura 2.

Secciones preferenciales padt-refort

Dimensiones b x h (centímetros)	Uso más frecuente
4 x 4	Pie—derechos
4 x 6.5	Pie—derechos, viguetas
4 x 9	Pie—derechos, viguetas, columnas
4 x 14	Viguetas, vigas
4 x 16.5	Viguetas, vigas
4 x 19	Viguetas, vigas
4 x 24	Viguetas, vigas
6.5 x 6.5	Columnas
6.5 x 9	Columnas, vigas
9 x 9	Columnas
9 x 14	Columnas, vigas
9 x 19	Vigas
9 x 24	Vigas
9 x 29	Vigas
14 x 14	Columnas
14 x 19	Vigas, columnas
14 x 24	Vigas
14 x 29	Vigas

Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984)

3.3 Dimensiones Comerciales y Dimensiones Reales

Como indica la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), debido al proceso de cortes sucesivos y cepillados, las piezas de madera están expuestas a experimentar disminuciones

progresivas, haciendo diferentes las medidas iniciales (medidas nominales o equivalentes comerciales). Por lo general la comercialización de la madera se realiza en función de las dimensiones iniciales (medidas nominales), estas se utilizan para la determinación del volumen facturado al comprador. Las dimensiones resultantes son menores debido a la pérdida de material por corte y cepillado, por las contracciones naturales de la pieza debidas a la disminución del contenido de humedad durante el secado. Son las dimensiones reales de la escuadría las que se usan en el diseño y las que deben tener al momento de la construcción.

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), en los países de la Comunidad Andina no ha habido un consenso sobre la uniformidad en las dimensiones obtenidas de las escuadrías, esto quiere decir que cuando se pide una pieza de ciertas dimensiones a distintos proveedores, por lo general, todas éstas difieren entre sí. Por ello es necesario establecer una correspondencia única para que en el comercio se sigan usando dimensiones nominales teóricas mientras que las dimensiones reales obtenidas sean siempre las mismas.

Figura 3.

Dimensiones reales y equivalentes reales

Dimensión Real b x h (cm)	Equivalente Comercial b x h (pulgadas)
4 x 4	2 x 2
4 x 6.5	2 x 3
4 x 9	2 x 4
4 x 14	2 x 6
4 x 16.5	2 x 7
4 x 19	2 x 8
4 x 24	2 x 10
6.5 x 6.5	3 x 3
6.5 x 9	3 x 4
9 x 9	4 x 4
9 x 14	4 x 6
9 x 19	4 x 8
9 x 24	4 x 10
9 x 29	4 x 12
14 x 14	6 x 6
14 x 19	6 x 8
14 x 24	6 x 10
14 x 29	6 x 12

Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984)

3.4 Madera de construcción no estructural

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), las siguientes recomendaciones que se presentan a continuación son aplicables para toda aquella madera que no forma parte de la estructura de la edificación.

3.4.1 Clasificación General

La madera de uso no estructural puede presentarse principalmente de dos formas en una construcción.

- Madera Vista: Las características de calidad deben ser estrictas, de buena apariencia y limpia de defectos. El acabado deber ser transparente o natural (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).
- Madera Cubierta o no Vista: En este caso la madera será pintada o cubierta por barnices opacos, pinturas o incluso otros materiales como enchapes, por esta razón la madera puede ser de menor calidad y permitirse algunos defectos (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

3.4.2 Usos según Densidades

- Madera Dura o Pesada: Comprende a las maderas pesadas y muy pesadas entre 0,8 gr/cm³ y 1,12 gr/cm³ al 15 % de contenido de humedad. La durabilidad es alta (exceptuando la albura), no se necesita tratamiento preservador. Generalmente su uso consiste en pisos (entablados, paquetería, machihembrado), pasos de madera y balaustres (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).
- Madera Medianamente Dura: Comprende a las maderas medianas o medianamente pesadas entre 0,72 gr/cm³ y 0,88 gr/cm³. En algunas especies su durabilidad natural no es muy alta en condiciones tropicales, por esa razón se recomienda aplicarles tratamientos preservadores. Generalmente su uso consiste en trabajos de carpintería (marcos de puertas y ventanas, forros para cielo raso, molduras de barandas (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).
- Maderas Blandas: Comprende a las maderas con densidades entre 0,4 gr/cm³ y 0,72 gr/cm³ al 15 % de contenido de humedad. Son las maderas denominadas comúnmente como de utilidad general porque también pueden ser utilizadas también como madera de carpintería, muebles, decoración, etc. No son muy durables en climas tropicales,

pero con un tratamiento adecuado pueden usarse adecuadamente en la construcción (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

3.4.3 Contenido de Humedad

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), las especies maderables de alta durabilidad de uso no estructural deben trabajarse, de forma general, secos con un contenido de humedad cercano al de equilibrio o correspondiente al clima en el cual será usado.

3.4.4 Durabilidad Natural y Preservación

Como explica la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), las especies de alta durabilidad natural deben ser preferentemente usadas en zonas húmedas o con presencia de agua, o en elementos de madera que estén en contacto con el suelo. Las maderas que posean poca durabilidad natural deberán de preservarse por métodos reconocidos e indicarse, si lo permite, el mantenimiento al cual debe de someterse posteriormente.

3.4.5 Requisitos de Calidad Generales

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), las maderas que son usadas en construcción no estructural y cuyo uso final será de forma vista o cubierta con barnices o pinturas y que hayan cumplido los requerimientos anteriores, deberán también cumplir las siguientes condiciones:

- Toda pieza de madera debe ser “sana” o libre de ataques de hongos de pudrición o insectos xilófagos. La pieza de madera no debe de provenir del centro o medula del árbol, no debe de presentar rajaduras severas o aristas incompletas (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

- La presencia de agujeros de insecto está permitida siempre y cuando los provenientes de ambrosia no superen los 3 mm de diámetro, sean escasos y bien esparcidos (no más de 10 unidades por metro lineal), mientras los provenientes de insectos mayores no sean más de 2 unidades por metro lineal (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).
- No se permiten nudos sueltos o libres, si existiera nudos, estos deben de ser sanos, firmes y no mayores que el 25 % del ancho de la pieza. Su diámetro no debe de superar los 25 mm (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).
- Los defectos de secado tales como grietas o arqueadores deberán ser leves, de tal forma que pueden corregirse en la instalación con el acabado final de la pieza (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

3.5 Protección de la Madera

Todos los materiales de construcción tienen ciertas limitaciones frente a condiciones desfavorables de riesgo, bióticas y abióticas, en el caso de la madera es un material natural que puede verse afectado por el ataque de hongos e insectos xilófagos, así como por desgaste mecánico, por lo cual es necesario preservarla.

3.5.1 Preservación

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), la preservación de la madera tiene como objetivo modificar la composición química de este material, haciéndolo repelente a los organismos biológicos. Los preservadores pueden ser compuestos químicos puros o mezclas de compuestos, donde los costos, la eficiencia y la técnica varían. En términos generales son compuestos sólidos que requieren un solvente para penetrar en la madera, estos compuestos se dividen en hidrosolubles y oleosolubles, formados por agua o aceite, según lo que necesiten para disolverse. En la madera se desea un grado elevado de

protección, debido a ello, el preservador debe de penetrar la madera a una profundidad importante. Es necesario tener en cuenta que la protección de las capas superficiales de la madera no es eficaz, puesto que estas se quiebran con facilidad, ya sea por las condiciones del clima, desgastándose y quebrándose.

3.5.2 Métodos de Preservación

Como explica la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), los tratamientos preservadores requieren que la madera se encuentre en condiciones especiales que varían según el método de preservación que el usuario escoja, por ejemplo los procedimientos por osmosis y difusión requieren que la madera conserve toda la humedad posible para lograr la incorporación de los compuestos al interior del material, en todos los métodos de preservación se exige que la madera esté seca, debido a que el agua libre impide la entrada de los preservadores, provocando que la impregnación no sea satisfactoria. También es necesario señalar que todos los cortes o perforaciones que se realicen a la madera deben de realizarse de preferencia antes del tratamiento.

Como indica la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), los métodos de preservación se pueden dividir en tratamientos sin presión y tratamientos con presión:

- **Brocha:** Es el método más simple y antiguo, este tipo de preservación brinda una protección muy limitada, debe de emplearse como mantenimiento o protección temporal (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).
- **Pulverización:** Es la aplicación superficial de un preservador mediante un pulverizador, en este procedimiento el líquido penetra en la madera por capilaridad, pero la penetración es muy escasa, aunque se empape bien la superficie de la madera (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

- Inmersión: Consiste en sumergir la madera a una tina de tratamiento en donde se encuentra el preservador. La inmersión puede ser breve o prolongada siempre y cuando la temperatura sea estable. Cuanto más prolongado sea el tiempo de tratamiento, el resultado será mejor (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).
- Baño caliente y frío: Consiste en la inmersión de la madera seca durante algunas horas, en baños sucesivos del preservador en estado caliente y frío. El objetivo del baño caliente es expulsar el aire de las capas externas de la madera y evaporizar la humedad de la superficie. Al igual que el anterior método, la duración del tratamiento determina la calidad del resultado (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), los tratamientos con presión se aplican a la madera utilizando presiones distintas a la de la atmosfera introduciéndolos en un autoclave, pueden dividirse en dos tipos: los de célula llena y célula vacía. La ventaja sobre los métodos sin presión es que la impregnación es más profunda y uniforme, logrando que la protección sea más eficaz, la desventaja de este método es el valor elevado de las instalaciones donde se aplican. Los métodos son los siguientes:

- Célula llena: A este proceso también se le llama Bethell. Consiste en colocar la madera en un autoclave para luego aplicar un vacío inicial. Se aprovecha este vacío, se llena el autoclave con la solución preservadora, hasta alcanza el llenado total, ejerciendo una presión hidráulica específica considerando que debe de haber un tiempo suficiente para tener el grado de tratamiento deseado (retención y absorción). Una vez terminado el tratamiento se drena el autoclave y se aplica un vacío final que limpia la superficie de la madera para facilitar su manipulación (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

- Célula vacía: Para este proceso existen dos modalidades: Ruping y proceso Lowry. El proceso Ruping consiste en colocar la carga en el autoclave, inyectar aire a presión y a continuación, manteniendo esa presión, se aplica una solución preservadora y se bombea hasta alcanzar la presión hidráulica requerida. Una vez que termina el tratamiento, se procede a evacuar el líquido y se aplica un vacío final. El proceso Lowry es semejante al anterior exceptuando que al principio del tratamiento no se inyecta aire a presión, este método también emplea preservadores oleo e hidrosolubles (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

3.6 Sistema Estructural Entramado Global o Integral

Según Zeballos y Sardón (2015) la arquitectura republicana de madera de la costa de Arequipa utilizó un sistema entramado tipo “Balloom”, lo que hace referencia al “Balloom Framing”, un sistema de entramado integral. Según el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984) un Sistema Entramado Global o Integral es un sistema en donde la estructura está constituida por elementos de sección transversal pequeña y a su vez muy esbeltos, dispuestos a corta distancia entre ellos. Con ellos se construyen los distintos componentes tales como muros, pisos, entrepisos, techos, todos ellos arriostrados o cubiertos por entablados, formando volúmenes entre sí, dando como resultado la rigidez del conjunto similar a la de una caja en donde las cargas se transmiten de forma repartida. La característica más resaltante de este sistema es que los pies-derechos de los muros exteriores y de algunos muros interiores tienen dos pisos de altura, acabando en las soleras superiores de amarre, las que reciben directamente al techo (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

3.6.1 *Ventajas del Sistema Entramado*

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), el sistema entramado ofrece más ventajas que desventajas especialmente si se trata de construcción de viviendas, como por ejemplo:

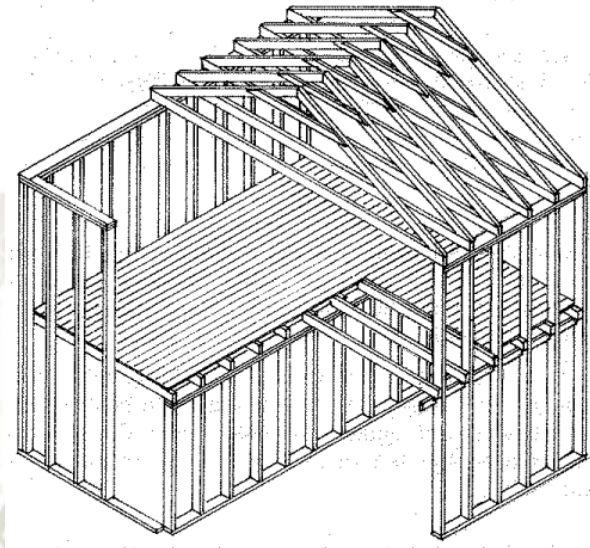
- Menores costos de construcción (se reduce entre un 5 a 15 por ciento) en relación con la construcción en ladrillo.
- Mejores propiedades de aislamiento que incrementan el confort, y que en la mayoría de casos permiten prescindir de métodos de acondicionamiento mecánico.
- Buena flexibilidad en cuanto a diseño, lo que permite adaptarse a cualquier tipología arquitectónica.
- Alta productividad en cuanto a la mano de obra, ya sea en la fabricación como en el levantamiento de la construcción.
- Métodos de unión de los componentes de madera sencillos y baratos, especialmente cuando se estandariza el tipo de clavos.
- La mayoría de los trabajos de construcción en madera es en “seco”, lo cual independiza la construcción de la estación climática.
- El tiempo de construcción es más rápido donde la estructura puede ser erigida y fabricada en un lapso máximo de una semana, esto hace posible que la vivienda esté lista para ocuparse en aproximadamente 8 semanas, a diferencia de las construcciones tradicionales, que pueden llevar entre 6 a 9 meses.
- Salvo algunas situaciones específicas, la experiencia ha demostrado que se requiere mano de obra sin mayor calificación durante el proceso de montaje, lo que lo convierte en un sistema apropiado en regiones donde no haya demasiada mano de obra calificada.

- Este tipo de sistema usualmente utiliza elementos con secciones y longitudes cortas lo cual lo convierte en un sistema apropiado para lugares donde no haya disponibilidad de madera tropical en grandes dimensiones.
- La versatilidad del sistema constructivo induce a que sea posible que los tabiques internos puedan ser removidos o cambiados de lugar en función a las necesidades funcionales y arquitectónicas de los usuarios.

3.6.2 Desventajas del Sistema Entramado

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), el sistema entramado también puede ofrecer las siguientes desventajas.

- Debido a las características del sistema estructural, este requiere gran cantidad de detalles constructivos que puedan asegurar un adecuado comportamiento de la construcción.
- Debido a que el sistema entramado consiste en la interconexión de muchas piezas en el componente estructural, se puede esperar que existan problemas por la variación dimensional de los componentes.
- Si no se aplica una fabricación estandarizada y un diseño modular, es más probable que existan un mayor desperdicio de material que otros sistemas, debido a la cantidad de piezas que requiere la construcción.

Figura 4.*Sistema entramado integral*

Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984)

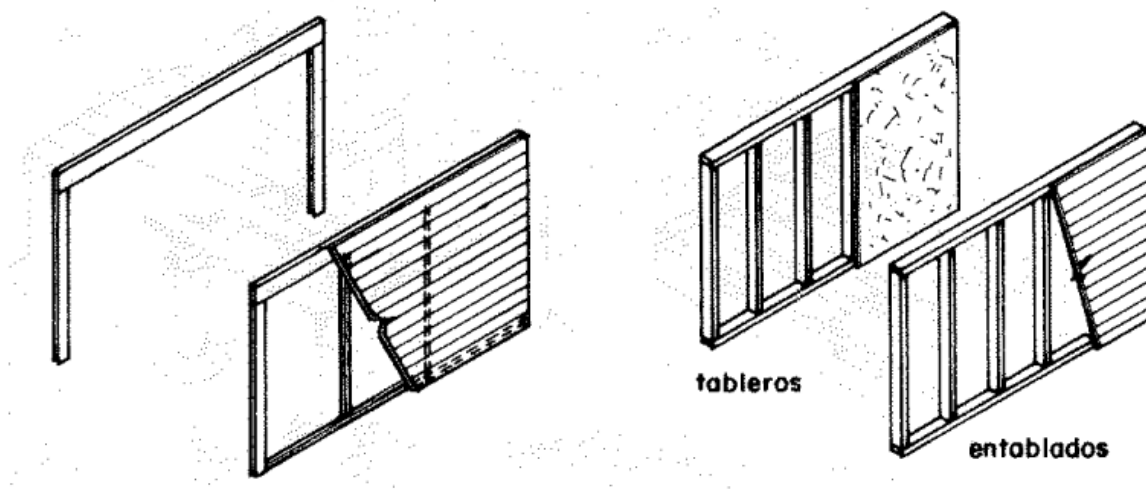
3.7 Muros

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), los muros en las edificaciones de madera pueden ser portantes y no portantes, según la función que el diseñador les asigne. En el caso que sean portantes los muros reciben las cargas del techado o del piso superior y los no portantes cumplen una función principalmente de cerramiento.

Cuando el sistema estructural de la construcción es de tipo poste y viga o a base de pórticos, los muros cumplen una función de relleno, teniendo un entramado propio que facilita su revestimiento y este está diseñado únicamente para darle suficiente rigidez, este sistema puede permitirse un revestimiento de entablonado de gran espesor. En cambio cuando el sistema estructural es entramado, estos al tener los pie-derecho relativamente cerca, permiten un revestimiento de menor espesor que puede ser de entablado, con tableros de madera o enlucidos (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Figura 5.

Tipos de revestimientos en sistema estructural a base de pórticos y entramado



Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984)

Como indica la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), es fundamental que los muros exteriores usen revestimientos resistentes a la humedad, si se usan tableros estos deben ser únicamente fabricados con adhesivos o aglomerantes adecuados. Para muros interiores los revestimientos deben ser resistentes al fuego, de esta forma se protege la estructura de madera por el tiempo mínimo que indiquen los reglamentos, por ello es recomendable aquellos revestimientos a base de materiales en base a yesos, morteros de cemento o cal, debe de evitarse la madera.

3.8 Productos maderables semielaborados para revestimientos exteriores

Según SERFOR (2019), los productos de madera semielaborados son aquellos productos que presentan procesos posteriores al aserrío de la madera (como por ejemplo cortes longitudinales en caras, cantos o extremos o procesos rotatorios de madera), así como aquellos que empleen madera aserrada o algún tipo de tablero a base de madera como

insumo principal para su fabricación. Dentro de esta clase podemos encontrar los siguientes productos:

- Madera perfilada para pisos, frisas y revestimientos de pared.
- Productos de madera para empaque, embalaje, transporte de insumos varios y envoltura.
- Productos de madera para uso doméstico y decorativo en el hogar.
- Productos de madera para carpintería de obra y construcción de obra.

3.8.1 Madera perfilada para revestimiento en paredes

Según SERFOR (2019), son piezas de madera con procesos de perfilados longitudinal adicionales al machihembrado (moldurado, biselado, ranurado), sus usos son variados, como molduras para cornisas y techos, revestimiento de paredes (interiores y exteriores), entre otros. Las características más importantes son:

- Especies: Pueden fabricarse con especies tropicales, coníferas y no coníferas de zonas de zonas templadas.
- Obtención: Se obtienen mediante el perfilado longitudinal adicional al machihembrado
- Dimensiones: El espesor es mayor a 6 mm, con anchos y largos variables.

Figura 6.

Productos semielaborados de segunda transformación

PRODUCTOS SEMIELABORADOS

MADERA PERFILADA PARA REVESTIMIENTO EN PAREDES

Palabras clave: madera perfilada para pisos de interiores.

Piezas de madera con procesos de perfilados longitudinal adicionales al machihembrado (moldurado, ranurado, biselado). **Tienen usos variados como molduras para cornisas y techos, revestimiento de paredes (interiores y exteriores), entre otros.**

CARACTERÍSTICAS

- P **Especies:** tropicales / coníferas / no coníferas de zonas templadas.
- O **Obtención:** perfilado longitudinal adicionales al machihembrado (moldurado, ranurado y biselado).
- D **Dimensiones:** espesor mayor a 6 mm, con anchos y largos variables.

PARTIDA ARANCELARIA

4409

SUBPARTIDA ARANCELARIA		
<p>4409.29.10.00 (no coníferas de zona templada, tablillas y frisos para parquet)</p> <p>4409.29.20.00 (no coníferas de zona templada, madera moldurada)</p> <p>4409.29.90.00 (los demás no coníferas de zona templada)</p>	<p>4409.10.10.00 (coníferas, tablillas y frisos de parquet)</p> <p>4409.10.20.00 (coníferas, madera moldurada)</p> <p>4409.20.90.00 (los demás coníferas)</p> <p>4409.22.10.10 (maderas tropicales, tablillas y frisos para parquet de tipo - Tablatura spp.)</p> <p>4409.22.10.20 (maderas tropicales, madera moldurada de tipo - Tablatura spp.)</p>	<p>4409.22.10.90 (maderas tropicales, los demás de tipo - Tablatura spp.)</p> <p>4409.22.90.10 (maderas tropicales, tablillas y frisos para parquet de los demás maderas tropicales)</p> <p>4409.22.90.20 (madera moldurada de los demás maderas tropicales)</p> <p>4409.22.90.90 (los demás maderas tropicales)</p>

Fuente: SERFOR (2019)





CAPITULO II

MARCO NORMATIVO

CAPITULO IV

4. MARCO NORMATIVO

4.1 Variable: Sistema de Fachada Adaptativo

4.1.1 Reglamento Nacional de Edificaciones E.010

4.1.1.1 Diseño y construcción con madera del Reglamento Nacional (2006)

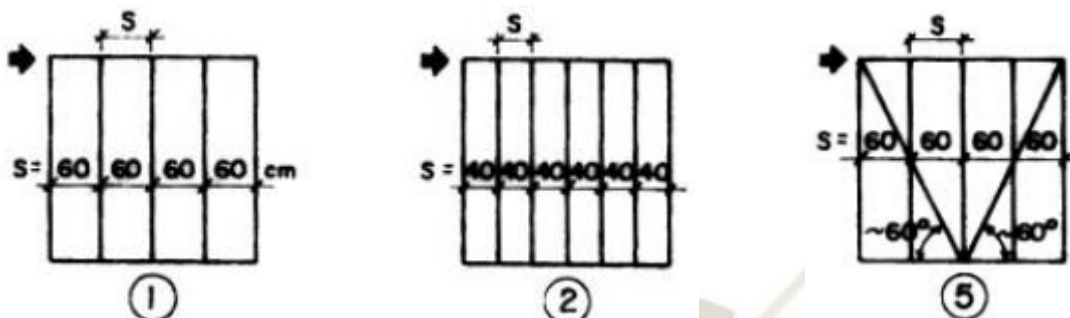
El Reglamento Nacional de Edificaciones E.010 (2006) indica que los proyectistas deberán tomar en cuenta las características intrínsecas de la madera como material natural ligno – celuloso. La madera aserrada deberá estar seca a un contenido de humedad de equilibrio con el ambiente en donde será utilizada, el contenido de humedad no deberá de superar el 22 %. Si la madera no es naturalmente durable o siendo durable posee parte de albura, deberá ser tratada con preservante aplicado con método adecuado que garanticen su efectividad y permanencia

- Tablas para determinar la fuerza cortante para distintos tipos de muros:

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.010 (2006), las siguientes tablas indican las fuerzas cortantes resistentes para diversos tipos de muros con entramado de madera y variados revestimientos, todos estos colocados por un solo lado del muro. Si el revestimiento se colocara por ambos lados se tendría que sumar de forma correspondiente las resistencias. La resistencia de cada muro se calculará multiplicando la longitud del muro por su carga admisible o resistencia por unidad de longitud.

Figura 7.

Tipos de entramados



Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006)

Figura 8.

Listonería de madera fijada al entramado con clavos de 37 mm revestida con yeso de 15 mm de espesor

ENTRAMADO		REVESTIMIENTO	RIGIDEZ kg/cm/m	CARGA ADMISIBLE kg/m
TIPO	s, cm			
1	60	Listones 10 x 20 mm espaciados @ 10 mm.	600	220
1	60	Listones 10 x 20 mm espaciados @ 6 mm.	950	350
5	60	Listones 10 x 20 mm espaciados @ 6 mm	1050	370

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006)

4.1.1.2 Criterios de protección

- Hongos y humedad:

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.010 (2006), debe evitarse que la madera este en contacto con el suelo y con otras fuentes de humedad. Para prevenir la condensación, sobretodo en climas húmedos, es necesario evitar espacios sin ventilación. La madera al ser un material higroscópico está sujeto a fluctuaciones en

su contenido de humedad lo que provoca la variación dimensional de los elementos constructivos, esta variable es necesaria tomarla en cuenta al momento de diseñar y fabricar elementos de madera.

- Insectos:

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.010 (2006), los restos orgánicos en el área de construcción deben de eliminarse, si existieran termitas subterráneas deberán de colocarse barreras o escudos metálicos sobre la superficie de la cimentación en forma continúa.

4.1.1.3 Requisitos de fabricación y montaje

Como indica el Reglamento Nacional de Edificaciones E.010 (2006), con el fin de que las construcciones y el montaje en madera se realicen de forma eficiente, se tienen que fijar requisitos que aseguren el buen comportamiento en obra.

- Prácticas de fabricación:

Como sugiere el Reglamento Nacional de Edificaciones E.010 (2006), las piezas de madera deben tener las secciones y longitudes especificadas en los planos, si se realizaran perforaciones o rebajos en las piezas de madera estas no deben de reducir la resistencia estructural. Las tolerancias permitidas en la habilitación de piezas de madera serán de la siguiente forma: En la sección transversal para dimensiones menores a 150 mm será de -1 mm a +2 mm y para dimensiones mayores de 150 mm será de -2 mm a 4 mm. En la sección longitudinal será de -1 mm a + 3 mm para todas las piezas.

- Almacenamiento:

Como sugiere el Reglamento Nacional de Edificaciones E.010 (2006), las piezas de madera o elementos prefabricados deben ser aplicadas de tal forma que no estén sometidos a esfuerzos para los que no hayan sido diseñados. Las piezas de madera y estructura de madera deben de mantenerse cubierto de las lluvias, bien ventiladas y protegidas de la humedad y el sol.

- **Montaje:**

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.010 (2006), la constructora o entidad responsable debe de asegurarse que los carpinteros tengan la suficiente experiencia, deben de ser dirigidos por un capataz responsable así como disponer de herramientas y equipos adecuados. Durante el montaje deben de respetarse las normas de seguridad del personal, empleándose equipos de protección necesarios.

4.1.2 Métodos de prueba estándar para la medición directa del contenido de humedad de madera y materiales de base de madera – ASTM D4442 - 07

- **Alcance:**

Según la norma ASTM D4442-07 (2007), este método de prueba puede determinar el contenido de humedad de madera maciza, contrachapada y otras incluyéndose aquellos materiales de madera que tienen aditivos químicos o adhesivos.

- **Terminología:**

Según la norma ASTM D4442-07 (2007), se comprende como contenido de humedad a la cantidad de agua contenida en la madera, generalmente expresada como el porcentaje de la masa de la madera seca al horno.

- **Significancia y uso:**

Según la norma ASTM D4442-07 (2007), el contenido de humedad es una de las variables más importantes que influyen en las propiedades de la madera y los materiales basados en madera. El procedimiento de este método de prueba permite el rango completo de uso desde la investigación fundamental hasta el procesamiento industrial.

4.1.2.1 Método B – Secado en Horno (Secundario)

- Aparatos:

Según la norma ASTM D4442-07 (2007), debe de usarse un horno que pueda mantener 103 ± 2 °C cerca del punto final de secado, así como una balanza con una sensibilidad mínima de 0,1% de la masa nominal seca al horno de muestra.

- Material de prueba:

Según la norma ASTM D4442-07 (2007), se puede usar cualquier madera o material a base de madera de tamaño conveniente, sin embargo la legibilidad de la balanza debe ser consistente con la precisión deseada.

- Procedimiento:

Según la norma ASTM D4442-07 (2007), primero se almacena las muestras en recipientes individuales o en envoltorios si se produjera un retraso entre el muestreo y el pesaje, después se procede a pesar las muestras utilizando una balanza de precisión tomando nota de la masa de la muestra. Posteriormente se procede a secar la muestra al horno en un periodo de 24 horas, después de haber enfriado la muestra, se procede a pesar nuevamente la probeta, las muestras secas se pesaran lo antes posible para minimizar la absorción de humedad. Después se procede a calcular el contenido de humedad de la siguiente manera

$$CH\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

CH% Contenido de humedad, en porcentaje;

M1 Masa inicial (estado seco), en gramos;

M2 Masa final (estado anhidro), en gramos;

- Informe:

Reporte la información obtenida, considerando los siguientes parámetros: Media, desviación estándar, número de muestras y cualquier desviación del método. Los valores del contenido de humedad serán solo enteros.

4.1.3 Métodos de prueba estándar para densidad y gravedad específica (densidad relativa) de madera y materiales de base de madera – ASTM D2395 - 14

- Alcance:

Según la norma ASTM D2395-14 (2014), este método de prueba puede determinar la densidad y la gravedad específica (densidad relativa) de la madera y los materiales a base de madera con grados de precisión generalmente deseados y para muestras de diferentes tamaños, formas y condiciones de contenido de humedad.

- Terminología:

Según la norma ASTM D2395-14 (2014), se conoce como densidad a la masa de una unidad de volumen de una muestra con un contenido de humedad especificado, usualmente la masa y el volumen a 12 % de contenido de humedad se utiliza con frecuencia, la densidad básica es la densidad basada en la masa seca del horno de una muestra y su volumen verde, el volumen verde es el volumen de la muestra de madera antes de que se produzca la

contracción debido al secado hasta un contenido de humedad por debajo del punto de saturación de la fibra (aproximadamente 30 %).

- Significancia y uso:

Según la norma ASTM D2395-14 (2014), la densidad y la gravedad especifican son términos fundamentales que ayudan a definir muchas propiedades útiles de la madera y los productos a base de madera. La densidad básica y el peso específico básico de la madera se utilizan en la industria forestal para calcular el peso seco al horno de la fibra de madera contenida en un volumen de madera conocido de diversas especies de madera. Por lo tanto, sirve como indicador de la cantidad de pulpa de madera que podría producirse, la trabajabilidad del material o su peso de envío. En la industria de los compuestos a base de madera, la densidad o gravedad específica del producto también proporciona un indicador importante de los atributos potenciales del producto.

- Material de prueba:

Según la norma ASTM D2395-14 (2014), las muestras de ensayo deben de ser totalmente representativas del material que se toman. El tamaño de la muestra debe ser tal que sea fácil de obtener dimensiones precisas de masa y volumen. Las muestras deben de cortarse cuidadosamente del elemento más grande para asegurar superficies limpias, todas las fibras sueltas deben de eliminarse cuidadosamente antes de pesar y medir la muestra, la muestra deberá estar libre de nudos. Las dimensiones de las probetas deben de medirse con una precisión de $\pm 0,3\%$ o menos y la masa se debe de determinar con una precisión de $\pm 0,3\%$ o menos. Cuando se requiera el secado de las muestras, se realizará en un horno de convección forzada que pueda mantenerse a 103 ± 2 °C en toda la cámara de secado

durante el tiempo necesario para secar la muestra para alcanzar el equilibrio práctico. El horno debe tener ventilación para permitir que escape la humedad evaporada.

4.1.3.1 Método B – Volumen por inmersión de agua

- Aplicabilidad:

Según la norma ASTM D2395-14 (2014), este procedimiento es aplicable a muestras de forma irregular o que tienen una superficie rugosa. Las limitaciones del tamaño de la muestra se basan principalmente en el tamaño de los tanques de inmersión disponibles. En muestras de tamaño pequeño, de menos de 1 cm^3 de volumen, las burbujas de aire adheridas a la superficie de la muestra pueden provocar un error considerable. La madera verde recién cortada no absorberá cantidades apreciables de agua durante el breve periodo de inmersión. Si la muestra ha sufrido algún secado, la superficie debe de sellarse antes de la inmersión en agua, de lo contrario el desplazamiento volumétrico de la muestra estará en error de forma proporcional en cantidad igual al volumen de agua absorbido por la madera.

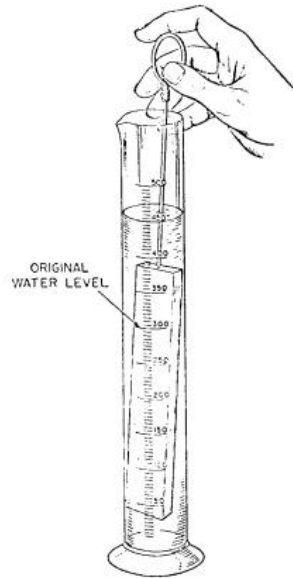
- Procedimiento:

Según la norma ASTM D2395-14 (2014), primero se determina la masa inicial de la muestra en el momento que empieza a realizar el ensayo, después se determina el volumen de la muestra midiendo el volumen o la masa de agua desplazada por la muestra utilizando el siguiente modo.

Modo IV: sumerja la muestra, de forma alargada, en un tubo graduado que tenga una sección transversal solo un poco más grande que la de la muestra como se observa en la siguiente figura.

Figura 9.

Medición del volumen de muestras alargadas utilizando un tubo graduado mediante el método de prueba b (modo iv)



Fuente: ASTM D2395-14 (2014)

Según la norma ASTM D2395-14 (2014), debe de leer el nivel del agua en el tubo, preferentemente hasta una marca de graduación uniforme, antes de sumergir la muestra, luego sumerja la muestra, manténgala sumergida con una varilla fina y puntiaguda si es necesario y vuelva a determinar el nivel del agua. La diferencia en el nivel del agua es igual al volumen de la muestra. Después proceda a determinar la masa seca de la muestra colocando la probeta en un horno por 24 horas a 100 ± 2 °C. Después aplique la siguiente formula

$$Pb = \frac{m_0}{V_{max}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

m₀: masa anhidra en horno de la muestra

V_{max}: Volumen verde de la muestra

- Informe:

Reporte la información obtenida, considerando los siguientes parámetros: el método de selección de las muestras de ensayo, el procedimiento de ensayo utilizado y las condiciones bajo las cuales se determinaron el volumen y la masa

4.1.4 Comportamiento higrotérmico de materiales y productos de construcción.

Determinación del coeficiente de absorción de agua por inmersión parcial – EN ISO

15148:2002

- Alcance:

Según la norma EN ISO 15148: 2002 (2002), se especifica un método para determinar, por inmersión parcial sin gradiente de temperatura, el coeficiente de absorción de agua líquida a corto plazo. Esto permite evaluar la tasa de absorción de agua, por acción capilar de lluvia continua o torrencial durante el almacenamiento o la construcción en el sitio, a través de aislantes y otros materiales.

- Terminología:

Según la norma EN ISO 15148: 2002 (2002), se conoce como coeficiente de absorción de agua a la masa de agua absorbida por una muestra de prueba por área de la cara y por raíz cuadrada de tiempo. Se conoce como material homogéneo al material cuyas propiedades son uniformes a escalas macroscópicas.

- Principio:

Según la norma EN ISO 15148: 2002 (2002), la absorción de agua por inmersión parcial se determina midiendo el cambio de masa de la muestra de ensayo, cuya superficie

interior está en contacto con el agua, durante un periodo que suele ser menor a 24 horas. El agua adherida a la superficie y no absorbida por el producto se elimina por completo, como por ejemplo, secando con una esponja antes de secar la muestra.

- Equipos y aparatos:

Según la norma EN ISO 15148: 2002 (2002), el aparato de prueba incluye: una balanza capaz de pesar una muestra de ensayo con una precisión de $\pm 0,1$ % de la masa de la muestra, un tanque de agua con un dispositivo para mantener el nivel de agua constante a 2 mm. El tanque debe de incluir soportes puntuales, que no dañen la muestra, para mantener la muestra al menos a 5 mm de distancia de la base y finalmente se requerirá un temporizador con la precisión de al menos 1 segundo en 24 horas.

- Material de prueba:

Según la norma EN ISO 15148: 2002 (2002), las muestras de ensayo deben ser representativas del material o producto, las caras deben estar libre de irregularidades en la superficie, siempre que sea posible, el espesor de la muestra debe ser el espesor total del producto. Para este procedimiento se ensayaran por lo menos 3 probetas, si el área de contacto de la muestra es inferior a 100 cm^2 se deben ensayar al menos seis muestras que representen un área total de al menos 300 cm^2 .

- Preparación de las probetas:

Según la norma EN ISO 15148: 2002 (2002), las muestras de ensayo deben ser representativas de todo el material y deben cortarse de tal manera que no incluyan los bordes del producto. Las muestras de ensayo deben de prepararse mediante métodos que no cambien la estructura original del producto, la superficie en contacto con el agua debe ser

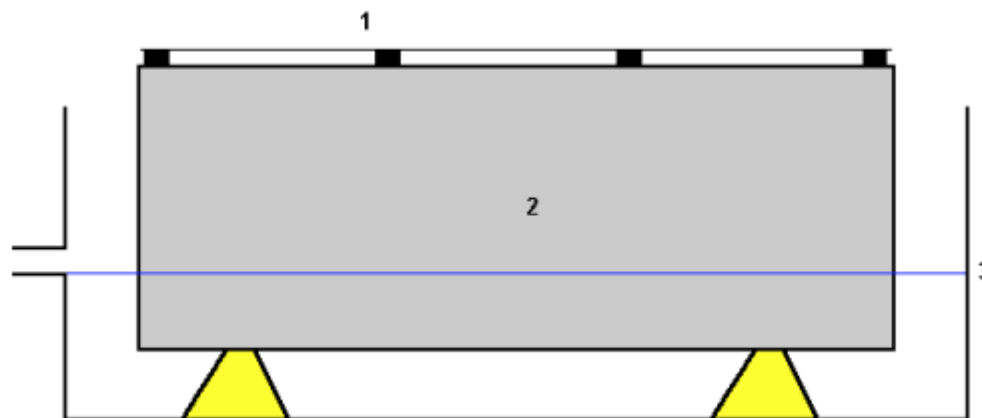
plana, permitiendo la rugosidad superficial normal del material. Las muestras deben de almacenarse en condiciones de ensayo hasta que la masa de cada muestra se haya estabilizado dentro del 0,1% de su masa total, cuando se mide durante 24 horas.

- Procedimiento:

Según la norma EN ISO 15148: 2002 (2002), debe de aplicarse el siguiente procedimiento a cada muestra, primero se debe de pesar la probeta con un precisión del 0,1% de su masa para terminar la masa inicial m_i después del acondicionamiento, después se debe de llenar el tanque con agua del grifo hasta la profundidad especificada en el punto anterior y acondicionar a la temperatura de prueba. Después debe de colocarse la muestra en el tanque de modo que su base descansa sobre soportes puntuales que la mantengan alejada del fondo del tanque. El nivel del agua debe de mantenerse constante durante el ensayo (5 ± 2 mm) por encima del punto más alto de la base de la muestra.

Figura 10.

Ejemplo de aparato de prueba



Fuente: EN ISO 15148: 2002 (2002)

Donde:

1: Rejilla para pesar las muestras flotantes (si es necesario)

2: Espécimen

3: Nivel de agua

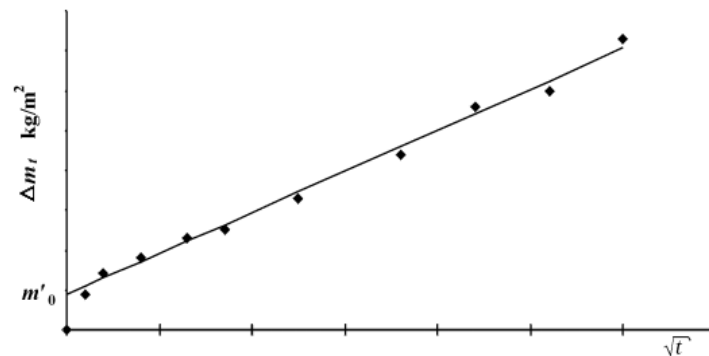
La norma EN ISO 15148: 2002 (2002), también indica que para eliminar los efectos no isotrópicos, las probetas se colocaran con una cara mayor hacia abajo y la otra mitad con esta cara hacia arriba, después se iniciará el temporizador cuando la muestra se sumerja en el agua, después de aproximadamente 5 min se retirará la muestra del agua, se secará las superficies con una esponja húmeda, asegurándose de escurrir la esponja antes de secar cada cara, y se pesará la muestra con una precisión del 0,1% de su masa. Debe de repetirse este procedimiento de inmersión, remoción, secado de la superficie y pesaje en momentos como 20 min, 1 h, 2 h, 4 h y 8 h después de la inmersión y luego como mínimo dos veces más, incluyendo 24 h, para dar una serie de masas mt en tiempos t .

- Cálculo y expresión de resultados:

Según la norma EN ISO 15148: 2002 (2002), después de realizar el montaje experimental y toma de datos de: masa inicial, masa final y tiempo en siete momentos diferentes se obtiene el siguiente gráfico tipo A.

Figura 11.

Figura “a”- Norma ISO 15148-2002



Fuente: EN ISO 15148: 2002 (2002)

Donde el coeficiente de absorción de agua, A_w o W_w se calcula a partir de:

$$A_w = \frac{\Delta m_{tf} - \Delta m_0}{\sqrt{t_f}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Dónde:

A_w Coeficiente de absorción de agua, $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})]$;

$\Delta m'_{tf}$ Valor obtenido de Δm_t en la línea de tendencia lineal en el tiempo de prueba final;

$\Delta m'_0$ Valor obtenido de Δm_t cuando la línea de tendencia se cruza con el eje de Δm_t ;

$\sqrt{t_f}$ Raíz del tiempo de prueba total, en segundos.

- Exactitud de la medida:

Según la norma EN ISO 15148: 2002 (2002), durante esta prueba se miden tres parámetros. Primero, al momento en que se retire la muestra para pesarlo; esto se puede registrar con una precisión de dos a tres segundos, lo que en escala de tiempo de

aproximadamente 24 h da una precisión mejor que 0,01%. Segundo, la masa de la muestra; se registrará con una precisión de 0,1% de la masa de la muestra, sin embargo, los problemas de manipulación y secado de la muestra antes de pesarla pueden introducir errores sustancialmente mayores. Tercero, el área de la muestra; en el caso que la muestra sea regular, será posible medir el área dentro del 1%. Es más difícil medir el área de muestras irregulares con tanta precisión, si se necesita una mayor precisión se pueden analizar más muestras.

- Informe:

Reporte la información obtenida, considerando los siguientes parámetros: referenciando esta norma, la forma como llegó el producto al laboratorio, la densidad del producto, el procedimiento de prueba, la fecha y duración de la prueba; el método de muestreo, el número de probetas, preparación de las muestras y dimensiones de las muestras, el grafico resultante y el resultado numérico final.

4.2 Variable: Habitabilidad y Vida útil de la vivienda

4.2.1 Durabilidad de la madera y los productos derivados de la madera – Clases de uso – Norma Internacional ISO 21887

- Introducción

Según la norma ISO 21887 (2007), este documento define un sistema de clasificación de uso para productos de madera basado en el grado de exposición al agua y suelo frente diferentes condiciones de servicio y agentes biológicos de deterioro esperados en estas condiciones, permitiendo variaciones entre regiones geográficas. A la fecha de publicación de esta Norma Internacional, el comercio interregional de productos de madera tratada era insuficiente para justificar el desarrollo de un sistema completo de normas ISO

para la durabilidad de la madera y los productos a base de madera. Sin embargo, se anticipó un sistema unificado de clases de uso para facilitar el nivel comercial existente y proporcionar la base para un sistema completo de normas si esto se considerara apropiado en el futuro. Al desarrollar este sistema de clasificación de uso, se ha considerado primordial la necesidad de un conflicto mínimo con los sistemas de normalización nacionales y regionales existentes.

- Alcance

Según la norma ISO 21887 (2007), esta Norma Internacional permite definir cinco clases de uso que representan diferentes situaciones de servicio a los cuales la madera y los productos a base de madera pueden estar expuestos en todo el mundo. También se define las subclases para estas clases de uso (estas subclases pueden emplearse en las normas nacionales o regionales según las necesidades locales). Esta Norma Internacional se aplica solo a conservantes y procesos para el pre tratamiento de madera y productos de madera, no está destinada a productos y procesos para la remediación y erradicación de los daños existentes en la madera.

4.2.1.1 Definición de clases de uso

Según la norma ISO 21887 (2007), este sistema de clasificación de clases de uso se deriva de los principios básicos utilizados en varios sistemas de estandarización de durabilidad establecidos en varias partes del mundo. La clase de uso 1 representa la condición de servicio menos agresiva con la gama más estrecha de agentes biológicos de deterioro y la clase de uso, mientras la clase de uso 5 representa la condición de servicio más agresiva con la gama más amplia de agentes biológicos.

- Clases de uso 1

Según la norma ISO 21887 (2007), la clase de uso 1 se aplica a situaciones en las que la madera o el producto a base de madera está cubierto (totalmente protegido de la intemperie) y no expuesto a la humedad. No hay potencial para el crecimiento de hongos de la descomposición, pero se puede esperar el ataque de insectos perforadores de la madera como los líctidos, anobiidos y cerambícidos, y en algunas regiones ciertos géneros de termitas. La clase de uso 1 se divide en dos subclases con diferentes conjuntos de agentes biológicos según las regiones geográficas. La subclase 1A es apropiada para regiones donde los insectos perforadores de la madera se reconocen como un problema económicamente significativo. La subclase 1B es apropiada para regiones donde, además, las termitas de madera seca se reconocen como un problema económicamente significativo.

- Clases de uso 2

Según la norma ISO 21887 (2007), la clase de uso 2 se aplica a situaciones en las que la madera o el producto a base de madera está cubierto y completamente protegido de la intemperie, pero puede producirse una humectación ocasional, pero no persistente. Además de los escarabajos perforadores de la madera, también se producen hongos desfigurantes. La clase de uso 2 se divide en dos subclases con diferentes conjuntos de agentes biológicos según las regiones geográficas. La subclase 2A es apropiada para regiones donde los hongos de descomposición se reconocen como un problema económicamente significativo. La subclase 2B es apropiada para regiones donde las termitas también se reconocen como un problema económicamente significativo.

- Clases de uso 3

Según la norma ISO 21887 (2007), la clase de uso 3 se aplica a situaciones en las que la madera o el producto a base de madera no está cubierto ni en contacto con el suelo. Está expuesto continuamente a la intemperie o protegido de la intemperie, pero sujeto a mojarse con frecuencia. La clase de uso 3 se subdivide en dos subclases, 3.1 y 3.2, con diferentes grados de exposición a la intemperie. La subclase 3.1 representa productos de madera que están revestidos o revestidos y están diseñados para tener superficies de drenaje libre o están protegidos de otra manera. La subclase 3.2 representa productos de madera en usos totalmente expuestos a la intemperie. Siempre se esperan escarabajos perforadores de la madera, hongos desfigurantes y hongos en descomposición.

- Clases de uso 4

Según la norma ISO 21887 (2007), la clase de uso 4 se aplica a situaciones en las que la madera o el producto a base de madera están en contacto con el suelo o el agua dulce y, por lo tanto, están permanentemente expuesto a la humedad. La clase de uso 4 se subdivide en dos subclases, 4.1 y 4.2, con diferentes condiciones del suelo y exposiciones a la lixiviación (desplazamiento de sustancias solubles). La subclase 4.1 representa suelos relativamente no cultivados, no particularmente agresivos. La subclase 4.2 representa suelos muy cultivados donde la enmienda orgánica, la fertilización y el riego de ciertos cultivos pueden crear un nivel mucho mayor de actividad biológica. Los suelos que soportan hongos de descomposición de la madera que forman hebras también pueden caer en esta subclase. La subclase 4.2 también cubre la exposición permanente al agua dulce. Siempre se esperan

escarabajos perforadores de la madera, hongos desfiguradores, hongos en descomposición y hongos de pudrición blanda.

- Clases de uso 5

Según la norma ISO 21887 (2007), la clase de uso 5 se aplica a situaciones en las que la madera o el producto a base de madera se sumerge de forma permanente o regular en agua salada. Para las partes por encima del agua, se pueden esperar insectos perforadores de la madera, hongos desfigurantes, hongos de pudrición y hongos de pudrición blanda. Además, para las partes bajo el agua, se esperan barrenadores marinos. La clase de uso 5 se divide en tres subclases con diferentes conjuntos de agentes biológicos según las regiones geográficas. La subclase 5A es apropiada para regiones donde los teredínidos y Limnoria se reconocen como problemas económicamente significativos. La subclase 5B es apropiada para regiones donde los teredínidos, Limnoria y Limnoria tolerante a la creosota se reconocen como problemas económicamente significativos. La subclase 5C es apropiada para regiones donde los teredínidos, Limnoria (incluidas las especies tolerantes a la creosota) y foladas se reconocen como problemas económicamente significativos.

4.2.2 Código Técnico de la Edificación (CTE)

Según el Código Técnico de la Edificación (2020) debe aplicarse una normativa técnica española a los edificios de nueva construcción y a los edificios existentes cuando en estos se realizan determinadas intervenciones, con el objetivo de garantizar unas condiciones aceptables de seguridad y habitabilidad. El Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), que forma parte del CTE, busca asegurar

que el confort de sus ocupantes se alcance con un uso racional de la energía en los edificios.

4.2.2.1 Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE)

Según el Código Técnico de la Edificación (2020), este documento tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir el requisito básico de ahorro de energía.

Según el Código Técnico de la Edificación (2020), “pueden utilizarse otras soluciones diferentes a las contenidas en este Documento Básico, en cuyo caso deberá seguirse el procedimiento establecido en el artículo 5 de la Parte I del CTE, y deberá justificarse en el proyecto el cumplimiento del requisito básico y de las exigencias básicas”.

El “Catálogo de Elementos Constructivos del CTE” “aporta valores para determinadas características técnicas exigidas en este DB”. Los valores que el Catálogo asigna a soluciones constructivas que no se fabrican industrialmente, sino que se generan en la obra tienen garantía legal en cuanto a su aplicación en los proyectos, mientras que para los productos de construcción fabricados industrialmente dichos valores tienen únicamente carácter genérico y orientativo.

- Criterio 1: No empeoramiento

Según el Código Técnico de la Edificación (2020), Salvo en los casos en los que un DB establezca un criterio distinto, “las condiciones preexistentes que sean menos exigentes que las establecidas en algún DB no se podrán reducir”, y las que sean

más exigentes únicamente podrán reducirse hasta el nivel establecido en el correspondiente DB.

- Criterio 2: Flexibilidad

En los casos en los que no sea posible alcanzar el nivel de prestación establecido con carácter general en este DB, “podrán adoptarse soluciones que permitan el mayor grado de adecuación posible, determinándose el mismo”, siempre que se dé alguno de los siguientes casos:

- a) en edificios con valor histórico o arquitectónico reconocido, cuando otras soluciones pudiesen alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto, o;
- b) la aplicación de otras soluciones no suponga una mejora efectiva en las prestaciones relacionadas con el requisito básico de “Ahorro de energía”, o;
- c) otras soluciones no sean técnica o económicamente viables, o;
- d) otras soluciones impliquen cambios sustanciales en elementos de la envolvente

- Criterio 3: Reparación de daños

Según el Código Técnico de la Edificación (2020), los elementos de la parte existente no afectados por ninguna de las condiciones establecidas en este DB, “podrán conservarse en su estado actual siempre que no presente, antes de la intervención, daños que hayan mermado de forma significativa sus prestaciones iniciales”. Si el edificio presenta daños relacionados con el requisito básico de “Ahorro de energía”, la intervención deberá contemplar medidas específicas para su resolución.



CAPITULO IV

MARCO OPERATIVO

CAPITULO V

5. MARCO OPERATIVO

5.1 Etapa I: Agentes atmosféricos

Para estimar el riesgo de degradación y asignar de manera correcta y objetiva la clase de uso de aplicación para un determinado elemento de madera es necesario evaluar, de la forma más metódica posible, la evolución del “clima del material” (temperatura y contenido de humedad) a lo largo del año. El clima del material al que se encuentre expuesto cualquier elemento de madera, tanto si la aplicación es al exterior como si lo es bajo cubierta, depende exclusivamente del clima existente en contacto inmediato con él, lo que se denomina como “microclima” (Fernández - Golfín et al., 2018).

Según Fernández – Golfín (2018), para estimar el microclima es necesario conocer primeramente el clima local, que en este caso se denominará como “mesoclima” y será entendido como el existente en la zona circundante o en el interior de los edificios (esto depende de la ubicación del elemento de madera que se estudia). Conocido el mesoclima estimaremos el microclima tomando en cuenta una serie de factores asociados al diseño que tienen un efecto conocido, medible y significativo sobre el contenido de humedad del elemento de madera bajo estudio. El mesoclima dominante en las cercanías o interior de los edificios puede ser determinado y caracterizado a partir del conocimiento del clima de referencia, o macroclima, propio de la zona geográfica en la que el edificio se sitúa o del tipo de edificio bajo estudio.

En el caso de aplicaciones de exterior el macroclima puede caracterizarse fácilmente a través del conocimiento que aporta el empleo de las bases de datos

meteorológicas publicadas por organismos, tanto públicos como privados, tales como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Para poder estimar en estas aplicaciones el mesoclima, o clima local, es necesario analizar si los factores de exposición (por ejemplo la orientación), de configuración urbana o de existencia de elementos geográficos clave (elevaciones, valles, lagunas, ríos cercanos, etc.) provocan o no, que el clima de la localidad difiera o no del macroclima antes apuntado. En muchas ocasiones macroclima y mesoclima pueden coincidir pero en otras no, motivo por el cual se hace necesario proceder a la estimación separada de ambos, especialmente en los elementos hechos de madera que forman parte de la envolvente del edificio así como de sus carpinterías y estructuras al exterior (Fernandez - Golfín et al., 2018).

A efectos prácticos el macroclima puede ser caracterizado de forma genérica a través de lo que se denomina índice de exposición básica (I_{s0}), pero para caracterizar el mesoclima será necesario incrementar o minorar el valor del índice anterior por la acción del denominado factor de severidad climática (k_{s1}), el cual debe tener en cuenta ciertos aspectos particulares de la exposición (Fernandez - Golfín et al., 2018).

Debido a esto la demanda meso climática básica deberá ser determinada mediante el empleo de un índice de exposición meso climática (I_s), que se obtiene mediante el empleo de la siguiente ecuación.

$$I_s = I_{s0} * k_{s1} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

I_{s0} : Índice de exposición básica del elemento

k_{S1} : Factor de exposición básica

El método de asignación paramétrica de clases de uso que expongo, se fundamenta en los principios generales establecidos en la norma ISO 15686-1, debido a que permite la asignación de manera objetiva de las clases de uso que se definen en la norma UNE-EN 335. Respecto a los coeficientes correctores, también se ciñen a lo mencionado en proyectos como Woodexter y el International Research Group on Wood Protection.

5.1.1 Índice de exposición básica (I_{s0})

La determinación del índice de exposición básica puede admitir tres posibilidades, según cual sea la naturaleza de la exposición a la que se encuentre sometido el elemento de madera en estudio (Fernandez - Golfín et al., 2018).

Para el caso de este proyecto de tesis se considera la siguiente condición

5.1.1.1 Exposición exterior

Según Scheffer (1971), en los primeros intentos para desarrollar un índice climático para revestimientos exteriores en Estados Unidos, tuvo que considerarse el uso de datos climatológicos resumidos en el Atlas de Agricultura Estadounidense. Por ejemplo, se intentó una combinación de temperatura promedio y precipitación en la temporada de crecimiento en el hipotético caso que las condiciones más favorables para las plantas de cultivo serían igualmente favorables para los hongos de descomposición, sin embargo, esta premisa resultó ser incorrecta. Según indica Scheffer (1971), el suelo en el que se cultivan las plantas de cultivo tiene una mayor capacidad para retener la humedad en época de lluvias que el uso de madera en contacto con el suelo; en consecuencia, estas plantas pueden continuar creciendo durante el tiempo seco cuando los hongos de descomposición están inactivos debido

a la humedad limitada, también algunas descomposiciones pueden progresar de manera más significativa en los meses más fríos que en los meses de temporada de crecimiento normal.

Scheffer (1971) indica que era evidente que la formula no podía basarse en los totales de precipitación y los promedios de temperatura para la temporada de crecimiento y, por la misma razón, no podía basarse en los totales o promedios de ningún otro periodo extenso. Para corregir este supuesto, Scheffer indica que se investigaron los datos climáticos mensuales reportados para ciudades individuales por la Oficina Meteorológica, siendo de particular interés la posibilidad de desarrollar un índice climático adecuado, mediante la determinación de un índice para cada mes y sumando los 12 índices mensuales para llegar a un índice general del año. Esta propuesta resultó exitosa porque se pudo determinar las medidas apropiadas de temperatura del aire, precipitación pluvial y los medios para combinarlas

Scheffer (1971), indica que se investigaron varias posibilidades para su uso como factor de humedad del índice. Primero se empezó descartando variables como la precipitación total en el mes, esto podría rechazarse porque no brinda información sobre cómo se distribuye la precipitación. Después se tuvo que tener en cuenta que la duración de la lluvia es más significativa que la lluvia total al momento de determinar el contenido de humedad de la madera sobre el suelo.

Scheffer (1971) explica que por ejemplo, una lluvia de 4 horas generalmente moja más que una lluvia de 30 minutos que entrega la misma o incluso mayor cantidad de agua. Por lo tanto, parecía esencial incorporar la duración de la humectación como

al menos una parte de cualquier medición de humedad, por ello, partiendo de la premisa de que la duración de la lluvia es un factor significativo, se probaron las siguientes mediciones de precipitación (los datos fueron los totales medios mensuales):

1) Horas con:

0.01 pulgada o más de precipitación

0.02 pulgada o más de precipitación

0.10 pulgada o más de precipitación

2) Días con:

0.01 pulgada o más de precipitación

0.10 pulgada o más de precipitación

3) Lluvia total multiplicada por horas con 0.02 pulgadas o más de lluvia.

Scheffer (1971), indicó que cada una de las mediciones de precipitación se utilizó para derivar un índice climático para cada mes, multiplicando la medición por el factor de temperatura, $T-2$, para reunir los factores de humedad y temperatura, y luego sumando los índices mensuales para obtener un índice para el año, de esta forma se elaboraron índices anuales para tres climas diversos. Scheffer (1971) también consideró que la medición de precipitación más adecuada era la que daba índices para los tres climas con magnitudes más proporcionales a las tasas reales de descomposición en material experimental en esos climas, estas magnitudes resultaron ser el número medio de días por mes con una precipitación de 0,01 pulgada o más menos 3. Los días de precipitación se redujeron arbitrariamente en 3

para mantener el índice de las regiones más secas como las partes áridas del suroeste cerca de cero

La siguiente fórmula resume el método en el que estos datos climatológicos estándar seleccionados (2) se combinaron para proporcionar el índice deseado:

$$\text{Índice_Scheffer} = \sum_{\text{Dic.}}^{\text{Ene.}} \frac{(T-2)(D-3)}{16.7} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

T: Temperatura media mensual

D: Número medio de días/mes con precipitación superior o igual a 0,2 mm

5.1.1.2 Exposición exterior en Mollendo

Para determinar el valor del Índice de Scheffer de la ciudad de Mollendo, se determinó la temperatura media mensual (T) en la ciudad en el periodo 1980-2016, gracias al Boletín Hidroclimático Regional mensual de la ciudad de Arequipa, proporcionado por SENAMHI y la data histórica proporcionado por The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2) de la NASA. Para determinar el número medio de días/mes con precipitación superior a 0,2 mm (D) también se recurrió a la data histórica de MERRA-2.

La información recopilada es pertinente y coherente con los principios que propone Scheffer en su método, dando como resultado:

5.1.1.2.1 *Temperatura Media Mensual (T)*

La temperatura media es igual al promedio estadístico entre temperaturas máximas y mínimas de la localidad donde se realiza el estudio. Para poder determinar este dato, fue necesario recurrir a distintas fuentes de información. Se tomó como referencia el Boletín Hidroclimático Regional de la ciudad de Arequipa proporcionado por SENAMHI, para corroborar la correspondencia en la data proporcionada por MERRA-2, debido a que esta fuente es internacional. La comparación de datos indicó que no había una diferencia significativa en ambos casos, por lo cual se pudo validar la información brindada por esta fuente internacional. Teniendo clara esta información se procedió a determinar la temperatura del aire media mensual de la ciudad de Mollendo:

Tabla 2.

Temperatura del aire media mensual en Mollendo según MERRA-2, (1980-2016)

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp.Med.	23.5	24.5	24.0	23.0	21.5	21.0	20.0	20.0	20.0	20.5	21.0	22.0	21.8

Fuente: MERRA-2

5.1.1.2.2 *Número Medio de días/mes con precipitación superior a 0,2 mm (D)*

El número medio de días/mes es igual a la cantidad de días en un mes en los cuales se hace presente precipitaciones superiores a 0,2 mm en la ciudad de Mollendo. Esta información se obtuvo gracias a la data histórica proporcionada por MERRA-2, puesto que permitía conocer las precipitaciones por día a diferencia de las fuentes nacionales, que brindaban una información promedio mensual, una información insuficiente para los objetivos planteados.

Tabla 3.

Precipitación media mensual en Mollendo, según MERRA-2, (1980-2016)

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp.Med.	9	11	8	7	2	2	3	2	3	2	1	3	53

Fuente: MERRA-2

5.1.1.2.3 Derivación del Índice de Scheffer para Mollendo - Islay

Para determinar el Índice de Scheffer para Mollendo se procedió a multiplicar la temperatura del aire media mensual (T) por la precipitación media mensual (D) correspondiente a cada mes, después se procede a sumar los valores mensuales, el resultado obtenido se divide entre un factor determinado por Scheffer (16.7) dándonos como resultado el Índice de Scheffer para la ciudad de Mollendo.

Tabla 4.

Derivación del índice de Scheffer para Mollendo – Islay (D)

Formula	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
T-2	21.5	22.5	22.0	21.0	19.5	19.0	18.0	18.0	18.0	18.5	19.0	20.0	21.8
D-3	6	8	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	23
(T-2)(D-3)	129	180	110	84	0	0	0	0	0	0	0	0	503

Fuente: Elaboración propia

Nota. Según Scheffer los valores de precipitación negativos se convierten a cero, por lo cual al momento de resolver la expresión D-3 en las temporadas más secas (mayo a diciembre) los valores se expresan como “cero” en lugar de números negativos.

De esta forma se puede decir que el Índice de Scheffer para Mollendo es:

$$\text{Índice}_{\text{Scheffer-Mollendo}} = \sum_{\text{Ene.}}^{\text{Dic.}} \frac{(T - 2)(D - 3)}{16.7} = \frac{503}{16.7} = 30$$

Conocido el valor del Índice de Scheffer de localidad del objeto de estudio, la asignación del índice de exposición básica (I_{s0}) se hará mediante el criterio definido en el siguiente punto.

5.1.1.2.4 Conversión del valor del índice de Scheffer en valor del Índice de Exposición Básica (I_{s0})

En base a lo publicado en el libro “Guía para la asignación de clases de uso y de servicio a los productos de madera” (Fernández - Golfín et al., 2018), determinamos el Índice de Exposición Básica, que tendrían los producto maderables que se apliquen en la ciudad de Mollendo, a través del Índice de Scheffer.

El resultado se muestra en la siguiente tabla de clasificación:

Tabla 5.

Criterio de conversión del valor del índice de Scheffer en valor del índice de exposición básica (I_{s0})

Valor calculado del índice Scheffer	Calificación de la estación	Índice de exposición básica I_{s0}
$IS \leq 35$	Seca	3,0
$35 < IS \leq 70$	Húmeda	3,3
$70 < IS \leq 100$	Muy húmeda	3,5
$IS > 100$	Extremadamente húmeda	3,7

Fuente: Fernández - Golfín et al., (2018)

Como se aprecia en la Tabla 4, según el valor calculado del Índice de Scheffer, para la ciudad de Mollendo le corresponde una Calificación de Estación de tipo “Seca”, correspondiéndole además un Índice de exposición básica (I_{s0}) de 3,0.

5.1.2 Factor de severidad climática (K_{s1})

Según explica Fernández – Golfín (2018), en el caso que los elementos de madera estén ubicados al exterior del edificio y sean sometidos a la acción directa del clima (sin

una protección adecuada frente a la acción de la lluvia), el valor del índice de exposición básica (I_{s0}) del punto anterior (4.2.2.4) deberá ser aumentado o disminuido en función de las condiciones meso climáticas a las que queda sometido el elemento de madera valorada de acuerdo con los criterios resumidos en la siguiente Tabla.

Tabla 6.

Valores del factor de severidad climática en función de las condiciones mesoclimáticas

Severidad climática	Descripción	Factor (K_{s1})
Baja	<p>Las condiciones meso climáticas tienen poco impacto sobre el comportamiento de los elementos de madera ya que todas las variables de entorno son protectoras:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existe protección frente a vientos dominantes de lluvia por presencia de accidentes geográficos, edificaciones colindantes • Existe larga distancia (>5 km) a grandes fuentes de humedad (grandes ríos, lagos o mar) 	0,8
Media	<p>Las condiciones meso climáticas tienen un impacto moderado sobre el comportamiento de los elementos de madera ya que se da al menos una de las dos siguientes situaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existe marcada exposición a vientos dominantes de lluvia por estar la edificación aislada fuera del entorno urbano o carecer de protección por presencia de accidente del terreno, y/o • Existe una distancia media (3 a 5 km) a grandes fuentes de humedad (grandes ríos, lagos o mar) 	1,0
Elevada	<p>Las condiciones meso climáticas tienen un impacto elevado sobre el comportamiento de los elementos de madera ya que concurren al menos dos de las cuatro situaciones siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existe exposición a vientos dominantes de lluvia por estar la edificación aislada fuera del entorno urbano y sin protección por accidentes del terreno, y/o • La edificación se encuentra situada en el fondo de valles angostos con limitación en el número de horas de soleamiento • Existe proximidad (1 a 3 km) a grandes fuentes de humedad (grandes ríos, lagos o mar), y/o • Existe en la localidad presencia de nieblas persistentes durante 30 a 60 días/año. 	1,1

<p>Severa</p>	<p>Las condiciones meso climáticas tienen impacto severo sobre el comportamiento de los elementos de madera, ya que ocurre al menos tres de las cinco siguientes situaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existe exposición a vientos dominantes de lluvia por estar la edificación aislada fuera del entorno urbano y sin protección por accidentes del terreno, y/o • La edificación se encuentra situada en el fondo de valles angostos, por el que discurre una corriente de agua y en el que existe una limitación en el número de horas de soleamiento, y/o • Existen en la proximidad accidentes topográficos y/o de situaciones que generan un microclima especialmente húmedo, • Existen en la proximidad accidentes topográficos y/o de situaciones que generan un microclima especialmente húmedo, • Existe cercanía a grandes fuentes de humedad (mar) inferior a 1 km, y/o • Existe en la localidad presencia de nieblas persistentes durante más de 60 días/año 	<p>1,2</p>
----------------------	--	-------------------

Fuente: Fernández – Golfín (2018)

5.1.2.1 Factor de severidad climática (K_{st}) para la localidad de Mollendo

Para determinar el factor de severidad climática (K_{st}) del objeto de estudio es necesario determinar las condiciones meso climáticas, el nivel de exposición de la edificación frente a vientos dominantes de lluvia, la proximidad de la casa a grandes fuentes de humedad y si existe presencia de nieblas persistentes en la zona. Lo anterior se desarrolla en la siguiente figura.

Figura 12.

Análisis del mesoclima de la ciudad de Mollendo



Según el MINSA la ciudad de Mollendo se ubica en la unidad geomorfológica “Faja Litoral” de la provincia de Islay - Arequipa. Esto comprende entre la ribera del mar y el sistema de colinas denominada Cordillera de la Costa. Tiene una longitud de 90 KM.



Según la clasificación climática de Köppen, la ciudad de Mollendo tiene un clima Subtropical Árido, donde las neblinas son características del invierno, donde la Humedad Relativa alcanza valores superiores al 85 %

Fuente: Elaboración Propia

Según lo analizado anteriormente podemos determinar lo siguiente:

- Cerca al casco urbano de Mollendo existen grandes fuentes de humedad (mar) inferior a 1 km
- Existe en la localidad presencia de nieblas durante más de 60 días/año. La temporada de invierno (89 días) y la temporada de lluvia (Enero – Marzo)
- La mayoría de fachadas están expuestas a vientos dominantes de lluvia (dirección Sur).

En base a lo anteriormente analizado, se concluye que la categoría de Severidad Climática más adecuada para la casa de estudio, en función a la Tabla 5, es la clasificación “Severa” con un factor (K_{s1}) de 1,2.

5.1.3 Discusión de resultados

5.1.3.1 Temperatura Media Mensual (T)

De los resultados analizados se concluye que:

- Los valores de Temperatura Media Mensual para la ciudad de Mollendo alcanzan los valores máximos el mes de Febrero (24.5 °C) debido al verano caliente y mayormente nublado, mientras los valores mínimos se alcanzan entre los meses de Julio y Setiembre (20.0 °C). La Temperatura Media Anual es de 21.8 °C.

5.1.3.2 Número Medio de días/mes con precipitación superior a 0,2 mm (D)

De los resultados analizados se concluye que:

- El número de días por mes de precipitación superior a 0,2 mm para la ciudad de Mollendo alcanzan los valores máximos el mes de Febrero (11 días), coincidiendo con el valor máximo de Temperatura Media Mensual, mientras el valor mínimo se alcanza el mes de Noviembre (1 día). El número promedio de días al año con precipitaciones iguales o mayores a 0,2 mm es de 49 días.

5.1.3.3 Índice de Scheffer para Mollendo - Islay

De los resultados analizados se concluye que:

- El Índice de Scheffer está en función a la Temperatura Media Mensual y sobre todo al número de días por mes de precipitación superior a 0,2 mm, se observa en la Tabla 3, que la temporada anual más perjudicial para la madera son los meses de Enero a Abril, debido precisamente a las precipitaciones que se producen, ya sea por lluvias, condensaciones, rocío o humedad relativa muy alta. El Índice de Scheffer para Mollendo es de 30.

5.1.3.4 Índice de Exposición Básica (Is0)

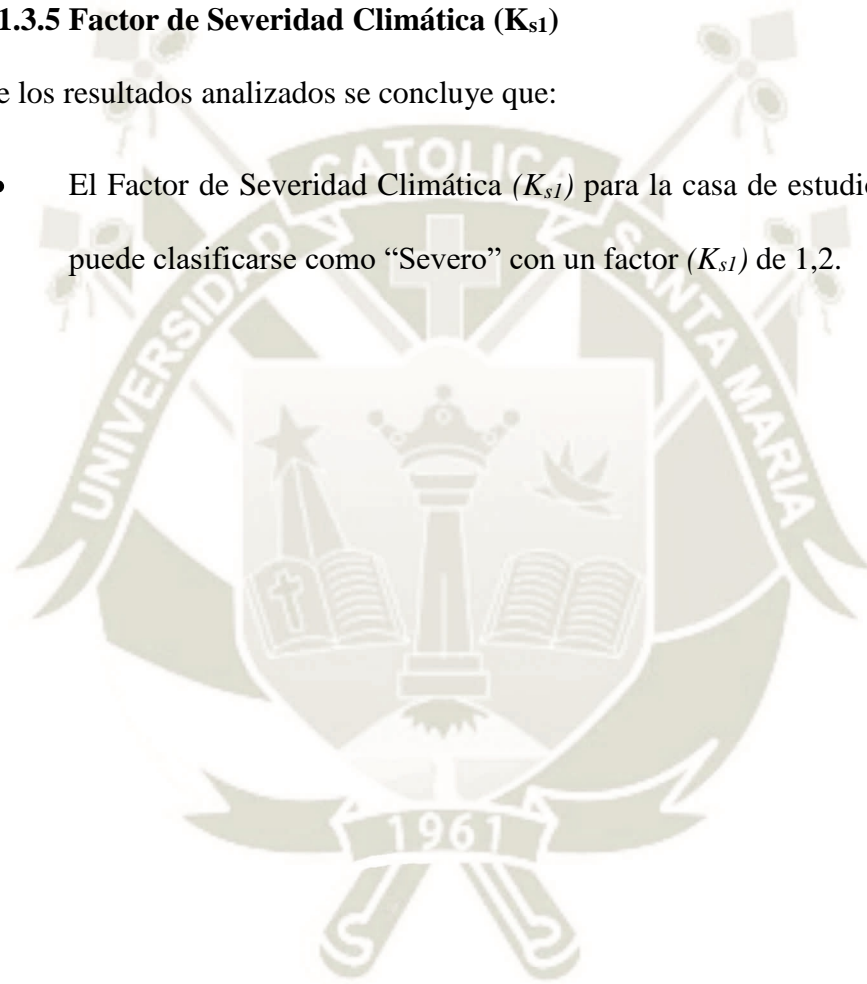
De los resultados analizados se concluye que:

- El Índice de Exposición Básica para la ciudad de Mollendo es de 3,0, la estación correspondiente para este valor es de “Estación Seca” una denominación pertinente para zonas bioclimáticas Desértico - Marino como es donde se encuentra la ciudad de Mollendo.

5.1.3.5 Factor de Severidad Climática (K_{SI})

De los resultados analizados se concluye que:

- El Factor de Severidad Climática (K_{SI}) para la casa de estudio en Mollendo puede clasificarse como “Severo” con un factor (K_{SI}) de 1,2.



5.2 Etapa II: Estado de conservación del sistema constructivo

Según Fernández – Golfín (2018) la madera y sus productos maderables aportan beneficios ambientales y contribuciones importantes a la construcción (materia prima renovable, almacenamiento de carbono, reciclaje, reutilización, valoración energética, aislamiento térmico, etc.). Estas bondades que ofrece el material pueden volverse contraproducentes si se realiza una incorrecta prescripción de los materiales o un inapropiado diseño que propicie fallos que provoquen continuas intervenciones de mantenimiento, reparación y/o rehabilitación. Debido a ello es necesario dar pautas para conseguir que los productos sean elegidos y las soluciones constructivas diseñadas de tal forma que en todo momento la vida útil prescrita quede garantizada.

Según Fernández – Golfín (2018) el concepto de durabilidad más apropiado puede ser definido como:

“La capacidad de soportar, durante la vida útil prevista, el efecto combinado de las sollicitaciones físico-mecánicas y climáticas previstas en proyecto”.

Según Frohnsdorff et al (1980), la durabilidad va más allá de la simple degradación del material por la acción de los agentes biológicos, que es como tradicionalmente se ha considerado la durabilidad en el sector de la madera.

Por ello resulta interesante ver la lista de agentes de degradación que afectan a la vida en servicio de componentes y materiales de construcción en madera tal como se resume en la siguiente Tabla 6.

Tabla 7.

Agentes de degradación de los materiales de construcción

<p>I.- Agentes atmosféricos</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Radiación <ul style="list-style-type: none"> - Solar - Nuclear - Térmica ● Temperatura ● Agua <ul style="list-style-type: none"> - Sólida (nieve, hielo) - Líquida (lluvia, condensaciones) - Vapor (humedad relativa) ● Constituyentes normales del aire <ul style="list-style-type: none"> - Gases (óxidos de nitrógeno) - Nieblas (salinas, ácidas) - Partículas (arena, polvo) - Lluvias ácidas ● Ciclos de hielo-deshielo ● Viento 	<p>II.- Agentes biológicos (bióticos)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Insectos y microorganismos ● Bacterias ● Hongos <p>III.- Tensión</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Permanente ● Dinámica (cargas cíclicas) <p>IV.- Incompatibilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Químicas ● Físicas <p>V.- Uso</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diseño ● Métodos de instalación ● Métodos de mantenimiento ● Desgaste ● Abuso de uso ● Cargas imprevistas
--	--

Fuente: Frohnsdorff et al, (1980)

Lo importante de la tabla anterior es que estos agentes de degradación pueden afectar a todos los productos de la construcción y que mediante el conocimiento podemos apreciar los puntos fuertes y las debilidades de cada producto. Como se puede apreciar, la madera puede ser degradada por la influencia de factores bióticos y abióticos mientras que las resinas sintéticas presentes en los productos de segunda transformación derivados de la madera (madera laminada, LVL, tableros contralaminados y de partículas, etc.) únicamente serán degradados por la acción de agentes abióticos (fundamentalmente la temperatura, la humedad y la tensión permanente).

Según Fernández – Golfín (2018), de todos los agentes de la degradación identificados anteriormente, es el binomio humedad-temperatura del material (clima del material), el que afecta de forma más importante el comportamiento físico-mecánico y biológico de los productos de madera. Esto sucede por la dependencia que de la humedad y la temperatura del material tienen tanto el comportamiento viscoelástico como la cinética de la degradación por parte de los principales agentes biológicos (hongos de pudrición y termitas subterráneas). Por lo tanto, es necesaria una correcta estimación de las condiciones climáticas en las que un producto de madera va a trabajar, junto con la adopción de criterios de diseño pertinentes, conocimiento y manejo de producto y, en el caso, el uso de tratamientos químicos o físicos protectores son aspectos que todo proyectista debe ser capaz de manejar cuando construye con madera y se plantea la durabilidad como meta.

5.2.1 Clima del Material

Según Fernández – Golfín (2018), para garantizar la salubridad y la durabilidad de la construcción con madera es importante tomar en consideración la acción del agua sobre el elemento de madera en todas sus formas, esto implica conocer las medidas constructivas encaminadas a disminuir los riesgos que la madera pueda sufrir bajo los efectos de la humedad, que originen por ejemplo ataques de organismos xilófagos, hongos de pudrición o termitas subterráneas.

5.2.1.1 Protección frente a la lluvia y la nieve:

Fernández – Golfín (2018), explica que cualquiera que sea su naturaleza, las fachadas y cubiertas deben de ser eficaces aportando una protección constante de los elementos de la estructura en madera frente a la lluvia y el viento, especialmente en las zonas de las uniones y de los encuentros con otros elementos constructivos.

Debido a ello, si los revestimientos de madera se colocan a junta abierta con una

función fundamentalmente de tipo decorativo, la protección de la estructura se ha de conseguir mediante el empleo de, sobre todo, membranas impermeabilizantes.

Otras medidas de protección recomendadas para este fin son los siguientes, según lo recomendado por la Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (2019):

- Evitar que las testas de los elementos estructurales de madera queden expuestas al agua de lluvia ocultándolas, cuando sea necesario, con una pieza de remate. También es posible que la solución este basada en un diseño de la testa que limite el tiempo de contacto con el agua de lluvia como, por ejemplo, corte angular o diseño en pecho de paloma (Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, 2019).
- Proteger la cara superior de los elementos de madera que queden expuestos directamente a la intemperie y en los que pueda acumularse el agua. Si se llegara a utilizar una albardilla (normalmente de chapa metálica), esta albardilla debe permitir, además, la ventilación de la madera que cubre. Resulta admisible también una solución sobre la base del empleo de piezas de sacrificio (Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, 2019).
- Facilitar, en general, al conjunto de la cubierta y sus elementos la rápida evacuación de las aguas de lluvia y de condensación, mediante un adecuado diseño y el empleo en los sitios apropiados de elementos de recogida y canalización de las mismas (Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, 2019).

5.2.1.2 Protección frente a la humidificación prolongada de las fachadas y revestimientos exteriores:

- Para ello todo contacto de los elementos de madera de la fachada con el suelo debe ser evitado y debe fomentarse el empleo de cámaras de aire ventiladas en la contracara de los revestimientos de madera al exterior (Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, 2019).

5.2.1.3 Protección frente a los ascensos de humedad

La Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (2019) indica que debe evitarse el contacto directo de los elementos de madera con los muros exteriores y con los elementos de cimentación, evitando en todo momento el riesgo de humidificación por acción de la capilaridad. Otras medidas de protección recomendadas son:

- Evitar que los arranques de soportes y arcos queden embebidos en el hormigón u otro material de fábrica. Para ello se protegerán de la humedad colocándolos a una distancia suficiente del suelo o haciéndolos reposar sobre capas impermeables (Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, 2019).
- Ventilar los encuentros de vigas en muros potencialmente húmedos, manteniendo una separación mínima, de 15 mm entre la superficie de la madera y el material del muro. El apoyo en su base debe realizarse a través de un material intermedio, separador, que no transmita la posible humedad del muro (Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, 2019).

- Evitar el contacto directo de la madera con el terreno, manteniendo una distancia mínima de 20 cm y disponiendo un material hidrófugo (barrera antihumedad) (Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, 2019).

5.2.1.4 Protección frente a las condensaciones

La Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (2019) indica que tanto para los elementos de madera con función estructural instaladas al interior de los edificios, como para aquellos otros que formen parte de la envolvente exterior del edificio y que se encuentren sometidos a la acción del clima exterior, bajo protección o no, es necesario limitar el riesgo de aparición de humedades de condensación, superficiales e intersticiales, que puedan perjudicar sus prestaciones físico-mecánicas y de durabilidad. En todos los casos expresados es necesario tratar adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicas en los mismos. De acuerdo con la exigencia básica establecida en la Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (2019), en el apartado “Protección frente a la humedad” como con lo establecido en el Documento Básico HE Ahorro de Energía, es necesario adoptar los siguientes criterios generales para evitar la presencia de condensaciones:

5.2.1.4.1 Condensaciones superficiales

La Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (2019) indica que tanto en los cerramientos como en las particiones interiores que componen la envolvente térmica del edificio, se deben limitar las condensaciones superficiales, de manera que se evite la formación de mohos en su superficie interior. Para ello, en

aquellas superficies interiores de los cerramientos exteriores del edificio que puedan absorber agua o sean susceptibles de degradarse, la humedad relativa media mensual del aire en contacto con dicha superficie será inferior al 80 %.

Adicionalmente en Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), en su instrucción Técnica IT1.1 referente a “Exigencia de bienestar e higiene”, apartado 1.1.4.1.2 referido a “Temperatura operativa y humedad relativa” establece en su considerando tercero que:

“La humedad relativa del local se mantendrá siempre por debajo del 65 %, para proteger los cerramientos de la formación de condensaciones”.

5.2.1.4.2 Condensaciones intersticiales

La Secretaria de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (2019) expresa que si se llegan a producir condensaciones intersticiales en los cerramientos y particiones interiores que componen la envolvente térmica del edificio, deben ser tales que no produzcan una merma significativa en sus prestaciones físico-mecánicas o supongan un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil. Además, la máxima condensación acumulada en cada periodo anual no debe ser superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo. La calificación del riesgo de aparición de condensaciones en el interior de los locales se efectúa en función de la carga higrotérmica interna.

5.2.1.4.3 Protección frente a las condensaciones en cámaras sanitarias

La Secretaria de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (2019) indica que cuando se disponga un forjado de estructura de madera sobre una cámara

sanitaria se velará por la adecuada ventilación del local, de forma que la humedad relativa en su interior no exceda el valor del 80 %

5.2.2 Clases de servicio

El sistema de clases de servicio tiene como principal objetivo la asignación de valores de resistencia y el cálculo de deformaciones en función de las condiciones higrotérmicas de servicio, así como para establecer algunas limitaciones de uso de los productos encolados en función del tipo de encolado (EN:1995-1-1, 2004)

Tabla 8.

Clases de servicio según la European Standard en 1995-1-1

Clases de Servicio (CS) (CTE/DB-SEM)	
Clase	Prestaciones elastomecánicas e integridad estructural de productos maderables
C1	<p>Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de 20 ± 2 °C y una humedad relativa del aire que solo exceda el 65% unas pocas semanas al año.</p> <p>En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera expuestas a un ambiente interior.</p> <p>Nota: Las condiciones higrotérmicas de 20/65% se corresponden en el caso de la madera solida con un contenido de humedad del 12%</p>
C2	<p>Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de 20 ± 2 °C y una humedad relativa del aire que solo exceda el 85% unas pocas semanas al año. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera a cubierto, pero abiertas y expuestas al ambiente exterior, como es el caso de cobertizos y viseras. Las piscinas cubiertas, debido a su ambiente húmedo, encajan también en esta clase de servicio.</p> <p>Nota: Las condiciones higrotérmicas de 20/85% se corresponden en el caso de la madera solida con un contenido de humedad del 18%</p>

C3	<p>Toda otra condición que no pueda ser considerada en las dos clases anteriores</p> <p>En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera expuestas a un ambiente exterior sin cubrir.</p> <p>Nota: En la clase de servicio 3 la humedad de equilibrio higroscópico media de la mayoría de las maderas coníferas excede el 20%</p>
CH: contenido de humedad de la madera	

Fuente: European Standard EN 1995-1-1 (2004)

5.2.2.1 Clase de servicio para del revestimiento exterior del objeto de estudio en Mollendo

Para determinar las clases de servicio del revestimiento exterior de una construcción en madera con el sistema balloon frame en Mollendo es necesario conocer los siguientes datos:

5.2.2.1.1 Geometría del elemento (K_{s2})

Según Fernández – Golfín (2018) este factor solo se considera en el análisis si los elementos de madera ubicados al exterior no tienen protección ante el agua de lluvia (revestimientos de muros exteriores). En función de su posición relativa (horizontal, vertical, inclinado) y de la severidad de la exposición, el “tiempo de mojado” de un elemento de madera puede verse notablemente incrementado si el elemento estuviera dispuesto horizontalmente y presentase fuerte atejado (deformación máxima de la anchura de la pieza) o altos niveles de fendado (separación de la fibra).

Figura 13.

Fendado y atejado en una pieza de madera



Fuente: Manual Técnico de Formación – País Vasco

Fernández – Golfín (2018), explica que el mejor indicador en la madera aserrada de este riesgo es la relación entre el espesor y la anchura de la pieza, de forma que las piezas:

- De reducido espesor y elevada anchura serán propensas al atejado y, por tanto, al almacenamiento de agua en su superficie, especialmente si el elemento está dispuesto horizontalmente (Ej. Tablas de pavimento) (Fernandez - Golfín et al., 2018).
- De elevado espesor, especialmente si la anchura toma valores próximos al espesor (sección cuadrada), que serán más propensas a presentar grandes fendas y, por tanto, al almacenamiento de agua en su interior si la disposición del elemento lo permite (Fernández - Golfín et al., 2018).

Fernández – Golfín (2018), afirma que el riesgo mencionado anteriormente tiene que ser valorado de forma distinta en función de la posición relativa (horizontal, vertical, inclinado) y de las dimensiones, aunque también se tendrán en cuenta el tipo de material (madera maciza, laminada, etc.); de tal manera que su efecto sea

muy inferior en el caso de elementos verticales y de fácil drenaje (inexistencia de elementos auxiliares o uniones transversales que puedan frenar el flujo de agua).

Tabla 9.

Valores del factor por geometría del elemento

Elemento	Clasificación en función del espesor (e) en mm		
	Pequeño	Medio	Grande
Madera maciza o con empalmes de testa	$e \leq 28$	$28 < e \leq 75$	$e > 75$
Madera laminada y Madera Maciza encolada (dúos, tríos) con espesor de lámina > 35 mm	-	$70 < e \leq 150$	$e > 150$
Madera laminada con espesor de lámina ≤ 35 mm	$e \leq 28$	$28 < e \leq 210$	$e > 210$
	Coefficiente (K_{s2})		
Valoración	0,9	1,0	1,1

Fuente: Fernandez - Golfín et al., (2018)

Para el caso del revestimiento exterior de las construcciones en madera con el sistema balloon frame en Mollendo, es necesario determinar cuál es el espesor de los elementos de madera que conforman sus muros exteriores.

Según el estudio desarrollado por L'Institut Català de la Fusta (INCAFUST) en el año 2012, en donde se estudia los revestimientos exteriores de madera en casas con el sistema balloon frame, se puede conocer la dimensión del espesor del revestimiento de esta tipología constructiva.

- San Cugat – España: Según L'Institut Català de la Fusta (2012), la geometría de esta edificación es cuadrada, tiene una planta baja de hormigón y una

cubierta a 4 aguas. El revestimiento es de pino Oregón importado desde Canadá con una sección de 3" x 1" (7,5 x 2,5 cm) de entablado horizontal machihembrado, con su estructura realizada completamente en madera, la fijación se realiza por medio de clavos.

Figura 14.

Casa de estudio, san Cugat - España



Fuente: L'Institut Català de la Fusta, (2012)

Otros ejemplos referenciales para conocer la geometría del elemento de un sistema constructivo balloon frame son las casas que actualmente existen en Mollendo. A continuación se analiza de forma breve una de ellas.

- Mollendo – Perú: Según Zeballos y Sardón (2015), las casas en madera de la costa sur peruana fueron construidas a finales del siglo xix (entre 1890 y 1900) con pino Oregón, su organización espacial es simple, de planta cuadrada ortogonal. La casa de referencia que se presenta está ubicada en la calle Comercio 274 en Mollendo, tiene un revestimiento de muro machihembrado de entablado vertical, su estructura está realizada completamente en madera y la fijación se realizó a través del uso de clavos.

Figura 15.

Casa con el sistema constructivo Balloon Frame en Mollendo-Perú



Fuente: Dirección de registro y estudio del patrimonio, Ministerio de Cultura (2020)

En base a los dos ejemplos analizados anteriormente podemos decir que el tamaño del espesor del recubrimiento exterior en la casa de Mollendo tendría una dimensión de 1" o 2,5 cm o 25 mm, esto significaría que se clasificaría como un elemento “pequeño” en la Tabla 8, correspondiéndole una valoración de 0,9.

5.2.2.1.2 Aleros y cornisas (K_{s3})

Según Fernández – Golfín (2018) este factor solo se tomará en cuenta en el análisis si existen elementos ubicados al exterior protegidos del agua de lluvia mediante aleros y cornisas. Para que su presencia pueda ser tomada en cuenta en términos de protección de los elementos de madera al exterior, deben de considerarse las condiciones de diseño establecidas en las normas DB-HS Y DB-SE del Código Técnico de la Edificación. La valoración al igual que el punto anterior, será obtenida de la siguiente tabla a través del coeficiente K_{s3} .

Tabla 10.

Valores del factor de protección por aleros y cornisas

Descripción		Factor alero (K_{s3})
Fachada expuesta a vientos dominantes de lluvia	Fachada NO expuesta a vientos dominantes de lluvia	
$h_a \leq D$	$h_a \leq 4D$	0,7
$D < h_a < 2,5D$	$4D < h_a < 6D$	0,85
$h_a > 2,5D$	$h_a > 6D$	1,0

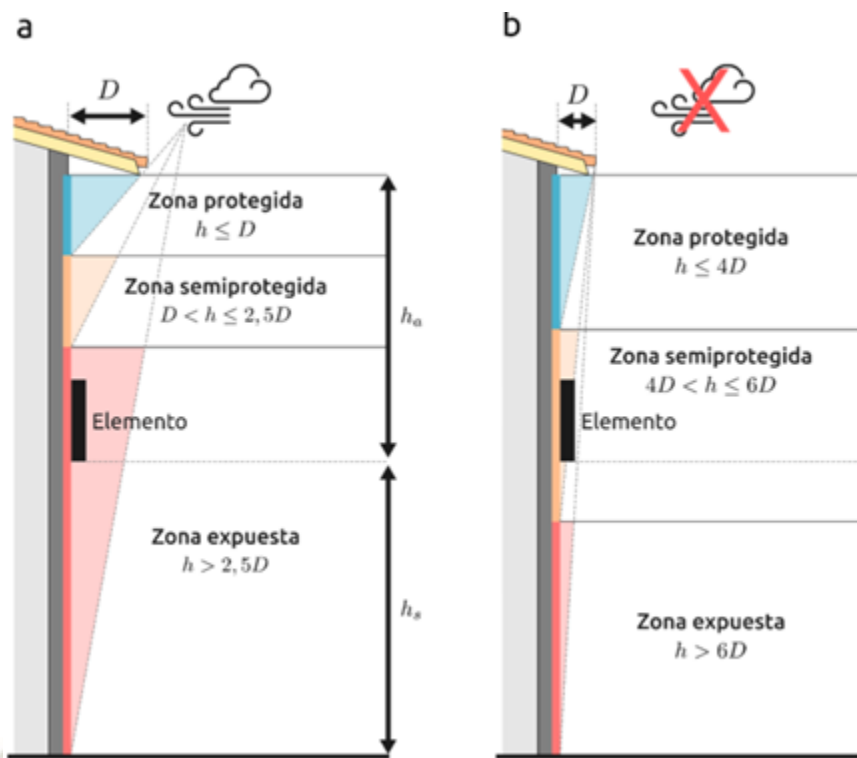
Fuente: Fernández - Golfín et al., (2018)

La valoración de la fachada deberá ser efectuada de forma conservadora, considerando la exposición más desfavorable. También se puede descomponer en tramos.

Se consideraran las variables de distancia media desde la parte inferior del elemento de madera a analizar (por ejemplo un revestimiento exterior de fachada) respecto al borde inferior del alero o cornisa (h_a), el vuelo del alero/cornisa (D) y el grado de exposición a los vientos dominantes de lluvia, de acuerdo con el siguientes esquema.

Figura 16.

Protección por aleros y cornisas



Nota. Protección por aleros y cornisas (h_a) y separación del suelo (h_s). a) Fachada expuesta a vientos dominantes de lluvia. b) Fachada no expuesta

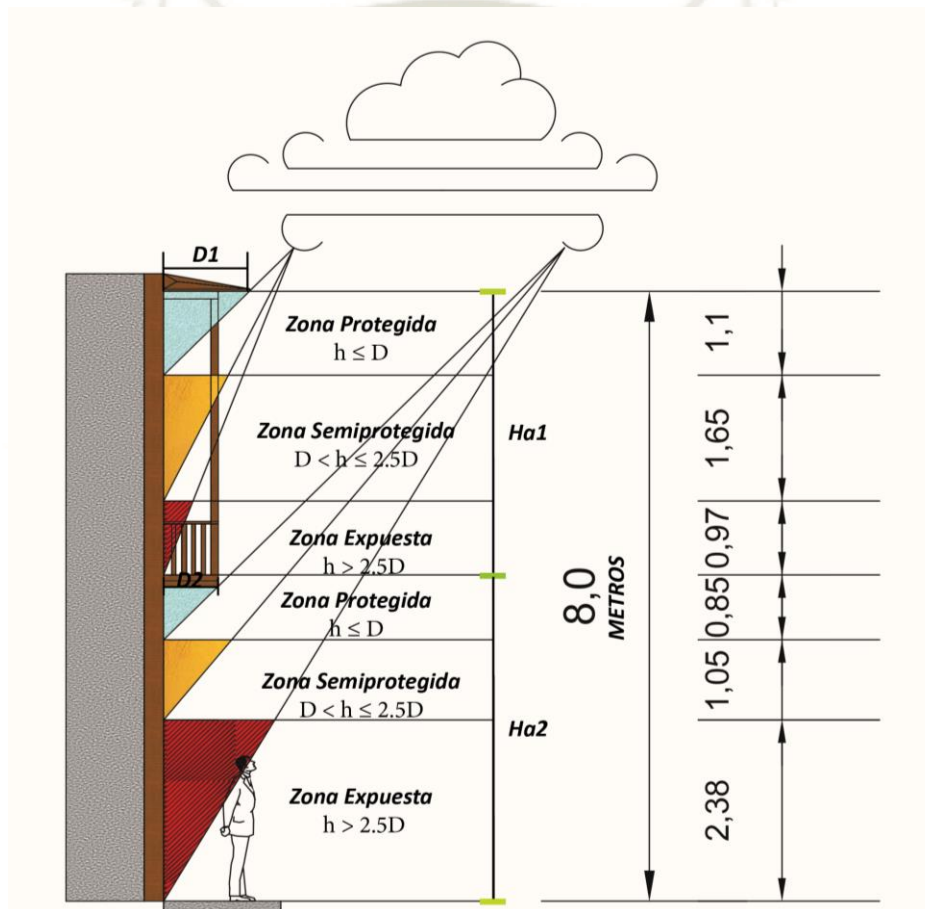
Fuente: Fernández - Golfín et al., (2018)

Para poder analizar esta variable se escogió una edificación con tipología balloon frame en Mollendo que presentara los elementos arquitectónicos necesarios requeridos por la European Standard EN 1995-1-1. Cabe volver a resaltar que no se pretende intervenir en la vivienda seleccionada, solo se tomará como referencia sus elementos constructivos como elementos necesarios para determinar las clases de servicio en edificaciones típicas con el sistema constructivo balloon frame en Mollendo y así poder aplicarse a posibles construcciones nuevas con este sistema.

Para esta edificación, se determinó la valoración de toda la fachada expuesta dividiéndola en dos tramos, debido a la presencia de dos tipos de cornisas, este procedimiento provocó que se originen dos distancias medias verticales (h_a), como se puede apreciar en el siguiente gráfico.

Figura 17.

Protección por aleros y cornisas de la edificación seleccionada de Mollendo



Nota. Protección por aleros y cornisas. a) Fachada expuesta a vientos dominantes de lluvia. $D1 = 1.2 \text{ m}$. $D2 = 1.0 \text{ m}$.

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la imagen, debido a los dos tipos de cornisas (una de la cobertura del techo y la otra del balcón corrido lineal) fue necesario determinar las distintas zonas protegidas, semiprotegidas y expuestas del elemento de madera que

estudiamos, en este caso la fachada expuesta a vientos dominantes de lluvia. Para determinar el valor del factor de protección por alero y cornisa se vio por conveniente obtener el promedio total de las diferentes zonas a lo largo de toda la fachada analizada. Por ejemplo se obtuvo que para la Zona Expuesta (color rojo) abarca un total de 3.35 m. la Zona Semiprotegida (color amarillo) un total de 2.70 m. y la Zona Protegida (color celeste) 1.95 m. Siendo la Zona Expuesta la más amplia en la fachada analizada con un 42% y considerando lo que expone Fernández - Golfín et al., (2018), “para valorar una fachada se debe de considerar la exposición más desfavorable”, se ve por conveniente asignarle el factor (K_{s3}) de 1,0 de la Tabla 9.

5.2.2.1.3 Distancia al suelo (K_{s4})

Según Fernández – Golfín (2018), este factor será tenido en cuenta en el análisis de los elementos de madera que se encuentren expuestos a la intemperie sin ningún tipo de protección ante el agua de lluvia. La valoración del efecto protector que en teoría supone la separación del suelo, que da como resultado, evitar el humedecimiento tanto por salpicado como por capilaridad, se efectuará mediante el empleo de un coeficiente K_{s4} que se obtendrá de la siguiente tabla.

Tabla 11.

Valores del factor de protección por separación al suelo

Condición	Factor suelo (K_{s4})
$h_s \geq 300$ mm	1,0
$100 < h_s \leq 300$ mm	1,5
$h_s < 100$ mm	2,0

Fuente: Fernández - Golfín et al., (2018)

Donde se considerará como variable de entrada la distancia del borde inferior del elemento de madera a analizar (por ejemplo un muro, una puerta exterior o un revestimiento de fachada) respecto al suelo (h_s), de acuerdo a la Figura 6 de la presente tesis.

Para el caso del revestimiento exterior de la vivienda seleccionada de referencia en Mollendo, como se aprecia en la Figura 15, existe una distancia entre el recubrimiento y el suelo que se da de forma irregular, debido a un desnivel del terreno donde se emplaza la edificación, siendo la distancia más corta 10 cm y la más larga 40 cm. Como se ha venido desarrollando en la presente tesis, siempre se considera la exposición más desfavorable, por lo cual se le asignará un Factor K_{s4} de 1,5 de la Tabla 10.

5.2.2.1.4 Diseño constructivo en elementos ubicados al exterior (K_{s5})

Según Fernández – Golfín (2018), este factor será exclusivamente tenido en cuenta en el análisis de los elementos ubicados al exterior sin protección ante el agua de lluvia. Como describe el autor, “la durabilidad de los elementos de madera ubicados al exterior, especialmente de las fachadas y carpinterías (puertas y ventanas) depende en gran medida, de su diseño y de las operaciones de mantenimiento de los sistemas de protección y/o acabado”

Fernández – Golfín (2018) también indica que para garantizar la salubridad y seguridad de las construcciones con madera será importante en las variables de diseño el efecto que tiene el agua en todas sus formas, debido a ello la geometría de las uniones de encuentro en las estructuras debe ser diseñada de tal forma que el agua, esto incluye si está bajo la acción del viento, no pueda infiltrarse en su interior

o en el caso que si lo hiciera, esta humedad pudiera salir con rapidez, permitiendo también un rápido secado.

En el caso de las fachadas, como también indica Fernández – Golfín (2018), la disposición del entablado también es necesario tomarlo en cuenta debido a que la dirección del mismo influye en el retenimiento o deslizamiento del agua de lluvia, como puede detallarse en la siguiente Tabla.

Tabla 12.

Nivel de protección en fachadas

Nivel de Protección	Elementos de carpintería dispuestos verticalmente Fachadas	K_{s4}
Excelente	Entablado con disposición vertical, contracara totalmente ventilada. Testas y esquinas selladas y/o protegidas	0,8
Bueno	Entablado con disposición vertical, contracara con cámara parcialmente ventilada. Testas ventiladas. No hay zonas de acumulación de agua.	0,9
Medio	Entablado con disposición horizontal, contracara con cámara parcialmente ventilada. Testas ventiladas. No hay zonas de acumulación de agua.	1,1
Bajo	Entablado con disposición que permite acumulación de agua (ej. inclinado) y/o contracara con cámara no ventilada. Se admiten testas no ventiladas pero con sellado superficial.	1,3
Muy bajo	Entablado con disposición que permite acumulación de agua (ej. inclinado), compuesto con elementos de madera de espesor superior a 28 mm y/o contracara sin cámara de aire. Se admiten testas sin ventilación ni sellado.	1,5

Fuente: Fernández - Golfín et al., (2018)

Como puede apreciarse en la Figura 15, el entablado en el revestimiento exterior de la vivienda seleccionada de referencia en Mollendo se dispone de forma vertical, sin embargo la contracara no está ventilada. Según la Junta del Acuerdo de Cartagena

(1984), usualmente en los sistemas balloon frame se utilizaba papel asfáltico en la contracara por lo cual esta no recibe ventilación. Considerando estos dos factores, se le asignará a la casa de estudio de Mollendo el factor 0,9 de la Tabla 11.

5.2.2.1.4 Humedad Relativa de Mollendo

La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua presente en el aire, esta cantidad se expresa a través de un porcentaje (% HR).

Tabla 13.

Humedad Relativa Media Mensual Multianual - Mollendo, Según Estación Meteorológica, (1981-2010)

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
% H.R.	81	79	81	82	82	83	83	83	84	82	81	82	82

Fuente: Marina de Guerra del Perú - Dirección de Hidrografía y Navegación.

Según lo expresado por la Dirección de Hidrografía y Navegación (2016) el promedio de la humedad relativa mensual multianual para la ciudad de Mollendo es de 82%.

5.2.2.1.5 Clase de Servicio tipo C2

En función a lo desarrollado en los puntos anteriores, podemos determinar que la Clase de Servicio para el revestimiento exterior de la vivienda seleccionada de referencia en Mollendo es de tipo C2, debido a que la humedad relativa de la ciudad de Mollendo no sobrepasa el 85 % (el máximo porcentaje en Mollendo es 84% en el mes de setiembre) y las estructuras de madera que lo componen, al ser un Sistema Entramado Global o Balloon Frame, se mantienen cubiertos. En cuanto a la geometría del elemento, la presencia de los aleros y cornisas en el edificio brindan una protección parcial a la fachada, el diseño constructivo de la misma es adecuada

por la correcta disposición de los entablados, sin embargo la distancia que tiene con el suelo es insuficiente para evitar salpicaduras y huellas de lluvia en épocas de precipitaciones. En base a los criterios anteriormente analizados, se concluye que la clase de servicio más apropiada para el revestimiento exterior de la casa de estudio es el tipo C2, descrito en la Tabla 6. Esta clase de servicio sirve como una referencia para su aplicación en otras edificaciones con el sistema constructivo balloon frame, para una mayor precisión y un análisis particular de otra casa con elementos constructivos diferentes se puede seguir los mismos pasos mostrados anteriormente cambiando, obviamente, las especificaciones constructivas necesarias.

5.2.3 Clases de uso

Las clases de uso representan diferentes situaciones de servicio a las que pueden estar expuestos la madera y los productos a base de madera, en función de las condiciones higrotérmicas, estimando los riesgos de degradación biológica (biótica) del material.

Tabla 14.

Clases de uso

Clase de Uso (CU) (UNE-EN 335:2013)			
Clase	Sub-clase	Entorno de aplicación	Durabilidad del elemento frente al ataque de hongos xilófagos, fundamentalmente
C1	-		Situación en la que el elemento de madera se utiliza en el interior de una construcción y no expuesto a la intemperie ni a la humidificación *. Nota: Habitualmente $CH \leq 12\%$
C2	-		Situación en la que el elemento de madera se encuentra situado bajo cubierta y no expuesto a la intemperie (en particular a la lluvia) pero en la que puede estar sometido a una humidificación ocasional pero no persistente. En esta clase de uso puede

			<p>producirse condensación superficial en el elemento de madera. Radiación solar reducida*. Nota: Habitualmente $12\% < CH < 18\%$</p>
C3	3.1	No en contacto con el suelo	<p>Situación en que el elemento de madera se encuentra situado por encima del suelo y expuesto a la intemperie (en particular a la lluvia) pero en la que el elemento no permanece húmedo durante largos periodos de tiempo y el agua en ningún caso se acumula. Exige un diseño (u orientación) que garantice una rápida evacuación de agua y un rápido secado. Radiación solar media-elevada* Nota: Habitualmente el CH no supera el umbral del 18% durante más de unas semanas al año.</p>
	3.2		<p>Situación en que el elemento de madera se encuentra situado por encima del suelo y expuesto a la intemperie (en particular a la lluvia) pero en la que el elemento permanece húmedo durante largos periodos de tiempo y el agua puede acumularse. Es una situación en la que los elementos no están orientados ni las soluciones constructivas diseñadas de forma que permitan la rápida evacuación del agua. Radiación solar elevada. Nota: El CH supera el umbral del 18-20% durante algunos meses al año pero llega a secarse completamente ($CH < 12\%$) durante, al menos, tres meses.</p>
C4	-	Contacto con suelo o agua dulce	<p>Situación en la que el elemento de madera se encuentra en contacto directo con el suelo y/o el agua dulce*. Nota 1: También han de incluirse en esta clase a las maderas en contacto con una fuente de humidificación permanente o semipermanente (ej. Muros o soleras húmedos). Nota 2: Habitualmente $CH > 18\%$, no llegando a secarse completamente ($CH < 12\%$) en ningún momento del año.</p>
C5	-	Contacto con agua	<p>Situación en la que el elemento de madera se encuentra sumergido en agua salada de forma regular o permanente (ej. Agua marina o salobre)</p>

		marina o salobre	Nota: Habitualmente $CH > 18\%$, no llegando a secarse completamente ($CH < 12\%$) en ningún momento del año
(*) Los ataques por insectos xilófagos, incluyendo las termitas, son posibles, aunque su presencia e importancia dependen de la localización geográfica.			

Fuente: European Standard UNE-EN 335 (2013)

5.2.3.1 Clase de uso para el revestimiento exterior de la casa de estudio en Mollendo

Según Fernández – Golfín (2018), para determinar la clase de uso para la casa de referencia en Mollendo es necesario conocer las siguientes variables:

- **Índice de Exposición Básica (I_{s0}):** Según como se determinó a través del método de Scheffer en la Etapa 1 del Marco Operativo de la presente investigación (punto 5.1.1.2.4), el Índice de Exposición Básica (I_{s0}) para la ciudad de Mollendo es de 3,0.
- **Factor de Severidad Climática (K_{s1}):** Según como se determinó en la Etapa 1 del Marco Operativo de la presente investigación (punto 5.1.2.1), el Factor de Severidad Climática para la ciudad de Mollendo es de 1,2.
- **Geometría del elemento (K_{s2}):** Según como se determinó en la Etapa 2 del Marco Operativo de la presente investigación (punto 5.2.2.1.1), el Factor de Geometría del elemento para la casa de estudio de la ciudad de Mollendo es de 0,9.
- **Aleros y cornisas (K_{s3}):** Según como se determinó en la Etapa 2 del Marco Operativo de la presente investigación (punto 5.2.2.1.2), el Factor de Aleros y cornisas para la casa de estudio de la ciudad de Mollendo es de 1,0.

- **Distancia al suelo (K_{s4}):** Según como se determinó en la Etapa 2 del Marco Operativo de la presente investigación (punto 5.2.2.1.3), el Factor de Distancia al suelo para la casa de estudio de la ciudad de Mollendo es de 1,5.
- **Diseño constructivo en elementos ubicados al exterior (K_{s5}):** Según como se determinó en la Etapa 2 del Marco Operativo de la presente investigación (punto 5.2.2.1.4), el Factor de Diseño constructivo en elementos ubicados al exterior para la casa de estudio de la ciudad de Mollendo es de 0,9.

Una vez conocidos los valores del Índice de Exposición Básica y los diversos factores constructivos analizados en el objeto de estudio, será necesario calcular el valor del Índice de Exposición Característica (I_{sk}), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$I_{sk} = [I_{s0} * k_{s1}] * k_{s2} * k_{s3} * k_{s4} * k_{s5} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

I_{s0} : Índice de exposición básica

k_{s1} : Factor de severidad climática

k_{s2} : Factor de geometría del elemento

k_{s3} : Factor de aleros y cornisas

k_{s4} : Factor de distancia al suelo

k_{s5} : Factor de diseño constructivo en elementos ubicados al exterior

El Índice de Exposición Característica (*I_{sk}*) para el revestimiento exterior de la casa de estudio de referencia en la ciudad de Mollendo se calcularía de la siguiente forma:

$$I_{Sk} = [3,0 * 1,2] * 0,9 * 1,0 * 1,5 * 0,9 \quad (\text{Ec. 2})$$

Dando como resultado un Índice de Exposición Característica (*I_{sk}*) de 4,4

Obtenido el valor del Índice de Exposición Característica (*I_{sk}*), la asignación propuesta a clases de uso se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 15.

Criterios de asignación de clases de uso en función del valor calculado del índice de exposición característica

Asignación de clases de uso	
Índice de exposición característica (<i>I_{sk}</i>)	Clase de uso (UNE-EN 335)
0-1,5	1
>1,5 hasta 2,5	2
>2,5 hasta 3,5	3.1
>3,5 hasta 4,5	3.2
>4,5	4*

Fuente: Fernandez - Golfín et al. (2018)

La clase de uso que le correspondería al revestimiento exterior de la casa de estudio en Mollendo sería el valor de 3.2.

Como puede apreciarse en la Tabla 13, en la clase de uso “3.2”, el revestimiento exterior se encuentra situado por encima del suelo y expuesto a la intemperie (en particular a la lluvia), además el elemento permanece húmedo durante largos

periodos de tiempo y el agua llega a acumularse. Como indica la Norma Internacional UNE-EN 335 (2013), la situación en la que se encuentran estos elementos de madera es peligrosa, puesto que el revestimiento exterior no está orientado ni las soluciones constructivas diseñadas de tal forma que permitan la rápida evacuación del agua, así como el propenso ataque de hongos xilófagos e insectos

5.2.4 *Discusión de resultados*

5.2.4.1 Clases de Servicio

De los resultados analizados se concluye que:

- La Clase de Servicio para el revestimiento exterior de la casa de estudio de referencia es de tipo C2, debido a las siguientes características: La humedad relativa de la ciudad de Mollendo no sobrepasa el 85%, las estructuras que componen al revestimiento, al ser un Sistema Entramado Global o Balloon Frame, se mantienen cubiertos, en cuanto la geometría del elemento, la presencia de aleros y cornisas en la fachada brindan una protección parcial a la misma, el diseño constructivo actual en la fachada respecto a la disposición de los entablados es correcta, sin embargo la distancia que tiene con el suelo es insuficiente, por lo tanto, el revestimiento exterior está expuesto a recibir salpicaduras y huellas de lluvia en épocas de precipitaciones. Pertenecer a la Clase de Servicio C2 significa que es necesario mejorar la capacidad de resistencia frente a las condiciones climáticas del producto maderable utilizado, en este caso, el revestimiento exterior, se sugiere aplicar estrategias de diseño y/o desarrollo tecnológico en el material para mejorar esta condición.

5.2.4.2 Clases de Uso

De los resultados analizados se concluye que:

- La Clase de Uso para el revestimiento exterior de la casa de estudio de referencia tiene un valor de 3.2, se llegó a esta conclusión en base al análisis del Índice de exposición básica, del Factor de severidad climática, del Factor de geometría del elemento, del Factor de aleros y cornisas, del Factor de distancia al suelo y del Factor de diseño constructivo en elementos ubicados al exterior. Tener un valor de 3.2 en el sistema de Clases de Uso significa que la situación en la que se encuentra el revestimiento exterior es peligroso, puesto que no está orientado, ni las soluciones constructivas diseñadas para que se permita la rápida evacuación del agua, o el material sea hidrófobo y evite la humedad constante, así como la posible susceptibilidad de recibir ataque de hongos xilófagos e insectos.

5.3 Etapa III: Propiedades físicas del revestimiento del sistema

5.3.1 Introducción

La madera como material de construcción cuenta con características adecuadas para su uso en obras arquitectónicas pertinentes que lo requieran, considerando factores como bioclima, contexto cultural y eficiencia en sus propiedades físicas y mecánicas. En el presente informe desarrollamos las propiedades físicas de la madera, específicamente, tres propiedades físicas del material: Contenido de Humedad, Densidad y Coeficiente de Absorción. En el proceso de investigación y ejecución de pruebas de laboratorio, nos dimos cuenta que estas tres propiedades físicas responden tanto a la constitución biológica de la especie como a la sinergia que existe entre ellas, por citar un ejemplo: a mayor densidad, mayor contenido de humedad en una especie, por consiguiente su estudio debe de abordarse de manera integral y práctica, enfocando los métodos de las pruebas de laboratorio a posibles condiciones climatológicas de un contexto de la vida cotidiana, situaciones en donde la madera experimenta el rigor del factor climático. Sabemos que los productos de madera pueden estar en contacto con el agua mediante dos formas distintas, mediante el contacto con agua líquida y mediante vapor, el contacto con agua líquida induce a un aumento importante en el Contenido de Humedad del material, esta primera propiedad la consideramos como el punto de inicio en lo que a propiedades físicas del material se refiere, la madera puede encontrarse en tres estados: verde, seco y anhidro, usualmente la madera se emplea en los procesos constructivos en estado seco (12 % de contenido de humedad), este estado permite su trabajabilidad en maderas medianamente densas, es cuando empezamos a hablar de la segunda propiedad: la Densidad. La Densidad permite conocer la empleabilidad del material en una construcción, porque es un parámetro que se considera en la Norma Técnica de Construcción E-010. Esta normativa nos brinda

condiciones en los criterios de diseño en función a la densidad básica, como: distancia de las luces entre caras de apoyo, peraltado de vigas, deformaciones frente a cargas de servicio, por citar algunos. La trabajabilidad va de la mano con la eficiencia del material, que depende de su capacidad de absorción, esta variable se relaciona estrechamente con la densidad básica y contenido de humedad. Para las especies con una densidad básica baja, como las estudiadas en este informe, es necesario que la madera esté en un estado seco o en contenido de humedad de equilibrio, por lo que es deseable que su nivel de absorción sea poco significativo. En los procedimientos empleados y descritos en este informe, determinamos el coeficiente de absorción de agua líquida a través de una inmersión parcial del material en agua potable.

Este método puede interpretarse en la práctica, en situaciones en donde el material absorbe agua líquida a corto plazo, cuando se produce una absorción capilar de la lluvia continua o durante el almacenamiento y construcción en sitios húmedos, situaciones posibles al momento de ejecutar una obra arquitectónica. Es necesario resaltar que este método no está destinado a evaluar la absorción de agua de la madera cuando se encuentra bajo el agua o en contacto general con tierra saturada (ISO 15148, 2002).

5.3.2 Método de ensayo

5.3.2.1 Preparación de la Probeta

- Para el ensayo de Densidad Básica se ensayaron 08 probetas de cada especie de madera (tornillo y zapote), de 3.00 x 3.00 x 10.00 cm. Para el desarrollo de los ensayos se utilizó como referencia la norma internacional ASTM

D2395-14¹. Para medir el volumen se utilizó el procedimiento de la norma internacional ASTM D2395-14, específicamente el modo IV en donde la muestra se sumerge en un tubo graduado alargado. Después se sumerge la muestra, manteniéndola sumergida con una varilla fina y puntiaguda si es necesario y se vuelve a determinar el nivel del agua. La diferencia en el nivel del agua es igual al volumen de la muestra.

- Para el ensayo de Contenido de Humedad se ensayaron 08 muestras solidas de cada especie de madera (tornillo y zapote) de 3.00 x 3.00 x 10.00 cm. Para el desarrollo de este ensayo se utilizó como referencia la norma internacional ASTM D4442, el método “B”. Las muestras se pesaron y se ubicaron en forma de zig zag en la estufa, cuatro muestras en cada uno de las dos bandejas, a un tercio y dos tercios de la altura de la cavidad de la estufa.
- Para el ensayo de Absorción se ensayaron 03 probetas de cada especie de madera (tornillo y zapote), el área de las muestras fue menor de 100 cm² (según recomendación de la Norma ISO 15148-2002), para la realización de esta prueba las áreas de las probetas fueron de 16.00 cm x 6.50 cm. Cada probeta se acondicionó a una humedad relativa entre 40 y 60 % por 24 horas, mediante un humidificador, en un recipiente de plástico hermético. Finalizado el acondicionamiento se midió la masa de cada una de las probetas cuyo dato representa la masa inicial, después, cada probeta se sumergió parcialmente sobre el recipiente de plástico abierto a la intemperie llenado con agua potable, el nivel de agua se mantuvo constante durante el

¹ Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials

ensayo a 5 ± 2 mm por encima del punto más alto en la base de la muestra. Posteriormente se tomaron datos de 08 pesajes, con el fin de obtener puntos que definan una recta ascendente de absorción. Para definir los puntos de absorción se consideró como ancla la hora en que se toma la masa inicial, el primer punto se registró transcurrido 15 minutos, el segundo, 1 hora; el tercero, 2 horas; el cuarto, 4 horas; el quinto, 8 horas; el sexto, 12 horas; y el séptimo, 24 horas de haber tomado el dato de la masa inicial.

- Para el ensayo de Estabilidad dimensional se seleccionaron 07 probetas de cada especie de madera, de $2.50 \times 2.50 \times 10.00$ cm³. Según la norma ASTM D-143-94, es necesario que las probetas sean regulares en la medida de todos sus lados, el margen de diferencia no puede superar los 0.10 mm. Se identificaron las direcciones radial, tangencial y longitudinal de cada probeta para luego tomar tres mediciones en cada dirección, dos en los extremos y una en la parte central con ayuda de un vernier marca Truper de 0.01 mm de precisión. Posteriormente se sometieron a saturación en agua destilada hasta 350 ml aproximadamente por un periodo de 72 horas en un recipiente de inmersión, para posteriormente ser pesada en una balanza de marca Electronic Scale 2000 g de 0.1 g de precisión. Después del estado saturado, se registró medidas en los mismos lugares de las probetas, luego de tomar los datos, se procedió a meterlas en la estufa por 24 horas en un horno marca Binder modelo FED 115 a (103 ± 2) °C de temperatura. Se colocaron las probetas en el desecador pasado el tiempo de secado para que puedan enfriarse sin absorber humedad del ambiente durante 2 horas.

Finalmente se registró la medida final en estado anhidro.

5.3.2.2 Materiales y Equipos

- **Estufa:** Se utilizó una estufa de convección forzada. Para los ensayos se utilizó una estufa de secado Binder tipo BD, este equipo puede mantener una temperatura de (103 ± 2) °C durante todo el tiempo necesario para secar la muestra hasta alcanzar el punto final de secado (masa constante de la muestra). El equipo también cuenta con un sistema de ventilación que permite que la humedad pueda escapar.

Figura 18.

Estufa de convección



Fuente: Gabastou (2005)

- **Balanza:** Según la norma ASTM D4442, basado en una muestra de 10 g (seca a la estufa), la resolución mínima de lectura de la balanza será determinada por el nivel de precisión de reporte deseado. La balanza electrónica utilizada fue una de tipo Secura de la marca Sartorius.

Figura 19.

Balanza de precisión



Fuente: Gabastou (2005)

- **Desecador:** Equipo donde se coloca la muestra después de secarla en el horno. El desecador utilizado fue uno de 300 ml con llave para vacío, marca ISOLAB.

Figura 20.

Desecador



Fuente: Gabastou (2005)

- **Agua destilada:** Para la realización de los procedimientos se llenó agua destilada en un recipiente con la capacidad de almacenar 30,0 litros, para el total de ensayos se utilizó un aproximado de 30 litros a lo largo del mes y medio de pruebas físicas.

Figura 21.

Agua destilada



Fuente: Gabastou (2005)

- **Tanque de agua:** dispositivo para mantener el nivel de agua constante a 5 mm \pm 2 mm y un dispositivo para mantener la muestra de prueba en posición. El tanque debe incluir soportes puntuales, que no dañen la muestra, para mantener la muestra al menos a 5 mm de la base.

Figura 22.

Tanque de agua



Fuente: Gabastou (2005)

- **Humidificador:** Dispositivo que permite acondicionar las muestras a la humedad relativa requerida en los ensayos.

Figura 23.

Humidificador



Fuente: Gabastou (2005)

5.3.3 Procedimiento

5.3.3.1 *Ensayo de Contenido de Humedad*

- Pesar las muestras de madera a utilizar en los recipientes usando una balanza de precisión hermética para alcanzar la precisión deseada.
 - Colocar las muestras en la estufa manteniendo un distanciamiento importante entre muestras
 - Según la norma internacional ASTM D4442 las probetas con una dimensión de aproximadamente 50 por 100 mm de sección transversal y 25 mm a lo largo de la beta (tamaños aproximados a las dimensiones utilizadas en este ensayo), alcanzará una “masa constante” dentro de las 24 h cuando se seca en un horno de convección forzada usando este procedimiento
 - Almacenar las muestras secas en un desecador con desecante fresco hasta que alcancen la temperatura ambiente. Las muestras estarán en el desecador el tiempo que demore el pesaje de cada probeta, en el caso de esta prueba tuvo la duración de 1 hora.
 - Pesar las muestras secas finales a temperatura ambiente y anotar los datos.
- Todos los pesajes se llevaron a cabo utilizando una balanza hermética.

Figura 24.

Muestra de las especies seleccionadas para el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

5.3.3.2 Ensayo de Densidad Básica

- Pesarse las muestras secas finales a temperatura ambiente y anotar los datos. Colocar cada probeta en un recipiente con 1 L de agua destilada cubriendo la totalidad de la probeta para alcanzar una saturación máxima.
- Saturar las probetas durante 3 días tanto para la especie *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, conocida como tornillo como para la especie *Matisia Cordata*, denominado comúnmente como zapote.
- Para medir el volumen se utilizó el procedimiento de la norma internacional ASTM D2395-14, específicamente el método IV en donde la muestra se sumerge en un tubo graduado alargado que tiene una sección transversal ligeramente más grande que la muestra, se lee el nivel del agua en el tubo, preferiblemente hasta una marca de graduación uniforme, antes de sumergir la muestra. Después se sumerge la muestra, manteniéndola sumergida con una varilla fina y puntiaguda si es necesario

y se vuelve a determinar el nivel del agua. La diferencia en el nivel del agua es igual al volumen de la muestra (ASTM D2395-14, 2014).

- Secar las probetas en un periodo de 24 horas, para este ensayo se utilizó un horno marca Binder tipo BD a $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$, hasta que la masa de la probeta no varíe (estado anhidro).
- Calcular la densidad básica de las especies de madera utilizando como referencia la norma ASTM D2395-14.

Figura 25.

Probetas de zapote en la estufa, distribución en zigzag.



Fuente: Elaboración Propia

5.3.3.3 Ensayo de Coeficiente de Absorción

- Acondicionar las probetas a una humedad relativa entre 40 y 60 % por 24 horas, mediante un humidificador, en un recipiente de plástico hermético.
- Pesar la muestra de prueba con una precisión del 0,1% de su masa para determinar la masa inicial m_i después del acondicionamiento.
- Llenar el tanque con agua del grifo a la profundidad especificada y condicionar a la temperatura de prueba.

- Colocar la muestra de prueba en el tanque de modo que su base descansa sobre soportes puntuales que lo mantengan alejado del fondo del tanque. Se debe tener cuidado, especialmente con muestras con bases irregulares, para asegurar que las burbujas de aire no queden atrapadas debajo de la muestra.
- El nivel del agua se mantendrá constante durante el ensayo a (5 ± 2) mm por encima del punto más alto en la base de la muestra.
- Para eliminar los efectos no isotrópicos², la mitad de las muestras de un material homogéneo, cortadas de la misma muestra, se colocarán con una cara principal hacia abajo, la otra mitad con esta cara hacia arriba.
- Después de aproximadamente 5 minutos, retirar la muestra del agua, secar las superficies con una esponja húmeda, asegurándose de que la esponja se escurra antes de secar la cara expuesta y pesar la muestra con una precisión del 0,1% de su masa.
- Repetir el procedimiento de inmersión, extracción, secado de superficie y pesaje en momentos como 20 min, 1 h, 2 h, 4 h y 8 h después de la inmersión y luego, como mínimo, dos veces más, incluidas 24 h, para obtener una serie de masas m_t a veces t .

² Las sustancias isotrópicas presentan siempre el mismo comportamiento independientemente de la dirección de la fibra, mientras que en las anisotrópicas las propiedades varían con la dirección de la fibra.

Figura 26.

Probetas de zapote sometidas al ensayo de absorción en agua



Fuente: Elaboración Propia

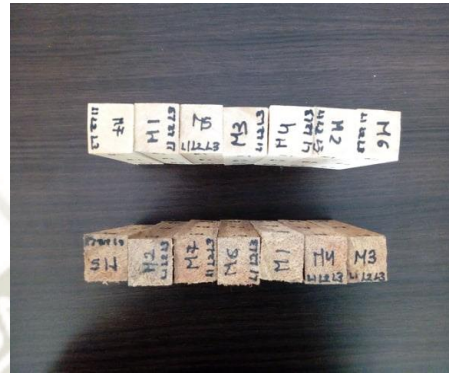
5.3.3.4 Ensayo de Estabilidad Dimensional

- Identificar las direcciones radial, tangencial y longitudinal de cada probeta para luego tomar tres mediciones en cada dirección, dos en los extremos y una en la parte central con ayuda de un vernier de 0.01 mm de precisión.
- Someter las probetas a saturación en agua destilada hasta 350 ml aproximadamente por un periodo de 72 horas en un recipiente de inmersión, para posteriormente pesarlas en una balanza de 0.1 g de precisión.
- Después que las probetas hayan alcanzado el estado saturado, registrar medidas en los mismos lugares de las probetas donde se identificaron las direcciones radial, tangencial y longitudinal iniciales, luego de tomar los datos, se procedió a meterlas en la estufa por 24 horas en un horno marca Binder modelo FED 115 a $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$ de temperatura.
- Colocar las probetas en el desecador pasado el tiempo de secado para que puedan enfriarse sin absorber humedad del ambiente durante 2 horas.

- Registrar la medida final en estado anhidro.

Figura 27.

Muestras en posición longitudinal a la fibra



Fuente: Elaboración Propia

5.3.4 Variables y parámetros a medir y calcular

5.3.4.1 Ensayo de Contenido de Humedad

Se ensayó muestras solidas de 3.00 x 3.00 x 10.00 cm en cada especie de madera.

Según la norma ASTM D4442, se ensayó 08 muestras y se seleccionaron 05 probetas para el registro de datos. Para el cálculo del Contenido de Humedad se utilizó la siguiente ecuación:

$$CH\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

CH% Contenido de humedad, en porcentaje;

M1 Masa inicial (estado seco), en gramos;

M2 Masa final (estado anhidro), en gramos;

5.3.4.2 Ensayo de Densidad Básica

Para el ensayo de densidad básica se ensayaron 08 probetas de cada especie de madera, de 3.00 x 3.00 x 10.00 cm y se seleccionaron 05 probetas para el registro de datos. Para el desarrollo de los ensayos se utilizó como referencia la norma ASTM D2395-14. Para el cálculo de la densidad básica se utilizó la siguiente ecuación:

$$Pb = \frac{m_o}{V_{max}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

m_o: masa anhidra en horno de la muestra

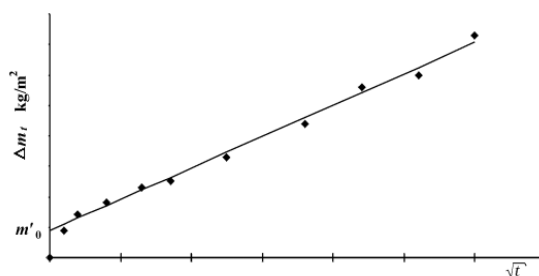
V_{max}: Volumen verde de la muestra

5.3.4.3 Ensayo de Coeficiente de Absorción

Se tomó como referencia la Norma ISO 1514-2002. Después de realizar el montaje experimental y toma de datos de: masa inicial, masa final y tiempo en siete momentos diferentes se obtiene el siguiente gráfico tipo A.

Figura 28.

Gráfico “a” - Norma ISO 15148-2002



Fuente: Norma ISO 15148-2002

Donde el coeficiente de absorción de agua, A_w o W_w se calcula a partir de:

$$A_w = \frac{\Delta m_{tf} - \Delta m_0}{\sqrt{t_f}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Dónde:

A_w Coeficiente de absorción de agua, [kg/(m² .s^{0,5})];

$\Delta m'_{tf}$ Valor obtenido de Δm_t en la línea de tendencia lineal en el tiempo de prueba final;

$\Delta m'_0$ Valor obtenido de Δm_t cuando la línea de tendencia se cruza con el eje de Δm_t ;

$\sqrt{t_f}$ Raíz del tiempo de prueba total, en segundos.

5.3.4.4 Ensayo de Estabilidad Dimensional

Hinchazón de madera: es el porcentaje de incremento dimensional que tendrá la madera en una dirección determinada al encontrarse sumergida en agua en un tiempo establecido, se obtiene mediante la ec. 4.

$$H_{m\acute{a}x(r,t,l)} = \frac{L_s - L_0}{L_0} * 100 \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

$H_{m\acute{a}x.}(r, t, l)$: Hinchamiento máximo sea en dirección radial, tangencial o longitudinal

L_s : Longitud de la probeta después de su saturación en agua destilada sea dirección radial, tangencial o longitudinal

L_0 : Longitud inicial de probeta antes de su saturación en agua destilada sea dirección radial, tangencial o longitudinal.

Contracción de madera: es el porcentaje de reducción dimensional que tendrá la madera en una dirección determinada al encontrarse sumergida en agua en un tiempo establecido y luego ser secada en el horno, se obtiene mediante la ec. 5.

$$C_{m\acute{a}x(r,t,l)} = \frac{L_s - L_{anh}}{L_s} * 100 \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

$C_{m\acute{a}x. (r, t, l)}$: Contracción máxima sea en dirección radial, tangencial o longitudinal

L_s : Longitud de probeta después de su saturación en agua destilada durante 72 horas (sea dirección radial, tangencial o longitudinal)

L_{anh} : Longitud de probeta después de ser secada en el horno (estado anhidro) sea dirección radial, tangencial o longitudinal

Coefficiente de anisotropía de la madera: expresa la relación entre el porcentaje de contracción tangencial y radial de una madera según la ec. 6.

$$A\alpha = \frac{C_{m\acute{a}x_t}}{C_{m\acute{a}x_r}} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

$A\alpha$: Coeficiente de anisotropía

$C_{m\acute{a}x, t}$: Hinchamiento máximo tangencial (%)

$C_{m\acute{a}x, r}$: Hinchamiento máximo radial (%)

Según (Vizcarra, 1998), las maderas pueden ser clasificadas según su coeficiente de anisotropía, el cual permitirá conocer su grado de estabilidad dimensional.

Tabla 16.

Clasificación de las maderas según su coeficiente de anisotropía.

Grupo	Rango (T/R)	Clasificación	Estabilidad
1	menor de 1,5	Muy Baja (MB)	Muy estable (MEO)
2	de 1,51 a 2,0	Baja (B)	Estable (E)
3	de 2,0 a 2,5	Mediana (M)	Mod. Estable (M)
4	de 2,5 a 3,0	Alta (A)	Inestable (I)
5	mayor de 3,1	Muy Alta (MA)	Muy Inestable(MI)

Fuente: Vizcarra (1998)

5.3.5 Resultados

5.3.5.1 Ensayos físicos sin tratamiento térmico

Ensayo de Contenido de Humedad

Los resultados obtenidos de la prueba de Contenido de Humedad para la especie Zapote y Tornillo se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 17.

Contenido de humedad de las especies tornillo y zapote (%)

Rótulo de Probeta	Tornillo	Zapote
Ch-01	5.5413	5.7020
Ch-02	5.6025	5.9795
Ch-03	5.6038	6.1010
Ch-04	5.4551	5.7195
Ch-05	5.4934	5.6857
Promedio	5.5392	5.8375
Desvest	0.0659	0.1904

Fuente: Elaboración propia

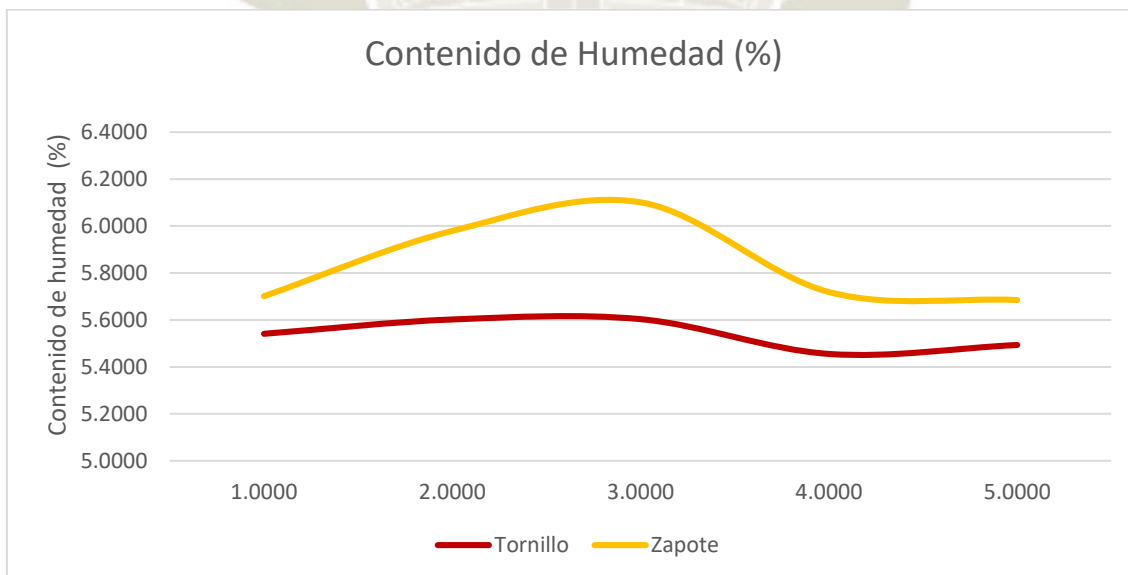
Según los datos obtenidos en laboratorio, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como Zapote, tiene un mayor índice de contenido de humedad, por las siguientes razones:

- Edad de la madera (menor de 15 o 20 años).
- Su capacidad de absorción de agua sucede debido las propiedades intrínsecas de la madera, como su anatomía, principalmente el tamaño de poro y vasos que posee (tamaños que se pueden diferenciar con la ayuda de una lupa de 20 aumentos)
- Existe una estrecha relación entre la densidad de cada madera ensayada con la cantidad de agua que puede absorber (a mayor densidad, la capacidad de absorción de agua es mayor). Por lo tanto la densidad básica de la madera Zapote, debería ser mayor.

El comportamiento del contenido de humedad para cada especie se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfico 1.

Contenido de humedad para diferentes especies de madera



Nota. En el gráfico se observa la diferencia de Contenido de Humedad entre las dos especies estudiadas. La especie tornillo muestra una mayor estabilidad y menor contenido de humedad en los resultados.

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de Densidad Básica

Los resultados obtenidos de la prueba de densidad para la especie zapote se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 18.

Densidad Básica de Zapote en g/cm³

Rótulo de probeta	Masa inicial	Masa anhidra	Masa Saturada	Volumen	Densidad básica
	(± 0.0001 g)	(± 0.0001 g)	(a) (± 0.0001 g)		
Db-Z-01	68.9549	65.0231	99.1195	102.5	0.6344
Db-Z-02	69.6359	65.4720	98.3550	105.0	0.6235
Db-Z-03	66.3235	62.2771	93.2221	97.5	0.6387
Db-Z-04	68.5809	64.6584	98.4261	100.0	0.6466
Db-Z-05	68.6799	64.7750	100.1056	102.5	0.6320
Promedio	68.4350	64.4411	97.8457	101.5	0.6350
Desvest	1.2502	1.2493	2.6788	2.9	0.0085

Nota. (a) Tiempo de saturación: 3 días

Fuente: Elaboración propia

La tabla 1 muestra las mediciones de las variables de masa inicial, anhidra y saturada para calcular la densidad básica de la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como zapote. Al efectuar el cálculo con la ecuación (2) se calculó la densidad básica promedio de 0.64 g/cm³.

Los resultados obtenidos de la prueba de densidad para la especie Tornillo se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 19.

Densidad Básica de Tornillo en g/cm³

Rótulo de probeta	Masa inicial (± 0.0001 g)	Masa anhidra (± 0.0001 g)	Masa Saturada ^(a) (± 0.0001 g)	Volumen (cm ³)	Densidad básica (g/cm ³)
Db-T-01	48.3661	48.4173	64.1125	95.0	0.5097
Db-T-02	47.2806	45.6860	61.0660	95.0	0.4809
Db-T-03	46.2974	49.6811	65.0040	95.0	0.5230
Db-T-04	46.5658	49.1085	69.0280	92.5	0.5309
Db-T-05	47.7559	48.6190	68.8310	92.5	0.5256
Promedio	47.2532	48.3024	65.6083	94.0	0.5140
Desvest	0.8482	1.5419	3.3658	1.4	0.0201

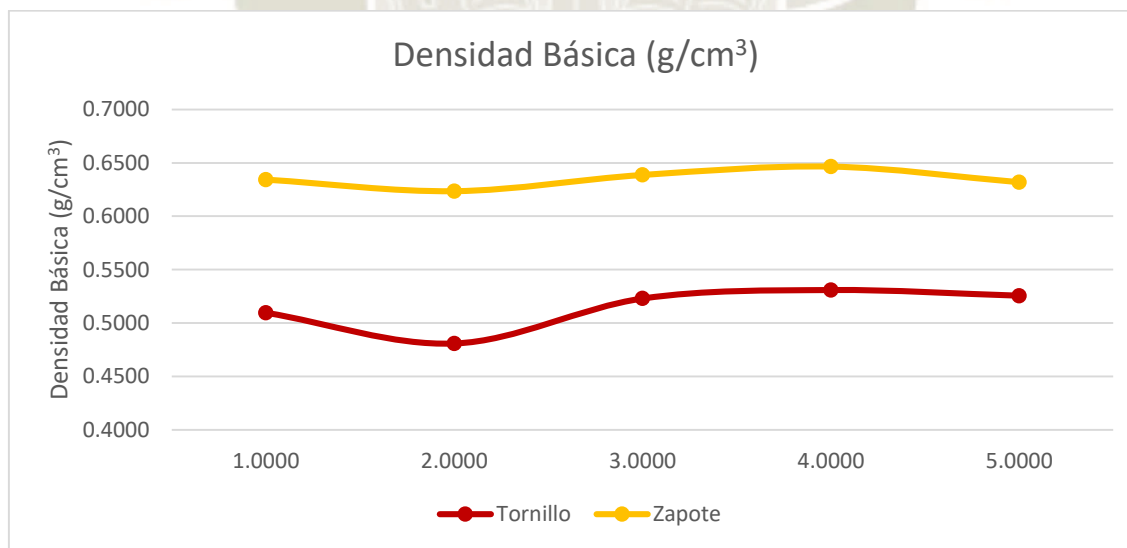
Nota. (a) Tiempo de saturación: 3 días

Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos, la especie *Cedrelinga Catenaeformis* Ducke, conocida comúnmente como tornillo tiene una densidad promedio de 0.51 g/cm³.

Gráfico 2.

Densidad básica en zapote y tornillo



Nota. En el gráfico se observa la diferencia en la densidad básica en cada probeta ensayada, se aprecia que la madera zapote tiene valores más altos de densidad básica que la especie tornillo

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de Coeficiente de Absorción

Los resultados obtenidos de la prueba de absorción para la especie Tornillo se resumen en la siguiente Tabla 1.

Tabla 20.

Coeficiente de absorción de Tornillo (kg/m²)

Rótulo de probeta	Δm_{tf}	Δm_0	$\sqrt{t_f}$	Coeficiente de Absorción (A_w)
ABS-T-01	1.0000	0.0075	293.9387	0.0034
ABS-T-02	0.9612	0.0075	293.9387	0.0032
ABS-T-03	1.0292	0.0075	293.9387	0.0035
Promedio	0.9968	0.0075	293.9387	0.0034
Desvest	0.0341	0.0000	0.0000	0.0002

Fuente: Elaboración propia

Donde: $\Delta m_{tf} = m_{tf} - m_{t0}$ en kg/m²

Donde: $\Delta m_0 = m_f - m_0$ en kg/m²

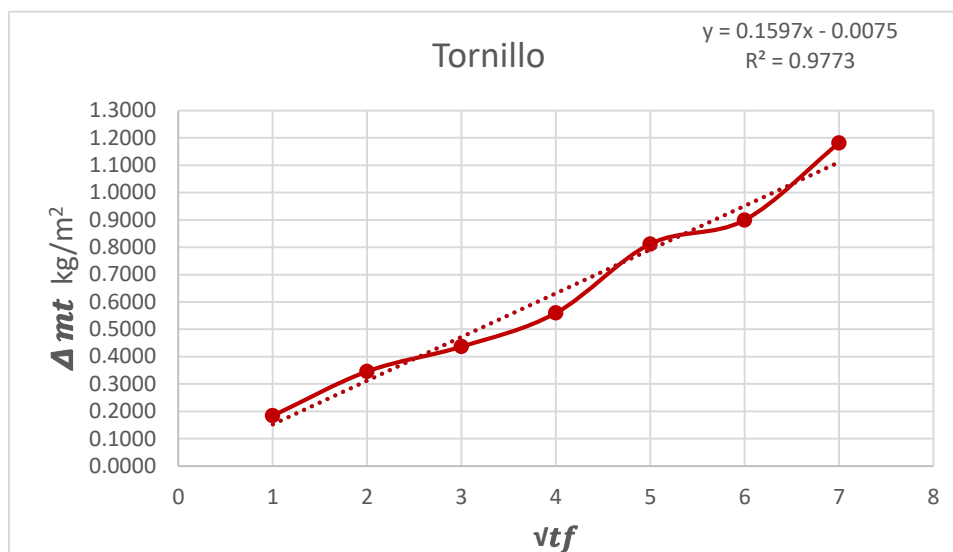
Donde: $\sqrt{t_f} = \sqrt{86400}$ en segundos

Donde: $A_w = \Delta m_{tf} - \Delta m_0 / \sqrt{t_f}$ en kg/ (m² * s^{0.5})

Según los datos obtenidos, la especie *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, conocida comúnmente como Tornillo tiene un coeficiente de absorción de 0.0034 kg/m².

Gráfico 3.

Variación de masa en función de la raíz cuadrada de tiempo



Nota. En el gráfico se observa una línea recta que pasa a través de los valores de m_t . Después observamos 7 puntos, estos valores describen el incremento de la masa de la madera tornillo sumergido en un periodo de 24 horas.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de la prueba de absorción para la especie Zapote se resumen en la siguiente Tabla 1.

Tabla 21.

Coefficiente de absorción de Zapote (kg/m²)

Rótulo de probeta	Δm_{tf}	Δm_0	$\sqrt{t_f}$	Coefficiente de Absorción (A_w)
ABS-Z-01	1.3980	0.0494	293.9387	0.0046
ABS-Z-01	1.3301	0.0494	293.9387	0.0044
ABS-Z-01	1.2622	0.0494	293.9387	0.0041
Promedio	1.0130	0.0494	293.9387	0.0044
Desvest	0.0297	0.0000	0.0000	0.0003

Fuente: Elaboración propia

Donde: $\Delta m_{tf} = m_{tf} - m_{t0}$ en kg/m²

Donde: $\Delta m_0 = m_f - m_0$ en kg/m²

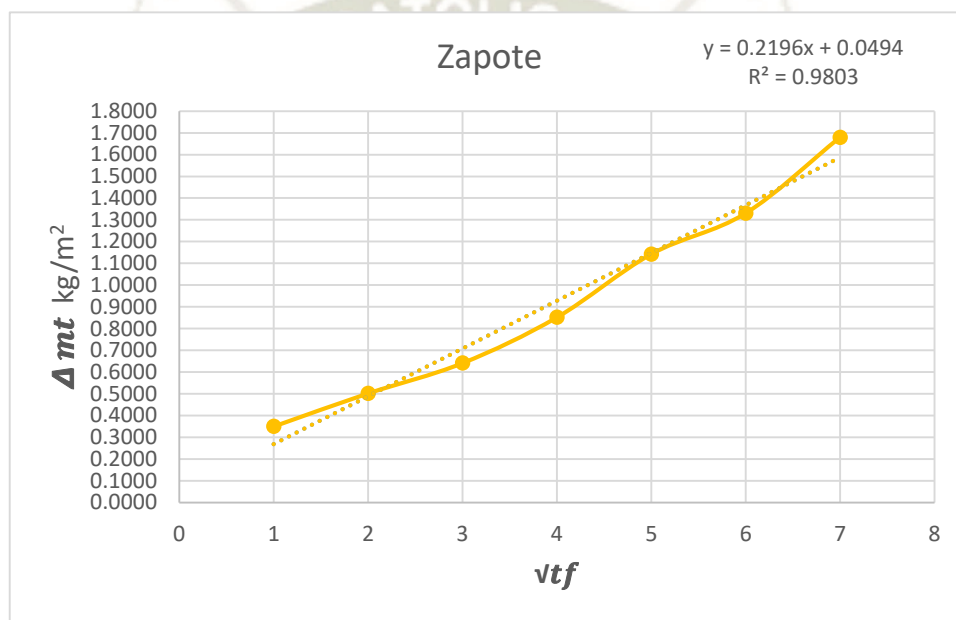
Donde: $\sqrt{tf} = \sqrt{86400}$ en segundos

Donde: $A_w = \Delta m_{tf} - \Delta m_0 / \sqrt{tf}$ en $kg / (m^2 * s^{0.5})$

Según los datos obtenidos, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como Zapote, tiene un coeficiente de absorción de 0.0044 kg/m^2 .

Gráfico 4.

Variación de masa en función de la raíz cuadrada de tiempo



Nota. En el gráfico se observa una línea recta que pasa a través de los valores de m_t . Después observamos 7 puntos, estos valores describen el incremento de la masa de la madera tornillo sumergido en un periodo de 24 horas.

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de Estabilidad Dimensional

- **Datos obtenidos de hinchazón lineal de madera**

Tabla 22.

% de hinchazón lineal en madera "tornillo"

Código de probeta	% Hinchazón		
	Tangencial	Radial	Longitudinal
	%	%	%

ED-T-01	1.80	2.49	1.28
ED-T-02	2.05	3.63	0.76
ED-T-03	2.80	4.88	0.45
ED-T-04	4.53	3.97	1.01
Promedio	2.80	3.74	0.88
Desv. Estándar	1.23	0.99	0.35

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 2 describe los datos obtenidos de hinchazón en la madera “Tornillo” para todas sus direcciones: radial, tangencial y longitudinal. El valor promedio obtenido fue de 2.80%, 3.74%, 0.88% para las direcciones tangencial, radial y longitudinal respectivamente, siendo la dirección radial la que obtuvo una mayor hinchazón a diferencia de las otras direcciones.

Tabla 23.

% de hinchazón lineal en madera "zapote"

Código de probeta	% Hinchazón		
	Tangencial	Radial	Longitudinal
	%	%	%
ED-T-01	6.97	3.53	0.12
ED-T-02	5.09	3.72	0.23
ED-T-03	7.58	4.01	0.52
ED-T-04	5.75	3.01	0.01
Promedio	6.35	3.57	0.22
Desv. Estándar	1.13	0.42	0.22

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 2 describe los datos obtenidos de hinchazón en la madera “Zapote” para todas sus direcciones: radial, tangencial y longitudinal. El valor promedio obtenido fue de 6.35%, 3.57%, 0.22% para las direcciones tangencial, radial y longitudinal respectivamente, siendo la dirección tangencial la que sufrió mayor hinchazón a diferencia de las otras direcciones.

- **Datos obtenidos de contracción lineal de madera**

Tabla 24.

% de contracción lineal en madera "tornillo"

Código de probeta	%Contracción		
	Tangencial	Radial	Longitudinal
	%	%	%
ED-T-01	4.19	2.27	1.63
ED-T-02	4.38	4.41	1.63
ED-T-03	5.69	5.29	0.95
ED-T-04	4.46	4.09	1.24
Promedio	4.68	4.02	1.36
Desv. Estándar	0.68	1.27	0.33

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 4 describe los datos obtenidos de contracción en la madera “Tornillo” para todas sus direcciones: radial, tangencial y longitudinal. El valor promedio obtenido fue de 4.68%, 4.02%, 1.36% para las direcciones tangencial, radial y longitudinal respectivamente, siendo la dirección tangencial la que sufrió mayor hinchazón a diferencia de las otras direcciones.

Tabla 25.

% de contracción lineal en madera "zapote"

Código de probeta	%Contracción		
	Tangencial	Radial	Longitudinal
	%	%	%
ED-T-01	7.96	4.4	0.21
ED-T-02	6.33	4.62	1.32
ED-T-03	7.31	4.31	0.62
ED-T-04	5.82	3.73	0.18
Promedio	6.86	4.27	0.58
Desv. Estándar	0.96	0.38	0.53

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 5 describe los datos obtenidos de contracción en la madera “Zapote” para todas sus direcciones: radial, tangencial y longitudinal. El valor promedio obtenido fue de 6.86%, 4.27%, 0.58% para las direcciones tangencial, radial y longitudinal respectivamente, siendo la dirección tangencial la que sufrió mayor contracción a diferencia de las otras dos direcciones.

- **Índice de anisotropía**

Tabla 26.

Índice de anisotropía para las maderas "tornillo" y "zapote"

N° de probeta	Índice de anisotropía	
	Tornillo	Zapote
1	1.85	1.81
2	0.99	1.37
3	1.08	1.70
4	1.09	1.56
Promedio	1.25	1.61
Desv. Estándar	0.40	0.19

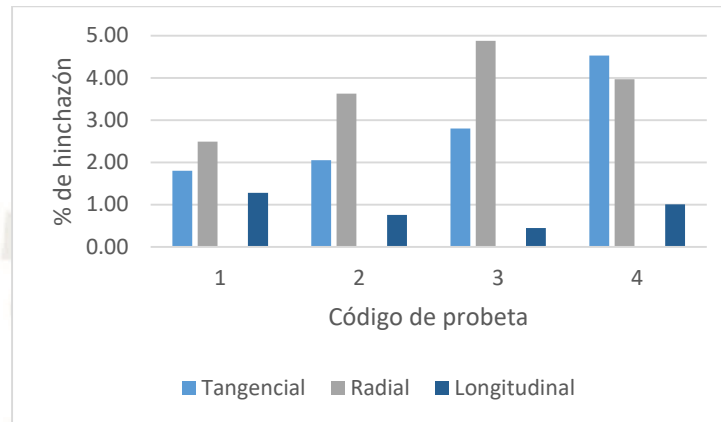
Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 7 compara los datos obtenidos de índice de anisotropía entre las maderas ensayadas. Los valores promedio obtenido fueron de 1.25 y 1.61 para el “Tornillo” y “Zapote” respectivamente, siendo el “Tornillo” la madera que presenta menor índice de anisotropía, es decir, es menos inestable dimensionalmente que la madera “Zapote”.

- **Gráficas de datos obtenidos**

Gráfico 5.

% de hinchazón de “tornillo”

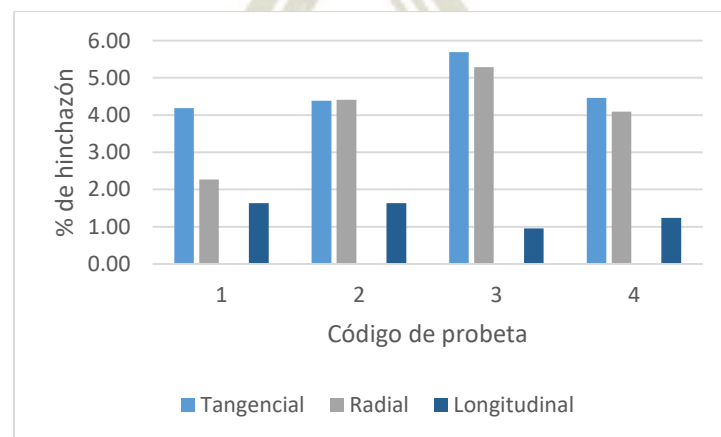


Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 1 describe el porcentaje de hinchazón de las distintas direcciones de la madera “Tornillo”, siendo la dirección radial la que obtiene mayor valor (desde 2.49% hasta 4.88%) según el diagrama de barras presentado, esto para todas las probetas ensayadas, así mismo se denota que el porcentaje de hinchazón longitudinal es la que menor valor obtuvo (desde 0.45 hasta 1.28) a diferencia de las otras dos direcciones.

Gráfico 6.

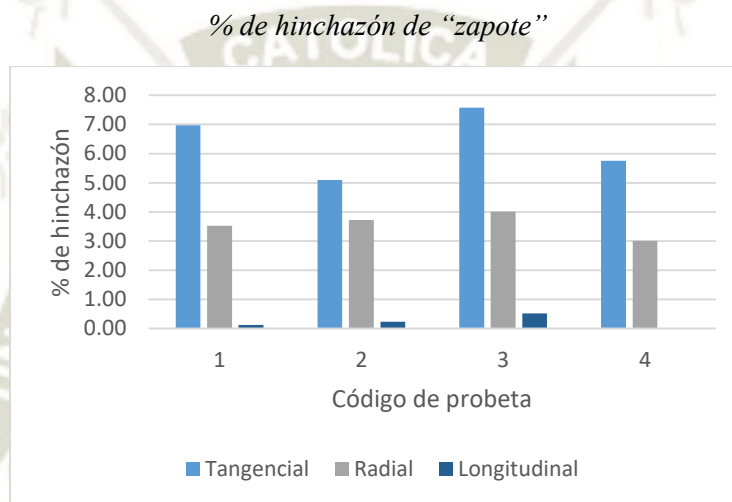
% de contracción de “tornillo”



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 2 describe el porcentaje de contracción de las distintas direcciones de la madera “Tornillo”, siendo la dirección tangencial la que obtiene mayor valor (desde 4.19% hasta 5.69%) según el diagrama de barras presentado, esto en todas las probetas ensayadas, así mismo se denota que el porcentaje de contracción longitudinal es la que menor valor obtuvo a diferencia de las otras dos direcciones.

Gráfico 7.

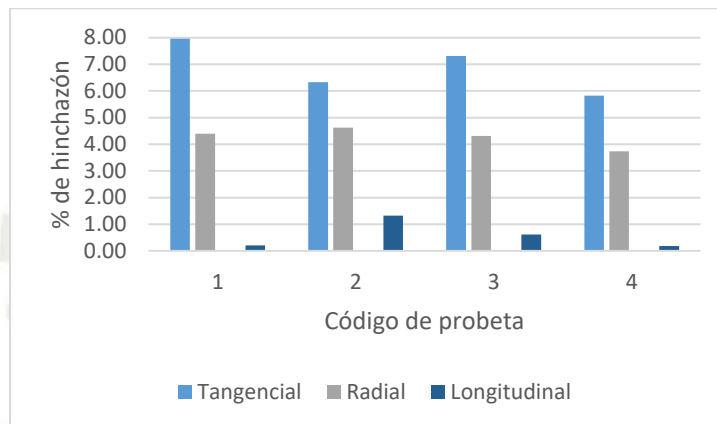


Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 3 describe el porcentaje de hinchazón de las distintas direcciones de la madera “Zapote”, siendo la dirección tangencial la que obtiene mayor valor (desde 5.09% hasta 7.58%) según el diagrama de barras presentado, esto en todas las probetas ensayadas, así mismo se denota que el porcentaje de hinchazón longitudinal es la que menor valor (desde 0.01% hasta 0.52%) obtuvo a diferencia de las otras dos direcciones.

Gráfico 8.

% de contracción de “zapote”



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 4 describe el porcentaje de contracción de las distintas direcciones de la madera “Zapote”, siendo la dirección tangencial la que obtiene mayor valor (desde 5.82% hasta 7.96%) según el diagrama de barras presentado, esto en todas las probetas ensayadas, así mismo se denota que el porcentaje de contracción longitudinal es la que menor valor (desde 0.18% hasta 1.32%) obtuvo a diferencia de las otras dos direcciones.

5.3.5.2 Ensayos físicos con madera tratada térmicamente a 160 °C

Ensayo de Contenido de Humedad

Los resultados obtenidos de la prueba de Contenido de Humedad para la especie Zapote y Tornillo se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 27.

Contenido de Humedad (%)

Rótulo de Probeta	Tornillo	Zapote
Ch-01	0.4502	0.9297
Ch-02	0.4162	1.0541
Ch-03	0.4914	0.7665
Ch-04	0.4017	0.8654

Ch-05	0.4256	0.7630
Promedio	0.4370	0.8758
Desvest	0.0352	0.1219

Fuente: Elaboración propia

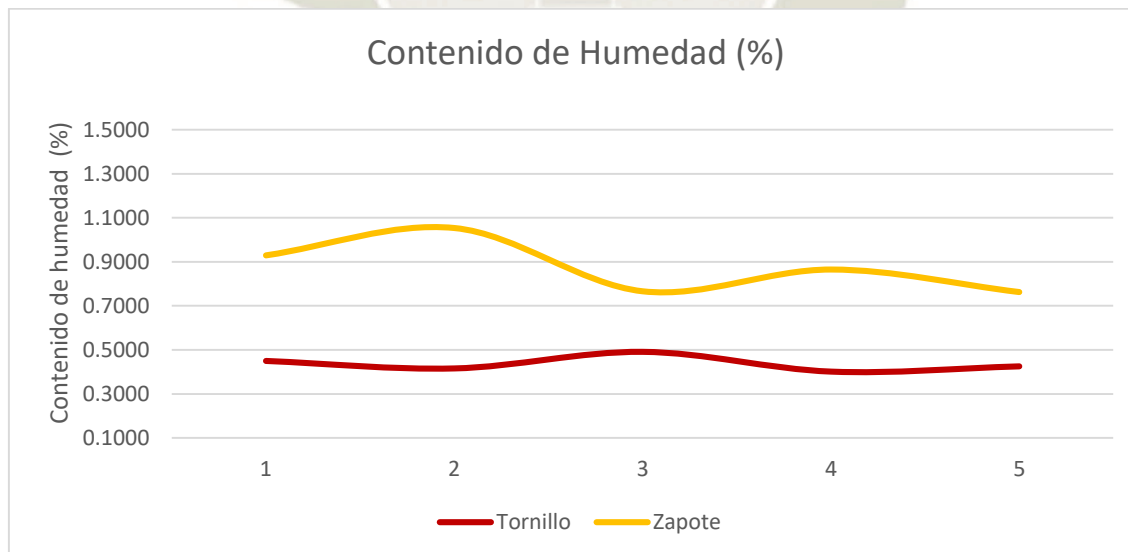
Según los datos obtenidos en laboratorio, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como Zapote, tiene el mayor índice de contenido de humedad después de realizado el tratamiento térmico, por las siguientes razones:

- La densidad de la madera zapote es mayor a la madera tornillo aún después del tratamiento térmico, por consiguiente su contenido de humedad es mayor debido a su capacidad de absorción de humedad

El comportamiento del contenido de humedad para cada especie se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfico 9.

Contenido de humedad para diferentes especies de madera



En el gráfico se observa la diferencia de Contenido de Humedad entre las dos especies estudiadas. La especie tornillo muestra una mayor estabilidad y menor contenido de humedad en los resultados.

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de Densidad Básica

Los resultados obtenidos de la prueba de densidad para la especie zapote se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 28.

Densidad Básica de Zapote en g/cm³

Rótulo de probeta	Masa inicial	Masa anhidra	Masa Saturada	Volumen	Densidad básica
	(± 0.0001 g)	(± 0.0001 g)	(± 0.0001 g) ^(a)		
Db-Z-01	64.5459	61.0663	88.8307	100.0	0.6107
Db-Z-02	60.5529	59.9146	87.6291	95.0	0.6307
Db-Z-03	62.7508	62.2698	93.2192	97.5	0.6387
Db-Z-04	59.2536	58.7408	84.5110	92.5	0.6350
Db-Z-05	62.5451	62.0679	91.7706	95.0	0.6533
Promedio	61.9297	60.8119	89.1921	96.0	0.6337
Desvest	2.0588	1.4885	3.4407	2.9	0.0154

Nota. (a) Tiempo de saturación: 3 días

Fuente: Elaboración propia

La tabla 1 muestra las mediciones de las variables de masa inicial, anhidra y saturada para calcular la densidad básica de la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como zapote. Al efectuar el cálculo con la ecuación (2) se calculó la densidad básica promedio de 0.64 g/cm³. Los resultados obtenidos de la prueba de densidad para la especie Tornillo se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 29.

Densidad Básica de Tornillo en g/cm³

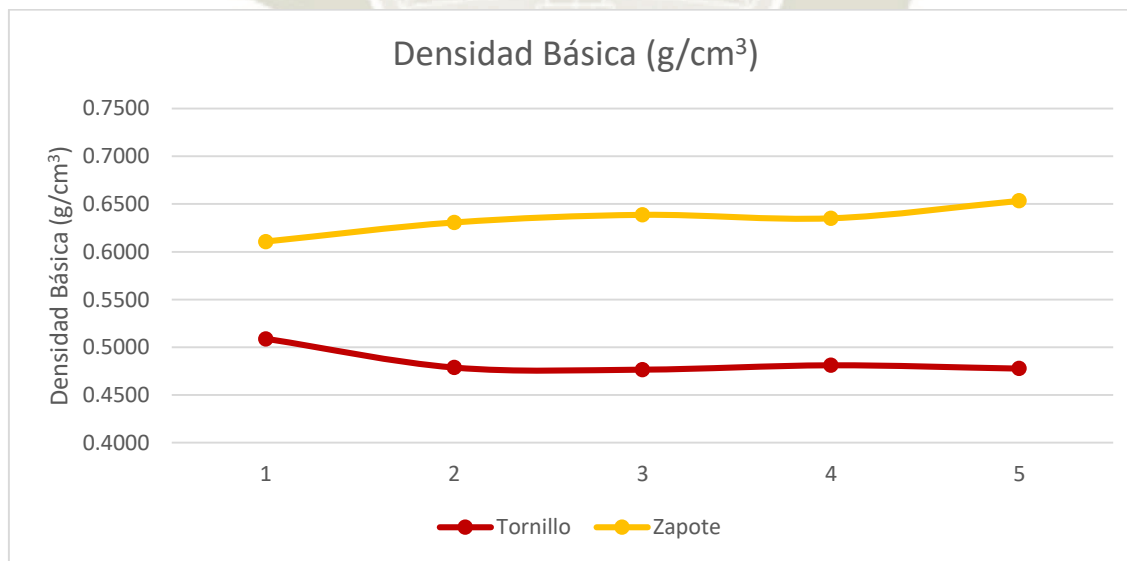
Rótulo de probeta	Masa inicial (± 0.0001 g)	Masa anhidra (± 0.0001 g)	Masa Saturada (a) (± 0.0001 g)	Volumen (cm ³)	Densidad básica (g/cm ³)
Db-T-01	46.0050	45.7979	59.4756	90.0	0.5089
Db-T-02	50.2914	43.0973	55.8053	90.0	0.4789
Db-T-03	49.2237	42.9031	55.9431	90.0	0.4767
Db-T-04	50.0067	43.3094	57.6520	90.0	0.4812
Db-T-05	47.4672	43.0009	57.6879	90.0	0.4778
Promedio	48.5988	43.6217	57.3128	90.0	0.4847
Desvest	1.8197	1.2258	1.5068	0.0	0.0136

Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos, la especie Cedrelinga Catenaeformis Ducke, conocida comúnmente como tornillo tiene una densidad promedio de 0.51 g/cm³.

Gráfico 10.

Densidad básica en zapote y tornillo



Nota. En el gráfico se observa la diferencia en la densidad básica en cada probeta ensayada, se aprecia que la madera zapote tiene valores más altos de densidad básica que la especie tornillo

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de Coeficiente de Absorción

Los resultados obtenidos de la prueba de absorción para la especie Tornillo se resumen en la siguiente Tabla 1

Tabla 30.

Coeficiente de absorción de Tornillo (kg/m²)

Rótulo de probeta				Coeficiente de Absorción (Aw)
	Δm_{tf}	Δm_0	$\sqrt{t_f}$	
ABS-T-01	0.7320	0.0496	293.9387	0.0023
ABS-T-02	0.6970	0.0496	293.9387	0.0022
ABS-T-03	0.7143	0.0496	293.9387	0.0023
Promedio	0.7144	0.0496	293.9387	0.0023
Desvest	0.0175	0.0000	0.0000	0.0001

Fuente: Elaboración propia

Donde: $\Delta m_{tf} = m_{tf} - m_{t0}$ en kg/m²

Donde: $\Delta m_0 = m_f - m_0$ en kg/m²

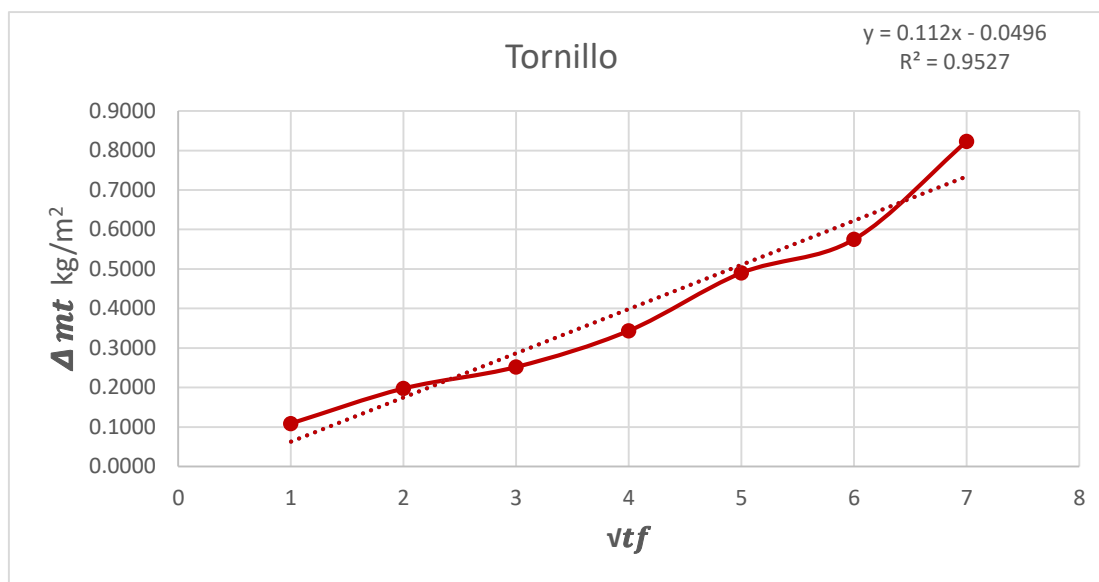
Donde: $\sqrt{t_f} = \sqrt{86400}$ en segundos

Donde: $Aw = \Delta m_{tf} - \Delta m_0 / \sqrt{t_f}$ en kg/ (m² * s^{0.5})

Según los datos obtenidos, la especie *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, conocida comúnmente como Tornillo tiene un coeficiente de absorción de 0.0023 kg/m².

Gráfico 11.

Variación de masa en función de la raíz cuadrada de tiempo



Nota. En el gráfico se observa una línea recta que pasa a través de los valores de m_t . Después observamos 7 puntos, estos valores describen el incremento de la masa de la madera tornillo sumergido en un periodo de 24 horas.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de la prueba de absorción para la especie Zapote se resumen en la siguiente Tabla 1.

Tabla 31.

Coefficiente de absorción de Zapote (kg/m²)

Rótulo de probeta	Δm_{t_f}	Δm_0	$\sqrt{t_f}$	Coefficiente de Absorción (A_w)
ABS-Z-01	1.6227	0.2005	293.9387	0.0048
ABS-Z-02	1.5741	0.2005	293.9387	0.0047
ABS-Z-03	1.6296	0.2005	293.9387	0.0049
Promedio	1.6088	0.2005	293.9387	0.0048
Desvest	0.0302	0.0000	0.0000	0.0001

Fuente: Elaboración propia

Donde: $\Delta m_{t_f} = m_{t_f} - m_{t_0}$ en kg/m²

Donde: $\Delta m_0 = m_f - m_0$ en kg/m²

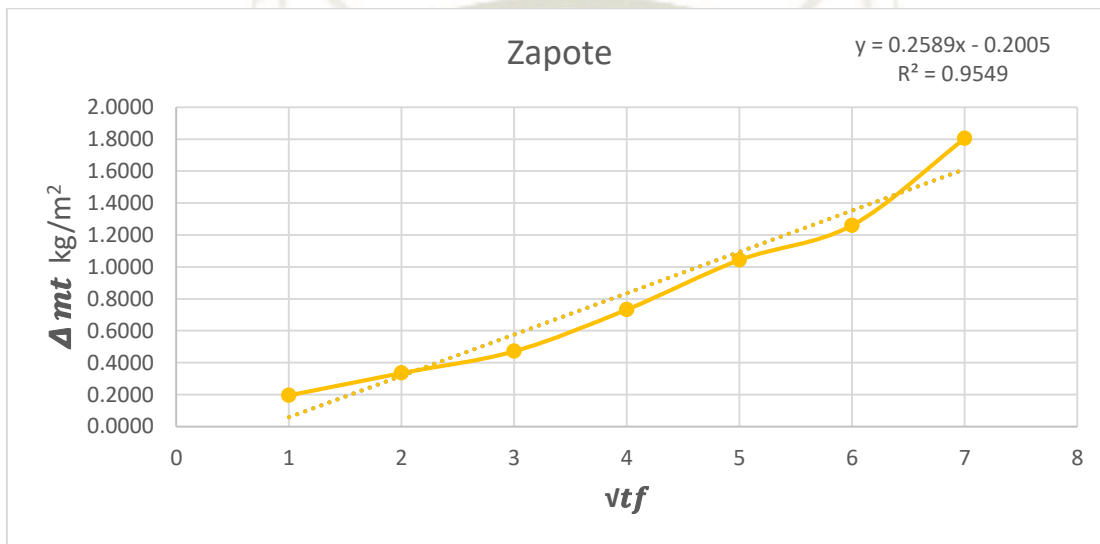
Dónde: $\sqrt{tf} = \sqrt{86400}$ en segundos

Donde: $A_w = \Delta m_{tf} - \Delta m_0 / \sqrt{tf}$ en $\text{kg}/(\text{m}^2 * \text{s}^{0.5})$

Según los datos obtenidos, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como Zapote, tiene un coeficiente de absorción de 0.0048 kg/m^2 .

Gráfico 12.

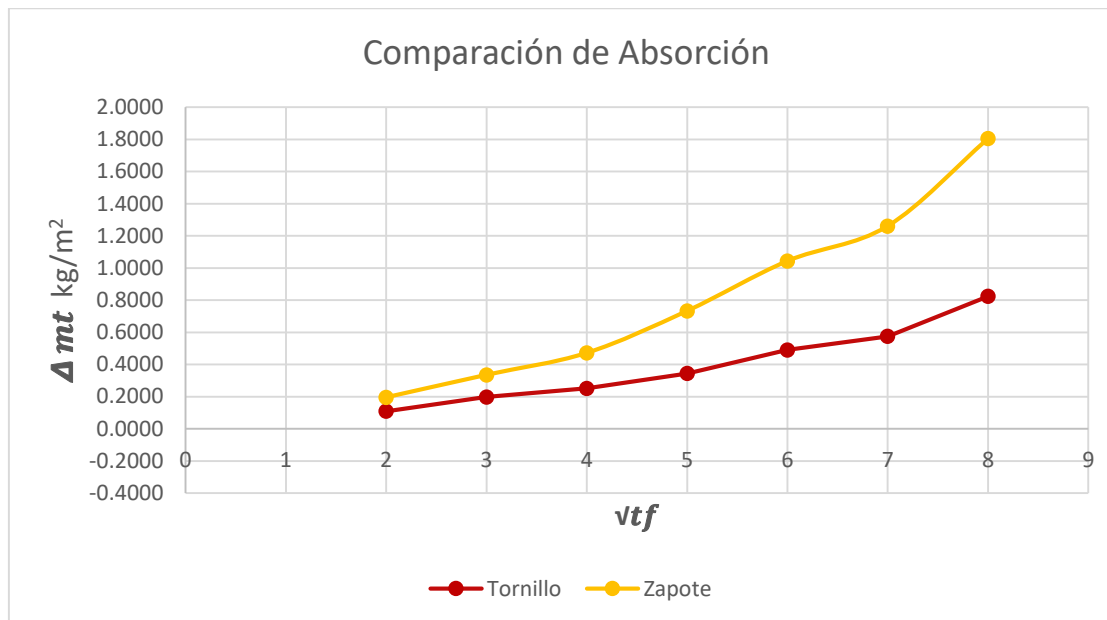
Variación de masa en función de la raíz cuadrada de tiempo



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 13.

Variación de masa en función de la raíz cuadrada de tiempo



Nota. En el gráfico se observa una línea recta que pasa a través de los valores de m_t . Después observamos 14 puntos, estos valores describen el incremento de la masa de la madera zapote y tornillo sumergido en un periodo de 24 horas. En ambas muestras, en los puntos 3, 4, 5 y 6 se produce una disminución de la constante de absorción.

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de Estabilidad Dimensional

- Datos obtenidos de hinchazón lineal de madera**

Los resultados obtenidos de la prueba de Estabilidad Dimensional para cada especie se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 32.

% de hinchazón lineal en madera "tornillo"

Código de probeta	% Hinchazón		
	Tangencial	Radial	Longitudinal
	%	%	%
ED-T-01	3.95	3.58	0.07
ED-T-02	4.22	3.56	0.04
ED-T-03	3.56	3.69	0.09
ED-T-04	4.07	3.7	0.15

Promedio	3.95	3.63	0.09
Desv. Estándar	0.28	0.07	0.05

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 2 describe los datos obtenidos de hinchazón en la madera “Tornillo” para todas sus direcciones: radial, tangencial y longitudinal. El valor promedio obtenido fue de 3.95%, 3.63%, 0.09% para las direcciones tangencial, radial y longitudinal respectivamente, siendo la dirección tangencial la que sufrió mayor hinchazón a diferencia de las otras direcciones.

Tabla 33.

% de hinchazón lineal en madera "zapote"

Código de probeta	% Hinchazón		
	Tangencial	Radial	Longitudinal
	%	%	%
ED-T-01	9.39	4.16	0.34
ED-T-02	9.05	4.69	0.36
ED-T-03	9.74	3.28	0.14
ED-T-04	9.86	4.46	0.06
Promedio	9.51	4.15	0.23
Desv. Estándar	0.37	0.62	0.15

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 2 describe los datos obtenidos de hinchazón en la madera “Zapote” para todas sus direcciones: radial, tangencial y longitudinal. El valor promedio obtenido fue de 9.51%, 4.15%, 0.23% para las direcciones tangencial, radial y longitudinal respectivamente, siendo la dirección tangencial la que sufrió mayor hinchazón a diferencia de las otras direcciones.

- **Datos obtenidos de contracción lineal de madera**

Tabla 34.

% de contracción lineal en madera "tornillo"

Código de probeta	%Contracción		
	Tangencial	Radial	Longitudinal
	%	%	%
ED-T-01	3.9	3.76	0.2
ED-T-02	4.00	3.43	0.14
ED-T-03	3.92	3.64	0.15
ED-T-04	3.33	3.65	0.26
Promedio	3.79	3.62	0.19
Desv. Estándar	0.31	0.14	0.06

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 4 describe los datos obtenidos de contracción en la madera “Tornillo” para todas sus direcciones: radial, tangencial y longitudinal. El valor promedio obtenido fue de 3.79%, 3.62%, 0.19% para las direcciones tangencial, radial y longitudinal respectivamente, siendo la dirección tangencial la que sufrió mayor contracción a diferencia de las otras.

Tabla 35.

% de contracción lineal en madera "zapote"

Código de probeta	%Contracción		
	Tangencial	Radial	Longitudinal
	%	%	%
ED-T-01	7.16	3.75	0.35
ED-T-02	6.98	3.89	0.24
ED-T-03	6.96	2.36	0.02
ED-T-04	7.68	3.16	0.02
Promedio	7.20	3.29	0.16
Desv. Estándar	0.34	0.70	0.17

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 5 describe los datos obtenidos de contracción en la madera “Zapote” para todas sus direcciones: radial, tangencial y longitudinal. El valor promedio

obtenido fue de 7.20%, 3.29%, 0.16% para las direcciones tangencial, radial y longitudinal respectivamente, siendo la dirección tangencial la que sufrió mayor contracción a diferencia de las otras dos direcciones.

- **Índice de anisotropía**

Tabla 36.

Índice de anisotropía para las maderas "tornillo" y "zapote"

N° de probeta	Índice de anisotropía	
	Tornillo	Zapote
1	1.04	1.91
2	1.17	1.79
3	1.08	2.95
4	0.91	2.43
Promedio	1.05	2.25
Desv. Estándar	0.11	0.53

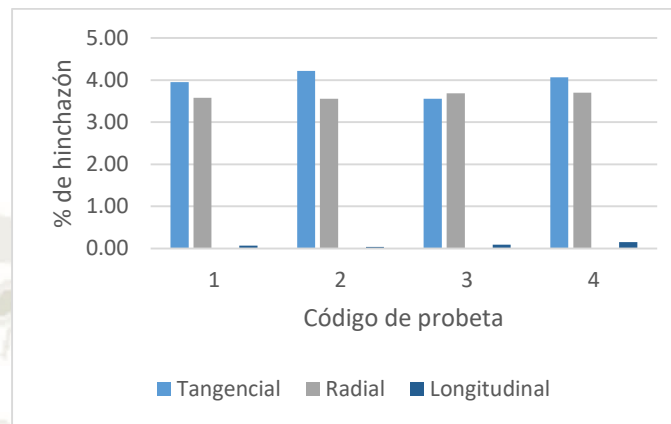
Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 7 compara los datos obtenidos de índice de anisotropía entre las maderas ensayadas. Los valores promedio obtenido fueron de 1.05 y 2.25 para el “Tornillo” y “Zapote” respectivamente, siendo el “Tornillo” la madera que presenta menor índice de anisotropía, es decir, es menos inestable dimensionalmente que la madera “Zapote”

- **Gráficas de datos obtenidos**

Gráfico 14.

% de hinchazón de “tornillo”

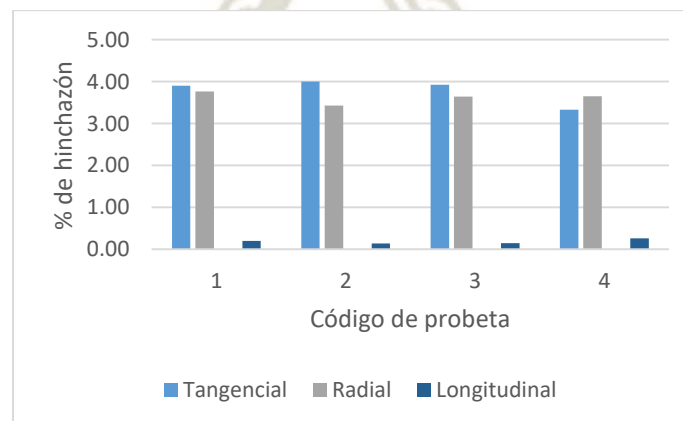


Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 1 describe el porcentaje de hinchazón de las distintas direcciones de la madera “Tornillo”, siendo la dirección tangencial la que obtiene mayor valor (desde 3.56% hasta 4.22%) según el diagrama de barras presentado, esto para todas las probetas ensayadas, así mismo se denota que el porcentaje de hinchazón longitudinal es la que menor valor obtuvo (desde 0.04 hasta 0.15) a diferencia de las otras dos direcciones.

Gráfico 15.

% de contracción de “tornillo”

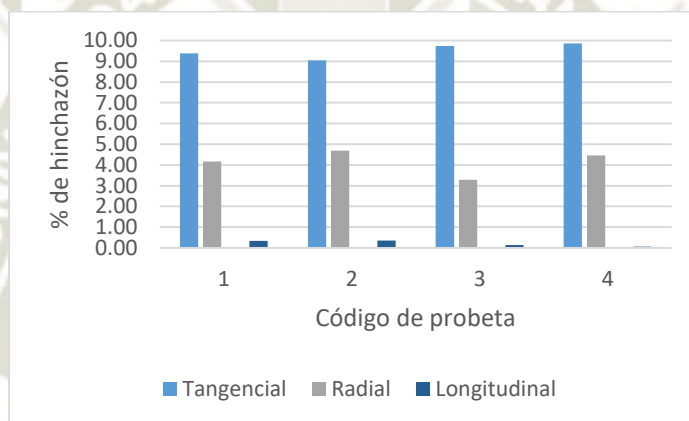


Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 2 describe el porcentaje de contracción de las distintas direcciones de la madera “Tornillo”, siendo la dirección tangencial la que obtiene mayor valor (desde 3.33% hasta 4.00%) según el diagrama de barras presentado, esto en todas las probetas ensayadas, así mismo se denota que el porcentaje de contracción longitudinal es la que menor valor obtuvo a diferencia de las otras dos direcciones.

Gráfico 16.

% de hinchazón de “zapote”

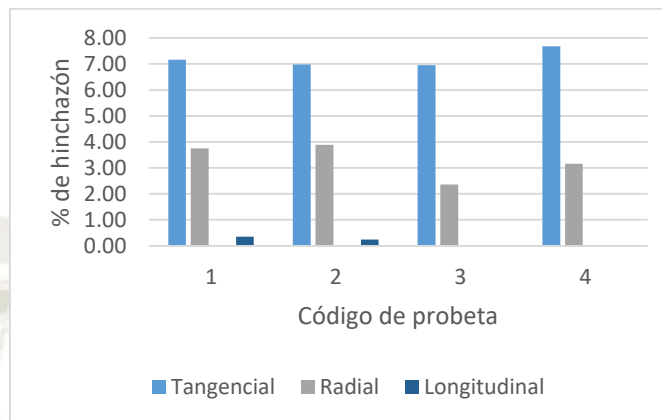


Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 3 describe el porcentaje de hinchazón de las distintas direcciones de la madera “Zapote”, siendo la dirección tangencial la que obtiene mayor valor (desde 9.05% hasta 9.86%) según el diagrama de barras presentado, esto en todas las probetas ensayadas, así mismo se denota que el porcentaje de hinchazón longitudinal es la que menor valor (desde 0.06% hasta 0.36%) obtuvo a diferencia de las otras dos direcciones.

Gráfico 17.

% de contracción de “zapote”



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 4 describe el porcentaje de contracción de las distintas direcciones de la madera “Zapote”, siendo la dirección tangencial la que obtiene mayor valor (desde 6.96% hasta 7.68%) según el diagrama de barras presentado, esto en todas las probetas ensayadas, así mismo se denota que el porcentaje de contracción longitudinal es la que menor valor (desde 0.02% hasta 0.35%) obtuvo a diferencia de las otras dos direcciones.

5.3.5.3 Ensayos físicos con madera tratada térmicamente a 180 °C

Ensayo de Contenido de Humedad

Los resultados obtenidos de la prueba de Contenido de Humedad para la especie Zapote y Tornillo se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 37.

Contenido de Humedad (%)

Rótulo de Probeta	Tornillo	Zapote
Ch-01	0.1611	0.5780
Ch-02	0.1489	0.5571
Ch-03	0.1235	0.7158

Ch-04	0.0920	0.5897
Ch-05	0.1531	0.6866
Promedio	0.1357	0.6254
Desvest	0.0282	0.0709

Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos en laboratorio, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como Zapote, tiene el mayor índice de contenido de humedad, por las siguientes razones:

- Su capacidad de absorción de humedad se debe a las propiedades naturales de la madera, como su anatomía, principalmente el tamaño de poro y vasos que posee.

Figura 29.

Estado de los poros en madera tornillo a diferentes tipos de tratamiento térmico



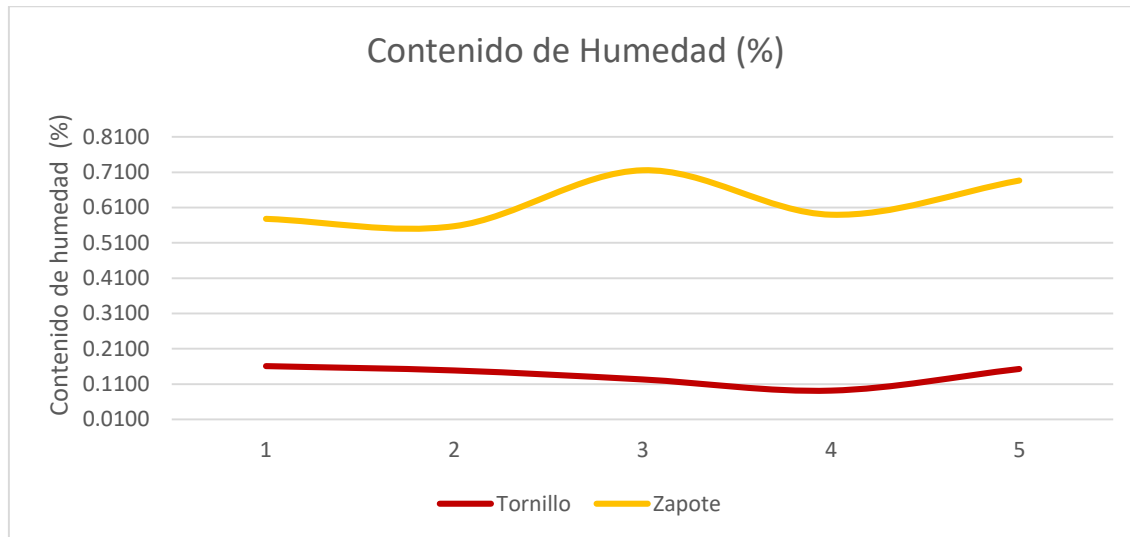
Nota. En la ilustración se observa la diferencia en la condición de los poros en un mismo tipo de madera a diferente grado de tratamiento térmico. Siendo la primera imagen en condición natural, la segunda tratada térmicamente a 160 °C y la tercera imagen tratada a 180 °C.

Fuente: Elaboración propia

El comportamiento del contenido de humedad para cada especie se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfico 18.

Contenido de humedad para diferentes especies de madera



En el gráfico se observa la diferencia de Contenido de Humedad entre las dos especies estudiadas. La especie tornillo muestra una mayor estabilidad y menor contenido de humedad en los resultados.

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de Densidad Básica

Los resultados obtenidos de la prueba de densidad para la especie zapote se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 38.

Densidad Básica de Zapote en g/cm³

Rótulo de probeta	Masa inicial (± 0.0001 g)	Masa anhidra (± 0.0001 g)	Masa Saturada (a) (± 0.0001 g)	Volumen (cm ³)	Densidad básica (g/cm ³)
Db-Z-01	64.8125	64.4514	90.9418	95	0.6784
Db-Z-02	67.2575	65.6114	92.2660	97.5	0.6729
Db-Z-03	67.7868	66.8609	94.8744	105	0.6368
Db-Z-04	64.0822	63.6422	87.4816	92.5	0.6880
Db-Z-05	66.0844	65.0819	92.0364	100	0.6508
Promedio	66.0047	65.1296	91.5200	98.0	0.6654
Desvest	1.5708	1.2149	2.6795	4.8	0.0210

Nota. (a) Tiempo de saturación: 3 días

Fuente: Elaboración propia

La tabla 1 muestra las mediciones de las variables de masa inicial, anhidra y saturada para calcular la densidad básica de la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como zapote. Al efectuar el cálculo con la ecuación (2) se calculó la densidad básica promedio de 0.66 g/cm³. Los resultados obtenidos de la prueba de densidad para la especie *Tornillo* se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 39.

Densidad Básica de Tornillo en g/cm³

Rótulo de probeta	Masa inicial (± 0.0001 g)	Masa anhidra (± 0.0001 g)	Masa Saturada (a) (± 0.0001 g)	Volumen (cm³)	Densidad básica (g/cm³)
Db-T-01	45.4271	45.3539	56.6954	95	0.4774
Db-T-02	44.0701	44.0045	54.7469	90	0.4889
Db-T-03	44.4396	44.3847	54.0410	85	0.5222
Db-T-04	45.3202	45.2785	56.0662	90	0.5031
Db-T-05	45.7319	45.6619	56.1081	90	0.5074
Promedio	44.9978	44.9367	55.5315	90.0	0.4998
Desvest	0.7070	0.7054	1.0966	3.5	0.0172

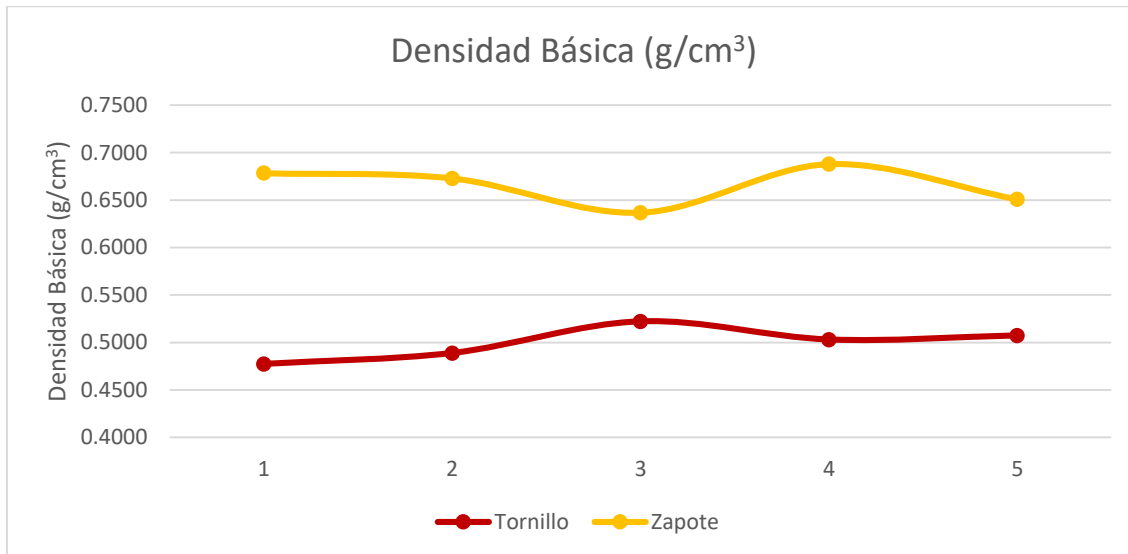
Nota. (a) Tiempo de saturación: 3 días

Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos, la especie *Cedrelinga Catenaeformis* Ducke, conocida comúnmente como tornillo tiene una densidad promedio de 0.50 g/cm³.

Gráfico 19.

Densidad básica en zapote y tornillo



En el gráfico se observa la diferencia en la densidad básica en cada probeta ensayada, se aprecia que la madera zapote tiene valores más altos de densidad básica que la especie tornillo

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de Coeficiente de Absorción

Los resultados obtenidos de la prueba de absorción para la especie Tornillo se resumen en la siguiente Tabla 1.

Tabla 40.

Coeficiente de absorción de Tornillo (kg/m²)

Rótulo de probeta	Δm_{tf}	Δm_0	$\sqrt{t_f}$	Coeficiente de Absorción (A_w)
ABS-T-01	0.4105	0.0624	293.9387	0.0012
ABS-T-02	0.4275	0.0624	293.9387	0.0012
ABS-T-03	0.4264	0.0624	293.9387	0.0012
Promedio	0.3162	0.0751	293.9387	0.0012
Desvest	0.0259	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración propia

Donde: $\Delta m_{tf} = m_{tf} - m_{t0}$ en kg/m^2

Donde: $\Delta m_0 = m_f - m_0$ en kg/m^2

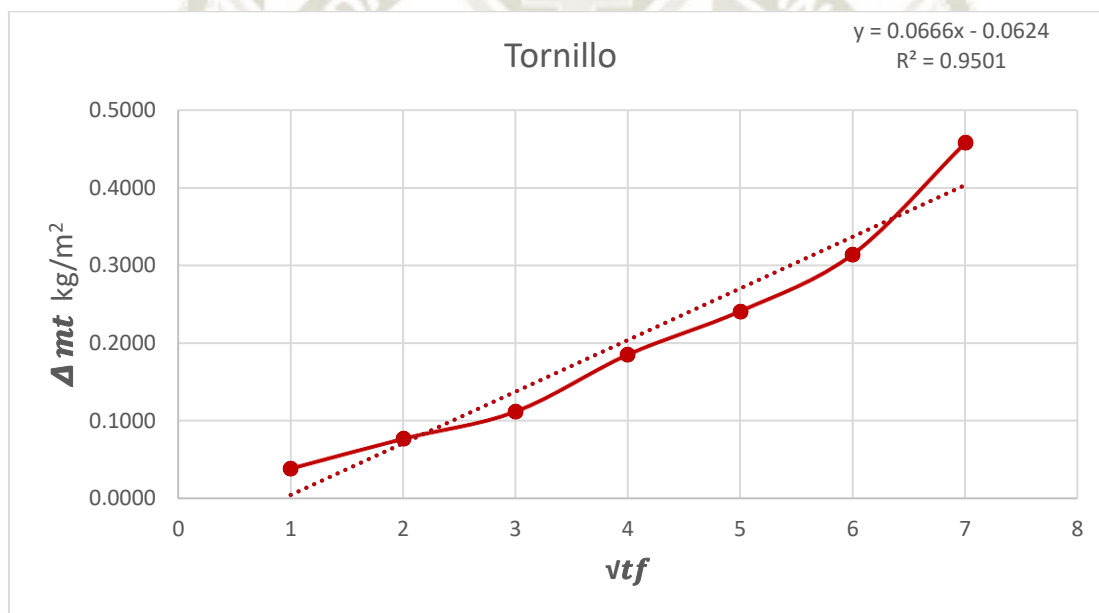
Donde: $\sqrt{tf} = \sqrt{86400}$ en segundos

Donde: $A_w = \Delta m_{tf} - \Delta m_0 / \sqrt{tf}$ en $\text{kg}/(\text{m}^2 * \text{s}^{0.5})$

Según los datos obtenidos, la especie *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, conocida comúnmente como Tornillo tiene un coeficiente de absorción de 0.0012 kg/m^2 .

Gráfico 20.

Variación de masa en función de la raíz cuadrada de tiempo



En el gráfico se observa una línea recta que pasa a través de los valores de m_t . Después observamos 7 puntos, estos valores describen el incremento de la masa de la madera tornillo sumergido en un periodo de 24 horas.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de la prueba de absorción para la especie Zapote se resumen en la siguiente Tabla 1.

Tabla 41.

Coefficiente de absorción de Zapote (kg/m^2)

Rótulo de probeta	Δm_{tf}	Δm_0	$\sqrt{t_f}$	Coefficiente de Absorción (A_w)
-------------------	-----------------	--------------	--------------	-------------------------------------

ABS-Z-01	1.4445	0.1870	293.9387	0.0043
ABS-Z-02	1.3200	0.1870	293.9387	0.0039
ABS-Z-03	1.3325	0.1870	293.9387	0.0039
Promedio	1.3657	0.1870	293.9387	0.0040
Desvest	0.0686	0.0000	0.0000	0.0002

Fuente: Elaboración propia

Donde: $\Delta m_{tf} = m_{tf} - m_{t0}$ en kg/m^2

Donde: $\Delta m_0 = m_f - m_0$ en kg/m^2

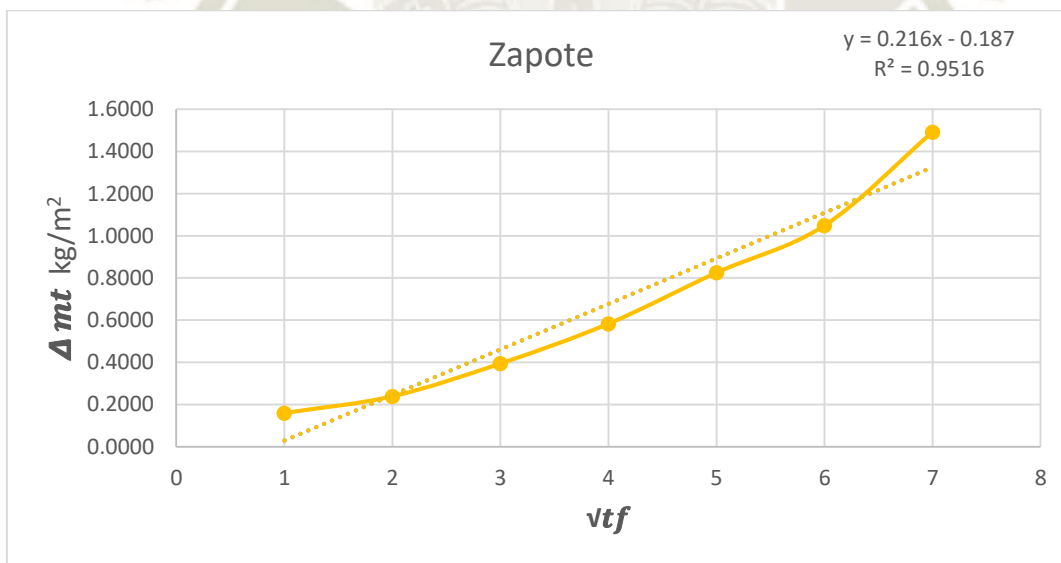
Donde: $\sqrt{tf} = \sqrt{86400}$ en segundos

Donde: $A_w = \Delta m_{tf} - \Delta m_0 / \sqrt{tf}$ en $\text{kg}/(\text{m}^2 * \text{s}^{0.5})$

Según los datos obtenidos, la especie Matisia Cordata, conocida comúnmente como Zapote, tiene un coeficiente de absorción de 0.0040 kg/m^2 .

Gráfico 21.

Variación de masa en función de la raíz cuadrada de tiempo

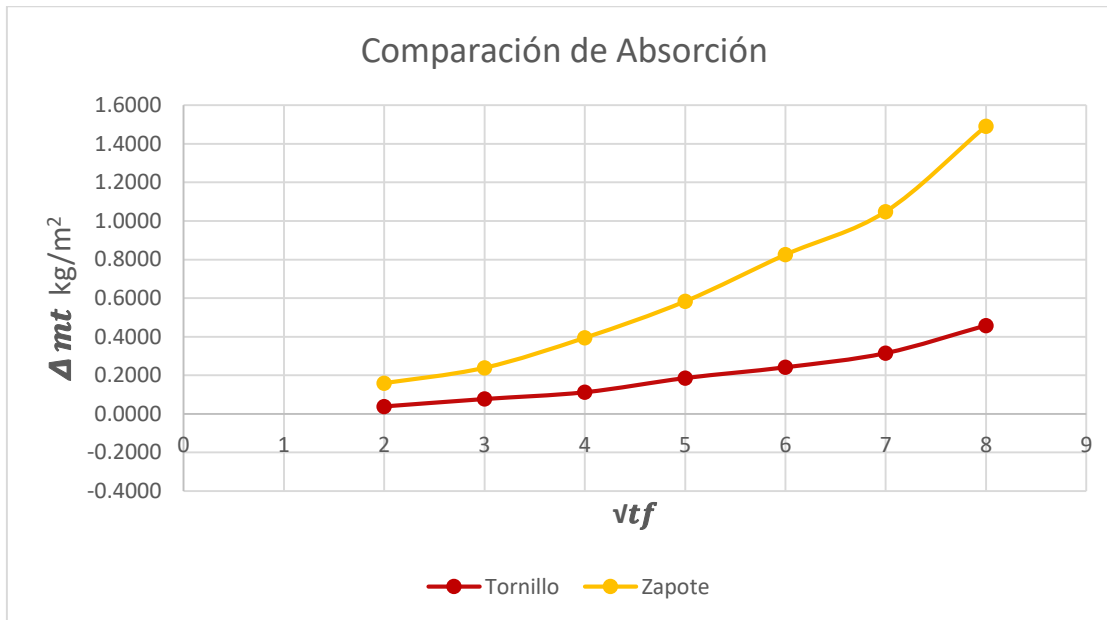


En el gráfico se observa una línea recta que pasa a través de los valores de m_t . Después observamos 7 puntos, estos valores describen el incremento de la masa de la madera tornillo

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 22.

Variación de masa en función de la raíz cuadrada de tiempo



En el gráfico se observa una línea recta que pasa a través de los valores de m_t . Después observamos 14 puntos, estos valores describen el incremento de la masa de la madera zapote y tornillo sumergido en un periodo de 24 horas. Se aprecia una marcada diferencia en el coeficiente de absorción en ambas especies

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de Coeficiente de Absorción

- **Datos obtenidos de hinchazón lineal de madera.**

Tabla 42.

% de hinchazón lineal en madera "tornillo"

Código de probeta	% Hinchazón		
	Tangencial	Radial	Longitudinal
	%	%	%
ED-T-01	2.28	2.59	0.11
ED-T-02	2.43	2.73	0.09
ED-T-03	3.22	2.93	0.20
ED-T-04	2.96	2.75	0.08
Promedio	2.72	2.75	0.12
Desv. Estándar	0.44	0.14	0.05

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 2 describe los datos obtenidos de hinchazón en la madera “Tornillo” para todas sus direcciones: radial, tangencial y longitudinal. El valor promedio obtenido fue de 2.72%, 2.75%, 0.05% para las direcciones tangencial, radial y longitudinal respectivamente, siendo la dirección radial la que sufrió ligeramente una mayor hinchazón a diferencia de la dirección tangencial.

Tabla 43.

% de hinchazón lineal en madera "tornillo"

Código de probeta	% Hinchazón		
	Tangencial	Radial	Longitudinal
	%	%	%
ED-T-01	7.18	3.71	0.26
ED-T-02	6.70	3.34	0.25
ED-T-03	7.56	3.91	0.17
ED-T-04	8.18	3.38	0.42
Promedio	7.41	3.59	0.28
Desv. Estándar	0.63	0.27	0.10

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 2 describe los datos obtenidos de hinchazón en la madera “Zapote” para todas sus direcciones: radial, tangencial y longitudinal. El valor promedio obtenido fue de 7.41%, 3.59%, 0.28% para las direcciones tangencial, radial y longitudinal respectivamente, siendo la dirección tangencial la que sufrió mayor hinchazón a diferencia de las otras direcciones.

- **Datos obtenidos de contracción lineal de madera.**

Tabla 44.

% de contracción lineal en madera "tornillo"

Código de probeta	%Contracción		
	Tangencial	Radial	Longitudinal
	%	%	%
ED-T-01	2.24	2.82	0.13
ED-T-02	2.62	2.79	0.30
ED-T-03	2.99	2.26	0.26
ED-T-04	2.23	3.28	0.33
Promedio	2.52	2.79	0.26
Desv. Estándar	0.36	0.42	0.09

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 4 describe los datos obtenidos de contracción en la madera “Tornillo” para todas sus direcciones: radial, tangencial y longitudinal. El valor promedio obtenido fue de 2.52%, 2.79%, 0.26% para las direcciones tangencial, radial y longitudinal respectivamente, siendo la dirección radial la que sufrió ligeramente una mayor contracción a diferencia de la dirección tangencial.

Tabla 45.

% de contracción lineal en madera "zapote"

Código de probeta	%Contracción		
	Tangencial	Radial	Longitudinal
	%	%	%
ED-T-01	6.53	3.65	0.68
ED-T-02	5.51	3.27	0.26
ED-T-03	5.81	3.92	0.27
ED-T-04	6.99	3.50	0.25
Promedio	6.21	3.59	0.37
Desv. Estándar	0.67	0.27	0.21

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 5 describe los datos obtenidos de contracción en la madera “Zapote” para todas sus direcciones: radial, tangencial y longitudinal. El valor promedio

obtenido fue de 6.21%, 3.59%, 0.37% para las direcciones tangencial, radial y longitudinal respectivamente, siendo la dirección tangencial la que sufrió mayor contracción a diferencia de las otras dos direcciones.

- **Índice de anisotropía.**

Tabla 46.

Índice de anisotropía para las maderas "tornillo" y "zapote"

N° de probeta	Índice de anisotropía	
	Tornillo	Zapote
1	0.79	1.79
2	0.94	1.69
3	1.32	1.48
4	0.68	2.00
Promedio	0.93	1.74
Desv. Estándar	0.28	0.21

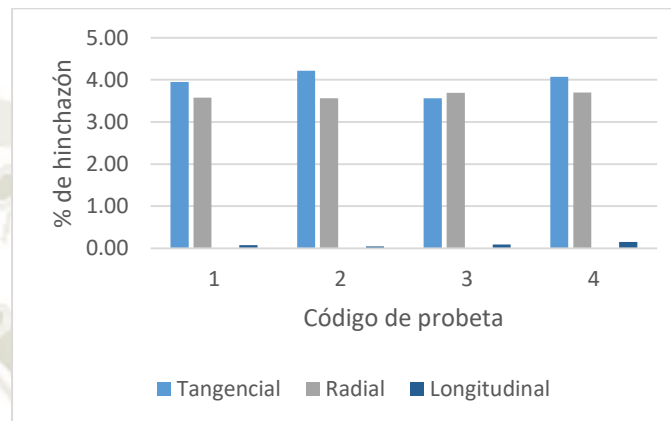
Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 7 compara los datos obtenidos de índice de anisotropía entre las maderas ensayadas. Los valores promedio obtenido fueron de 0.93 y 1.74 para el “Tornillo” y “Zapote” respectivamente, siendo el “Tornillo” la madera que presenta menor índice de anisotropía, es decir, es menos inestable dimensionalmente que la madera “Zapote”.

- **Gráficas de datos obtenidos.**

Gráfico 23.

% de hinchazón de “tornillo”

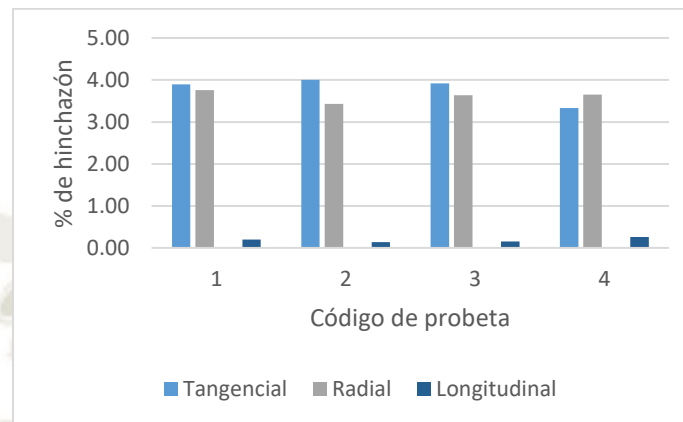


Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 1 describe el porcentaje de hinchazón de las distintas direcciones de la madera “Tornillo”, siendo la dirección tangencial la que obtiene mayor valor (desde 3.56% hasta 4.22%) según el diagrama de barras presentado, esto para todas las probetas ensayadas, así mismo se denota que el porcentaje de hinchazón longitudinal es la que menor valor obtuvo (desde 0.04 hasta 0.15) a diferencia de las otras dos direcciones.

Gráfico 24.

% de contracción de “tornillo”

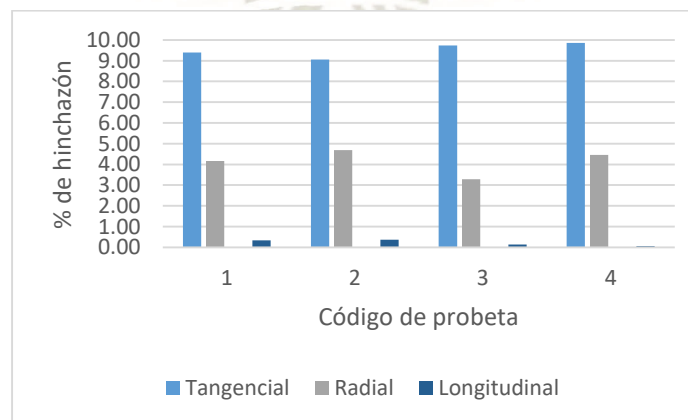


Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 2 describe el porcentaje de contracción de las distintas direcciones de la madera “Tornillo”, siendo la dirección tangencial la que obtiene mayor valor (desde 3.33% hasta 4.00%) según el diagrama de barras presentado, esto en todas las probetas ensayadas, así mismo se denota que el porcentaje de contracción longitudinal es la que menor valor obtuvo a diferencia de las otras dos direcciones.

Gráfico 25.

% de hinchazón de “zapote”

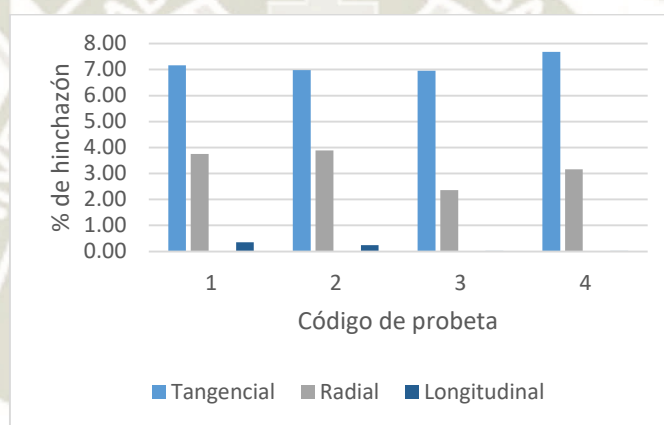


Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 3 describe el porcentaje de hinchazón de las distintas direcciones de la madera “Zapote”, siendo la dirección tangencial la que obtiene mayor valor (desde 9.05% hasta 9.86%) según el diagrama de barras presentado, esto en todas las probetas ensayadas, así mismo se denota que el porcentaje de hinchazón longitudinal es la que menor valor (desde 0.06% hasta 0.36%) obtuvo a diferencia de las otras dos direcciones.

Gráfico 26.

% de contracción de “zapote”



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 4 describe el porcentaje de contracción de las distintas direcciones de la madera “Zapote”, siendo la dirección tangencial la que obtiene mayor valor (desde 6.96% hasta 7.68%) según el diagrama de barras presentado, esto en todas las probetas ensayadas, así mismo se denota que el porcentaje de contracción longitudinal es la que menor valor (desde 0.02% hasta 0.35%) obtuvo a diferencia de las otras dos direcciones.

5.3.6 *Discusión de resultados*

5.3.6.1 **Ensayo de Contenido de Humedad**

De los resultados analizados se concluye que:

- Según los datos obtenidos para maderas en estado natural, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como zapote tiene un Contenido de Humedad de 5.8966 % y la especie *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, denominada comúnmente como tornillo, tiene un Contenido de Humedad de 5.5971%.
- Para maderas tratadas térmicamente a 160 °C, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como zapote tiene un Contenido de Humedad de 0.8613 % y la especie *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, denominada comúnmente como tornillo, tiene un Contenido de Humedad de 0.4531 %.
- Para maderas tratadas térmicamente a 180 °C, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como zapote tiene un Contenido de Humedad de 0.6385 % y la especie *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, denominada comúnmente como tornillo, tiene un Contenido de Humedad de 0.1544 %.
- El dato obtenido representa cuanto de agua higroscópica puede almacenar la madera, no existen rangos de humedad aceptable o no aceptable, puesto que el resultado depende exclusivamente de la especie y las condiciones en las que se realizó la experimentación.
- Este dato también se relaciona con la densidad de la madera si se hace referencia a su estado natural, a mayor agua contenida en la madera, mayor densidad, en el caso específico del presente estudio realizado, esta hipótesis se

comprueba debido a que en ensayos posteriores se demuestra que la madera zapote es más densa que la madera tornillo.

- Los valores bajos en el Contenido de Humedad en las maderas tratadas térmicamente son un resultado lógico debido al procedimiento de tratamiento térmico aplicado en las maderas, cabe recordar que al momento de tratar térmicamente una madera en la primera hora del proceso la madera llega a su estado anhidro, es decir, pierde toda la humedad contenida en estado natural.
- El contenido de humedad en las maderas es diferente entre cada especie, debido a la higroscopicidad del material. Aun estando tratada térmicamente, la absorción de la humedad relativa no será evitada pero sí, será menor, por lo cual sería interesante medir el tiempo y el porcentaje de C.H. ganado a lo largo de un periodo limitado de tiempo en una situación real de servicio.
- Como recomendación, sería conveniente aplicar métodos de cuantificación de extractivos para cada madera y así poder distinguir cual es la que contiene más en su estructura, para que posteriormente, junto a la muestra de contenido de humedad, este extractivo sea secado y así poderlo relacionar con la pérdida de masa de la madera corroborando los valores obtenidos durante este ensayo.

5.3.6.2 Ensayo de Densidad Básica

De los resultados analizados se concluye que:

- Según los datos obtenidos para maderas en estado natural, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como zapote tiene una densidad de 0.64 g/cm³ y la especie *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, denominada comúnmente como tornillo, tiene una densidad de 0.50 g/cm³.

- Para maderas tratadas térmicamente a 160 °C, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como zapote tiene una densidad de 0.64 g/cm³ y la especie *Cedrelinga catenaeformis Ducke*, denominada comúnmente como tornillo, tiene una densidad de 0.51 g/cm³.
- Para maderas tratadas térmicamente a 180 °C, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como zapote tiene una densidad de 0.66 g/cm³ y la especie *Cedrelinga catenaeformis Ducke*, denominada comúnmente como tornillo, tiene una densidad de 0.50 g/cm³.
- Actualmente en la lista de especies agrupadas de la norma peruana E-010, solo se nombra a la especie tornillo, dándole una denominación en la categoría “C”, la categorización se basa en el módulo de elasticidad, la densidad básica y los esfuerzos admisibles, pertenecer a esta categoría significa tener más limitaciones en el proceso de diseño y ejecución arquitectónica, las luces entre caras de apoyo son menores, se requiere un mayor peraltado de viga, las deformaciones frente a las cargas de servicio serán mayores también. Con el resultado obtenido, respecto a la madera Zapote, en base a su densidad básica, pertenecería a la categoría “B”, sin embargo es necesario un mayor estudio respecto a sus propiedades mecánicas para emitir una conclusión final.
- Se ha observado que la velocidad de saturación se relaciona con la cantidad de extractivos que expulsa la madera, extractivos que dan una coloración particular al recipiente en donde saturan. Sería recomendable en futuras investigaciones estudiar la cantidad de extractivos que expulsa cada especie para establecer una relación con su velocidad de saturación.

- Se sugiere conocer la procedencia y el nivel de corte del árbol de donde se obtiene la troza, se conoce que la diferencia de la densidad básica en los diferentes niveles es significativa. Pantigoso (2009) encuentra que la densidad básica en la base es mayor a otros niveles, debido a que el árbol necesita soportar mayores esfuerzos, es también en la zona basal en donde existe una mayor maduración de las células, a diferencia de otros niveles.

5.3.6.2 Ensayo de Coeficiente de Absorción

De los resultados analizados se concluye que:

- Según los datos obtenidos, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como zapote tiene un coeficiente de absorción de 0.0044 kg/m^2 y la especie *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, conocida comúnmente como tornillo, tiene un coeficiente de absorción de 0.0034 kg/m^2
- Para maderas tratadas térmicamente a $160 \text{ }^\circ\text{C}$, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como zapote tiene un coeficiente de absorción de 0.0048 kg/m^2 y la especie *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, conocida comúnmente como tornillo, tiene un coeficiente de absorción de 0.0023 kg/m^2
- Para maderas tratadas térmicamente a $180 \text{ }^\circ\text{C}$, la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como zapote tiene un coeficiente de absorción de 0.0040 kg/m^2 y la especie *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, conocida comúnmente como tornillo, tiene un coeficiente de absorción de 0.0012 kg/m^2
- La variación de la masa en la especie tornillo y zapote aumenta de forma constante dentro del periodo de tiempo establecido, todas las pruebas realizadas pueden identificarse al “tipo A” señalada en la Norma Internacional ISO 15148, en

donde después de un breve período inicial de estabilización, se puede dibujar una línea recta a través de los valores de cada punto tomado en el ensayo, esto también indica que no ha aparecido agua líquida en la superficie superior de la muestra.

- Los resultados fueron diferentes en ambas especies, el tratamiento térmico en la especie tornillo fue significativamente bueno, reduciéndose su coeficiente de absorción en un 48 % tratado térmicamente a 160 °C y un 73 % tratado térmicamente a 180 °C, significando una mejora significativa en las propiedades del material y posibilitando un uso favorable para revestimientos en construcciones situados en climas húmedos. Para la especie zapote, los resultados no fueron significativos, tratado térmicamente a 160 °C el coeficiente de absorción aumentó en un 8 %, tratado térmicamente a 180 °C disminuyó en un 9 %.
- Al momento de realizar la prueba de absorción en humedad relativa se observa una correspondencia con los resultados de coeficiente de absorción en agua de las pruebas, esto sugiere que hay una concordancia entre los macrocapilares (huecos de los lúmenes) y los microcapilares (pared celular) de las muestras.
- El resultado de esta prueba de absorción sugiere que en el uso real, en condiciones húmedas, o de lluvia prolongada, la madera tornillo tendría un mejor desempeño frente la madera zapote, ambas en estado natural. El tratamiento térmico reduce de manera notable el coeficiente de absorción de la madera tornillo.

5.3.6.2 Ensayo de Estabilidad Dimensional

De los resultados analizados se concluye que:

- La contracción de la madera o pérdida de volumen de la madera, es una característica poco deseable para su uso en la construcción. Según los datos

obtenidos la especie *Matisia Cordata*, conocida comúnmente como zapote obtuvo un 6.86 % de contracción en la dirección tangencial, a diferencia de la especie *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, conocida comúnmente como tornillo que obtuvo un 4.47 %, por lo tanto; la madera “Zapote” tendría mayor inconveniente al ser empleada en la construcción.

- Para maderas tratadas térmicamente a 160 °C, la madera “Zapote” obtuvo un 7.20 % de contracción en la dirección tangencial, a diferencia de la madera “Tornillo” que obtuvo un 3.79 %.
- Para maderas tratadas térmicamente a 180 °C, la madera “Zapote” obtuvo un 6.21 % de contracción en la dirección tangencial, a diferencia de la madera “Tornillo” que obtuvo un 2.52 %, como puede compararse con la madera en estado natural, se produjo una reducción en la contracción, destacándose los valores de la madera “Tornillo”, en donde la contracción en la dirección tangencial se redujo en un 44 %.
- De los datos de hinchazón o contracción lineal, se pudo observar que para todos los casos la dirección tangencial fue la que presentó mayores cambios, esto se justificaría según lo que indica (Gamez Penadillo, 2009) la contracción tangencial es 1.5 a 3 veces mayor que la contracción radial y la contracción longitudinal es normalmente despreciable. Las diferencias entre las contracciones se dan debido a que en la dirección radial, los radios leñosos de la madera restringen su cambio dimensional, y para la dirección longitudinal su valor es mucho menor debido a que en dicha orientación se encuentran los principales tejidos que forman la madera. En el caso de la presente investigación en la madera “Tornillo” la contracción

tangencial es 1.16 veces mayor que la contracción radial y en la madera “Zapote” la contracción tangencial es 1.61 veces mayor que la contracción radial.

- Para maderas tratadas térmicamente a 160 °C, en la madera “Tornillo” la contracción tangencial es 1.05 veces mayor que la contracción radial y en la madera “Zapote” la contracción tangencial es 2.19 veces mayor que la contracción radial.

- Para maderas tratadas térmicamente a 180 °C, en la madera “Tornillo” la contracción tangencial es 0.90 veces menor que la contracción radial y en la madera “Zapote” la contracción tangencial es 1.73 veces mayor que la contracción radial.

- Para los valores de anisotropía, la madera “Tornillo” tiene un valor promedio de 1.25 y la madera “Zapote” de 1.61, según la tabla N° 11, la madera tornillo se podría clasificar según su coeficiente de anisotropía como “Muy Baja” es decir se considera en la categoría de “muy estable” mientras la madera zapote se clasifica según su coeficiente de anisotropía como “Baja”, en otras palabras se considera en la categoría de “estable”. Esto se traduce en que ambas maderas no presentan una variación dimensionalmente significativa al perder o ganar humedad. Entre las 2 especies ensayadas, la que presenta menor estabilidad dimensional es la madera “Zapote”, esto se refleja con los valores de hinchazón en la dirección tangencial obtenidos, siendo para la madera “Tornillo” 2.80 % y para la madera Zapote 6.35 %.

- Para los valores de anisotropía, en maderas tratadas térmicamente a 160 °C, la madera “Tornillo” tiene un valor promedio de 1.05 y la madera “Zapote” de 2.25, según la tabla N° 21, la madera tornillo se podría clasificar según su coeficiente de anisotropía como “Muy Baja” es decir se considera en la categoría de “muy estable”

mientras la madera zapote se clasifica según su coeficiente de anisotropía como “Mediana”, en otras palabras se considera en la categoría de “Moderadamente estable”. El tratamiento térmico provocó una mejora en la madera “Tornillo”, sin embargo en la madera “Zapote” los resultados no fueron favorables debido al aumento en el valor de anisotropía. Entre las 2 especies ensayadas, la que presenta menor estabilidad dimensional es la madera “Zapote”, esto se refleja con los valores de hinchazón en la dirección tangencial obtenidos, siendo para la madera “Tornillo” 3.95 % y para la madera Zapote 9.51 %.

- Para los valores de anisotropía, en maderas tratadas térmicamente a 180 °C, la madera “Tornillo” tiene un valor promedio de 0.93 y la madera “Zapote” de 1.74, según la tabla N° 31, la madera tornillo se podría clasificar según su coeficiente de anisotropía como “Muy Baja” es decir se considera en la categoría de “muy estable” mientras la madera zapote se clasifica según su coeficiente de anisotropía como “Baja”, en otras palabras se considera en la categoría de “estable”. Los valores de anisotropía para la madera “Tornillo” disminuyó en un 26 % si se compara con los valores logrados de la madera en estado natural. Entre las 2 especies ensayadas, la que presenta menor estabilidad dimensional es la madera “Zapote”, esto se refleja con los valores de hinchazón en la dirección tangencial obtenidos, siendo para la madera “Tornillo” 2.72 % y para la madera Zapote 7.41 %.

5.4 Etapa IV: Diseño de sistema de fachada adaptativo

5.4.1 *El aislamiento térmico de los edificios*

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007) el aislamiento es la parte fundamental de una edificación sostenible porque garantiza el equilibrio entre los beneficios sociales, económicos y medioambientales reduciendo el excedente de costes en la vida útil del edificio.

Según el Código Técnico de Edificación (2020) se tienen que establecer los niveles de limitación en la demanda energética de los diferentes componente de los edificios que se proyectan: fachadas, muros, cubiertas, suelos y vanos. Solamente con el aislamiento de fachadas, cubiertas y suelos se puede reducir las pérdidas de energía debidas a la diferencia de temperatura entre el clima exterior e interior.

Este es un factor a considerar debido a las diversas zonas bioclimáticas que posee el Perú, así como las multitudinarias tipologías constructivas que ofrecen un amplio número de posibilidades de cómo aplicar aislamiento térmico en los edificios para el ahorro de energía y disminución de emisiones de CO₂.

5.4.1.1 **Ámbito de aplicación**

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007) en las edificaciones nuevas la posibilidad en las estrategias de aplicación de aislamiento se multiplica, sin embargo al momento de realizar una rehabilitación (como en el caso de este proyecto de investigación), las posibilidades se reducen y las características constructivas deben ser analizadas y aplicadas de forma minuciosa empezando por el análisis de viabilidad de las intervenciones.

Las tipologías edificatorias que más pueden aprovechar esta técnica son las siguientes:

- Edificaciones con cerramientos con fachadas que tengan una gran superficie opaca o dicho de otro modo con poca superficie acristalada (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007)
- Edificaciones cuyo cerramiento en cubierta sea accesible y con pocas heterogeneidades que permitan la intervención en buena parte de la superficie (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007)

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007), también indica que la altura del edificio no es una limitación y que frente a la función de la tipología constructiva nos podemos encontrar con dos grandes grupos de intervenciones:

- Las que se realizan desde el interior, que suelen producir molestias a los usuarios del edificio y en algún caso reducen el espacio útil (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007).
- Las que se realizan desde el exterior, que necesitan la utilización de medios auxiliares (andamios) encareciendo la intervención (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007).

5.4.1.2 Tipologías constructivas

A continuación se describirán los aspectos característicos de las diferentes soluciones constructivas de rehabilitación de fachadas.

- Aislamiento de fachadas por el exterior: Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007), se realiza en muros de una hoja o

con cámara de aire no accesible y con posibilidad de renovar estéticamente la fachada, después de haber colocado el aislamiento al muro se puede aplicar distintas técnicas y criterios económicos a los revestimientos finales. Pueden utilizarse revestimientos continuos con acabado de mortero que permitirán impermeabilizar y proteger la fachada, así como revestimientos discontinuos pétreos o cerámicos sobre estructura de madera o metálica que dará lugar a una fachada ventilada.

- Aislamiento de fachadas por el interior: Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007), se realiza en muros de una hoja o con cámara de aire no accesible y conservando la estética exterior de la fachada, uno de los factores determinantes es la cantidad de espacio disponible, lo cual limita el espesor del aislamiento que se decida utilizar. La solución más típica es la combinación de elementos de baja conductividad térmica y poco espesor.
- Rellenos de cámara de aire: Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007), se realiza en muros de doble hoja que tengan una cámara de aire accesible (ya sea por el exterior o por el interior), este tipo de técnica requiere diferentes tipos de controles para su ejecución, como la revisión de las paredes (exterior e interior), para determinar la existencia de grietas, defectos en las juntas o humedades que puedan reducir su resistencia durante la aplicación del aislante. Esta técnica requiere la experticia del profesional que se encargará de ejecutarlo

5.4.2 Materiales del sistema de fachada

5.4.2.1 Espuma de poliuretano

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007), las espumas de poliuretano son el resultado del proceso químico del poliol e isocianato, que en conjunto con un agente expandente, da lugar a este material rígido con un porcentaje de celda cerrada superior al 90 %, presentando una conductividad térmica de λ 0.022 W/(m·K). Este material se configura de manera continua e impermeable, destacando el efecto de sellado, una propiedad fundamental para evitar humedades así como favorecer el aislamiento acústico.

Figura 30.

Características de la espuma rígida

Características	Norma	Unidad	Propiedades					
			30	35	40	45	50	55
Densidad	UNE EN 1602	Kg/m ³	30	35	40	45	50	55
Espesor	UNE 92120	mm	>30 en paredes >30 en cubiertas					
Conductividad Térmica	UNE EN 12667	W/m·K	$\lambda_{10^{\circ}\text{C}}$ envejecido a 25 años 0.028 Con expandentes HFC					
Resistencia a la compresión	UNE EN 826	kPa	>115	>150	>185	>220	>255	>290
Absorción de agua	UNE EN 12087	% en volumen	<4.1	<3.7	<3.3	<2.9	<2.6	<2.4
Permeabilidad al vapor de agua	UNE EN 12086	μ	>70	>80	>90	>100	>110	>150
Resistencia a la tracción	UNE EN 1607	kPa	>180	>275	>370	>450	>550	>680
Estructura celular	ISO 4590	% Cerrada	> 90					
Comportamiento al fuego desnudo	UNE EN 13501-1	----	Desde E hasta C, s3-d0					
Comportamiento al fuego en aplicación final de uso	UNE EN 13501	----	Desde D, s3-d0 hasta B, s1-d0 según aplicación final de uso					
Coefficiente de dilatación o contracción		1/K	De 5 a $8 \cdot 10^{-5}$					

Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007)

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007), para la puesta en obra mediante proyección de las espumas rígidas de poliuretano se requiere tomar en cuenta las siguientes variables.

- Establecer las especificaciones de los componentes del sistema en función de las características finales de la unidad de obra.
- Preacondicionar las superficies a proyectar.
- Determinar las condiciones ambientales durante la aplicación de los componentes.

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007), la espuma de poliuretano presenta buena adherencia en contacto con la mayor parte de los materiales de construcción, no obstante, las superficies en donde se realizarán las proyecciones deben estar limpias, secas y ausente de grasas y aceites, así como evitar la presencia de óxido o material envejecido. Una vez limpias las superficies se recomienda utilizar sustancias imprimadoras adherentes para garantizar la adherencia, si la adherencia debe de realizarse a laminas asfálticas se debe de verificar el tipo de acabado, si es mineral no existirá mayor problema, pero si fuera metálica, será necesario una imprimación. Si la película fuera de polietileno (antiadherente) bastará con flamearla con soplete para conseguir una buena adherencia. Si la superficie fuera hormigón, este deberá tener un curado mínimo de 28 días o una humedad superficial máxima medida de 20 %.

Respecto a las condiciones ambientales durante la aplicación y acondicionamiento de los componentes, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007), las condiciones de temperatura ambiente

desfavorables se encuentran en un rango entre 5 y 45 °C, respecto a la humedad relativa las condiciones desfavorables comienzan a partir del 85% de humedad relativa ambiente, pudiendo provocar condensaciones superficiales, causando a largo plazo mala adherencia entre placas.

5.4.2.1 Elastómero de Poliuretano

Según la Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado (2009) un elastómero puede describirse como un material caracterizado por su alta elasticidad, lo que significa que puede deformarse notablemente por alargamiento bajo el efecto de una carga y recuperar, de modo regular, su forma original al momento que esta carga ha desaparecido.

Entre sus propiedades podemos determinar las siguientes:

- **Dureza-Elasticidad:** Según la Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado (2009) los elastómeros de poliuretano son superiores a otros elastómeros en cuanto a capacidad de carga por encima de durezas de 85 Shore.
- **Alargamiento y resistencia a la tracción:** Según la Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado (2009), debido a la gran separación entre los enlaces químicos primarios, estos elastómeros poseen un alargamiento de rotura dos o tres veces superior a los elastómeros de goma.
- **Resistencia al desgarre y la abrasión:** Según la Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado (2009), la propiedad por la que los elastómeros son mejor conocidos es su resistencia al desgaste, siendo su resistencia a la abrasión verdaderamente excepcional.

- Coeficiente de fricción: Según la Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado (2009), cuanto mayor es la dureza del elastómero, menor es el coeficiente de fricción en los tipos blandos, (debido a la mayor superficie real de contacto), el coeficiente de fricción puede llegar a ser entre 10 y 15 veces mayor que en los tipos duros.
- Resistencia a la hidrólisis y hongos: Según la Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado (2009), al momento de considerarse sus limitaciones, la propiedad que más se toma en cuenta es su susceptibilidad a un ataque hidrolítico. Este ataque se produce tanto por inmersión de agua como en ambientes muy húmedos, mientras más altas sean las temperaturas el ataque es más intenso. Estas condiciones sirven con un caldo de cultivo para la formación de hongos, los cuales se desarrollan muy favorablemente en esas circunstancias.
- Comportamiento frente a las temperaturas: Según la Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado (2009), este es un factor primordial a tomar en cuenta, al aumentar la temperatura se debilitan importantes enlaces químicos perdiéndose las fuerzas de atracción que permiten disponer las excepcionales propiedades del material. En términos generales, las propiedades mecánicas de los elastómeros entre 70° y 80°C, son solo el 50 % de su valor a temperatura ambiente, a 110°C solo se dispone de un 20 %. Respecto a bajas temperaturas el empleo del poliuretano hasta -25°C no tiene dificultad pudiendo llegar a -40°C, sin embargo a estas temperaturas, la pérdida de elasticidad y el endurecimiento son tan notables que su utilidad se encuentra limitada.

5.4.2.1 Madera tornillo tratado térmicamente

En estudios preliminares realizados en nuestros laboratorios en especies maderables peruanas, en el caso particular de la madera Tornillo, se evidenció que la madera tratada térmicamente a más de 180 °C, reduce significativamente su contenido de humedad en menos del 5 %, el coeficiente de absorción de agua se reduce en 73 % (significando una mayor eficiencia en el empleo del material), también se reducen los valores de anisotropía en un 26 (representando una categoría de “muy estable” para trabajos de construcción) %; asimismo se evidencia mejor textura y color, una variable estética valorada al momento de proyectar una fachada.

5.4.3 Sistema de fachada propuesto

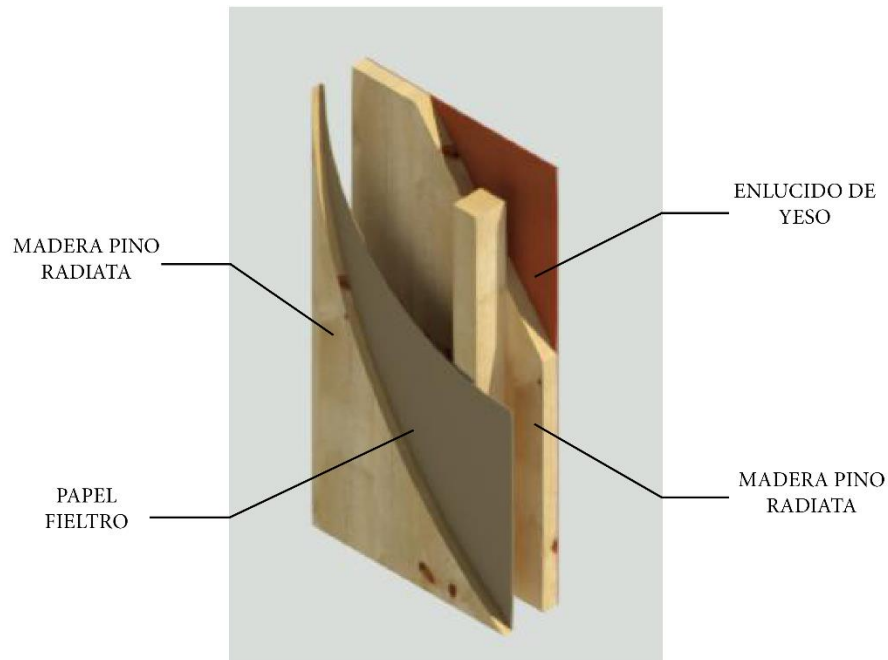
Para la presente investigación se consideró la tipología constructiva de rehabilitación de aislamiento de fachadas por el exterior debido dos factores: Las propiedades de los materiales y el nivel de intervención.

Debido a que el presente proyecto investiga las propiedades físicas de la madera Tornillo y en el desarrollo de la investigación se encontraron propiedades excepcionales frente al clima exterior, se propone aplicarlo como la primera cobertura que enfrenta al clima exterior, lo que garantiza una mayor durabilidad frente a la degradación natural (humedad y radiación), proporcionando de forma directa una mayor vida útil al recubrimiento del edificio. Intervenir la fachada por el exterior también permite reemplazar en menor medida los componentes no estructurales (recubrimiento de pino radiata y papel fieltro), conservando el componente estructural (pies derechos) originales del sistema constructivo balloon frame en las edificaciones en donde se intervinieran. Este criterio de intervención también garantiza la adaptabilidad del sistema, puesto que podría replicarse en

otras edificaciones simplemente con el retiro de las dos primeras capas de material que las componen. Las capas del sistema original pueden verse en la siguiente imagen.

Figura 31.

Sistema de fachada original

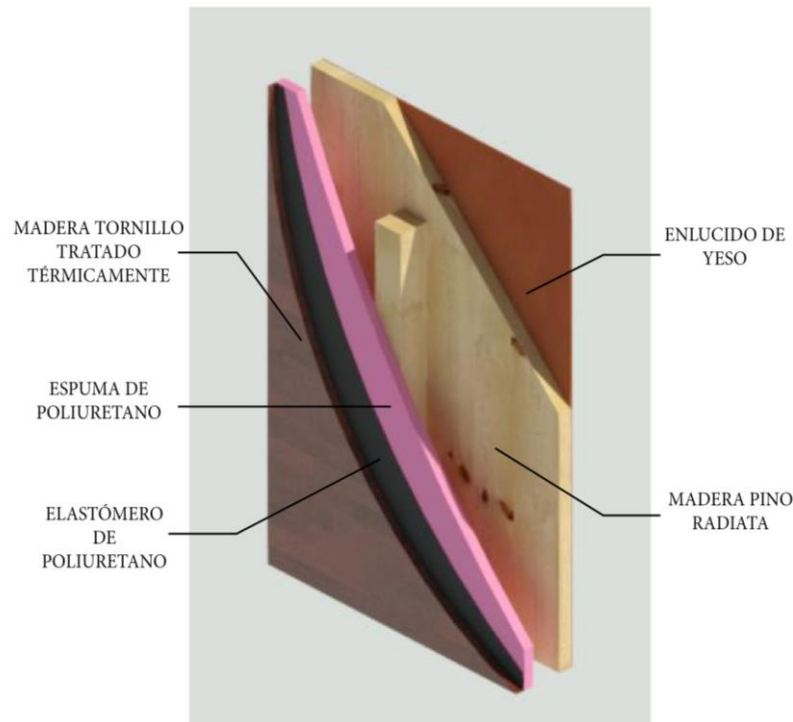


Fuente: Elaboración propia

De esta forma, aplicando los materiales descritos en este marco operativo (materiales disponibles y accesibles en el mercado local), se obtiene el siguiente resultado.

Figura 32.

Sistema de fachada propuesto



Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse en la imagen, se conservan los componentes de la capa interior (el enlucido de yeso y la madera pino radiata) así como el elemento estructural (pies derechos), modificándose los componentes de la capa externa (el recubrimiento de pino radiata y el papel fieltro) para dar lugar a elementos que garantizan el confort térmico y la durabilidad del recubrimiento de la edificación. La validación del sistema se verá a detalle en el marco operativo final.

5.4.4 *Discusión de resultados*

5.4.4.1 **Tipologías constructivas**

De los resultados analizados se concluye que:

- Según la información analizada la estrategia de aislar la fachada por el exterior es la forma más adecuada de intervenir a una edificación con el sistema constructivo balloon frame, debido a la intención de renovar la fachada colocando

un revestimiento de madera tratada térmicamente, evitando las molestias a los usuarios del edificio y evitando la reducción del espacio útil en la vivienda

5.4.4.2 Materiales del sistema de fachada multicapa

De los resultados analizados se concluye que:

- Según los datos analizados, la espuma de poliuretano presenta una conductividad térmica de $\lambda 0.022 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, configurándose de manera continua e impermeable, lo que permite evitar humedades, favorece el aislamiento acústico, es un material muy térmico y presenta buena adherencia en contacto con la mayor parte e materiales de construcción.
- Según los datos analizados, el elastómero de poliuretano es un material altamente elástico, con gran capacidad de resistencia a la abrasión y tracción lo que permite brindar un nivel de protección adecuado a la espuma de poliuretano.
- Según los datos analizados, la madera tratada térmicamente de la especie Tornillo alcanza un contenido de humedad en menos del 5 %, el coeficiente de absorción de agua se reduce en 73 % (lo que significa una mayor facilidad al momento de emplearlo), sus niveles de anisotropía se reducen en un 26 % (representando una categoría de “muy estable” para trabajos de construcción); asimismo se observa una mejor textura y color, una variable estética valorada al momento de proyectar una fachada.

5.5 Etapa 5: Validación del sistema de fachada adaptativo

5.5.1 El Código Técnico de Edificación (CTE)

El Código Técnico de Edificación (CTE) es una normativa técnica que se aplica a los edificios de nueva construcción como a los existentes cuando en ellos se realizan intervenciones o modificaciones con la finalidad de garantizar condiciones de seguridad y habitabilidad.

Según el Código Técnico de Edificación (2020), la aplicación de esta reglamentación debe de alcanzar a todo tipo de edificios, desde la edificación nueva (o partes de la misma) a la edificación existente en la que se realice alguna intervención independientemente del tipo de uso, tanto residencial como terciario. Los niveles exigibles varían en función del nivel de intervención, uso, localización y características del edificio.

Debido a la gran cantidad de casos diferentes en las edificaciones, la normativa contempla criterios que flexibilizan la aplicación en edificios existentes con el objetivo de conseguir el mayor grado de adecuación posible, según el Código Técnico de Edificación (2020), estos criterios de exclusión son:

- Edificios provisionales con un plazo de utilización igual o inferior a 2 años
- Edificios protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico.
- Edificios industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales, o parte de los mismos, con baja demanda energética
- Edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50m² (por edificio aislado se entiende aquel cuyos suministros de energía no se realizan mediante la conexión a redes de transporte o distribución)

5.5.1.1 Condiciones para el control de la demanda energética

Según el Código Técnico de Edificación (2020), el diseño y construcción de un edificio debe estar hecho de una manera que este demande poca energía para alcanzar las condiciones de confort, de acuerdo a su uso y a las condiciones climáticas de su entorno. Para lograr este objetivo es clave la fase de diseño, cuidando aspectos como la compacidad y orientación del edificio, la proporción solar de huecos, etc.

Figura 33.

Esquema de aplicación

NUEVO		EXISTENTE			
Todos los casos excepto: <ul style="list-style-type: none"> • Edificios protegidos • Construcciones provisionales (<2 años) • Edificios Industriales, de defensa o agrícolas con baja demanda energética • Edificios aislados $S_{ext} < 50 \text{ m}^2$ 		Ampliación	Cambio de uso	Reforma > 25% envolvente	Reforma < 25% envolvente
CONDICIONES DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA					
<u>AISLAMIENTO TÉRMICO</u>					
U_{lim}	Tabla 3.1.1.a - HE1 - Aplica a cada elemento de la envolvente térmica				Aplica a 1* y 2*
K_{lim}	Tabla 3.1.1.b - HE1 (Residencial privado) Tabla 3.1.1.c - HE1 (Otros usos)	Tabla 3.1.1.b - HE1 (Residencial privado) Tabla 3.1.1.c - HE1 (Otros usos)			
<u>CONTROL SOLAR</u>					
$q_{sol;jul}$	Tabla 3.1.2 - HE1				
<u>PERMEABILIDAD AL AIRE</u>					
Q_{100}	Tabla 3.1.3.a - HE1				Aplica a 1* y 2*
n_{50}	Tabla 3.1.3.b - HE1 SOLO RESIDENCIAL, con $S_{ext} > 120\text{m}^2$				
LIMITACIÓN DE DESCOMPENSACIONES ENTRE UNIDADES DE USO					
U_{lim}	Tabla 3.2 - HE1 Particiones interiores				Aplica a 1* y 2*
LIMITACIÓN DE LAS CONDENSACIONES DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA					

1*: Elementos que se sustituyan, incorporen o modifiquen sustancialmente
2*: Elementos que vean modificadas sus condiciones exteriores o interiores como resultado de la intervención suponiendo un incremento de las necesidades energéticas del edificio

Fuente: Código Técnico de Edificación (2020)

Según el Código Técnico de Edificación (2020), los edificios deben disponer de una envolvente térmica que limite sus necesidades de energía primaria en función de la zona climática, su uso y su compacidad.

Para la validación del sistema de fachada propuesto se realizará a través del siguiente aspecto.

- Transmitancia global de la envolvente térmica (K): Según el Código Técnico de Edificación (2020), este aspecto integra las características de los elementos que conforman los elementos de la envolvente térmica, su proporción, así como también el control de los puentes térmicos con el objetivo de asegurar la eficiencia de la envolvente térmica en relación con la transmisión de calor, tomando en cuenta el volumen habitable protegido y su superficie de intercambio térmico con el exterior. La transmitancia global de la envolvente térmica (K) responde por tanto a la globalidad del edificio, sin embargo primero es necesario determinar las transmitancia térmicas límites establecidos en la siguiente figura.

Figura 34.

Valores límite de transmitancia térmica (w/m^2k)

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_S, U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_C)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%			5,7			

*Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_H en un 50%.

Fuente: Código Técnico de Edificación (2020)

Es importante conocer estos valores máximos de transmitancia térmica porque permitirán definir la viabilidad del sistema de fachada. Si observamos la imagen anterior vemos que los valores límite están en relación con la Zona Climática de Invierno que se divide en 6 categorías, el elemento que buscamos validar es el primero de la lista en la figura anterior “Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_S, U_M)”. Para la validación del sistema según estos criterios es necesario determinar a qué categoría corresponde la Zona Climática de Invierno en la ciudad de Mollendo.

5.5.1.1 Correlaciones de severidades climáticas estacionales y definición de zonas climáticas

Según el Código Técnico de Edificación (2020), la severidad climática de invierno se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$SCI = a * GD + b * \frac{n}{N} + c * GD^2 + d * \left(\frac{n}{N}\right)^2 + e \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

GD: es la suma de los grados-día de invierno en base 20 para los meses que van desde octubre a mayo (meses fríos).

n/N: es el cociente entre número de horas de sol y el número de horas de sol máximas, sumadas cada una de ellas por separado para los meses que van desde octubre a mayo.

a,b,c,d,e: son los coeficientes de regresión, cuyos valores se indican en la siguiente figura.

Figura 35.

Coeficiente de regresión para la severidad climática de invierno

a	b	c	d	e
3,546E-04	-4,043E-01	8,394E-08	-7,325E-02	-1,137E-01

Fuente: Código Técnico de Edificación (2020)

Conociendo estas expresiones, es necesario determinar los grados-día de invierno de la ciudad de Mollendo, para ello se tienen que considerar los meses de abril a noviembre, debido a que el Código Técnico considera todos los meses exceptuando los meses de verano del Hemisferio Norte (julio a setiembre). Por ello, al nosotros

encontrarnos en el Hemisferio Sur, debemos de tomar todos los meses exceptuando nuestros meses más calurosos (diciembre a marzo), de esta forma se debe de desarrollar la siguiente ecuación para cada mes:

$$GD_{cal} = \left(T_{BC} - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) * N \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

T_{BC}: es la temperatura base de calefacción (20 grados según Código Técnico);

T_{max}: es la temperatura máxima mensual;

T_{min}: es la temperatura mínima mensual;

N: es el número de días del mes considerado.

El valor de GD_{cal} para cada mes se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 1
VALOR GD_{cal} EN LA CIUDAD DE MOLLENDO

Valor GD_{cal} para los meses de abril a noviembre

MESES	T _{BC} (°C)	T _{MAX} (°C)	T _{MIN} (°C)	N (días)	GD _{cal}
ABRIL	20	21.9	17	30	16.5
MAYO	20	19.7	15.2	31	70.1
JUNIO	20	17.7	13.8	30	127.5
JULIO	20	16.8	13	31	162.8
AGOSTO	20	17	12.7	31	159.7
SETIEMBRE	20	17.9	13	30	136.5
OCTUBRE	20	19.1	13.8	31	110.1
NOVIEMBRE	20	20.4	15.1	30	67.5

Fuente: Elaboración Propia

En la ecuación 1 nos dicen que GD es la suma de los grados-día de invierno en base 20, entonces el valor de GD para Mollendo sería 850.7.

Para hallar n/N se necesita conocer los números de horas del sol reales (medidas con un heliógrafo) y el número máximo teórico de horas de sol. Según Sánchez (1992), si se desconociera las medidas de hora de sol reales (n), se puede estimar n/N aproximadamente para la zona estudiada con un valor de 0,8 para verano, 0,6 para primavera y otoño y 0,4 para invierno. Para este caso tomaremos el valor de 0,4 debido a que el objetivo es encontrar el factor de severidad climática de invierno.

Al tener todos los datos disponibles, se procede a realizar el cálculo de la severidad climática de invierno para la ciudad de Mollendo:

$$SCI = 3,546E - 04 * 850.7 + -4,043E - 01 * 0,4 + 8,394E - 08 * 850.7^2 + 7,325E - 02 * (0,4)^2 + -1,137E - 01 \quad (\text{Ec. 3})$$

En donde se tiene como resultado el valor SCI de 0,0752

Posteriormente de acuerdo al Código Técnico de Edificación (2020), se procede a definir las zonas climáticas. Se determinará la zona climática de invierno en función de la severidad climática de invierno (SCI), correspondiendo cada zona climática de invierno del DB-HE (α , A, B, C, D y E) al intervalo indicado en la siguiente figura:

Figura 36.

Intervalos para la zonificación de invierno

α	A	B	C	D	E
	$SCI \leq 0$	$0 < SCI \leq 0,23$	$0,23 < SCI \leq 0,5$	$0,5 < SCI \leq 0,93$	$0,94 < SCI \leq 1,51$
					$SCI > 1,51$

Fuente: Código Técnico de Edificación (2020)

En donde le corresponde a la ciudad de Mollendo un zonificación de invierno tipo “A”.

De esta manera podemos saber que el valor de transmitancia térmica máximo permitido para “Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s , U_M)” para la ciudad de Mollendo es de $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$, según como indica los valores límite de transmitancia térmica de la Figura 62.

5.5.1.2 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente

- Cerramientos en contacto con el aire exterior: Según el Código Técnico de Edificación (2020), este cálculo es aplicable a la parte opaca de todos los cerramientos en contacto con el aire exterior tales como muro de fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior. La transmitancia térmica U ($\text{W/m}^2\text{K}$) está determinada por la siguientes expresión:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

R_T : es la resistencia térmica total del componente constructivo ($\text{m}^2\text{K/W}$)

La resistencia térmica total R_T de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas se calcula mediante la expresión:

$$R_T = R_{SI} + R_1 + R_2 + \dots + R_N + R_{SE} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

$R_1, R_2 \dots R_n$: es la resistencia térmica de capa definida según la expresión (Ec. 6)
($\text{m}^2\text{K/W}$);

R_{si} , R_{se} : son las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la figura 65 de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio (m^2K/W).

La resistencia térmica total R_T de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas se calcula mediante la expresión:

$$R = \frac{e}{\lambda} \text{ (Ec. 6)}$$

Donde:

- e:** el espesor de la capa (m). En caso de una capa de espesor variable se considera el espesor medio;
- λ :** la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, que se puede calcular a partir de los valores térmicos declarados según la norma UNE-EN 10456:2012. En el caso de materiales heterogéneos, como las fábricas, se puede considerar la conductividad equivalente del conjunto.

Figura 37.

Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior
m²k/w

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R _{se}	R _{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (suelo)		0,04	0,17

Fuente: Código Técnico de Edificación (2020)

Las cámaras de aire pueden ser caracterizadas por su resistencia térmica:

- Cámara de aire sin ventilar: Según el Código Técnico de Edificación (2020), es aquella en la que no existe ningún sistema específico para el flujo del aire a través de ella. Una cámara de aire que no tiene aislamiento entre ella y el ambiente exterior pero con pequeñas aberturas también se considerará cámara de aire sin ventilar, siempre y cuando esas aberturas no permitan el flujo de aire a través de la cámara y no excedan:
 - 500 mm² por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;
 - 500 mm² por m² de superficie para cámaras de aire horizontales.

La resistencia térmica de las cámaras de aires sin ventilar viene definida en la figura 66 en función de su espesor. Los valores son aplicables cuando la cámara:

este limitada por dos superficies paralelas entre si y perpendiculares a la dirección del flujo de calor y cuyas emisividades sean superiores a 0,8, tengan un espesor menor a 0,1 veces cada una de las otras dos dimensiones y no mayor a 0,3 m; así como también no haya intercambio de aire con el ambiente interior.

Figura 38.

Resistencias de cámaras de aire

e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Fuente: Código Técnico de Edificación (2020)

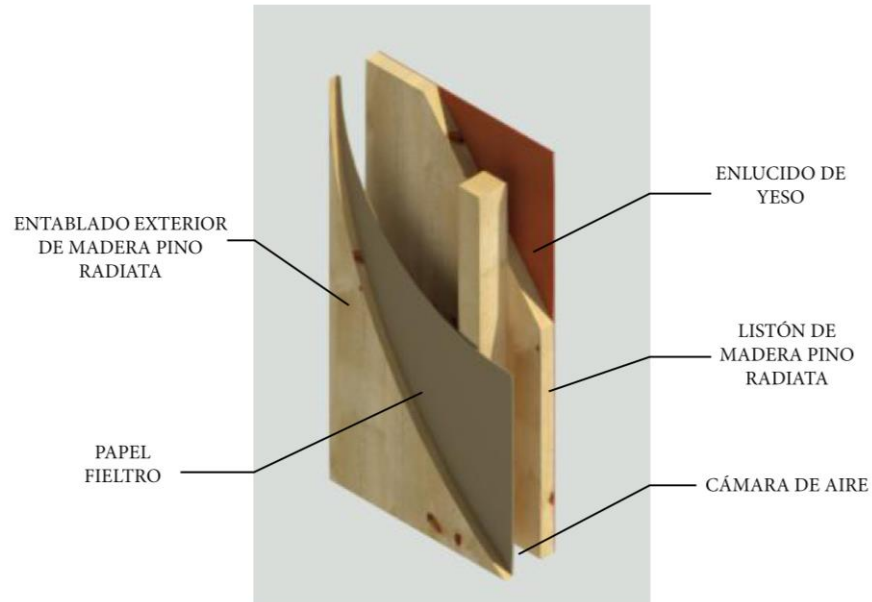
Una vez que se tiene claro estos conceptos, el siguiente paso es realizar el cálculo con el sistema de fachada original y el sistema de fachada propuesto para determinar su validación. En ambos casos se realizaron simulaciones en el software THERM utilizando las mismas fórmulas de las ecuaciones desarrolladas a mano, para analizar gráficamente el nivel de transmitancia térmica de los dos tipos de fachada.

5.5.2 Transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame original

Las capas de sistema balloon frame original son:

Figura 39.

Capas del sistema balloon frame original



Fuente: Elaboración Propia

Para determinar la transmitancia térmica del muro opaco, el primer paso es encontrar la resistencia térmica total (R_T) del componente constituido por capas térmicamente homogéneas que se calculan mediante la expresión de la ecuación 6.

5.5.2.1 Resistencia Térmica del entablado exterior de madera pino radiata

$$R = \frac{0.025}{0.18} \text{ (Ec. 7)}$$

La resistencia térmica es igual a $0,14 \text{ m}^2\text{K/W}$.

5.5.2.2 Resistencia Térmica del papel fieltro

$$R = \frac{0.003}{0.05} \text{ (Ec. 8)}$$

La resistencia térmica es igual a $0,06 \text{ m}^2\text{K/W}$.

5.5.2.3 Resistencia Térmica del listón de madera pino radiata

$$R = \frac{0.04}{0.18} \text{ (Ec. 9)}$$

La resistencia térmica es igual a $0,22 \text{ m}^2\text{K/W}$.

5.5.2.4 Resistencia Térmica del enlucido de yeso

$$R = \frac{0.005}{0.4} \text{ (Ec. 9)}$$

La resistencia térmica es igual a 0,01 m²K/W.

5.5.2.5 Resistencia Térmica de la cámara de aire

Según la figura 66, le corresponde un valor de 0,16 m²K/W

5.5.2.6 Resistencias Térmicas superficiales en relación al aire interior y exterior

Les corresponde un valor de 0,13 m²K/W y 0,04 m²K/W respectivamente.

5.5.2.7 Resistencias Térmicas total del componente constructivo

Sumando todas las resistencias térmicas se obtiene un valor de 0,763 m²K/W.

Entonces, aplicando la ecuación 4:

$$U = \frac{1}{0.76} \text{ (Ec. 7)}$$

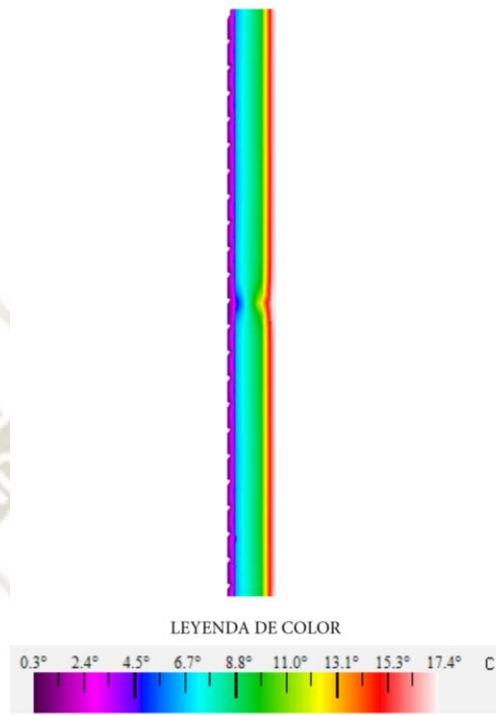
El valor de la transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame original es igual a 1.31 W/m²K

Si se compara este valor final con los valores máximos de transmitancia térmica (figura 62), es evidente que este sistema original no cumple con los valores que solicita el Código Técnico respecto a la transmitancia térmica del muro opaco en una zona climática de invierno tipo “A” como a la que pertenece Mollendo, donde el valor máximo permitido debe de ser de 0,70 W/m²K.

El software THERM, también nos ofrece la oportunidad de poder observar gráficamente estos valores de transmitancia del sistema de fachada original.

Figura 40.

Transmitancia térmica del muro en colores infrarrojos

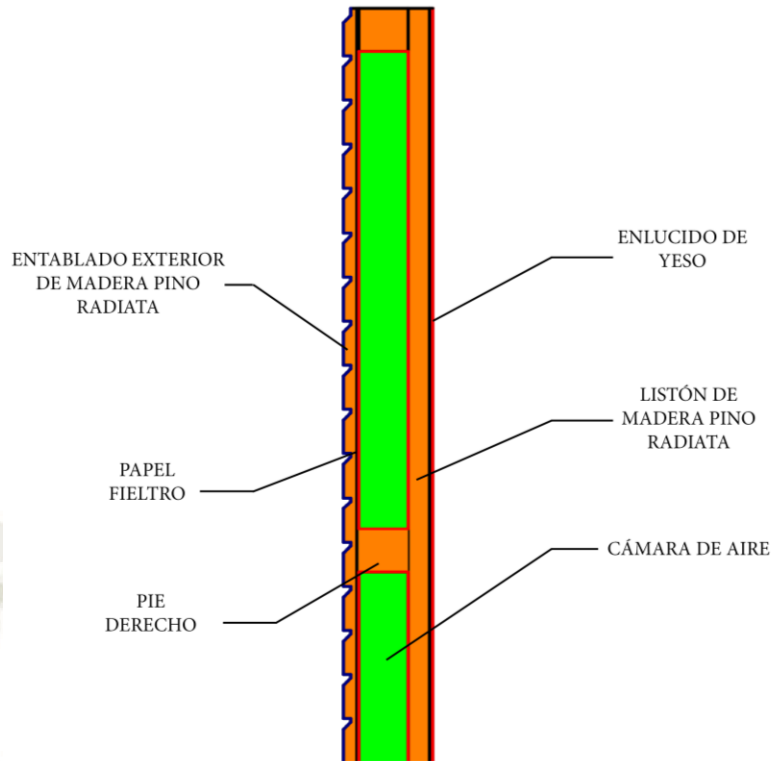


Fuente: Elaboración Propia

El software THERM permite determinar la existencia de puentes térmicos en la edificación a través del cálculo de isotermas, vectores o colores infrarrojos.

Figura 41.

Composición del sistema balloon frame original en el software THERM

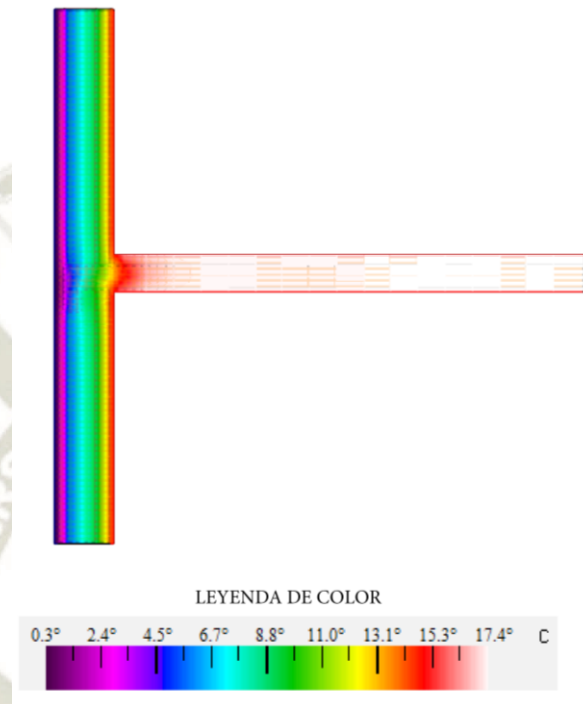


Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la imagen, el software THERM recibe el valor de las resistencias térmicas de cada material y en función de la diferencia térmica entre el interior y el exterior (estos también son datos que se introducen al software), determina el valor de la transmitancia térmica del muro opaco así como la presencia de condensaciones en el interior. Los valores son prácticamente idénticos a los realizados con el cálculo manual según los parámetros del Código Técnico.

Figura 42.

Transmitancia térmica de la fachada en encuentro con un forjado en colores infrarrojos



Fuente: Elaboración Propia

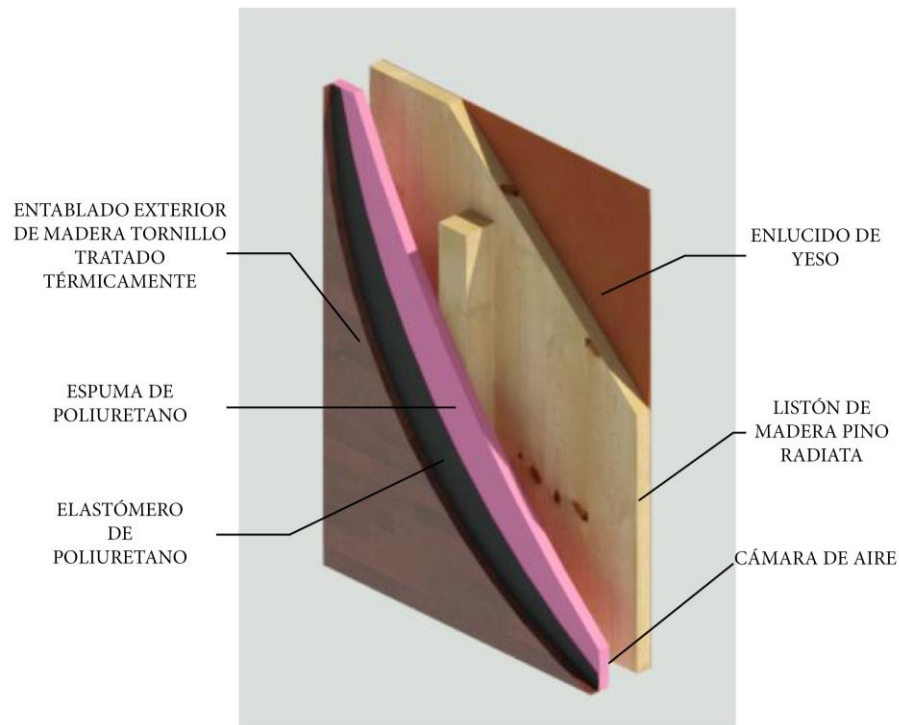
Como se observa en la imagen, el gráfico corresponde a la transmitancia térmica lineal de la fachada cuando se encuentra con un forjado. Este tipo de encuentros en situaciones normales produce un puente térmico, debido a las características del sistema Balloon Frame, el puente térmico es poco significativo ($0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$), sin embargo los niveles de transmitancia térmica son elevados.

5.5.3 Transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame propuesto

Las capas de sistema balloon frame propuesto son:

Figura 43.

Capas del sistema balloon frame original



Fuente: Elaboración Propia

Para determinar la transmitancia térmica del muro opaco, el primer paso es encontrar la resistencia térmica total (R_T) del componente constituido por capas térmicamente homogéneas que se calculan mediante la expresión de la ecuación 6.

5.5.3.1 Resistencia Térmica del entablado exterior de madera tornillo tratado térmicamente

$$R = \frac{0.025}{0.13} \quad (\text{Ec. 7})$$

La resistencia térmica es igual a 0,19 m²K/W.

5.5.3.2 Resistencia Térmica del elastómero de poliuretano

$$R = \frac{0.003}{0.25} \quad (\text{Ec. 8})$$

La resistencia térmica es igual a 0,012 m²K/W.

5.5.3.3 Resistencia Térmica de la espuma de poliuretano

$$R = \frac{0.030}{0.024} \text{ (Ec. 8)}$$

La resistencia térmica es igual a 1,25 m²K/W.

5.5.3.4 Resistencia Térmica del listón de madera pino radiata

$$R = \frac{0.04}{0.18} \text{ (Ec. 9)}$$

La resistencia térmica es igual a 0,22 m²K/W.

5.5.3.5 Resistencia Térmica del enlucido de yeso

$$R = \frac{0.005}{0.4} \text{ (Ec. 9)}$$

La resistencia térmica es igual a 0,01 m²K/W.

5.5.3.6 Resistencia Térmica de la cámara de aire

Según la figura 66, le corresponde un valor de 0,16 m²K/W.

5.5.3.7 Resistencias Térmicas superficiales en relación al aire interior y exterior

Les corresponde un valor de 0,13 m²K/W y 0,04 m²K/W respectivamente.

5.5.3.8 Resistencias Térmicas total del componente constructivo

Sumando todas las resistencias térmicas se obtiene un valor de 2,015 m²K/W.

Entonces, aplicando la ecuación 4:

$$U = \frac{1}{2.015} \text{ (Ec. 7)}$$

El valor de la transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame propuesto es igual a 0.50 W/m²K.

Si se compara este valor final con los valores máximos de transmitancia térmica (figura 62), se observa que este sistema propuesto cumple con los valores que solicita el Código Técnico respecto a la transmitancia térmica del muro opaco en una zona climática de invierno tipo “A” como a la que pertenece Mollendo, donde el valor máximo permitido debe de ser de $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$.

El software THERM, también nos ofrece la oportunidad de poder observar gráficamente estos valores de transmitancia del sistema de fachada propuesto.

Figura 44.

Transmitancia térmica del muro propuesto en colores infrarrojos

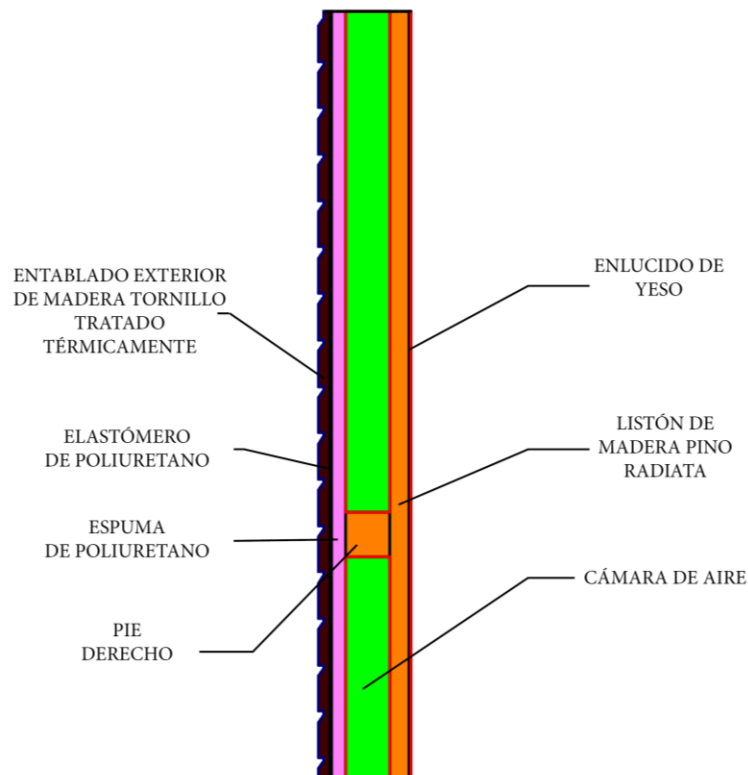


Fuente: Elaboración Propia

El software THERM permite determinar la existencia de puentes térmicos en la edificación a través del cálculo de isothermas, vectores o colores infrarrojos.

Figura 45.

Composición del sistema balloon frame propuesto en el software THERM

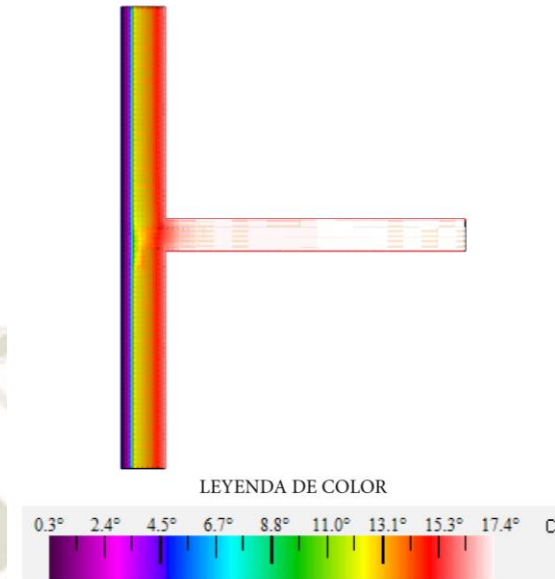


Fuente: Elaboración Propia

En la imagen anterior se puede observar la configuración de las capas del sistema en donde se incluye el material térmico: espuma de poliuretano, el material que funcionará como protector del material térmico: el elastómero de poliuretano y como cobertura y capa final, la madera tornillo tratada térmicamente, un material resistente a las inclemencias del clima exterior. También en la imagen se observa que se logra conservar los elementos constructivos de la cobertura interna del muro opaco, así como el elemento estructural (pie derecho).

Figura 46.

Transmitancia térmica de la fachada en encuentro con un forjado en colores infrarrojos



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la imagen, el gráfico corresponde a la transmitancia térmica lineal de la fachada cuando se encuentra con un forjado. Este tipo de encuentros en situaciones normales produce un puente térmico, debido a las características del sistema Balloon Frame, el puente térmico es poco significativo ($0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$), además los niveles de transmitancia térmica son muy reducidos, lo que garantiza las condensaciones intersticiales en las esquinas y un confort térmico adecuado a los usuarios.

5.5.4 *Discusión de resultados*

5.5.4.1 **Transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame original**

De los resultados analizados se concluye que:

- Según los datos obtenidos, el valor de transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame original es igual a $1.31 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Este valor de transmitancia térmica excede los valores máximos permitidos por el Código Técnico (2020), donde para una zona climática de invierno tipo “A”, como a la que pertenece Mollendo, el valor máximo permitido debe de ser de $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- La razón de este valor excesivo en la transmitancia térmica del muro se debe principalmente a las capas exteriores del sistema. Tanto el entablado de pino radiata como el papel fieltro son insuficientes para contener la pérdida de calor. Sin embargo la capa de aire en el sistema contribuye a un cierto aislamiento térmico en la vivienda

5.5.4.2 Transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame propuesto

De los resultados analizados se concluye que:

- Según los datos obtenidos, el valor de transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame implementado con las nuevas capas es igual a $0.50 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Este valor de transmitancia térmica es más que adecuado respecto a los valores máximos permitidos por el Código Técnico (2020), donde para una zona climática de invierno tipo “A” como a la que pertenece Mollendo, el valor máximo permitido debe de ser de $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- La razón de estos valores positivos en la transmitancia térmica del muro se debe principalmente a las capas exteriores del sistema, en donde la espuma de poliuretano cumple a cabalidad la función de evitar la pérdida de calor, así como también el elastómero de poliuretano cumple la función de proteger a esta espuma.

Finalmente la capa exterior de madera tratada térmicamente ofrece una protección adecuada frente a las inclemencias del clima exterior.

5.6 Contraste de la hipótesis

El sistema de fachada multicapas propuesto puede adecuarse a construcciones de madera con el sistema constructivo Balloon Frame a través de un aislamiento por el exterior de la vivienda reduciendo la transmitancia térmica del muro opaco, lo que se traduce en una mejora en la sensación térmica y el grado de comodidad de los usuarios. La madera tratada térmicamente permite garantizar la durabilidad de la fachada de la vivienda gracias a la mejora de sus propiedades físicas.

5.7 Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo a lo desarrollado se puede concluir en diferentes ámbitos de las variables propuestas. Referente al sistema de fachada multicapas se puede concluir:

Respecto a la pertinencia en su aplicación:

- Según las variables analizadas en la Etapa I del Marco Operativo, el factor de severidad climática para la casa de estudio en Mollendo se clasifica como “Severo” debido a la presencia de condensaciones por su cercanía al mar y la alta humedad relativa. Por lo tanto es necesario tener estrategias de diseño constructivas o tipológicas para este tipo de edificaciones.
- Según las variables analizadas en la Etapa II del Marco Operativo, la Clase de Servicio para el revestimiento exterior de la casa de estudio es de tipo C2, lo que significa mejorar la capacidad de resistencia de la fachada frente a las condiciones climáticas del exterior porque actualmente el revestimiento está expuesto a recibir salpicaduras y huellas de lluvia en épocas de precipitaciones.

- La Clase de Uso para el revestimiento exterior de la casa de estudio tiene un valor de 3.2, lo que significa que la situación en la que se encuentra el revestimiento exterior es peligroso, puesto que no está orientado, ni las soluciones constructivas diseñadas para que se permita una rápida evacuación de agua, así también es susceptible de recibir ataque de hongos xilófagos e insectos.

Respecto a las propiedades físicas de la madera tratada térmicamente.

- Según las variables analizadas en la Etapa III del Marco Operativo, la madera tratada térmicamente de la especie Tornillo a 180 °C alcanza un valor de 0.1544 % de contenido de humedad, un valor de 0.50 g/cm³ en la densidad básica, un coeficiente de absorción de 0.0012 kg/m² y un valor promedio de índice de anisotropía de 0.93
- Estos valores alcanzados por la madera tornillo tratado térmicamente a 180 °C, significa la hidrofobicidad del material frente a condiciones exteriores húmedas, la estabilidad dimensional del material al momento de aplicarse (la madera no se hincha), así como una mejor uniformidad en su textura y color.

Respecto a su tipología constructiva y los materiales que lo conforman

- Según las variables analizadas en la Etapa IV del Marco Operativo, la forma más eficiente para intervenir a una vivienda que ha sufrido modificaciones que alteraron su composición original pero aun así es representativo en el contexto histórico de Mollendo es mediante una tipología de aislamiento de fachada por el exterior, de esta forma se aprovecha las propiedades físicas de la madera tratada térmicamente como una cobertura eficiente frente al clima exterior.

- Respecto a los componentes del sistema de fachada multicapas, la elección de la espuma de poliuretano, el elastómero de poliuretano y la madera tratada térmicamente, son pertinentes para el contexto en donde se desarrolla la aplicación. Debido a que se busca reducir la transmitancia térmica del muro opaco, dar una mayor resistencia a la capa interna del sistema y una mayor durabilidad frente al clima exterior.
- Según las variables analizadas en la Etapa V del Marco Operativo, el valor de transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame original es igual a $1.31 \text{ W/m}^2\text{K}$. Este valor es insuficiente a lo solicitado por el Código Técnico de Edificación para una zona climática como la de Mollendo. Este valor de transmitancia tan alto favorece a la filtración de humedad, pérdida de calor interna en la vivienda y sensación de frío lo que puede provocar un poco confort térmico y aún más grave problemas respiratorios a sus usuarios a largo plazo.
- El valor de transmitancia térmica del muro opaco del sistema balloon frame propuesto es igual a $0.50 \text{ W/m}^2\text{K}$. Este valor es más que adecuado a lo solicitado por el Código Técnico de Edificación para una zona climática como la de Mollendo. Este valor de transmitancia reducido favorece a que el calor dentro de la vivienda se conserve, las filtraciones de humedad relativa desaparezcan y que el confort térmico dentro de la vivienda mejore en temporadas lluviosas o en invierno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado. (2009). *Guía de ventajas y soluciones de espuma rígida de poliuretano proyectado para aislamiento térmico, acústico e impermeabilización, conforme al CTE.* . Madrid: ATEPA.
- ASTM D2395-14. (2014). *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials* .
- ASTM D4442 - 07. (2007). *Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood Base Materials*. West Conshohocken: ASTM International.
- Boothroyd, G., & Alting, L. (1992). Design for Assembly and Disassembly. *CIRP Annals*.
- Campos, G. (2013). *THERM: Cálculo y simulación de puentes térmicos*. SafeCreative.
- Código Técnico de la Edificación. (2020). *DB-HE Ahorro de energía*. Madrid: Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo.
- Díaz, R. H. (2017). *Industrial wood modification by heat treatments*. País Vasco: Universidad del País Vasco.
- EN 335. (2013). *Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products*.
- EN 927-6. (2018). *Paints and varnishes - Coating materials and coating systems for exterior wood - Part 6: Exposure of wood coatings to artificial weathering using fluorescent UV lamps and water*.
- EN ISO 15148: 2002. (2002). *Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water absorption coefficient by partial immersion*.
- EN:1995-1-1. (2004). *Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings*.
- Fernández - Golfín, J., Peraza, F., Touza, M., & Arriaga, F. (2018). *Guía para la asignación de clases de uso y de servicio a los productos de madera*. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Fernández-Golfín, J., Larrumbide, E., Ruano, A., Galván, J., & Conde, M. (2016). Wood decay hazar in Spain using the Scheffer index: proposal for an improvement. *Wood Products*.
- Frohnsdorff et al. (1980). An Approach to Improved durability tests for building materials and components. *National Bureau of Stadards*.
- Gamez Penadillo, J. (2009). Evaluación de las características físicas del *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hooker F. ex Chuman "Capirona" a tres niveles del fuste, en la zona de Tingo María-Perú. Tingo María, Perú.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). *Metodología de la Investigación*. Naucalpan de Juárez, Edo. de México : MCGRAW-HILL.

- Hernández, H., & Meza, L. (2011). Propuesta de una metodología de certificación de eficiencia energética para viviendas en Chile. *Revista de la construcción*.
- Ignacio Guillén, V. G.-L., Fran, J. M., & López-Jiménez, A. (2014). Thermal behavior analysis of different multilayer façade: Numerical model versus experimental prototype. *Energy and Buildings*, 184-190.
- Institut Català de la Fusta. (2012). *Revestimientos exteriores de madera en climas Mediterraneos*. Cataluña.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2007). *Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envoltura Térmica de los Edificios*. Madrid: IDAE.
- International ThermoWood Association. (2003). *ThermoWood - Handbook*. Helsinki, FINLAND.
- ISO 21887. (2007). *Durability of wood and wood-based products — Use classes*.
- ISO 52000-1:2017 . (2017). *Energy performance of buildings — Overarching EPB assessment — Part 1: General framework and procedures*.
- ISO 7730:2005. (2006). *Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local*.
- Ivanovic-Sekularac, J., Čikić-Tovarović, J., & Šekularac, N. (2015). Application of wood as an element of façade cladding in construction and reconstruction of architectural objects to improve their energy efficiency. *Energy and Building*.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. (1984). *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*. Lima: PADT-REFORT.
- Leser, H. (2014). Las construcciones en esqueleto de madera. *Arquitecturas del Sur*, 12-13.
- Lommi, M. (2017). The mediterranean smart adaptive wall. An experimental design of a smart and adaptive facade module for the mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 1-5.
- Lund, H. (1996). *Manual McGraw-Hill de reciclaje*. McGraw-Hill Interamericana de España.
- Ministerio de Salud. (2018). *Boletín epidemiológico del Perú*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú N° 2001-2890.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones E-010*. Lima.
- (2014). *Norma EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia. Obtenido de https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/04_EM/DS006-2014_EM.110.pdf
- Ordoñez, A. (2014). *Manual de ayuda Design Builder*. SafeCreative.

- Rey, F., & Velasco, E. (2006). Eficiencia energética en edificios. *Thomson Editores Spain*.
- Rodríguez, A., & Pérez, A. (2017). *Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento*. Revista de la Escuela de Administración de Negocios.
- Sanchez, M. (1992). Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. *Cuadernos Técnicos Sociedad Española de Geomorfología*, nº 3, 36 pp.
- Sardón, M., & Zeballos, R. (2015). La arquitectura republicana de madera de la costa de Arequipa, Perú. *Libro 3 Congreso.indb 1589*, 1-10.
- Scheffer, T. (1971). A Climate Index for Estimating Potential for Decay in Wood Structures Above Ground. *Forest Products Journal*.
- Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda. (2019). *Documento Básico SE-M Seguridad Estructural del Código Técnico de la Edificación*. Ministerio de Fomento.
- SENAMHI. (2019). *Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe>
- SERFOR. (2019). *Productos Forestales Maderables: Guía explicativa para su identificación*. Lima: Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú.
- Smardzewski, J., & Wojciechowski, K. (2019). Response of wood-based sandwich beams with three-dimensional lattice core. *Composite Structures*, 340-349.
- Vizcarra, S. (1998). *Guía para el secado de la madera en horno*.

ANEXOS

ANEXO 1. Constancia de ensayos en laboratorio y financiamiento de proyecto



CONSTANCIA DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS

LA UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN PABLO, HACE CONSTAR QUE:

KENNETH AYALA CASTRO

Ha celebrado con nosotros el contrato de locación de servicios; por el cual nos brindó el siguiente servicio:

- ELABORACIÓN DE LA TESIS DE PREGRADO DENOMINADA "ESTUDIO DE DEGRADACIÓN ACELERADA DE MADERAS TRATADAS TÉRMICAMENTE PARA APLICACIONES ARQUITECTÓNICAS" DEL PROYECTO N° 117-SENCICO-2018, en los meses de mayo a diciembre del año 2019.

Se expide la presente a solicitud del interesado para los fines que estime por conveniente.

Arequipa, 25 de enero del año 2021.



CELSO JOSÉ LUIS CALLE CHAPARRO
JEFE DE SECCIÓN DE ASESORÍA LEGAL

Campus San Lázaro Urb. Campiña Paisajista s/n, Quinta Vivanco
Campus Sucre Calle Sucre 601, Vallecito
Centro de las Artes Calle Palacio Viejo 414
Arequipa, Perú
Teléfonos +51 54 605630 +51 54 605600
ucsp.edu.pe · institucional@ucsp.edu.pe



Bienvenido al Repositorio Institucional del Concytec

El Repositorio Institucional del Concytec tiene como objetivo permitir el libre acceso a la producción científica institucional, optimizando su visibilidad; así mismo garantizar la preservación y conservación de la información relacionada a la ciencia, tecnología e innovación.



Repositorio CONCYTEC (/)

“Valorización de la madera peruana como material de construcción, mediante el uso de técnicas de modificación de madera”,

Estadísticas (/cris/stats/do.html?id=b1c8b7e8-1d38-491c-b981-aa19f8dc758e)

Alerta por email (/cris/tools/subscription/subscribe?uuid=b1c8b7e8-1d38-491c-b981-aa19f8dc758e)

RSS (/open-search?query=dc.relation.ispartof_authority:funding02151&format=rss)

Ficha Informativa del Financiamiento

Información General

Tipo de financiamiento Contrato

Código de identificación 117-2018

Nombre

“Valorización de la madera peruana como material de construcción, mediante el uso de técnicas de modificación de madera”,

Sector	General / Vivienda y Saneamiento		
Fecha de Inicio	07-02-2019	Fecha de Finalización	20-10-2020
Palabras clave	Investigación Científica		
Institución subvencionadora	Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico - Fondecyt (/cris/uuid/3fb93c1e-e6c7-45e5-bdf7-e2cebde9e49d)		
Monto	140000,00	Moneda	
Es parte de	SENCICO II - Proyectos de Investigación Aplicada en Saneamiento y Construcción SENCICO 2018-01 (/cris/uuid/dd165597-e2e1-4a9d-9db8-bd5c99a80625)		
Funding Stream	SENCICO		

Ensayos de laboratorio de la propiedad física Contenido de Humedad

		<p align="center">FORMATO DE ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD</p>				
INFORMACIÓN GENERAL						
PROYECTO: 117				LABORATORIO: Ciencias Naturales		
EVALUADOR: Kenneth Ayala				FECHA: 14/10/19		
EVALUADOR: Verónica Pilco						
DATOS DE PROBETA						
NOMBRE COMUN: Tornillo						
FAMILIA: Fabaceae						
NOMBRE CIENTÍFICO: Cedrelinga Cateniformis Ducke						
ROTULADO DE PROBETA : CHT						
DATOS INICIALES DEL ENSAYO						
<p>Temperatura Inicial: 25 C° Prendido del horno: 12:45 pm del 14 de octubre del 2019 Colocación de probetas: 1:00 pm hasta la 1:00 pm del día 15 de octubre Tiempo Desecador: 1:30 Horas, desde la 1:00 hasta las 2:30 pm del día 15 de octubre</p>						
CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA						
$CH\% = \frac{m1 - m2}{m1} * 100$						
N° de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DEL SECADO		DESPUES DEL SECADO		CONTENIDO DE HUMEDAD CH (%)
		Masa de la tara (g)	Masa 1 muestra (g)	Masa tara + muestra (g)	Masa 2 muestra (g)	
1	T-01	20.6116	5.0002	25.2086	4.5970	8.0636
2	T-02	21.0492	5.0005	25.6436	4.5944	8.1211
3	T-03	18.8817	5.0000	23.4810	4.5993	8.0140
4	T-04	22.6710	5.0001	27.2705	4.5995	8.0118
5	T-05	20.8382	5.0003	25.4386	4.6004	7.9975
6	T-06	20.8198	5.0001	25.4296	4.6098	7.8058
7	T-07	22.5038	5.0001	27.1106	4.6068	7.8658
8	T-08	21.7204	5.0000	26.3273	4.6069	7.8620
OBSERVACIONES						



Universidad Católica
San Pablo

FORMATO DE ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117

LABORATORIO:

Ciencias Naturales

EVALUADOR: Kenneth Ayala

FECHA: 17/10/19

EVALUADOR: Verónica Pilco

DATOS DE PROBETA

NOMBRE COMUN: Capirona

FAMILIA: Rubiaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: Calycophyllum Spruceanum

ROTULADO DE PROBETA : CHC

DATOS INICIALES DEL ENSAYO

Temperatura Inicial: 25 C°

Prendido del horno: 8:15 pm del 17 de octubre del 2019

Colocación de probetas: 8:30 pm hasta la 8:30 pm del día 18 de octubre


Tiempo Desecador: 1:30 Horas, desde la 8:30 hasta las 10:00 pm del día 18 de octubre

CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA

$$CH\% = \frac{m1 - m2}{m1} * 100$$

N° de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DEL SECADO		DESPUES DEL SECADO		CONTENIDO DE HUMEDAD CH (%)
		Masa de la tara (g)	Masa 1 muestra (g)	Masa tara + muestra (g)	Masa 2 muestra (g)	
1	T-01	20.6106	5.0005	25.3556	4.7450	5.1094
2	T-02	21.0495	5.0004	25.7965	4.7470	5.0675
3	T-03	18.8820	5.0002	23.6370	4.7550	4.9038
4	T-04	22.6712	5.0005	27.4188	4.7476	5.0574
5	T-05	20.8386	5.0004	25.5905	4.7519	4.9696
6	T-06	20.8198	5.0005	25.5683	4.7485	5.0394
7	T-07	22.5050	5.0003	27.2565	4.7515	4.9757
8	T-08	21.7215	5.0005	26.4743	4.7528	4.9535

OBSERVACIONES



Universidad Católica
San Pablo

**FORMATO DE ENSAYO DE
CONTENIDO DE HUMEDAD**

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117	LABORATORIO: Ciencias Naturales
EVALUADOR: Kenneth Ayala	FECHA: 16/10/19
EVALUADOR: Verónica Pilco	

DATOS DE PROBETA

NOMBRE COMUN: Pashaco
FAMILIA: Fabaceae
NOMBRE CIENTÍFICO: Schizolobium Excelsum Vogel
ROTULADO DE PROBETA : CHP

DATOS INICIALES DEL ENSAYO

Temperatura Inicial: 25 C°
 Prendido del horno: 6:15 pm del 16 de octubre del 2019
 Colocación de probetas: 6:30 pm hasta las 6:30 pm del día 17 de octubre
 Tiempo Desecador: 1:30 Horas, desde las 6:30 hasta las 8:00 pm del día 17 de octubre

CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA

$$CH\% = \frac{m1 - m2}{m1} * 100$$

N° de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DEL SECADO		DESPUES DEL SECADO		CONTENIDO DE HUMEDAD CH (%)
		Masa de la tara (g)	Masa 1 muestra (g)	Masa tara + muestra (g)	Masa 2 muestra (g)	
1	T-01	20.6132	5.0000	25.4268	4.8136	3.7280
2	T-02	21.0785	5.0004	25.8528	4.7743	4.5216
3	T-03	18.8441	5.0000	23.6976	4.8535	2.9300
4	T-04	22.6702	5.0005	27.4870	4.8168	3.6736
5	T-05	20.8678	5.0003	25.6627	4.7949	4.1077
6	T-06	20.8539	5.0005	25.6438	4.7899	4.2115
7	T-07	22.5340	5.0002	27.3239	4.7899	4.2058
8	T-08	21.7556	5.0001	26.5371	4.7815	4.3719

OBSERVACIONES



Universidad Católica

San Pablo

FORMATO DE ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117

LABORATORIO:

Ciencias Naturales

EVALUADOR: Kenneth Ayala

FECHA: 15/10/19

EVALUADOR: Verónica Pilco

DATOS DE PROBETA

NOMBRE COMUN: Zapote

FAMILIA: Bombacaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: Matisia Cordata

ROTULADO DE PROBETA : CHZ

DATOS INICIALES DEL ENSAYO

Temperatura Inicial: 25 C°

Prendido del horno: 3:30 pm del 15 de octubre del 2019

Colocación de probetas: 3:45 pm hasta las 3:45 pm del día 16 de octubre

Tiempo Desecador: 1:30 Horas, desde las 3:45 hasta las 5:15 pm del día 16 de octubre


CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA

$$CH\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100$$

N° de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DEL SECADO		DESPUES DEL SECADO		CONTENIDO DE HUMEDAD CH (%)
		Masa de la tara (g)	Masa 1 muestra (g)	Masa tara + muestra (g)	Masa 2 muestra (g)	
1	T-01	20.6148	5.0002	25.3908	4.7760	4.4838
2	T-02	21.0483	5.0001	25.8258	4.7775	4.4519
3	T-03	18.8886	5.0002	23.6566	4.7680	4.6478
4	T-04	22.6692	5.0000	27.4488	4.7796	4.4080
5	T-05	20.8410	5.0000	25.6149	4.7739	4.5220
6	T-06	20.8180	5.0002	25.6209	4.8029	3.9458
7	T-07	22.5422	5.0002	27.3010	4.7588	4.8278
8	T-08	21.7287	5.0005	26.5102	4.7815	4.3796

OBSERVACIONES

Ensayos de laboratorio de la propiedad física Coeficiente de Absorción

 <p>Universidad Católica San Pablo</p>		<h2>FORMATO DE ENSAYO DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD</h2>							
INFORMACIÓN GENERAL									
PROYECTO: 117 EVALUADOR: Kenneth Ayala EVALUADOR: Verónica Pilco					LABORATORIO: Ciencias Naturales FECHA: /10/19				
DATOS DE PROBETA									
NOMBRE COMUN: Zapote FAMILIA: Bombacaceae NOMBRE CIENTÍFICO: Matisia Cordata ROTULADO DE PROBETA : ABS-Z									
DATOS INICIALES DEL ENSAYO									
Peso inicial: M1: 196.6638 M2: 194.5105 M3: 196.7148					Peso acondicionado: M1: 204.4723 M2: 202.5564 M3: 204.8063				
Nº de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	10:20	11:00	12:00	14:00	18:00	22:00	8:00	10:00
		PESO 1	PESO 2	PESO 3	PESO 4	PESO 5	PESO 6	PESO 7	PESO 8
1	M-1	208.74	210.61	212.10	214.56	217.84	220.00	223.10	224.70
2	M-2	205.08	207.39	208.85	210.81	213.71	217.26	219.70	220.30
3	M-3	207.85	209.37	210.66	212.78	215.56	215.67	220.80	221.20
OBSERVACIONES									



Universidad Católica
San Pablo

FORMATO DE ENSAYO DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117

EVALUADOR: Kenneth Ayala

EVALUADOR: Verónica Pilco

LABORATORIO:

Ciencias Naturales

FECHA: /10/19

DATOS DE PROBETA

NOMBRE COMUN: Tornillo

FAMILIA: Fabaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: Cedrelinga Cateniformis Ducke

ROTULADO DE PROBETA : ABS-T

DATOS INICIALES DEL ENSAYO

Peso inicial:

M1: 137.3845

M2: 140.6005

M3: 138.2670

Peso acondicionado:

M1: 139.5706


M2: 141.7792

M3: 138.6390

N° de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	9:20	10:30	11:30	13:30	17:30	21:30	8:00	9:30
		PESO 1	PESO 2	PESO 3	PESO 4	PESO 5	PESO 6	PESO 7	PESO 8
1	M-1	141.36	143.20	144.08	145.37	147.88	148.86	151.62	151.80
2	M-2	143.51	144.60	145.93	147.19	149.48	150.46	153.40	153.66
3	M-3	140.74	142.70	143.41	144.74	147.78	148.49	151.39	151.43

OBSERVACIONES

Ensayos de laboratorio de la propiedad física Estabilidad dimensional

 <p>Universidad Católica San Pablo</p>		<p>FORMATO DE ENSAYO DE ESTABILIDAD DIMENSIONAL</p>								
INFORMACIÓN GENERAL										
<p>PROYECTO: 117</p> <p>EVALUADOR: Kenneth Ayala</p> <p>EVALUADOR: Verónica Pilco</p>						<p>LABORATORIO: Ciencias Naturales</p> <p>FECHA: 14/10/19</p>				
DATOS DE PROBETA										
<p>NOMBRE COMUN: Tornillo</p> <p>FAMILIA: Fabaceae</p> <p>NOMBRE CIENTÍFICO: Cedrelinga Cateniformis Ducke</p> <p>ROTULADO DE PROBETA : CHT</p>										
DATOS INICIALES DEL ENSAYO										
ESTABILIDAD DIMENSIONAL: ESTADO SECO										
N° de ensayo	Código	RADIAL			TANGENCIAL			AXIAL		
1	T-01	24.49	24.48	24.43	24.60	24.68	24.65	100.70	100.71	100.68
2	T-02	23.89	23.90	23.92	24.39	24.29	24.30	99.75	99.80	99.71
3	T-03	23.86	23.92	23.90	24.07	24.08	24.05	94.01	99.01	99.06
4	T-04	24.28	24.26	24.24	24.28	24.26	24.28	100.14	100.17	100.14
5	T-05	23.73	23.76	23.77	23.82	23.80	23.86	99.34	99.41	99.43
6	T-06	23.96	23.99	23.96	24.03	24.07	24.06	99.30	99.28	99.26
7	T-07	24.03	24.08	24.06	24.35	24.38	24.37	98.46	98.38	98.36
OBSERVACIONES										



Universidad Católica
San Pablo

FORMATO DE ENSAYO DE ESTABILIDAD DIMENSIONAL

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117

LABORATORIO:

Ciencias Naturales

FECHA: 14/10/19

EVALUADOR: Kenneth Ayala

EVALUADOR: Verónica Pilco

DATOS DE PROBETA

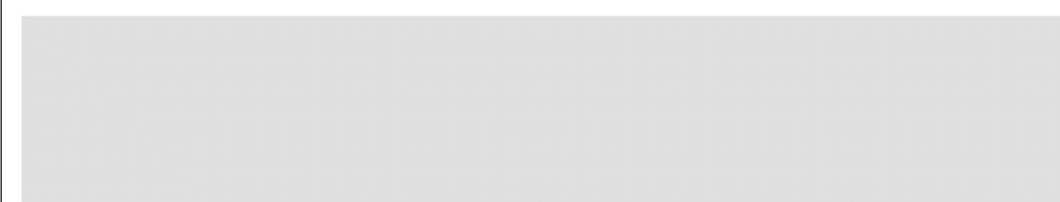
NOMBRE COMUN: Tornillo

FAMILIA: Fabaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: Cedrelinga Cateniformis Ducke

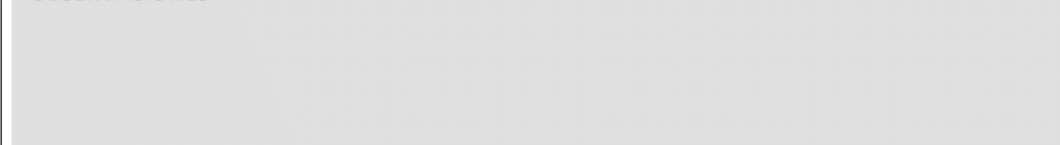
ROTULADO DE PROBETA : CHT

DATOS INICIALES DEL ENSAYO



N° de ensayo	Código	ESTABILIDAD DIMENSIONAL: ESTADO SATURADO								
		RADIAL			TANGENCIAL			AXIAL		
1	T-01	25.63	25.60	25.61	25.24	25.25	25.23	100.86	100.82	100.81
2	T-02	24.44	24.41	24.47	25.38	25.34	25.32	100.14	100.12	100.10
3	T-03	24.30	24.36	24.34	24.69	24.67	24.64	99.34	99.49	99.35
4	T-04	25.40	25.37	25.33	25.16	25.20	25.10	100.91	100.88	100.86
5	T-05	24.97	24.94	24.92	24.87	24.81	24.87	99.76	99.71	99.65
6	T-06	25.20	25.14	25.16	25.08	25.06	25.03	99.89	99.63	99.64
7	T-07	25.14	25.13	25.16	25.53	25.44	25.55	99.40	99.38	99.36

OBSERVACIONES





Universidad Católica
San Pablo

FORMATO DE ENSAYO DE ESTABILIDAD DIMENSIONAL

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117

EVALUADOR: Kenneth Ayala

EVALUADOR: Verónica Pilco

LABORATORIO:

Ciencias Naturales

FECHA: 14/10/19

DATOS DE PROBETA

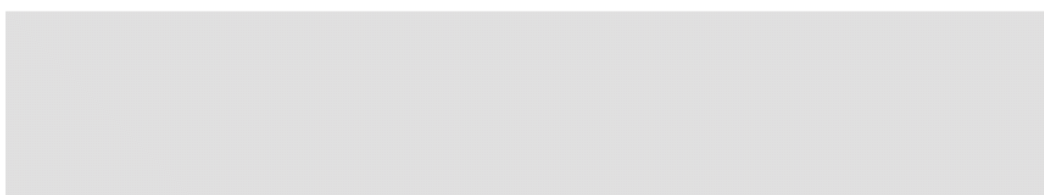
NOMBRE COMUN: Tornillo

FAMILIA: Fabaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: Cedrelinga Cateniformis Ducke

ROTULADO DE PROBETA : CHT

DATOS INICIALES DEL ENSAYO



N° de ensayo	Código	ESTABILIDAD DIMENSIONAL: ESTADO ANHIDRO								
		RADIAL			TANGENCIAL			AXIAL		
1	T-01	23.85	23.79	23.86	23.46	23.41	23.51	99.86	99.83	99.89
2	T-02	24.16	24.10	24.14	23.61	23.68	23.63	99.61	99.63	99.62
3	T-03	24.03	24.05	24.01	23.31	23.33	23.32	100.70	100.63	100.69
4	T-04	23.98	23.99	24.96	24.29	24.30	24.25	100.01	100.05	100.04
5	T-05	23.44	23.46	23.48	23.51	23.53	23.57	99.25	99.16	99.24
6	T-06	23.92	23.96	23.94	23.93	23.94	23.95	99.08	99.10	99.13
7	T-07	24.39	24.43	24.45	24.01	24.05	24.03	98.25	98.28	98.22

OBSERVACIONES





Universidad Católica
San Pablo

FORMATO DE ENSAYO DE ESTABILIDAD DIMENSIONAL

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117

LABORATORIO:

Ciencias Naturales

FECHA: 14/10/19

EVALUADOR: Kenneth Ayala

EVALUADOR: Verónica Pilco

DATOS DE PROBETA

NOMBRE COMUN: Zapote

FAMILIA: Bombacaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: Matisia Cordata


ROTULADO DE PROBETA : CHZ

DATOS INICIALES DEL ENSAYO

N° de ensayo	Código	ESTABILIDAD DIMENSIONAL: ESTADO SECO								
		RADIAL			TANGENCIAL			AXIAL		
1	T-01	24.82	24.85	24.89	24.94	24.97	24.99	100.22	100.26	100.28
2	T-02	24.44	24.43	24.47	25.42	25.49	25.47	99.51	99.49	99.47
3	T-03	25.75	25.73	25.69	24.78	24.75	24.72	100.12	100.16	100.10
4	T-04	25.31	25.24	25.32	25.17	25.15	25.13	100.74	100.79	100.80
5	T-05	25.15	25.17	25.14	25.31	24.30	25.34	100.13	100.17	100.10
6	T-06	25.15	25.14	25.17	25.30	25.34	25.30	99.69	99.75	99.77
7	T-07	25.05	25.02	25.03	25.25	25.24	25.24	100.46	100.47	100.49

OBSERVACIONES

Ensayos de laboratorio de la propiedad física Densidad Básica

		<p align="center">FORMATO DE ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA</p>				
INFORMACIÓN GENERAL						
PROYECTO: 117 EVALUADOR: Kenneth Ayala EVALUADOR: Verónica Pilco			LABORATORIO: Ciencias Naturales FECHA: /10/19			
DATOS DE PROBETA						
NOMBRE COMUN: Zapote FAMILIA: Bombacaceae NOMBRE CIENTÍFICO: Matisia Cordata ROTULADO DE PROBETA : DBZ						
DATOS INICIALES DEL ENSAYO						
N° de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR			
		Masa Inicial Seca	Masa 1 Saturado	Masa 2 Saturado	Masa 3 Saturado	Masa 4 Saturado
1	M-1	68.7546	101.6276	105.9342	106.8000	108.0003
2	M-2	68.9886	102.8242	106.4016	107.5452	108.6685
3	M-3	69.7617	104.1905	108.0789	109.0365	110.2430
4	M-4	69.2858	104.8668	109.2366	110.1230	111.0412
5	M-5	68.9258	101.5535	106.7125	107.8834	108.7481
6	M-6	68.2895	103.3715	106.2495	107.4143	108.3285
7	M-7	71.2405	107.7330	111.8647	112.6115	113.3433
8	M-8	68.4386	102.7773	106.4825	108.0004	108.8579
OBSERVACIONES						



FORMATO DE ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117

EVALUADOR: Kenneth Ayala

EVALUADOR: Verónica Pilco

LABORATORIO:

Ciencias Naturales

FECHA: /10/19

DATOS DE PROBETA

NOMBRE COMUN: Zapote

FAMILIA: Bombacaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: Matisia Cordata

ROTULADO DE PROBETA : DBZ

DATOS INICIALES DEL ENSAYO

N° de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR			
		Masa Inicial Seca	Masa 1 Saturado	Masa 2 Saturado	Masa 3 Saturado	Masa 4 Saturado
1	M-1	68.7546	109.5042	109.7663	110.3240	110.7964
2	M-2	68.9886	110.7160	111.1408	111.6050	112.0090
3	M-3	69.7617	112.1380	112.5351	113.0171	113.4209
4	M-4	69.2858	112.6100	112.8270	113.2792	113.6870
5	M-5	68.9258	110.1212	110.3959	110.8917	111.1781
6	M-6	68.2895	110.0335	110.3044	110.7781	111.3021
7	M-7	71.2405	114.8098	114.6990	115.1460	115.4708
8	M-8	68.4386	110.2341	110.4243	110.8490	111.1607

OBSERVACIONES



Universidad Católica
San Pablo

FORMATO DE ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117

EVALUADOR: Kenneth Ayala

EVALUADOR: Verónica Pilco

LABORATORIO:

Ciencias Naturales

FECHA: /10/19

DATOS DE PROBETA

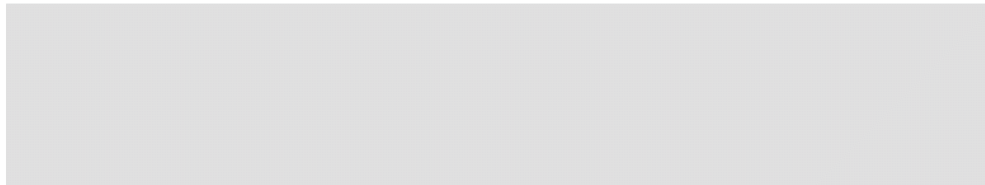
NOMBRE COMUN: Zapote

FAMILIA: Bombacaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: Matisia Cordata

ROTULADO DE PROBETA : DBZ

DATOS INICIALES DEL ENSAYO



N° de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR			
		Masa Inicial Seca	Masa 1 Saturado	Masa 2 Saturado	Masa 3 Saturado	Masa 4 Saturado
1	M-1	68.7546	112.0302	112.7762	113.1615	113.2901
2	M-2	68.9886	113.5252	113.8272	114.6331	115.0525
3	M-3	69.7617	114.7458	115.1378	115.8405	116.2190
4	M-4	69.2858	114.5935	114.8771	115.4812	115.8296
5	M-5	68.9258	112.4870	112.7514	113.3141	113.6476
6	M-6	68.2895	112.5117	112.7989	113.7211	114.0831
7	M-7	71.2405	116.1517	116.4519	116.8346	116.8636
8	M-8	68.4386	112.2767	112.6442	113.2185	113.5224

OBSERVACIONES





Universidad Católica
San Pablo

FORMATO DE ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117

EVALUADOR: Kenneth Ayala

EVALUADOR: Verónica Pilco

LABORATORIO:

Ciencias Naturales

FECHA: /10/19

DATOS DE PROBETA

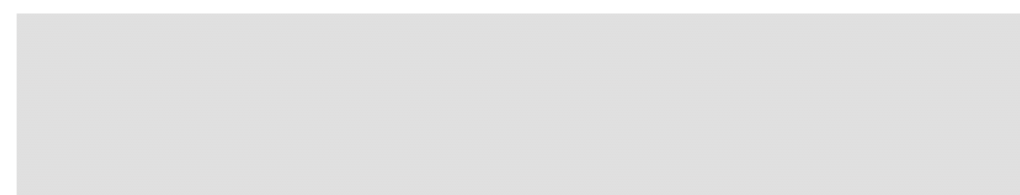
NOMBRE COMUN: Zapote

FAMILIA: Bombacaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: Matisia Cordata

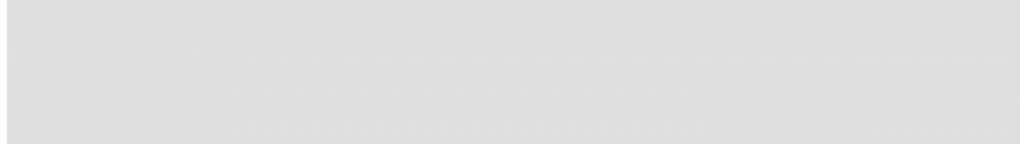
ROTULADO DE PROBETA : DBZ

DATOS INICIALES DEL ENSAYO



Nº de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR			
		Masa Inicial Seca	Masa 1 Saturado	Masa 2 Saturado	Masa 3 Saturado	Masa 4 Saturado
1	M-1	68.7546	113.5368	114.0986	114.1510	114.2772
2	M-2	68.9886	115.5909	116.1192	116.4296	116.5090
3	M-3	69.7617	116.4923	117.1274	117.3177	117.4072
4	M-4	69.2858	116.1546	116.5734	116.6985	116.7241
5	M-5	68.9258	114.0810	114.5279	114.6602	114.7627
6	M-6	68.2895	114.5984	115.0954	115.2649	115.3982
7	M-7	71.2405	117.2009	117.2986	117.1911	117.3005
8	M-8	68.4386	113.9048	114.2763	114.3673	114.4852

OBSERVACIONES





Universidad Católica
San Pablo

FORMATO DE ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117

EVALUADOR: Kenneth Ayala

EVALUADOR: Verónica Pilco

LABORATORIO:

Ciencias Naturales

FECHA: /10/19

DATOS DE PROBETA

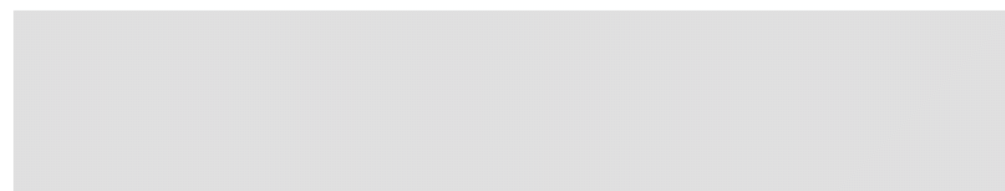
NOMBRE COMUN: Tornillo

FAMILIA: Fabaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: Cedrelinga Cateniformis Ducke

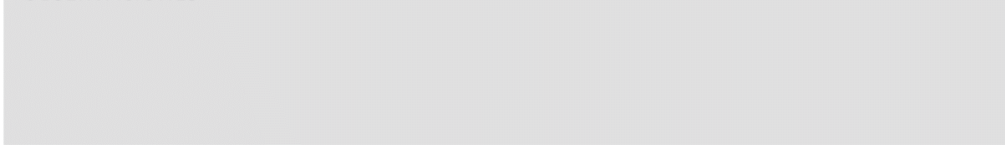
ROTULADO DE PROBETA : DBT

DATOS INICIALES DEL ENSAYO



N° de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR			
		Masa Inicial Seca	Masa 1 Saturado	Masa 2 Saturado	Masa 3 Saturado	Masa 4 Saturado
1	M-1	56.9304	74.0683	75.0143	76.2105	78.9103
2	M-2	51.2575	67.9940	68.9594	70.1150	72.9591
3	M-3	51.8163	68.9827	70.1120	71.2235	74.2618
4	M-4	50.9003	67.4918	68.4514	69.4670	71.9021
5	M-5	49.1423	64.9012	66.2461	67.1070	69.8517
6	M-6	52.0904	68.5967	69.7510	70.6435	73.3441
7	M-7	50.9970	68.2098	69.0615	70.1305	72.7816
8	M-8	48.2105	64.2098	65.2252	66.1419	68.5955

OBSERVACIONES





Universidad Católica
San Pablo

FORMATO DE ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117

EVALUADOR: Kenneth Ayala

EVALUADOR: Verónica Pilco

LABORATORIO:

Ciencias Naturales

FECHA: /10/19

DATOS DE PROBETA

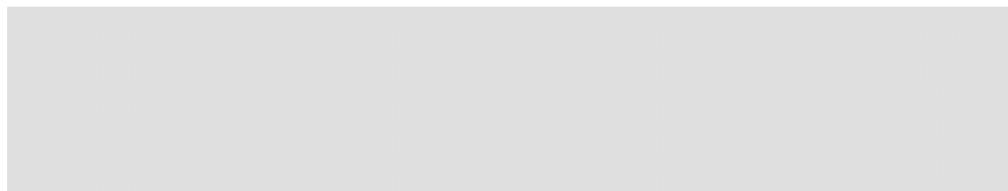
NOMBRE COMUN: Tornillo

FAMILIA: Fabaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: Cedrelinga Cateniformis Ducke

ROTULADO DE PROBETA : DBT

DATOS INICIALES DEL ENSAYO



N° de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR			
		Masa Inicial Seca	Masa 1 Saturado	Masa 2 Saturado	Masa 3 Saturado	Masa 4 Saturado
1	M-1	56.9304	78.9103	79.3959	79.9832	80.4820
2	M-2	51.2575	72.9591	73.5056	74.2130	74.7585
3	M-3	51.8163	74.2618	74.8034	75.4877	76.0105
4	M-4	50.9003	71.9021	72.3152	72.9575	73.4052
5	M-5	49.1423	69.8517	70.4140	71.1356	71.5639
6	M-6	52.0904	73.3441	73.8064	74.5490	75.0512
7	M-7	50.9970	72.7816	73.3725	73.9852	74.5501
8	M-8	48.2105	68.5955	69.0873	69.7962	70.1424

OBSERVACIONES





Universidad Católica
San Pablo

FORMATO DE ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117

EVALUADOR: Kenneth Ayala

EVALUADOR: Verónica Pilco

LABORATORIO:

Ciencias Naturales

FECHA: /10/19

DATOS DE PROBETA

NOMBRE COMUN: Tornillo

FAMILIA: Fabaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: Cedrelinga Cateniformis Ducke

ROTULADO DE PROBETA : DBT

DATOS INICIALES DEL ENSAYO

N° de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR			
		Masa Inicial Seca	Masa 1 Saturado	Masa 2 Saturado	Masa 3 Saturado	Masa 4 Saturado
1	M-1	56.9304	82.4380	82.7914	83.1255	83.5306
2	M-2	51.2575	76.9673	77.3769	77.8500	78.2699
3	M-3	51.8163	78.0423	78.4943	78.8525	79.2610
4	M-4	50.9003	75.4008	75.9333	76.2901	76.6795
5	M-5	49.1423	73.7556	74.1607	74.6551	75.0240
6	M-6	52.0904	77.3045	77.7443	78.1909	78.5875
7	M-7	50.9970	76.5330	76.9407	77.3551	77.6968
8	M-8	48.2105	72.5009	72.9447	73.3371	73.7163

OBSERVACIONES



Universidad Católica
San Pablo

FORMATO DE ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: 117

LABORATORIO:

Ciencias Naturales

EVALUADOR: Kenneth Ayala

FECHA: /10/19

EVALUADOR: Verónica Pilco

DATOS DE PROBETA

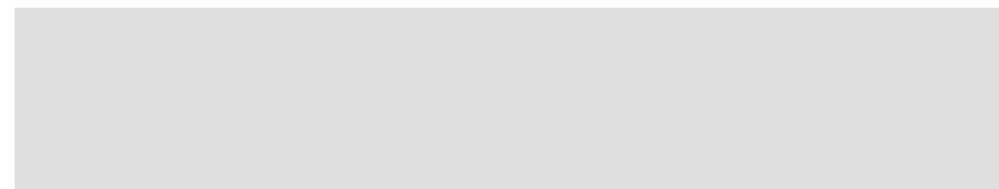
NOMBRE COMUN: Tornillo

FAMILIA: Fabaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: Cedrelinga Cateniformis Ducke

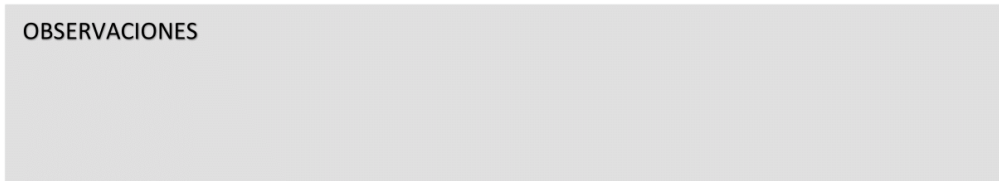
ROTULADO DE PROBETA : DBT

DATOS INICIALES DEL ENSAYO



Nº de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR			
		Masa Inicial Seca	Masa 1 Saturado	Masa 2 Saturado	Masa 3 Saturado	Masa 4 Saturado
1	M-1	56.9304	88.9863	89.2041	89.4534	89.6153
2	M-2	51.2575	84.1543	84.3167	84.5625	84.7293
3	M-3	51.8163	84.7792	84.9299	85.0873	85.3230
4	M-4	50.9003	82.9405	83.1881	83.3216	83.5990
5	M-5	49.1423	80.9173	81.1659	81.2542	81.5718
6	M-6	52.0904	84.8601	85.1162	85.4624	85.5301
7	M-7	50.9970	83.3625	83.5187	83.6752	83.9144
8	M-8	48.2105	79.7949	79.9381	80.1252	80.3119

OBSERVACIONES



 <p>Universidad Católica San Pablo</p>	<h2>FORMATO DE ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA</h2>																																																																								
	INFORMACIÓN GENERAL																																																																								
PROYECTO: 117			LABORATORIO: Ciencias Naturales																																																																						
EVALUADOR: Kenneth Ayala			FECHA: /10/19																																																																						
EVALUADOR: Verónica Pilco																																																																									
DATOS DE PROBETA																																																																									
NOMBRE COMUN: Zapote FAMILIA: Bombacaceae NOMBRE CIENTÍFICO: Matisia Cordata ROTULADO DE PROBETA : DBZ																																																																									
DATOS INICIALES DEL ENSAYO																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Nº de ensayo</th> <th rowspan="2">ROTULADO DE MUESTRA</th> <th>ANTES DE SECAR</th> <th colspan="4">DESPUES DE SECAR</th> </tr> <tr> <th>Masa Inicial Seca</th> <th>Masa 1 Anhidra</th> <th>Masa 2 Anhidra</th> <th>Masa 3 Anhidra</th> <th>Masa 4 Anhidra</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>M-1</td><td>68.7546</td><td>62.4483</td><td>62.4432</td><td>62.2626</td><td>62.2213</td></tr> <tr><td>2</td><td>M-2</td><td>68.9886</td><td>63.1246</td><td>63.1106</td><td>62.8830</td><td>62.8434</td></tr> <tr><td>3</td><td>M-3</td><td>69.7617</td><td>63.6640</td><td>63.6393</td><td>63.4175</td><td>63.3732</td></tr> <tr><td>4</td><td>M-4</td><td>69.2858</td><td>63.2766</td><td>63.6367</td><td>63.0778</td><td>63.0386</td></tr> <tr><td>5</td><td>M-5</td><td>68.9258</td><td>62.3127</td><td>62.3180</td><td>62.1232</td><td>62.0718</td></tr> <tr><td>6</td><td>M-6</td><td>68.2895</td><td>62.1858</td><td>62.1854</td><td>61.9889</td><td>61.9284</td></tr> <tr><td>7</td><td>M-7</td><td>71.2405</td><td>64.4130</td><td>64.4180</td><td>64.2525</td><td>64.2111</td></tr> <tr><td>8</td><td>M-8</td><td>68.4386</td><td>62.1801</td><td>62.1830</td><td>61.9966</td><td>61.9544</td></tr> </tbody> </table>						Nº de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DE SECAR	DESPUES DE SECAR				Masa Inicial Seca	Masa 1 Anhidra	Masa 2 Anhidra	Masa 3 Anhidra	Masa 4 Anhidra	1	M-1	68.7546	62.4483	62.4432	62.2626	62.2213	2	M-2	68.9886	63.1246	63.1106	62.8830	62.8434	3	M-3	69.7617	63.6640	63.6393	63.4175	63.3732	4	M-4	69.2858	63.2766	63.6367	63.0778	63.0386	5	M-5	68.9258	62.3127	62.3180	62.1232	62.0718	6	M-6	68.2895	62.1858	62.1854	61.9889	61.9284	7	M-7	71.2405	64.4130	64.4180	64.2525	64.2111	8	M-8	68.4386	62.1801	62.1830	61.9966	61.9544
Nº de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DE SECAR	DESPUES DE SECAR																																																																						
		Masa Inicial Seca	Masa 1 Anhidra	Masa 2 Anhidra	Masa 3 Anhidra	Masa 4 Anhidra																																																																			
1	M-1	68.7546	62.4483	62.4432	62.2626	62.2213																																																																			
2	M-2	68.9886	63.1246	63.1106	62.8830	62.8434																																																																			
3	M-3	69.7617	63.6640	63.6393	63.4175	63.3732																																																																			
4	M-4	69.2858	63.2766	63.6367	63.0778	63.0386																																																																			
5	M-5	68.9258	62.3127	62.3180	62.1232	62.0718																																																																			
6	M-6	68.2895	62.1858	62.1854	61.9889	61.9284																																																																			
7	M-7	71.2405	64.4130	64.4180	64.2525	64.2111																																																																			
8	M-8	68.4386	62.1801	62.1830	61.9966	61.9544																																																																			
OBSERVACIONES																																																																									

 <p>Universidad Católica San Pablo</p>	<h2>FORMATO DE ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA</h2>																																																																									
	INFORMACIÓN GENERAL																																																																									
PROYECTO: 117			LABORATORIO: Ciencias Naturales																																																																							
EVALUADOR: Kenneth Ayala			FECHA: /10/19																																																																							
EVALUADOR: Verónica Pilco																																																																										
DATOS DE PROBETA																																																																										
NOMBRE COMUN: Tornillo FAMILIA: Fabaceae NOMBRE CIENTÍFICO: Cedrelinga Cateniformis Ducke ROTULADO DE PROBETA : DBT																																																																										
DATOS INICIALES DEL ENSAYO																																																																										
[Empty space for initial data]																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Nº de ensayo</th> <th rowspan="2">ROTULADO DE MUESTRA</th> <th>ANTES DE SECAR</th> <th colspan="4">DESPUES DE SECAR</th> </tr> <tr> <th>Masa Inicial Seca</th> <th>Masa 1 Anhidra</th> <th>Masa 2 Anhidra</th> <th>Masa 3 Anhidra</th> <th>Masa 4 Anhidra</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>M-1</td><td>56.9304</td><td>59.3552</td><td>59.3598</td><td>59.3654</td><td>59.2993</td></tr> <tr><td>2</td><td>M-2</td><td>51.2575</td><td>58.4586</td><td>58.4634</td><td>58.5610</td><td>58.4751</td></tr> <tr><td>3</td><td>M-3</td><td>51.8163</td><td>57.3200</td><td>57.3244</td><td>57.3333</td><td>57.2704</td></tr> <tr><td>4</td><td>M-4</td><td>50.9003</td><td>59.2225</td><td>59.2341</td><td>59.2848</td><td>59.2100</td></tr> <tr><td>5</td><td>M-5</td><td>49.1423</td><td>56.3131</td><td>56.3215</td><td>56.3394</td><td>56.2722</td></tr> <tr><td>6</td><td>M-6</td><td>52.0904</td><td>58.5401</td><td>58.5522</td><td>58.6289</td><td>58.5479</td></tr> <tr><td>7</td><td>M-7</td><td>50.9970</td><td>57.5000</td><td>57.4951</td><td>57.4895</td><td>57.4262</td></tr> <tr><td>8</td><td>M-8</td><td>48.2105</td><td>57.9757</td><td>57.9802</td><td>57.9929</td><td>57.9265</td></tr> </tbody> </table>							Nº de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DE SECAR	DESPUES DE SECAR				Masa Inicial Seca	Masa 1 Anhidra	Masa 2 Anhidra	Masa 3 Anhidra	Masa 4 Anhidra	1	M-1	56.9304	59.3552	59.3598	59.3654	59.2993	2	M-2	51.2575	58.4586	58.4634	58.5610	58.4751	3	M-3	51.8163	57.3200	57.3244	57.3333	57.2704	4	M-4	50.9003	59.2225	59.2341	59.2848	59.2100	5	M-5	49.1423	56.3131	56.3215	56.3394	56.2722	6	M-6	52.0904	58.5401	58.5522	58.6289	58.5479	7	M-7	50.9970	57.5000	57.4951	57.4895	57.4262	8	M-8	48.2105	57.9757	57.9802	57.9929	57.9265
Nº de ensayo	ROTULADO DE MUESTRA	ANTES DE SECAR	DESPUES DE SECAR																																																																							
		Masa Inicial Seca	Masa 1 Anhidra	Masa 2 Anhidra	Masa 3 Anhidra	Masa 4 Anhidra																																																																				
1	M-1	56.9304	59.3552	59.3598	59.3654	59.2993																																																																				
2	M-2	51.2575	58.4586	58.4634	58.5610	58.4751																																																																				
3	M-3	51.8163	57.3200	57.3244	57.3333	57.2704																																																																				
4	M-4	50.9003	59.2225	59.2341	59.2848	59.2100																																																																				
5	M-5	49.1423	56.3131	56.3215	56.3394	56.2722																																																																				
6	M-6	52.0904	58.5401	58.5522	58.6289	58.5479																																																																				
7	M-7	50.9970	57.5000	57.4951	57.4895	57.4262																																																																				
8	M-8	48.2105	57.9757	57.9802	57.9929	57.9265																																																																				
OBSERVACIONES																																																																										

Registro fotográfico





Ilustración 1 Ubicación de las muestras en la estufa



Ilustración 2 Muestra de las especias pasadas por tamiz 40



Ilustración 3 Pesaje de la muestra en la balanza de precisión



Ilustración 4 Pesado de la muestra



Ilustración 5 Pesaje del tamiz #40 de la especie Tornillo



Ilustración 6 Comparación de diferentes tamices en la especie Zapote

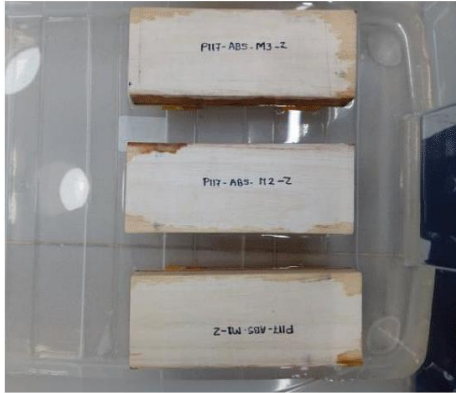


Ilustración 1: Probetas de zapote sometidas al ensayo de absorción en agua.



Ilustración 2: Probetas de tornillo sometidas al ensayo de absorción en agua.

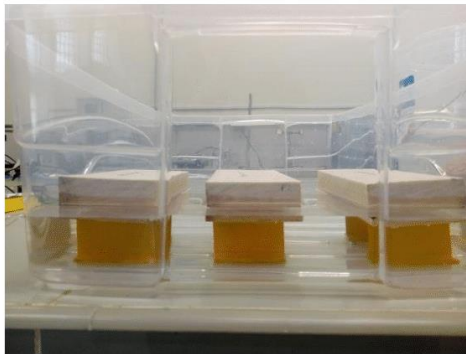


Ilustración 3: Probetas de zapote en el recipiente de plástico, una cara está sumergida 5 cm en el agua

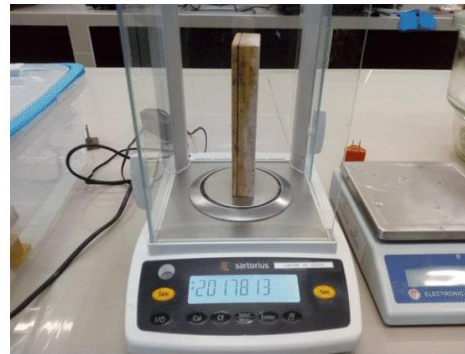


Ilustración 4: Pesado de la probeta para determinar los puntos de absorción de agua líquida

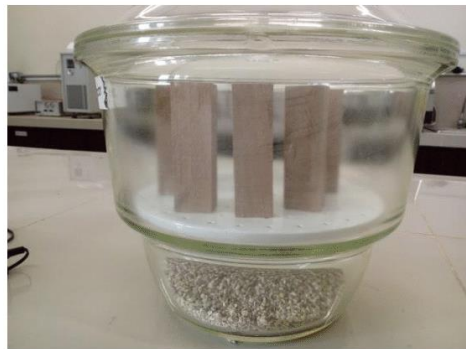


Ilustración 5: Probetas de tornillo en un desecador para conservar su estado anhidro, antes de someter a una prueba de absorción con humedad relativa

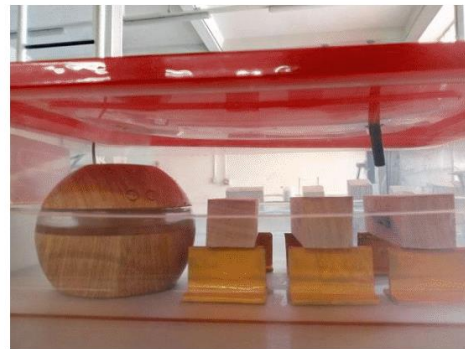


Ilustración 6: Prueba de absorción en humedad relativa (80%). En la imagen se ve un humidificador, tres probetas y un sensor de humedad y temperatura



Ilustración 1: Probetas sometidas a la prueba de densidad. Ocho probetas por especie



Ilustración 2: Probetas de zapote en estado de saturación



Ilustración 3: Probetas de zapote después de finalizar la saturación (1 mes)



Ilustración 4: Probetas de zapote en la estufa para la obtención de la masa anhidra.

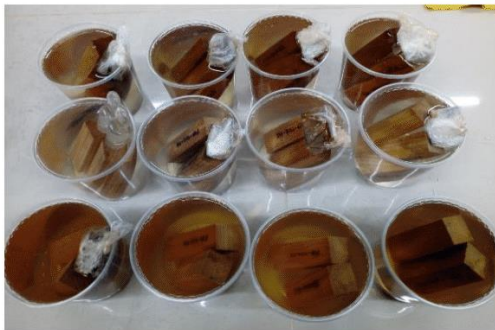


Ilustración 5: Probetas de Tornillo, Capirona y Pashaco en estado de saturación

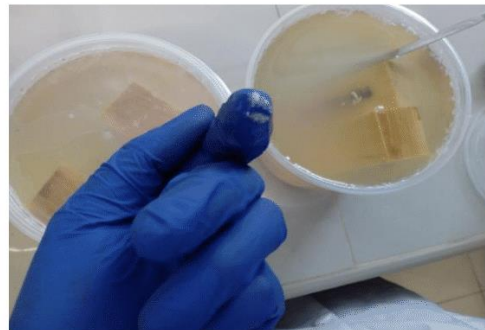


Ilustración 6: Extractivos de las probetas de zapote, después de la saturación