

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Carrera de Ingeniería Mecánica en Energía y Control

Caracterización Térmica y Mecánica de Materiales de Construcción Tipo Madera de Arenillo,

Laurel y Seique para Estructuras.

Pablo M. Chico Cañar

Nota de Autor

Pablo M. Chico Cañar, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Internacional SEK.

Director Javier Martínez.

Cualquier correspondencia respecto al presente trabajo puede dirigirse a:

pablochicoc@hotmail.com.

Declaración juramentada

Yo, PABLO MIGUEL CHICO CAÑAR, con cédula de identidad 171671201-1, declaro bajo juramento que el presente trabajo desarrollado es de mi autoría, que no se ha presentado previamente para ninguna tesis de grado o calificación profesional; y, que se ha investigado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Pablo M. Chico Cañar

CI: 1716712011

Índice de Contenidos

Declaración juramentada.....	2
Dedicatoria	13
Agradecimientos.....	14
Resumen	15
Abstract	17
CAPÍTULO I.....	18
Introducción	18
Antecedentes.....	18
Propiedades físicas	22
Propiedades mecánicas	23
Descripción y usos de las estructuras de madera en la construcción de edificaciones.....	24
Estructuras principales.....	24
Estructuras auxiliares.....	25
Planteamiento del problema	26
Objetivos.....	27
Hipótesis	27
Justificación.....	27
CAPÍTULO II	30
Estado del Arte	30
Método	34
<i>Compresión paralela a la madera</i>	37
<i>Compresión perpendicular a la madera</i>	40
<i>Tracción paralela a la madera</i>	43
<i>Tracción perpendicular a la madera</i>	44

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y MECÁNICA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TIPO MADERA DE ARENILLO, LAUREL Y SEIQUE PARA ESTRUCTURAS

	4
<i>Flexión de la madera</i>	47
<i>Módulo de Elasticidad</i>	48
<i>Contenido de Humedad</i>	50
<i>Hinchamiento Volumétrico</i>	51
<i>Conductividad Térmica</i>	57
Simulación con Sistema ANSYS R19.0	62
Reporte de simulación numérica por computadora: Simulación de radiación	62
.- <i>Modelo de resultados</i>	77
Simulación con Sistema ANSYS R19.0 para caracterización de conductividad térmica de las maderas en estudio	81
CAPÍTULO III	85
Resultados	85
Compresión Paralela a la Fibra	85
.- Arenillo	85
.- Laurel	86
.- Seique	87
Compresión Perpendicular a la Fibra	89
.- Arenillo	90
.- Laurel	91
.- Seique	92
Tracción Paralela a la Fibra	94
.- Laurel	95
.- Seique	96
Tracción Perpendicular a la Fibra	98
.- Arenillo	98

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y MECÁNICA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TIPO MADERA DE ARENILLO, LAUREL Y SEIQUE PARA ESTRUCTURAS

	5
.- Laurel	99
.- Seique.....	100
Flexión de la Madera.....	102
.- Arenillo	102
.- Laurel	103
.- Seique.....	105
Absorción de humedad de la madera del árbol Arenillo.....	106
Absorción de humedad de la madera del árbol Laurel.....	109
Absorción de humedad de la madera del árbol Seique	111
Contenido de Humedad madera árbol Arenillo	114
Contenido de Humedad madera árbol Laurel	115
Contenido de Humedad madera árbol Seique.....	117
Hinchamiento Volumétrico	118
Conductividad Térmica.....	119
Reporte de simulación estudio de radiación en casa.....	140
CAPÍTULO IV	153
Análisis y Discusión de Resultados	153
Conclusiones	158
Recomendaciones.....	160
Referencias	161

Índice de Tablas

Tabla 1. Dimensiones de las probetas de madera para compresión paralela	42
Tabla 2. Dimensiones de las probetas de madera para compresión perpendicular	42
Tabla 3. Dimensiones de las probetas de madera para tracción perpendicular	46
Tabla 4. Dimensiones de las probetas de madera para tracción paralela	47
Tabla 5. Dimensiones de las probetas de madera para la flexión	49
Tabla 6. Dimensiones de las probetas de madera para Medición de Hinchamiento Volumétrico.	54
Tabla 7. Dimensiones de las probetas de madera para Medición de Absorción de Humedad	55
Tabla 8. Peso obtenido de las probetas de madera de Arenillo, para establecer Contenido de Humedad después de cada ensayo mecánico	56
Tabla 9. Peso obtenido de las probetas de la madera de Laurel para establecer Contenido de Humedad después de cada ensayo mecánico	56
Tabla 10. Peso obtenido de las probetas de la madera de Seique para establecer Contenido de Humedad después de cada ensayo mecánico.	57
Tabla 11. Medidas de los especímenes de maderas Arenillo, Laurel y Seique, para el ensayo de conductividad térmica	61
Tabla 12. Resultado del ensayo de compresión paralela a la fibra del Arenillo	86
Tabla 13. Resultado del ensayo de compresión paralela a la fibra del Laurel	87
Tabla 14 Resultado del ensayo de compresión paralela a la fibra del Seique.....	88
Tabla 15. Resultados de ensayos de compresión perpendicular a la fibra de la madera del Arenillo	91
Tabla 16. Resultados de ensayos de compresión perpendicular a la fibra de la madera del Laurel	92
Tabla 17. Resultados de ensayos de compresión perpendicular a la fibra de la madera del Seique	93
Tabla 18. Resultados del ensayo de tracción paralela a la fibra de la madera Arenillo	95
Tabla 19. Resultados del ensayo de tracción paralela a la fibra de la madera de Laurel	96
Tabla 20. Resultados del ensayo de tracción paralela a la fibra de la madera de Seique.....	97
Tabla 21. Resultados del ensayo de tracción perpendicular a la fibra de la madera de Arenillo...	99
Tabla 22. Resultados del ensayo de tracción paralela a la fibra de la madera de Laurel	100
Tabla 23. Resultados del ensayo de tracción paralela a la fibra de la madera de Seique.....	101
Tabla 24. Resultados del ensayo de flexión del Arenillo.....	102

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y MECÁNICA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TIPO MADERA DE ARENILLO, LAUREL Y SEIQUE PARA ESTRUCTURAS

7

Tabla 25. Resultados del ensayo de flexión del Laurel.....	104
Tabla 26. Resultados del ensayo de flexión del Seique	105
Tabla 27. Ganancia de peso de la madera del árbol Arenillo.....	107
Tabla 28. Estadísticos descriptivos de Absorción de Humedad Arenillo	107
Tabla 29. Ganancia de peso de la madera del árbol Laurel.....	109
Tabla 30. Estadísticos descriptivos de Absorción de Humedad Laurel	110
Tabla 31. Ganancia de peso de la madera del árbol Seique	112
Tabla 32. Estadísticos descriptivos de Absorción de Humedad Seique.....	112
Tabla 33. Contenido de Humedad de las probetas de madera de Arenillo, para los ensayos realizados.....	115
Tabla 34. Contenido de Humedad de las probetas de la madera de Laurel para los ensayos realizados.....	116
Tabla 35. Contenido de Humedad de las probetas de la madera de Seique para los ensayos realizados.....	117
Tabla 36. Hinchamiento volumétrico Transversal de las maderas.....	118
Tabla 37. Hinchamiento Volumétrico Radial de las maderas	118
Tabla 38. Estadísticos descriptivos de las maderas árbol Arenillo, Laurel, Seique	118
Tabla 39. Conductividad térmica madera árbol Arenillo.....	120
Tabla 40. Conductividad térmica madera árbol Laurel.....	121
Tabla 41. Conductividad térmica madera árbol Seique	122
Tabla 42. Transferencia de calor en casa de madera Arenillo, corte 1	128
Tabla 43. Transferencia de calor en casa de madera Arenillo, corte 2	128
Tabla 44. Transferencia de calor en casa de madera Arenillo, corte3	129
Tabla 45. Transferencia de calor en casa de madera Arenillo, corte 4	129
Tabla 46. Transferencia de calor en casa de madera de Seique, corte 1	133
Tabla 47. Transferencia de calor en casa de madera de Seique, corte 2	133
Tabla 48. Transferencia de calor en casa de madera de Seique, corte 3	134
Tabla 49. Transferencia de calor en casa de madera de Seique, corte 4	134
Tabla 50. Transferencia de calor en casa de madera de Laurel, corte 1.....	138
Tabla 51. Transferencia de calor en casa de madera de Laurel, corte 2.....	138
Tabla 52. Transferencia de calor en casa de madera de Laurel, corte 3.....	139

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y MECÁNICA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
TIPO MADERA DE ARENILLO, LAUREL Y SEIQUE PARA ESTRUCTURAS

Tabla 53. Transferencia de calor en casa de madera de Laurel, corte 4.....139

Índice de Figuras

Figura 1. Aserraderos ubicados en la Vía a El Tingo y Vía Amaguaña	36
Figura 2. Máquina de ensayos universal de la UISEK.....	37
Figura 3. Procedimiento de compresión paralela a la fibra de la madera	38
Figura 4. Compresión paralela a la fibra de la madera.....	39
Figura 5. <i>Compresión perpendicular a la fibra de la madera</i>	40
Figura 6. Tracción paralela a la fibra de la madera.....	44
Figura 7. Madera sumergidas en agua.....	52
Figura 8. Medición de la distancia entre clavos	52
Figura 9. Secado en horno para ensayos de Hinchamiento Volumétrico.....	53
Figura 10. Máquina de ensayos térmicos de la ESPOL	59
Figura 11. Volumen de control de casa con simulación de aire circundante	63
Figura 12. Sólido de casa para operaciones booleanas	63
Figura 13. Opciones de parámetros para operaciones booleanas.....	64
Figura 14. Conexiones de contacto	64
Figura 15. Cuerpo de contacto	64
Figura 16. Objetivo de contacto	65
Figura 17. Parámetros de mallado.....	65
Figura 18. Valor de C.....	66
Figura 19. Resultado de la calidad del elemento.....	66
Figura 20. Valores de los parámetros de oblicuidad	67
Figura 21. Distribución de los valores	68
Figura 22. Objeto con mallado.....	68
Figura 23. Modelo viscoso	69
Figura 24. Selección del material.....	70
Figura 25. Celdas de fluido	71
Figura 26. Parámetros usados en la simulación	71
Figura 27. Calculadora solar	72

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y MECÁNICA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TIPO MADERA DE ARENILLO, LAUREL Y SEIQUE PARA ESTRUCTURAS

	10
Figura 28. Irradiación solar en Ecuador	72
Figura 29. Dirección de la radiación	73
Figura 30. Condiciones de borde.....	75
Figura 31. Condiciones térmicas.....	75
Figura 32. Método Coupled	76
Figura 33. Residuales	76
Figura 34. Residuales obtenidos.....	77
Figura 35. Plano con temperaturas	77
Figura 36. Perfil de temperatura.....	78
Figura 37. Modelo de gráfica de temperatura pared izquierda	78
Figura 38. Modelo de gráfica de temperatura pared derecha	79
Figura 39. Plano de temperatura	79
Figura 40. Perfil de temperatura.....	80
Figura 41. Perfil de temperatura pared izquierda.....	80
Figura 42. Modelo de gráfica de temperatura pared izquierda	81
Figura 43. Modelo de gráfica de temperatura pared derecha	81
Figura 44. Gráfica Carga vs Resistencia a la Compresión paralela a la fibra de Arenillo	85
Figura 45. Gráfica Carga vs Resistencia a la Compresión paralela a la fibra de Laurel.....	86
Figura 46. Gráfica Carga vs Resistencia a la Compresión paralela a la fibra de Seique	88
Figura 47. . Grafica comparativa de las diferentes especies de madera respecto a la resistencia a la compresión paralela.....	89
Figura 48. Gráfica Carga vs Resistencia a la Compresión perpendicular a la fibra de Arenillo....	90
Figura 49. Gráfica Carga vs Resistencia a la Compresión perpendicular a la fibra de Laurel	91
Figura 50. Gráfica Carga vs Resistencia a la Compresión perpendicular a la fibra de Seique	92
Figura 51. Gráfica comparativa de las diferentes especies de madera respecto a la resistencia a la compresión perpendicular	94
Figura 52. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción paralela a la fibra de Arenillo	94
Figura 53. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción paralela a la fibra de Laurel.....	95
Figura 54. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción paralela a la fibra de Seique	96
Figura 55. Gráfica comparativa de las diferentes especies de madera respecto a la resistencia a la tracción paralela a la fibra	97

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y MECÁNICA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TIPO MADERA DE ARENILLO, LAUREL Y SEIQUE PARA ESTRUCTURAS

11

Figura 56. Gráfica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción perpendicular a la fibra de Arenillo	98
Figura 57. . Gráfica Carga vs Esfuerzo del ensayo de tracción perpendicular a la fibra de Laurel	99
Figura 58. Gráfica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción perpendicular a la fibra de Seique	100
Figura 59. Gráfica comparativa de las diferentes especies de madera respecto a la resistencia a la tracción perpendicular a la fibra.....	101
Figura 60. Gráfica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de flexión del Arenillo.....	102
Figura 61. Gráfica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de flexión del Laurel	103
Figura 62. Gráfica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de flexión del Seike	105
Figura 63. Gráfica comparativa de resistencia a flexión en madera de diferentes especies.....	106
Figura 64. Gráfica de Aumento de peso por tiempo	108
Figura 65. Absorción de Humedad madera árbol Arenillo	108
Figura 66. Gráfica de Ganancia de peso por tiempo	110
Figura 67. Absorción de Humedad madera árbol Laurel	111
Figura 68. Gráfica de Ganancia de peso por tiempo	113
Figura 69. Gráfica de Absorción de Humedad madera árbol Seique.....	113
Figura 70. Absorción de Humedad todas las maderas	114
Figura 71. Contenido de Humedad Arenillo durante todos los ensayos	115
Figura 72. Contenido de Humedad Laurel durante todos los ensayos	116
Figura 73. Contenido de Humedad Seique durante todos los ensayos.....	117
Figura 74. Hinchamiento Volumétrico de todas las maderas.....	119
Figura 75. Conductividad Térmica madera Arenillo	119
Figura 76. Conductividad Térmica madera Laurel	120
Figura 77. Conductividad Térmica madera Seique	122
Figura 78. Comparación de la Conductividad Térmica de todas las maderas	123
<i>Figura 79.</i> Transferencia de calor casa de madera de Arenillo, corte 1	124
<i>Figura 80.</i> Transferencia de calor casa de madera de Arenillo, corte 2	125
Figura 81. Transferencia de calor casa de madera de Arenillo, corte 3	126
Figura 82. Transferencia de calor casa de madera de Arenillo, corte 4	127
Figura 83. Transferencia de calor casa de madera de Seique, corte 1.....	130

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y MECÁNICA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TIPO MADERA DE ARENILLO, LAUREL Y SEIQUE PARA ESTRUCTURAS

	12
Figura 84. Transferencia de calor casa de madera de Seique, corte 2.....	131
<i>Figura 85.</i> Transferencia de calor casa de madera de Seique, corte 3	131
Figura 86. Transferencia de calor casa de madera de Seique, corte 4.....	132
Figura 87. Transferencia de calor casa de madera de Laurel, corte 1	135
Figura 88. Transferencia de calor casa de madera de Laurel, corte 2	136
Figura 89. Transferencia de calor casa de madera de Laurel, corte 3	137
Figura 90. Transferencia de calor casa de madera de Laurel, corte 4	137
Figura 91 Plano madera arenillo corte 1	141
Figura 92. Plano madera arenillo corte 2	142
Figura 93. Plano madera arenillo corte 3	142
Figura 94. Plano madera arenillo corte 4	143
Figura 95. Plano completo madera arenillo	144
Figura 96. Campo de velocidades madera Arenillo	144
Figura 97. Plano madera laurel corte 1	145
Figura 98. Plano madera laurel corte 2	146
Figura 99. Plano madera laurel corte 3	146
Figura 100. Plano madera laurel corte 4	147
Figura 101. Plano completo madera Laurel	148
Figura 102. Campo de velocidades madera Laurel	148
Figura 103. Plano madera seique corte 1	149
Figura 104. Plano madera seique corte 2	150
Figura 105. Plano madera seique corte 3	150
Figura 106. Plano madera seique corte 4	151
Figura 107. Plano completo madera seique	152
Figura 108. Campo de velocidades madera seique	152

Dedicatoria

A mi madre Nancy que desde el cielo me guío y me cuidó con su infinito amor, a mi padre Miguel que ha sido un apoyo fundamental en mi vida y sobretodo en esta etapa académica

A mi Hermana Gladys, mis sobrinos Sebastián y Romina, mi cuñado Santiago que siempre me dieron su apoyo para seguir luchando por mi objetivo de culminar mi profesión

A mi novia Priscila que con su amor y comprensión estuvo siempre pendiente de mí y de mis estudios, este logro también es tuyo.

A mis amigos MAC, Alejandro, David, Juan, Jorge, Alexander, Daniel, Diego, Flavio y Ricardo que a lo largo de estos años de la universidad fueron un apoyo constante y desinteresado.

PABLO MIGUEL CHICO CAÑAR

Agradecimientos

Gracias a Dios que con su bendición y cuidado está presente en cada instante de mi vida,

A mi madre por enseñarme todo lo bueno de ser una gran persona y a mi familia por haberme apoyado en todo momento.

A mi novia por su amor y apoyo

A mis amigos MAC por su amistad incondicional.

A todos los docentes, compañeros y amigos de la Facultad de Ingeniería mecánica, por su paciencia y por brindarme su conocimiento en esta etapa de la vida y de manera especial al Ingeniero Javier Martínez por su colaboración durante la realización de este proyecto

PABLO MIGUEL CHICO CAÑAR

Resumen

La caracterización de las propiedades de las maderas que son utilizadas en la construcción, constituye una herramienta de vital importancia para realizar la selección más adecuada con bases científicas.

El objetivo primordial de esta investigación fue la determinación y evaluación experimental de las propiedades mecánicas y físicas (especial atención a las propiedades térmicas) de materiales usados en el campo de la construcción, específicamente para estructuras, en las ciudades y pueblos del Oriente Ecuatoriano, específicamente con datos de los pueblos del Coca, Puerto Francisco de Orellana.

Se realizaron ensayos y fueron objeto de análisis, cálculo de magnitudes, pruebas y ensayos, las propiedades y características tales como: resistencia a la compresión, la flexión, la deflexión y la tracción, el contenido de humedad, la conductividad térmica, de cargas y de esfuerzos, de las maderas consideradas para el estudio, que se corresponden con: Arenillo, Laurel y Seique.

Como complemento de la caracterización de las maderas objeto de este estudio realizado a través de ensayos, se agrega una simulación obtenida a través del programa ANSYS R19.0 para estimar el flujo térmico en una casa construida con cada una de estas maderas.

Las maderas seleccionadas son de uso común en la construcción, junto con otras maderas que ya han sido objeto de estudios anteriores a este, tanto en esta como en otras universidades de Ecuador, siendo parte del objetivo del presente estudio el aportar información y datos que puedan

ser agregados a las bases de datos de características y propiedades de las maderas nativas del país.

Se emplearon normas nacionales e internacionales, métodos experimentales y estadísticos, artículos científicos y, otros trabajos de investigación, relacionados con el tema objeto de estudio y desarrollo del presente proyecto.

Palabras Claves: Madera estructural, contenido de humedad, contracción, compresión, tracción, conductividad térmica.

Abstract

The characterization of the properties of the woods to be used in the construction, is a tool of vital importance to make the most appropriate selection with scientific bases. The main objective of this research was the determination and experimental evaluation of the mechanical and physical properties (special attention to the thermal properties) of materials used in the field of construction, specifically for structures, in the cities and towns of the Ecuadorian East, specifically with data from the towns of Coca, Puerto Francisco de Orellana. Tests were carried out and were subjected to analysis, calculation of magnitudes, tests and tests, the properties and characteristics such as: resistance to compression, bending, deflection and traction, moisture content, thermal conductivity, loads and of efforts, of the woods considered for the study, which correspond to: Arenillo, Laurel and Seique. As a complement to the characterization of the woods object of this study carried out through trials, a simulation obtained through the program ANSYS R19.0 is added to estimate the thermal flow in a house built with each one of these woods. The woods selected are commonly used in construction, along with other woods that have already been the object of previous studies, both in this and in other universities in Ecuador, and part of the objective of this study is to provide information and data that can be added to the databases of characteristics and properties of the native woods of the country. National and international standards, experimental and statistical methods, scientific articles and other research work related to the topic under study and development of this project were used.

Key words: Structural wood, moisture content, shrinkage, compression, traction, thermal conductivity.

CAPÍTULO I

Introducción

Antecedentes

La madera ha sido uno de los materiales más empleados por el hombre desde tiempos prehistóricos y, sus usos han evolucionado junto con la humanidad, siendo un componente infaltable en la construcción de viviendas y edificios y, en algunos casos, el material principal del que está elaborada una edificación, gracias a sus propiedades mecánicas y físicas asociadas a la eficiencia energética, lo que contribuye con la reducción de costos de calefacción o enfriamiento de un determinado habitat dependiendo del tipo de clima.

Históricamente, la madera como material estructural presenta diferencias frente a otros materiales como el acero o el hormigón debido a su carácter orgánico; gracias a sus propiedades orgánicas, la madera posee las propiedades y características que han hecho de este material natural apropiado y recomendado para estar presente en la construcción civil a través de todas las épocas de la humanidad. (Carpio, 2010) (Clavón & Rosero, 2013)

La madera, es un material heterogéneo poroso, de origen vegetal, constituido por células muertas, biodegradable, combustible, e higroscópico y anisotrópico. El material de construcción “madera“ presenta gran variedad física y mecánica, dependiendo aún para una misma especie, de sus condiciones de crecimiento - relacionadas con la latitud, calidad del suelo y características del clima (altitud, temperatura y precipitación)-, procedencia de bosques nativos o plantados, manejo silvicultural, densidad básica y de los defectos que puede presentar una pieza determinada. (Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014).

Gracias a su propiedad higroscópica, la madera absorbe la humedad del aire y, por sus características anisotrópicas la madera posee elasticidad, control natural de temperatura, baja

conductividad y buena velocidad de propagación de la luz, traducándose todas estas propiedades en mejoramiento del ambiente en las edificaciones, a través de la versatilidad del diseño de estructuras y productos basados en la madera. (Enk & Van-Houtte, 2004)

Con el uso de la madera en la construcción de edificaciones, se pueden obtener beneficios, no solo desde el punto de vista económico, estético y de esbeltez, sino también, desde el punto de vista térmico, siendo la madera el material con las mejores propiedades y características de aislamiento térmico entre los materiales usados en la construcción, lo que representa un ahorro de las energías usadas para el calentamiento o enfriamiento de las edificaciones requeridas para la climatización y acondicionamiento adecuado de los ambientes de dicha edificación. Por ser un aislante térmico natural, su uso en climas como el de la sierra ecuatoriana, redundará en una mejor regulación de las temperaturas internas dentro de edificios y casas, haciendo más confortable la estadía en los hogares. (PROMADE, 2013)

La madera, proviene del recurso forestal de bosques nativos y plantaciones forestales que tienen un carácter renovable si se manejan bajo la concepción de sustentabilidad; caso contrario, éste se degrada y puede extinguirse. En los bosques primarios existe una amplia variedad de especies forestales potencialmente maderables de las que solo un limitado número han sido estudiadas y de las cuales existe información que permite ser usada en la industria de la construcción (Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014).

Respecto a la madera y sus aspectos más importantes Bruce, citado por Lara & Moya (2010) menciona que:

La madera viene de los árboles. Este es el hecho más importante que hay que tener presente para entender su naturaleza. El origen de las cualidades o defectos que posea pueden determinarse a partir del árbol de donde proviene. La madera fue creada como un tejido funcional de los árboles, más que como un material diseñado para

satisfacer las necesidades de los ingenieros

Según Carpio (2010), señala que en su clasificación más general es posible su división en: maderas blandas y maderas duras; las primeras son originarias de los países de clima frío, presentan nudos frecuentemente, un vetado no pronunciado y son de colores claros; se encuentran en esta categoría los abetos, cedro rojo, falso ciprés, las familias de pinos y otros; el laurel se considera medianamente blanda; requieren de tratamientos previos a sus uso para contrarrestar los agentes destructivos como la carcoma y la podredumbre.

Las maderas duras se producen en los bosques de los países templados y tropicales, los arboles de los que provienen son de lento crecimiento y largo tiempo de maduración, lo que les confiere muy buenas propiedades de densidad y resistencia, lo cual les permiten una adaptación a condiciones adversas como altas temperaturas y niveles de humedad, mejor que las maderas blandas. Las maderas duras son mejor cotizadas y se obtienen costos más altos que en el caso de las blandas, debido a su resistencia y belleza, en este tipo de maderas se encuentra el ébano, roble, nogal, teca, caoba, arce, arenillo, seique, entre otros. (Carpio, 2010)

Adicionalmente, continúan aseverando el autor, que se describen las maderas manufacturadas, las cuales corresponden a maderas procesadas, son obtenidas como subproductos de maderas naturales y tienen menores costos que las maderas macizas, solo son acondicionadas y preservadas en su forma y composición original del árbol de donde provienen. Estas maderas se subdividen en: contrachapado, laminado de madera y madera aglomerada, panel de fibras de densidad media (DMF) y el tablero de virutas (OSB); la primera consiste en tableros elaborados con un gran número de chapas de madera unidas mediante pegamento o cola, se puede encontrar en distintos colores, grosores y tamaños. (Carpio, 2010)

El laminado de madera, se fabrica uniendo por sus caras o extremos cantos, láminas de

madera, dispuestas sus fibras en una misma dirección para lograr su funcionalidad estructural como una pieza única, así es posible producirlas con la sección transversal y las longitudes según sean requeridas. La madera aglomerada, es la más económica y de menos resistencia de las demás, se elabora con trozos de madera molida aglomerados en una chapa con pegamento o cola y es una de las más usadas. (Carpio, 2010)

Según Cruz (2011), el panel de fibras de densidad media (DMF), es una de las maderas manufacturadas más recientes en el mercado, es elaborada uniendo mediante resina plástica, diminutos trozos de madera, lo que permite obtener chapas con buena resistencia, uniformidad y estabilidad, también es muy usada en la actualidad; el tablero de virutas (OSB), se fabrica con virutas de madera dispuestas en 3 o 5 capas que se unen mediante pegamento o cola, aplicando presión y calor, debido a su disposición de orientación indeterminada, poseen buen índice de flexión en cualquier dirección del tablero, este autor afirma que las maderas, por provenir de un árbol, tienen asociadas características de resistencia y dureza dadas por la estructura de la madera

La estructura de la madera puede describirse con los siguientes elementos a saber:

- **CORTEZA EXTERIOR:** es la capa más externa del tronco de un árbol, encargada de la protección contra los agentes climáticos o atmosféricos.
- **CORTEZA INTERIOR:** se corresponde a la capa interna a través de la cual, viajan a las ramas, el tronco y las raíces, los productos alimenticios del árbol que se generan en las hojas.
- **CAMBIUM:** es el tejido vegetal entre ambas cortezas, encargado de generar las células de la madera propiamente dicha y la capa de tejido que se encarga del transporte de la savia a las raíces.
- **ALBURA:** se ubica en la parte exterior, se encarga del transporte de agua y sales

minerales desde las raíces hasta las hojas.

- DURAMEN: es la capa encargada de la resistencia del árbol, se forma a partir de la albura, permite el ingreso de resinas, colorantes y aceites que ayudan en la protección contra insectos y hongos.
- MÉDULA: es la parte más interna de árbol, está constituida por las células muertas y presenta escasa resistencia. (Químicas Thái, 2010)

Como objetivo principal del presente proyecto, se realizará el estudio de las propiedades de la madera, tanto físicas como mecánicas y en partículas las de mayor relevancia para el diseño de estructuras, a continuación se mencionan todas las propiedades de la madera que estarán bajo estudio, análisis, cálculos y ensayos de laboratorio.

Entre las principales propiedades de la madera, según Cruz (2011), se encuentran:

Propiedades físicas

- Higroscopicidad.
- Retractilidad.
- Densidad.
- Homogeneidad.
- Plasticidad.
- Dureza.
- Hendibilidad.
- Durabilidad.
- Conductibilidad.
- Porosidad

Propiedades mecánicas

- Compresión paralela.
- Compresión perpendicular.
- Tracción perpendicular.
- Tracción paralela.
- Flexión.

Es importante tener presente los factores que modifican el comportamiento de la madera, según Merlo, (2014):

1. Defectos de crecimiento: asociados a las características propias del árbol que sufren modificaciones, durante su formación, crecimiento y maduración, entre las que se cuentan la excentricidad de la médula, la inclinación de las fibras, los rizos, bolsas de resina, doble medula, hijuelo, cáncer y manchas.
2. Enfermedades y tratamiento: algunas maderas requieren procesos de preservación para evitar y repeler el ataque de insectos y hogos que pueden generar su degradación en el mediano y corto tiempo.
3. La pudrición y enmohecimiento debido a condiciones climáticas.
4. Hongos e Insectos.

En concordancia, Parra (2013) asegura que al utilizar la madera como material constructivo en la elaboración de edificaciones se pueden obtener ventajas en distintos aspectos:

- La madera es un material natural renovable, de producción en bosques naturales o en plantaciones controladas y programadas, sus costos de recurso energético para puesta en obra son menores que otros materiales.
- Es un excelente aislante térmico.

- Contribuye a estabilizar la humedad en los ambientes, así como a filtrar y purificar el aire.
- La relación resistencia/peso de la madera es más favorable que la del concreto y el acero, en las edificaciones.
- Su flexibilidad frente a fuertes vientos, dan resistencia y estabilidad a las estructuras.
- Dado a su bajo peso, es un material más seguro al momento de rupturas y caídas de paredes y techos que pueden dañar a personas, en comparación con otros materiales de construcción.

Descripción y usos de las estructuras de madera en la construcción de edificaciones

Aun cuando la madera ha perdido competitividad frente a materiales como el acero y el hormigón, no deja de ser un elemento importante en los procesos constructivos, tanto el Ecuador como en otros países, por tal razón se describe la carpintería del armado de los tipos de estructuras usadas en edificaciones, según la Universidad de Valladolid (2013), clasificadas en estructuras principales y auxiliares de la siguiente manera:

Estructuras principales

Estructuras verticales: son usadas como subsistema de sustentación vertical de una edificación, por lo general de pequeñas dimensiones; entre ellas se encuentran pórticos, muros y entramados portantes, muros macizos de rollizos de madera superpuestos y muros entramados.

Estructuras horizontales: corresponde a forjados de madera dispuestos en entramados horizontales, se usan para separar los diferentes pisos del edificio y, al mismo tiempo, sirven de

sostén al pavimento. Se componen de tres partes: cielorraso, techo o paramento inferior, forjado entramado a base de viguetas y entarimado o embaldosado.

Escaleras: se conforman a base de zancas, piezas inclinadas de madera que sostienen los peldaños, principalmente por la parte exterior del hueco. Las zancas por lo general se edifican con tablonés, rectos y colocados según el ángulo de inclinación que define la pendiente de dicha escalera. También se construyen escaleras con peldaños apoyados sobre herrajes de acero como en el caso de tramos helicoidales de zancas.

Armaduras de cubiertas: se define como armadura o entramado de cubierta, el grupo de piezas de partes de madera que sirven de sostén y soporte a las cubiertas, las cuales suelen estar dispuestas en planos inclinados con direcciones distintas, formando ángulos llamados diedros y cuya arista se conoce como caballete.

Estructuras auxiliares

Apeos: se compone de entramados de madera dispuestos en diferentes posiciones y, que permiten sostener un muro que amenaza desplome o ruptura, para reforzar una construcción, para oponerse al empuje de las tierras de un derrumbe, reforzar elementos huecos, vanos, de sostén para partes superiores del edificio y para abrir un vano en un muro ya construido.

Encofrados: son usados como moldes o revestimientos de madera en los que se contienen el vaciado de piezas de hormigón armado; las partes que conforman los encofrados son desmontables, lo que facilita el des-moldeo de dichas piezas luego del fraguado y secado, y su reutilización.

Cimbras: consiste en los armados de carpintería o cerchas, que se usan en el sostén de arcos y bóvedas durante su construcción. Los tipos cimbras más usados son: para bovedillas de aligeramiento o formación de forjados, para ventanas con arco escarzano y, para puertas con arco

de medio punto.

Planteamiento del problema

Con la evolución de la tecnología en todas las áreas, y en particular con los métodos industriales para el procesamiento y mejoramiento de las materias primas provenientes de la naturaleza, el sector maderero a nivel mundial y en el país, ha sufrido una extraordinaria transformación yendo de la producción artesanal, a grandes empresas que se dedican al diseño y fabricación de una gran variedad de productos derivados y obtenidos de distintos tipos de madera pura, esto ha permitido que la madera y sus subproductos sean utilizados en los procesos constructivos en exteriores además de su uso tradicional en interiores. (Carpio, 2010)

En la medida que se realicen trabajos de investigación, con sus respectivos ensayos y pruebas que generen información y datos favorables para los procesos constructivos en el país, se generará el conocimiento y apoyo a las maderas nativas del país, promoviendo esto su uso y aprovechamiento de manera adecuada, de aquí la relevancia e importancia de la realización de estas investigaciones y, de gran beneficio para área del conocimiento, idóneamente que sean las universidades las instituciones que lleven las acciones de avanzada en estos estudios y en la divulgación de los resultados que se obtengan, haciendo llegar estos hasta las empresas de construcción encargadas del desarrollo habitacional y urbano de las ciudades. (INER, 2014)

Aun cuando en diferentes localidades a nivel mundial el uso de la madera en fachadas y exteriores es de uso cotidiano, en Ecuador actualmente no presenta el mismo auge, no siendo el caso del uso en interiores donde la madera ha mantenido un uso relevante y tradicional tanto en su estado puro como procesado. (Carpio, 2010)

Sin embargo, los ingenieros haciendo honor a la carrera que seleccionaron como su profesión diaria, se han encargado de hacer de la madera un material infaltable no solo en la

construcción civil, sino en muchas aplicaciones de uso en la vida diaria de las personas y su entorno, aun cuando puedan existir otros materiales sintéticos y menos naturales.

Objetivos

Objetivo general

Determinar las características térmicas y mecánicas de las maderas arenillo, laurel y seique para estructuras

Objetivos específicos

- Establecer la flexión, tracción y compresión paralela y perpendicular a la fibra de las maderas arenillo, seique y laurel
- Describir el contenido de humedad de las maderas objeto del estudio
- Indagar la conductividad térmica de cada una de las maderas del estudio

Hipótesis

Las maderas del arenillo, seique y laurel, presentan características térmicas y mecánicas que les permiten ser usadas en la construcción

Justificación

La actividad de la construcción civil es una de las actividades económicas de mayor auge y desarrollo en las principales ciudades del país, por lo que el estudio de los materiales usados en la construcción, es de gran relevancia e importancia hoy día que la eficiencia energética debe ser considerada en el diseño y construcción de edificios y viviendas, con el fin de reducir los consumos de energía y por ende, los costos económicos asociados, adicionalmente se busca el uso de materiales que contribuyan a la protección del medio ambiente, con las características mecánicas y físicas acordes al clima y sus variaciones térmicas. (INER, 2014)

Par usar la madera en la construcción es necesario establecer sus características mecánicas y térmicas con la finalidad de obtener el mayor provecho posible y garantizar que las maderas a utilizar son las más idóneas, tomando en cuenta no solo los elementos que corresponden a la madera en sí, sino también los aspectos ambientales de cada zona donde se deseen emplear, en este sentido, en Ecuador existe una gran variedad de maderas que pudieran ser empleadas en la construcción, sin embargo no se ha realizado la caracterización respectiva en todos los casos, por lo tanto es importante realizar la determinaciones pertinentes para establecer cuáles maderas deben y pueden ser utilizadas según aspectos como tracción, compresión, contenido de humedad y conductividad térmica entre otras.

De manera más específica, se desarrollan a continuación la importancia de las maderas que fueron objeto de estudio, entre las que se incluyen:

El laurel es un árbol cuya madera es nativa de Ecuador, posible de adquirir en su forma natural y accesible, que posee suficientes elementos como para establecer su importancia en la industria, la manufactura de muebles, para enchapes decorativos y en artesanía, se destaca por sus colores, un lindo dibujo y excelente brillo, sin embargo, se destaca en la construcción de tipo pesada, tanto para elementos estructurales como empleada como columnas y vigas; en la construcción liviana se emplea en la fabricación de botes, lanchas, remos, entablados y cubiertas; en la industria naviera se ha utilizado en muelles y en la fabricación de embarcaderos; en carpintería general es conocido su uso para la fabricar muebles decorativos o piezas de ellos, en ebanistería, puertas, pisos, gabinetes, chapas decorativas, tornería, mangos de herramientas, pilotes para puentes, leña en general; incluso en el mundo musical, para la fabricación de instrumentos musicales, de precisión y científicos (Vinuela, 2012).

En cuanto al Seique, es un árbol de gran importancia económica, dada sus características y coloración, es posible darle usos similares a los de la caoba y el cedro, con la ventaja de que no requiere cuidados excesivos o limitaciones para su cultivo como estas, por lo que se ha aumentado su demanda principalmente en el sector industrial, es de múltiples usos tanto como chapa decorativa de tableros, contrachapados, en cielo-rasos, en la fabricación de muebles, carpintería en general, ventanas y puertas, así como molduras y pasamanos; cajonerías de alta calidad, en la fabricación de embarcaciones; en cuanto a la construcción estructural su uso es principalmente como columnas, viguetas vigas, pisos, cerchas y mangos para escaleras. (Ecuador Forestal , 2010)

El Arenillo, con su uso en artesanía, fábrica de muebles, principalmente para durmientes, pisos, mangos de herramientas e implementos agrícolas, gabinetes, cajas, artículos torneados, implementos deportivos e instrumentos musicales; en la construcción especialmente para pisos, revestimientos de interiores. (ITTO, 2018)

Con la caracterización de las maderas para ser empleadas en la construcción, se está dando un aporte importante en la toma de decisiones al momento de establecer la madera idónea para ser usada en esta área, eligiendo en base a las propiedades físicas y térmicas de las mismas, aprovechándolas de mejor manera y garantizando que la construcción ha sido realizada con materiales seleccionados con base a criterios probados a través de métodos científicos.

CAPÍTULO II

Estado del Arte

Las maderas que se utilizaron para el presente ensayo fueron obtenidas de los árboles Laurel, Arenillo y Seique, entre sus principales características y procedencia se mencionan:

Laurel: pertenece a la familia Boraginaceae, su nombre científico es *Cordiaalliodora*, se conoce con el nombre común de Laurel, otros nombre relacionados son Laurel Blanco, Laurel Macho, cafetero, y araña caspi; en su crecimiento alcanza los 40 metros de altura, con 20 metros de fuste y en diámetro hasta 100 centímetros, con un tronco recto y cilíndrico cuya corteza es de color café oscura y de pocas fisuras; se trata de una especie nativa de Ecuador, específicamente de bosques primarios y secundarios ubicados tanto en la Costa como en la Amazonia, su distribución se extiende a otros países como México, Perú, Brasil y Bolivia. (Vinueza, 2012)

Requiere algunos factores climáticos para su mejor desarrollo, entre estas una altitud entre 50 a 1000 msnm, con una precipitación entre 2000 a 4000 mm y una temperatura entre 20 a 27 °C; se desarrolla de forma óptima en suelos profundos, de tipo franco arenosos y franco arcillosos, con mayor preferencia si son aluviales con ceniza volcánica de desarrollo reciente, con poca profundidad y con abundante materia orgánica, sin embargo es capaz de soportar suelos alcalinos, neutros y hasta levemente ácidos, en estas condiciones se adapta satisfactoriamente y podrá presentar buenas tasas de crecimiento, en oposición no se adapta a los suelos muy ácidos o con bajo contenido de calcio, principalmente en suelos compactos, con encharcamiento o con pobre drenaje interno. (Vinueza, 2012)

Su mayor altura puede alcanzarla en unos 15 años cuando se encuentra en zonas húmedas, con un rendimiento volumétrico de crecimiento anual entre 10 a 20 m³/ha/año, el mayor cuidado y riesgo es para evitar el hongo *Puccinia cordiae* que origina el llamado cáncer en el tronco. (Vinueza, 2012)

Entre sus propiedades, según Vinueza, (2012) Óp. Cit., resaltan:

.- Color: las capas externas pueden ser de color beige amarillento y la interna café claro, sin embargo, al secarse a aire se oscurece un poco, tornándose marrón pálido la capa externa y la interna marrón amarillento

.- Veteado: posee arcos superpuestos, con anillos de crecimiento, su parénquima es axial y posee unas líneas vasculares que logran contrastar con vetas oscuras, acompañadas de bandas generalmente de forma ancha

.- Textura y Brillo: su textura es homogénea y con tendencia a ser fina con brillo medio

.- Olor y sabor: emite un olor agradable similar a la caña dulce sin sabor distintivo

.- Durabilidad: esta madera es de alta durabilidad en ambiente natural

.- Preservación: es de fácil preservación a través del uso de vacío de presión

.- Trabajabilidad: es fácil para trabajar, de secado rápido a moderado con una excelente estabilidad dimensional, cuando se asierra es de fácil trabajo, obteniéndose muy buenos resultados, adicionalmente los manejos de taladro, torneado, lijado son excelentes, el cepillado, escopleado da buenos resultados, sin embargo el moldeado puede ser regular y deficiente en cuanto a las rajaduras por tornillo, el tintado y encolado es fácil lográndose acabados muy brillantes

.- Propiedades físicas y mecánicas: densidad entre 0,29 a 0,46 g/cm³, contracción radial 3,09%, contracción tangencial 6,62%, módulo de elasticidad 86,2 x 1000, el módulo de rotura de 723, la compresión paralela de 324 Kg/cm² y un corte radial de 73 Kg/cm² (Vinueza, 2012)

Seique: es un árbol de la familia Mimosaceae, su nombre científico es *Cedrelinga catenaeformis*, conocido comúnmente como: “Seiqui, Chunchu. Achapo, Tomillo, Mara macho, Mara blanca, Cedrorana”. Es posible cultivarlo en plantaciones puras, así como con sistemas agroforestales, con una altura que logra alcanzar los 50 metros, con un tronco recto, de forma cilíndrica procede originalmente de la Amazonia, sin embargo, se ha cultivado en la región costera obteniendo muy buenos resultados; se distribuye en otros países como Guyana, Brasil, Surinam y Perú; requiere suelos de tipo arenoso, arcilloso e incluso los franco-arenoso, preferiblemente con buen drenaje, livianos y con pH levemente ácido o neutro, requiere luz abundante, sin embargo, tolera sombra parcial en los primeros años; con buena regeneración natural y pocos requerimientos nutricionales; crece en las plantaciones a razón de 15 a 20 m³/ha/año, mientras que en los bosques de manera natural ese crecimiento se reduce a 1 m³/ha/año, esta diferencia está marcada por el cuidado en la competencia por la luz con limpiezas y raleos, como principales limitantes para su crecimiento se cuentan el drenaje y luz insuficiente, así como los suelos de textura fina; resalta por sus características como:

.- Color: con una corteza color café que posee grietas verticales y profundas a diferencia de su albura que es de color rosada cremosa y fibrosa, el duramen es rojizo claro

.- Veteado: con forma de jaspe dado por líneas vasculares pronunciadas muy oscuras

.- Sabor: su sabor es de tendencia dulce

.- Textura: gruesa

- Durabilidad: es diferente en sus partes internas y externas, mientras que el duramen es muy resistente, la albura es muy sensible a ser infectada por hongos e insectos

- Trabajabilidad: es muy fácil de trabajar, posee un fácil aserrado, desenrollándose sin dificultad, sin resistencia a la penetración de clavos, se obtienen buenos resultados en términos generales a excepción del moldurado

- Secado: durante el secado, el cual suele ser rápido, no presenta deformaciones o rajaduras de importancia

- Preservación: presenta mucha dificultad, especialmente el duramen

- Propiedades físicas y mecánicas: densidad básica de 0,37 a 0,42 gr/cm³, verde entre 0,75 y 0,95 gr/cm³ y seco al aire de 0,45 a 0,55 gr/cm³, la contracción normal tangencial es de 5,40% y radial de 2,50%; en cuanto al contenido de humedad es de 12%, con una flexión estática Esfuerzo en Límite Proporcional de 328 Kg/cm², Módulo de Ruptura de 698 Kg/cm² y Módulo de Elasticidad de 90 Ton/cm², la compresión paralela se ubica con un Esfuerzo de ruptura en 333 Kg/cm² y la compresión perpendicular posee un Esfuerzo en Límite Proporcional de 41 Kg/cm², su dureza en los lados es de 267 Kg y en los extremos de 417 Kg. (Ecuador Forestal , 2010)

Arenillo: árbol que pertenece a la familia de las Icacinaceae, cuyo nombre científico es *Deandrobangia boliviana Rusby*, conocido comúnmente como Arenillo, Jaboncillo y Cacha caspi, u tronco es estriado en la base, su altura oscila desde los 25 hasta 40 metros y en diámetro llega hasta los 60 centímetros; su distribución está extendida por toda América tropical, específicamente desde Colombia hasta Bolivia (ITTO, 2018).

Entre sus características resaltantes destacan:

- Color: con un duramen marrón y la albura poco diferenciada
- Textura: media a gruesa
- Brillo: moderado
- Índice de durabilidad: registrado en 4 (Muy alta= 1 Muy baja= 7)
- Propiedades físicas: densidad básica $0,68 \text{ g/cm}^3$, densidad seca al aire con CH 12% de $0,76 \text{ g/cm}^3$, contracción tangencial total de 4,5% y radial total de 2,7%, con una estabilidad dimensional de 1,7%; la resistencia a flexión con un Módulo de ruptura en 1193 KGF/cm^2 , rigidez con Módulo de elasticidad de 166000 KGF/cm^2 , resistencia a la compresión paralela a la fibra de 618 KGF/cm^2 , resistencia a la compresión perpendicular a la fibra de 101 KGF/cm^2 , dureza en los lados de 823 KGF y en los extremos de 916 KGF
- Trabajabilidad: posee un mecanizado fácil, permite un acabado atractivo y suave (ITTO, 2018).

Método

La presente investigación se trata de un estudio de tipo descriptivo, experimental y analítico, donde se realizaron ensayos en laboratorios con instrumentos de alta calidad, calibrados y certificados para poder realizar la descripción de los hallazgos luego de someter a las probetas con las muestras de las maderas seleccionadas para el estudio, a una serie de pruebas que permitieron alcanzar los objetivos propuestos.

Para esto se seleccionaron muestras de tres tipos de árboles: arenillo, seique y laurel, donde todas fueron sometidas a los mismos ensayos, observando estricta rigurosidad y registrando

los resultados obtenidos en cada uno de ellos. Los laboratorios seleccionados para someter las maderas a los ensayos están certificados para este fin y por lo tanto sus resultados son confiables.

En este sentido, para asegurar el buen uso y utilización adecuada de los tipos de madera existentes en el país, se requiere practicar a dichas maderas, un conjunto de ensayos y pruebas de laboratorio, las cuales permiten obtener los perfiles físicos y mecánicos característicos de la madera estructural y, de esta manera, determinar sus propiedades de aislamiento térmico, elasticidad y resistencia:

En cuanto a las propiedades resistentes se estudiaron:

- Tracción paralela y perpendicular a la fibra.
- Compresión paralela y perpendicular a la fibra.
- Resistencia a la flexión.

En lo que respecta a propiedades elásticas solo se obtuvieron datos para el cálculo de:

- Módulo de elasticidad en flexión paralela.

En el caso de las propiedades de aislamiento térmico se estudiaron:

- Hinchamiento volumétrico y absorción de humedad.
- Conductividad Térmica.
- Contenido de humedad

En el orden de obtener la caracterización de las propiedades de las maderas en estudio *Arenillo*, *Seique* (maderas duras) y *Laurel* (madera medianamente blanda), fueron ejecutados ensayos destructivos y no destructivos en probeta de estos tipos de madera, los cuales se obtuvieron de aserraderos y ventas de maderas aserradas en la ciudad de Quito.

Los ensayos y pruebas de tracción de la madera, flexión de la madera y compresión de la madera a ser realizados en la madera seleccionada, se realizaron bajo la norma ASTM 143.

El tamaño de la muestra estuvo acorde con las recomendaciones establecidas para este tipo de investigación (Hoyos L., 2016)

Las maderas utilizadas para esta investigación se obtuvieron de aserraderos ubicados en la vía a El Tingo y vía a Amaguaña, tal como se muestran en la figura 1.



Figura 1. Aserraderos ubicados en la Vía a El Tingo y Vía Amaguaña

Los ensayos y pruebas para las maderas en cuestión, fueron realizados en la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL), con la máquina de medición de conductividad térmica de placa caliente, ubicada en la ciudad de Guayaquil, en el laboratorio de ensayos térmicos y eficiencia energética de dicha Universidad y mediante la norma ISO 8302.

En cuanto a los ensayos y pruebas mecánicas destructivos, estas fueron realizadas en la Universidad Internacional SEK (UISEK), Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Escuela Politécnica Nacional (EPN), cumpliendo con los requisitos de normas ASTM, ISO y demás estándares internacionales; una de las máquinas de ensayos universal se evidencia en la figura 2



Figura 2. Máquina de ensayos universal de la UISEK

Según la Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, (AITIM), la orientación de las fibras que componen la madera da lugar a la anisotropía de su estructura, por lo que a la hora de definir sus propiedades mecánicas hay que distinguir siempre entre la dirección perpendicular y la dirección paralela a la fibra; en este hecho radica la principal diferencia de comportamiento frente a otros materiales utilizados en estructuras como el acero y el hormigón (AITIM, 2016)

Compresión paralela a la madera

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los especímenes a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen. El módulo de elasticidad se halla determinando la pendiente de la curva esfuerzo-

deformación unitaria del material. (Castrillón & Malaver, 2004), como se puede observar en la figura 3



Figura 3. Procedimiento de compresión paralela a la fibra de la madera

En la figura 4 se muestra el ensayo de compresión paralela la fibra a la que fue sometida la madera



Figura 4. Compresión paralela a la fibra de la madera.

Para calcular el esfuerzo último se utilizó la siguiente ecuación:

$$\sigma_u = \frac{Fu}{A} \quad (1)$$

Sustituyendo queda:

σ_u = Esfuerzo ultimo a compresión paralela (Mpa)

Fu = Carga de rotura (N)

A = Área de la sección transversal de la probeta (mm^2)

Para el cálculo del módulo de elasticidad se utiliza la ley de Hooke:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2)$$

Sustituyendo queda:

σ = Esfuerzo a compresión paralela (Mpa)

E = Modulo de elasticidad (Mpa)

ε = Deformación Unitaria

Compresión perpendicular a la madera.

El ensayo de compresión de la madera consiste en someter a una probeta normalizada a cargas de compresión hasta que falle. La carga perpendicular a las fibras es la carga aplicada en la dirección perpendicular a las fibras. La resistencia a la compresión de la probeta se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección longitudinal de la probeta. El módulo de elasticidad se halla determinando la pendiente de la curva de Resistencia máxima de rotura vs. Esfuerzo. (López, 2012)

El tamaño de la muestras se refleja en la Tabla 2, para su compresión se utilizó una placa metálica que permitió distribuir la carga al centro de la probeta de tal manera que el fallo se dé por aplastamiento

En la figura 5 se muestra el ensayo de compresión perpendicular la fibra a la que fue sometida la madera.



Figura 5. *Compresión perpendicular a la fibra de la madera*

La resistencia al límite de proporcionalidad se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$RLP = \frac{p}{s} \quad (3)$$

Sustituyendo:

RLP = Resistencia al límite proporcional (Mpa)

P = Carga al límite proporcional (N)

S = Área de contacto por la placa de acero sobre la superficie del espécimen en mm²

La resistencia unitaria máxima se calcula con la ecuación:

$$RUM = \frac{p}{S} \quad (4)$$

Sustituyendo:

RUM = Resistencia unitaria máxima (Mpa)

P = Carga necesaria hasta la penetración de 2.5 mm (N)

S = Área de contacto por la placa de acero sobre la superficie del espécimen (mm²)

Se registraron las dimensiones de las probetas para cada madera como parte de la preparación para el ensayo de compresión paralela a la fibra, como se evidencia en la tabla 1.

Tabla 1

Dimensiones de las probetas de madera para compresión paralela

Madera	N°	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)		
			Largo	Ancho	Alto/Espesor
Arenillo	1	A1CP	202.77	50.78	50.77
	2	A2CP	202.41	50.25	50.1
	3	A3CP	201.91	50.36	50.09
	4	A4CP	202.2	50.36	50.27
	5	A5CP	201.47	49.4	49.6
Laurel	1	L1CP	200.04	49.95	49.76
	2	L2CP	200.14	49.33	49.73
	3	L3CP	201.48	49.93	50.06
	4	L4CP	200.82	49.91	49.51
	5	L5CP	201.08	50.05	49.65
Seique	1	S1CP	200.47	50.16	49.98
	2	S2CP	200.43	49.94	50.08
	3	S3CP	200.75	49.85	50.08
	4	S4CP	200.61	50	49.93
	5	S5CP	201.22	49.97	49.82

Se registraron las dimensiones de las probetas para cada madera como parte de la preparación para el ensayo de compresión perpendicular a la fibra, como se evidencia en la tabla

2.

Tabla 2

Dimensiones de las probetas de madera para compresión perpendicular

Madera	N°	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)		
			Largo	Ancho	Alto/Espesor
Arenillo	1	A1CPP	150.68	50.56	50
	2	A2CPP	150.12	50.16	50
	3	A3CPP	150.92	50.66	50
	4	A4CPP	150.16	50.14	50
	5	A5CPP	150.11	50.17	50
Laurel	1	L1CPP	150.68	49.78	50
	2	L2CPP	150.72	49.62	50
	3	L3CPP	150.63	49.88	50
	4	L4CPP	150.47	49.91	50
	5	L5CPP	150.68	49.23	50
Seique	1	S1CPP	150.53	49.98	50
	2	S2CPP	150.86	50.18	50
	3	S3CPP	150.74	49.92	50
	4	S4CPP	150.48	49.87	50
	5	S5CPP	150.36	49.96	50

Tracción paralela a la madera

El ensayo consiste en aplicar unas cargas axiales a tracción a una velocidad de carga prescrita hasta que se presente la falla; la resistencia a tracción del espécimen se determina al dividir la carga máxima aplicada entre el área del elemento y, con las cargas últimas los esfuerzos últimos a tracción; el módulo de elasticidad se obtiene a partir de la pendiente de las gráficas de esfuerzo de formación, entre un 20%-80% de la carga. (Castrillón & Malaver, 2004).

En la figura 6 se muestra el ensayo de tracción paralela a la fibra a la que fue sometida la madera



Figura 6. Tracción paralela a la fibra de la madera

Tracción perpendicular a la madera

El ensayo consiste en aplicar una carga de tensión perpendicular al eje de los cilindros, a una velocidad de carga prescrita (Ir a 5.3), hasta que se presente la falla, la resistencia a la tracción del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de falla. (Castrillón & Malaver, 2004).

El esfuerzo unitario máximo se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A} \quad (5)$$

Sustituyendo

σ_{max} = Esfuerzo unitario máximo (Mpa)

P_{max} = Carga máxima (N)

A = Área de la sección mínima de la probeta (mm^2)

Para calcular el esfuerzo unitario al límite de proporcionalidad se usa la ecuación:

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} \quad (6)$$

Sustituyendo

σ_1 = Esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad (Mpa)

P = Carga en el límite de proporcionalidad (N)

A = Área de la sección mínima de la probeta (mm^2)

El Módulo de elasticidad se calcula con la ecuación:

$$E = \frac{\sigma_2}{\varepsilon} \quad (7)$$

Sustituyendo:

E = Modulo de elasticidad (Mpa)

σ_2 = Esfuerzo de la deformación (Mpa)

ε = Deformación unitaria

Se registraron las dimensiones de las probetas para cada madera como parte de la preparación para el ensayo de tracción perpendicular a la fibra, como se evidencia en la tabla 3.

Tabla 3

Dimensiones de las probetas de madera para tracción perpendicular

Madera	N°	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)		
			Largo	Ancho	Alto/Espesor
Arenillo	1	A1TPE	63.3	50.49	50.3
	2	A2TPE	64.68	50.66	50.2
	3	A3TPE	64.68	50.72	51
	4	A4TPE	64.58	50.21	50.41
	5	A5TPE	64.35	50.83	51
Laurel	1	L1TPE	62	49.9	50.8
	2	L2TPE	63.8	50.7	49.7
	3	L3TPE	64	50.7	58.7
	4	L4TPE	65.2	50.8	50.3
	5	L5TPE	64.6	51	50.8
Seique	1	S1TPE	63.7	50.7	49
	2	S2TPE	63.9	49	49.7
	3	S3TPE	64.7	50.1	48.5
	4	S4TPE	64.1	49.5	49.5
	5	S5TPE	64.4	49.6	50.63.7

Se registraron las dimensiones de las probetas para cada madera como parte de la preparación para el ensayo de tracción paralela a la fibra, como se evidencia en la tabla 4.

Tabla 4

Dimensiones de las probetas de madera para tracción paralela

	N°	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)		
			Largo	Ancho	Alto/Espesor
Arenillo	1	A1TP	460	30	30
	2	A2TP	460	30	29
	3	A3TP	460	30	29
	4	A4TP	460	30	30
	5	A5TP	460	30	30
Laurel	1	L1TP	460	30	30
	2	L2TP	460.3	29	29
	3	L3TP	460	30	30
	4	L4TP	460	29.5	29
	5	L5TP	460	30	29
Seique	1	S1TP	460	30	30
	2	S2TP	460	30	30
	3	S3TP	460	30	30
	4	S4TP	460	30	30
	5	S5TP	460	30	29

Flexión de la madera

El ensayo consiste en aplicar unas cargas puntuales a una distancia aproximada a los $L/3$, donde se encuentre un nudo, a una velocidad de carga prescrita hasta que se presente la falla, la resistencia a flexión del espécimen se determina al encontrar el momento máximo generado para cada aplicación de carga y, con las cargas últimas los esfuerzos últimos a flexión; el módulo de elasticidad se obtiene de forma indirecta a partir de los ensayos de flexión elástica. (Castrillón & Malaver, 2004).

EL esfuerzo unitario para el límite de proporcionalidad se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$ELPf = \frac{3*P_2*L}{2*b*h^2} \quad (8)$$

Sustituyendo:

ELPf = Esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad (Mpa)

P_2 = Carga en el límite de proporcionalidad (N)

L = Longitud entre apoyos (mm)

b = Base de la probeta (mm)

h = Altura de la probeta (mm)

EL esfuerzo unitario máximo se calculó con la siguiente ecuación:

$$EMf = \frac{3*P_m*L}{2*b*h^2} \quad (9)$$

Sustituyendo:

EMf = Esfuerzo unitario máximo (Mpa)

P_2 = Carga máxima (N)

L = Longitud entre apoyos (mm)

b = Base de la probeta (mm)

h = Altura de la probeta (mm)

Módulo de Elasticidad

EL módulo de elasticidad en el límite proporcional se calcula con la ecuación:

$$MOEf = \frac{P_2*L^3}{4*d_1*b*h^3} \quad (10)$$

Sustituyendo:

MOEf = Esfuerzo unitario máximo (Mpa)

P_2 = Carga en el límite de proporcionalidad (N)

L = Longitud entre apoyos (mm)

d_1 = Deformación del espécimen en el límite de proporcionalidad (mm)

b = Base de la probeta (mm)

h = Altura de la probeta (mm)

EL módulo de elasticidad se calcula con la ecuación:

$$E = \frac{\sigma_2}{\varepsilon} \quad (11)$$

Sustituyendo:

E = Modulo de elasticidad (Mpa)

σ_2 = Carga en el límite de proporcionalidad (Mpa)

ε = Deformación unitari

Las dimensiones de las probetas se organizan según la madera y número de probeta correspondiente como se observa en la tabla 5.

Tabla 5

Dimensiones de las probetas de madera para la flexión

Madera	Nº	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)		
			Largo	Ancho	Alto/Espesor
Arenillo	1	A1 FE	761	51.47	51.35
	2	A2 FE	761	50.93	50.97
	3	A3 FE	760	50.88	50.99
	4	A4 FE	761	50.74	50.96
	5	A5 FE	761	50.67	50.88
Laurel	1	L1 FE	760	50.24	50.27
	2	L2 FE	760	50.13	50.46
	3	L3 FE	760	49.83	49.95
	4	L4 FE	760	49.67	50.05
	5	L5 FE	760	49.93	49.85
Seique	1	S1 FE	760	50.11	50.12
	2	S2 FE	760	50.04	50.09
	3	S3 FE	759	49.72	49.89
	4	S4 FE	760	50.01	49.97
	5	S5 FE	760	49.98	49.85

Contenido de Humedad

El contenido de humedad (CH) de la madera es la cantidad de agua que contiene una pieza de madera en un momento dado, que se expresa como un porcentaje de su peso anhidro, para el estudio y las mediciones del contenido de humedad será empleado el CÓDIGO NEC - SE – MD. (Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014)

La fórmula empleada para determinar el contenido de humedad de la madera es la siguiente:

$$CH = \frac{Ph-Ps}{Ps} * 100 \% \quad (12)$$

Sustituyendo:

CH = Contenido de humedad (%)

Ph = Peso de la madera en su estado húmedo inicial (g)

Ps = Peso de la madera en estado anhidro (g)

Hinchamiento Volumétrico

La cantidad de agua presente en una pieza de madera es el resultado de un proceso dinámico de transferencia con el medio ambiente; una pieza seca colocada en un ambiente húmedo absorbe agua y en consecuencia sufre un hinchamiento, por el contrario, una pieza con alto contenido de humedad colocada en un ambiente seco, libera agua, y, como consecuencia, se contrae. (Calvo, Cotrina, Cuffre, & Ott, 2007)

Para los ensayos del hinchamiento volumétrico, serán sumergidas en agua las probetas de cada una de las especies arbóreas en estudio para cada tratamiento térmico y durante los tiempos de inmersión definidos en el procedimiento establecido en la norma IRAM 9543. Para los ensayos de absorción de humedad se seguirán los pasos de J. Latorre & J. Soto (2015), como se evidencia en la figura 7.



Figura 7. Madera sumergidas en agua

La preparación de los especímenes es posterior a cada prueba, y el número de probetas será igual al número de ensayos mecánicos realizados. (Clavón, G., Rosero, A., 2013)

El tiempo de secado fue de 24 horas a una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pasado este tiempo se procedió a sacar los especímenes del horno para el enfriamiento a una temperatura ambiente de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, antes de ser pesados y medidos por última vez, como se observa en las figuras 8 y 9



Figura 8. Medición de la distancia entre clavos



Figura 9. Secado en horno para ensayos de Hinchamiento Volumétrico

Se obtuvieron las dimensiones de largo, ancho y alto/espesor de las probetas de madera para la medición del hinchamiento volumétrico, tal como se evidencia en la tabla 6.

Tabla 6

Dimensiones de las probetas de madera para Medición de Hinchamiento Volumetrico

Madera	N°	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)			Peso (g)
			Largo	Ancho	Alto/Espesor	
Arenillo	1	A1HVT	50.1	20.7	20.8	19.1
	2	A2HVT	50.28	20.4	20.5	18.2
	3	A3HVT	50.1	20.6	20.3	18.5
	4	A4HVT	50.1	20.5	20.5	18.3
	5	A5HVT	50.1	20.3	20.6	18.7
	6	A1HVR	50.5	20.8	20.2	17.8
	7	A2HVR	51	20.8	20	19.2
	8	A3HVR	50.6	21.3	20.1	19.1
	9	A4HVR	50.6	20.7	21.1	18.4
	10	A5HVR	51.2	20.1	21.2	18.8
Laurel	1	L1HVT	49.5	20.8	20.4	10.4
	2	L2HVT	49.4	20.2	20.7	10
	3	L3HVT	50.2	20.9	20.6	10.2
	4	L4HVT	49.5	20.3	20.5	10.2
	5	L5HVT	50.7	20.5	20.8	9.7
	6	L1HVR	50.9	20.41	20.6	9.2
	7	L2HVR	50.6	20.1	21.2	10.1
	8	L3HVR	49.7	20.6	21.5	10.2
	9	L4HVR	50.6	20.1	20.1	7.9
	10	L5HVR	50.5	20	20.9	9
Seique	1	S1HVT	48.8	20.7	20.1	14.4
	2	S2HVT	49	20.3	20.7	14.2
	3	S3HVT	50	20.4	20.8	14
	4	S4HVT	50.2	21	20.5	14.5
	5	S5HVT	50	20.7	20.2	13.8
	6	S1HVR	50.6	20.7	20.3	14.6
	7	S2HVR	50.79	20.9	20.8	14.4
	8	S3HVR	50.47	20.75	20.9	15.1
	9	S4HVR	50.8	20.7	20.7	15.7
	10	S5HVR	50.3	20.8	20.8	15.2

Se obtuvieron las medidas de largo, ancho y alto/espesor de las probetas de madera para la absorción de humedad, registrados en la tabla 7.

Tabla 7

Dimensiones de las probetas de madera para Medición de Absorción de Humedad

Madera	Nº	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)			Peso (g)
			Largo	Ancho	Alto/Espesor	
Arenillo	1	A1AH	51	50.9	51.1	120.4
	2	A2AH	50.7	50.3	50.4	110.7
	3	A3AH	50.8	51	51	117
	4	A4AH	50.5	50.9	50.9	118.5
	5	A5AH	50.7	50.1	50.1	110
Laurel	1	L1AH	50.9	50.67	49.68	55.4
	2	L2AH	50.84	49.15	50.9	55.4
	3	L3AH	50.83	49.26	50.39	53.6
	4	L4AH	50.7	49.2	50.4	53.3
	5	L5AH	50.8	51	49.6	56
Seique	1	S1AH	50.7	49.7	49.4	87.5
	2	S2AH	49.4	50.6	50.7	84.5
	3	S3AH	50.6	50.7	50.6	84.4
	4	S4AH	50.7	48.9	48.8	86
	5	S5AH	50.6	49.3	49.2	85.8

Luego de cada ensayo mecánico se registró el peso de las probetas de la madera de Arenillo para establecer el contenido de humedad, registrando los datos obtenidos como se evidencia en la tabla 8.

Tabla 8.

Peso obtenido de las probetas de madera de Arenillo, para establecer Contenido de Humedad después de cada ensayo mecánico

Ensayos	Peso de las probetas para los ensayos del Arenillo (g)				
	P1	P2	P3	P4	P5
Compresión paralela	13.9	13.3	13.3	13.2	12.8
Compresión perpendicular	12.9	13.4	12.9	13	13.2
Flexión	12.8	13	13.6	13.4	13.2
Tracción Paralela	12.7	8.6	6.4	5.1	4.7
Tracción Perpendicular	61.8	56.6	45.7	61	49.1

Luego de cada ensayo mecánico se registró el peso de las probetas de la madera de Laurel para establecer el contenido de humedad, registrando los datos obtenidos como se evidencia en la tabla 9.

Tabla 9

Peso obtenido de las probetas de la madera de Laurel para establecer Contenido de Humedad después de cada ensayo mecánico

Ensayos	Peso de las probetas para los ensayos respectivos del Laurel				
	P1	P2	P3	P4	P5
Compresión paralela	8.5	8.5	8.4	8.6	8.7
Compresión perpendicular	9.3	8.5	8.7	8.9	8.9
Flexión	8.8	8.8	8.8	9.8	8.8
Tracción Paralela	4.4	15.4	9.8	7.9	7.1
Tracción Perpendicular	24.1	31.2	26.2	24.9	27.58

Luego de cada ensayo mecánico se registró el peso de las probetas de la madera de Seique para establecer el contenido de humedad, registrando los datos obtenidos como se evidencia en la tabla 10.

Tabla 10

Peso obtenido de las probetas de la madera de Seique para establecer Contenido de Humedad después de cada ensayo mecánico

Ensayos	Peso de las probetas para los ensayos respectivos del Seique				
	P1	P2	P3	P4	P5
Compresión paralela	12.9	12.2	12	11.6	11.6
Compresión perpendicular	11.5	12.3	13.5	11.4	11.7
Flexión	11.5	12.7	12.1	11.7	11.9
Tracción Paralela	11.5	11.3	6.7	10.5	7.9
Tracción Perpendicular	39.3	42.7	44.9	28.1	38.4

Conductividad Térmica

Es la facultad de algunos materiales de conducir el calor a través de ellos, esta conducción de calor se genera cuando dos cuerpos se encuentran en contacto y posee cada uno diferencias de temperatura, la temperatura podrá atravesar el material de un extremo a otro si es conductor de calor, de lo contrario se trata de un aislante; esta transmisión depende de la estructura microscópica, de la materia sólida y de los modos de vibración de las partículas microscópicas, cuando se trata de no metales. La conductividad de calor es un factor que depende directamente de la magnitud del coeficiente de conductividad térmica, es decir, que mientras más alto sea el coeficiente del material, este podrá transferir de mejor manera la energía térmica a través de sí mismo y por el contrario cuando el coeficiente del material es muy bajo, se presenta

una resistividad térmica, en el caso de la madera, por carecer de electrones libres y sus fibras tienen modos de vibración muy bajos, es catalogada como un aislante. El coeficiente de la madera es de 0.13 W/mK y varía dependiendo de su grado de humedad, así como de la temperatura a la cual se realiza la medición, aumenta un poco a mayor temperatura y mayor humedad. (C-Therm Technologies, 2018)

En concordancia, el coeficiente de conductividad térmica (λ) expresa la cantidad de calor necesario por m^2 de material para que, atravesando 1 metro de éste durante una unidad de tiempo, se obtenga una diferencia de 1°C de temperatura entre las dos caras. Sus unidades en el Sistema Internacional de Unidades son W/mK . Dicho coeficiente de conductividad térmica es una propiedad intrínseca de cada material que aumenta con la temperatura. Cuanto más pequeño es el valor de este coeficiente, mejores son las prestaciones de aislamiento térmico del material. (AIDIMA, 2013)

Los ensayos para los materiales en esta investigación se realizaron con el equipo medidor de conductividad de placa caliente Lambda-Messtechnik modelo λ -Meter EP500e, Versión C, la muestra de verificación fue Glas 210 de fecha 15-01-2017, de la Dirección de Servicios Especializados y Transferencia Tecnológica, Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética de la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL), ubicada en la ciudad de Guayaquil, como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Máquina de ensayos térmicos de la ESPOL

Para determinar la conductividad térmica se emplea la ecuación:

$$\lambda = \frac{q \cdot L}{\Delta T \cdot A} \quad (13)$$

Donde:

λ = Conductividad térmica del espécimen (W/m K)

q = Rapidez del flujo de calor a través del espécimen (W)

L = espesor de la muestra (m)

ΔT = Diferencia de temperaturas a través del espécimen (°C o K)

A = Área de la sección transversal

La rapidez del flujo de calor se calcula con la ecuación:

$$q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L} \quad (14)$$

Donde:

q = Rapidez del flujo de calor a través del espécimen (W)

k = Conductividad térmica (W/m K)

ΔT = Diferencia de temperaturas a través del espécimen ($^{\circ}\text{C}$ o K)

A = Área de la sección transversal (m^2)

L = espesor de la muestra (m)

Las condiciones que deben reunir las maderas para el ensayo de conductividad térmica incluyen: las muestras deben ser composiciones homogéneas de forma cuadrada, con dimensiones mínimas de $150 \times 150 \text{ mm}^2$ y con espesores desde 10 mm hasta 200 mm estar en estado estable de espesor, flujo de calor, temperatura fijas de las superficies de las caras, con un rango de conductividad de 0.002 a 2.5 W/m K ., temperaturas medias desde -10°C hasta 50°C , con una diferencia de temperaturas de 15°C entre las placas. (ISO 8302, 1991), los datos se registraron como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11

Medidas de los especímenes de maderas Arenillo, Laurel y Seique, para el ensayo de conductividad térmica

Muestra	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor(mm)	Peso (g)	Dens. Kg/m ³
ACT1	1807001	152	151	20,58	375,03	794,0
ACT2	1807002	152	151	20,61	367,14	776,1
ACT3	1807003	152	151	20,65	374,53	790,2
ACT4	1807004	152	151	20,58	364,21	766,0
ACT5	1807005	152	151	20,64	367,63	776,0
LCT1	1807006	152	151	19,58	156,44	348,1
LCT2	1807007	152	151	19,31	153,46	346,3
LCT3	1807008	152	150	19,48	153,85	346,4
LCT4	1807009	150	152	19,45	155,87	351,5
LCT5	1807010	152	149	18,96	152,93	356,1
SCT1	1807011	152	151	19,49	236,56	528,8
SCT2	1807012	152	151	19,9	240,23	526,0
SCT3	1807013	152	151	19,92	239,66	524,2
SCT4	1807014	152	151	19,73	240,7	531,5
SCT5	1807015	152	151	19,81	241,35	530,8

La investigación se realizó durante 24 horas a con humedad bajo 80%, Temperatura media del ensayo fue de 23°C y diferencia de Temperatura de 15°C respecto a cada madera:

.- Para Arenillo con una Temperatura Ambiente Promedio de 21,8°C y Humedad Relativa de 64,4%.

.- Para Laurel la Temperatura Ambiente Promedio fue de 22°C y Humedad Relativa de 62,6%

.- Para Seique la Temperatura Ambiente Promedio fue de 22°C y Humedad Relativa de 64,1%

Simulación con Sistema ANSYS R19.0

Se trata de un software de ingeniería con el cual es posible simular todos los aspectos estructurales de un producto, específicamente se realizan análisis estáticos lineales para obtener tensiones o deformaciones, adicionalmente proporciona modelos de análisis que determinan las características de vibración así como estudios avanzados no lineales de tipo transitorios que se centran específicamente en los efectos dinámicos y algunos comportamientos complejos; este programa permite resolver problemas estructurales que involucran la no linealidad geométrica y todas las configuraciones posibles de contacto, vinculando capacidades térmicas tales como convección, conducción y radiación a los análisis estructurales, permitiendo resultados rápidos y precisos.

Reporte de simulación numérica por computadora: Simulación de radiación

Inicialmente se crea un volumen de control que contenga a la casa y simule el aire circulante, como se muestra en la figura 11.

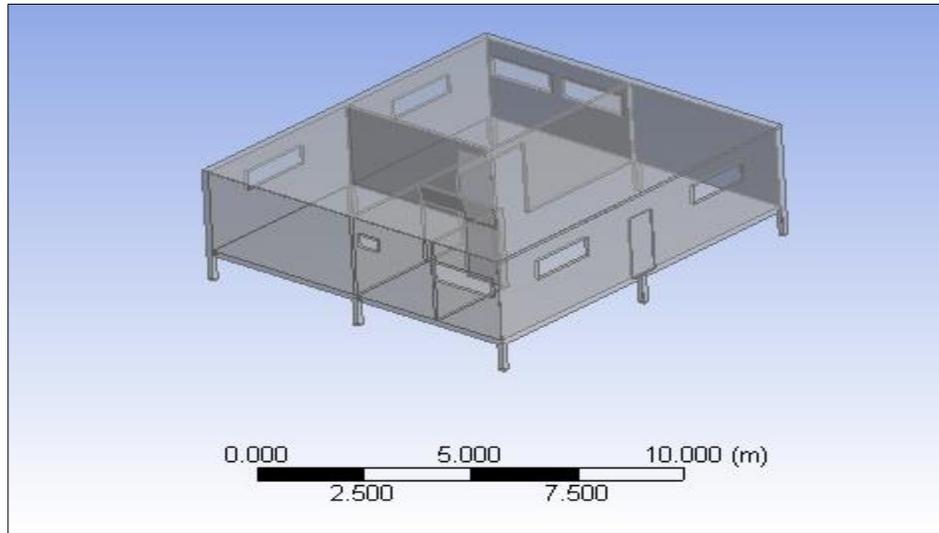


Figura 11. Volumen de control de casa con simulación de aire circundante

Se realizan operaciones booleanas de sustracción sin eliminar el sólido de la casa para poder analizar los fenómenos de transferencia de calor por conducción, convección y radiación, tal como se muestra en la figura 12.

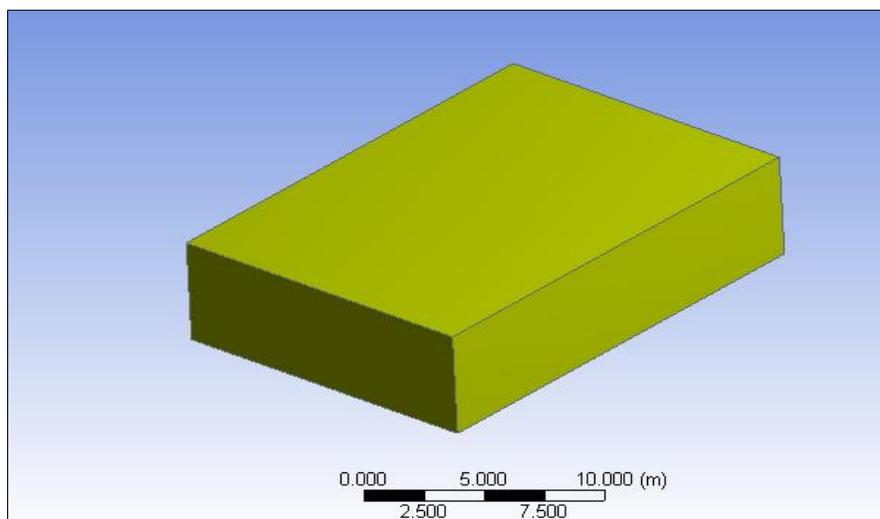


Figura 12. Sólido de casa para operaciones booleanas

Se eligen las opciones de los parámetros para operaciones booleanas como se muestra en la figura 13.

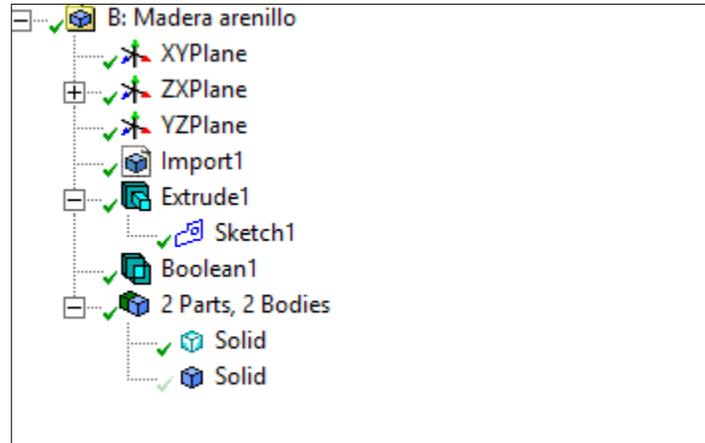


Figura 13. Opciones de parámetros para operaciones booleanas

Se generan conexiones ya que existe contacto entre dos interfaces solido – gas, en este caso se trata de la casa y el aire circundante, como se muestra en la figura 14.

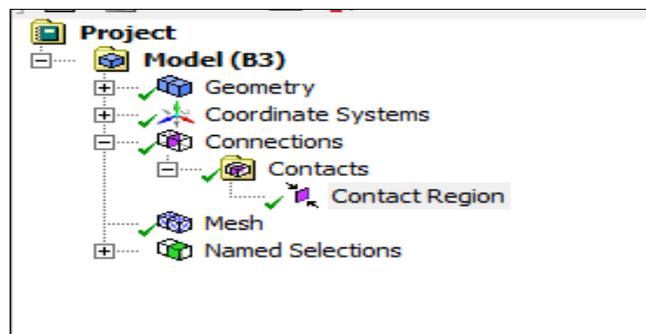


Figura 14. Conexiones de contacto

Se realiza la simulación del cuerpo de contacto como se observa en la figura 15.

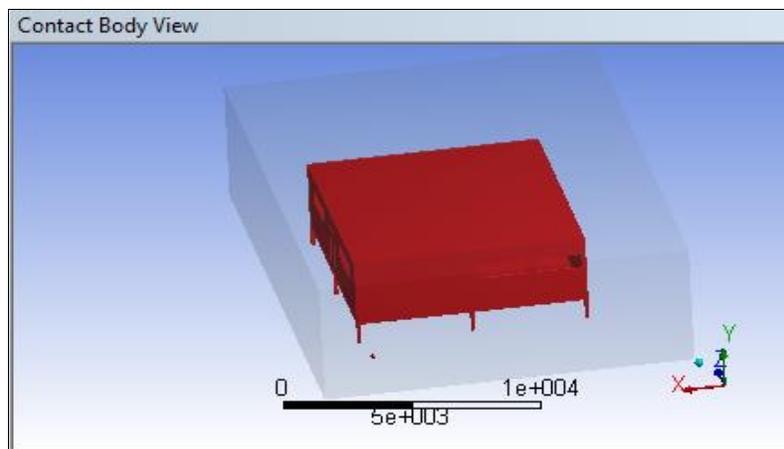


Figura 15. Cuerpo de contacto

Se diseña el bloque del objeto de contacto como se muestra en la figura 16.

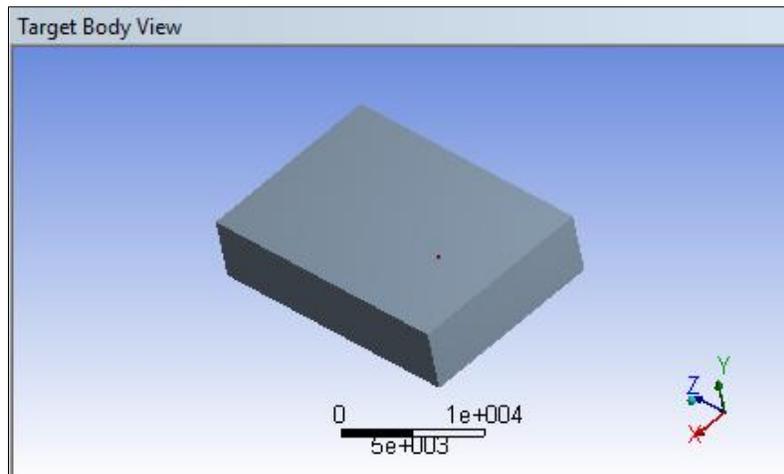


Figura 16. Objetivo de contacto

Se le indica al sistema los parámetros de mallado que se requieren, como se evidencia en la figura 17

Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
<input type="checkbox"/> Relevance	0
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Element Order	Linear
Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse
<input type="checkbox"/> Element Size	500.0 mm
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Transition	Slow
Initial Size Seed	Assembly
Span Angle Center	Fine
Bounding Box Diagonal	25811 mm
Average Surface Area	1.0153e+007 mm ²

Figura 17. Parámetros de mallado

En este caso se elige la opción el motor de resolución a FLUENT. Se toma la función para el tamaño *Size function* como adaptativo para poder decidir acerca del tamaño del elemento, se realiza una transición suave para evitar elementos con bordes muy pronunciados que puedan generar una discontinuidad.

La calidad del elemento viene dada por la siguiente ecuación, que relaciona el área de un elemento sobre la sumatoria de su perímetro, señalado en la figura 18.

$$Quality=C \left(\text{área} / \Sigma (EdgeLength)^2 \right) \quad (15)$$

El valor de C viene expresado por los elementos que se muestran en la figura 19

Element	Value of C
Triangle	6.92820323
Quadrangle	4.0
Tetrahedron	124.70765802
Hexagon	41.56921938
Wedge	62.35382905
Pyramid	96

Figura 18. Valor de C

En este estudio se tienen los resultados de calidad del elemento que se muestran en la figura 19.

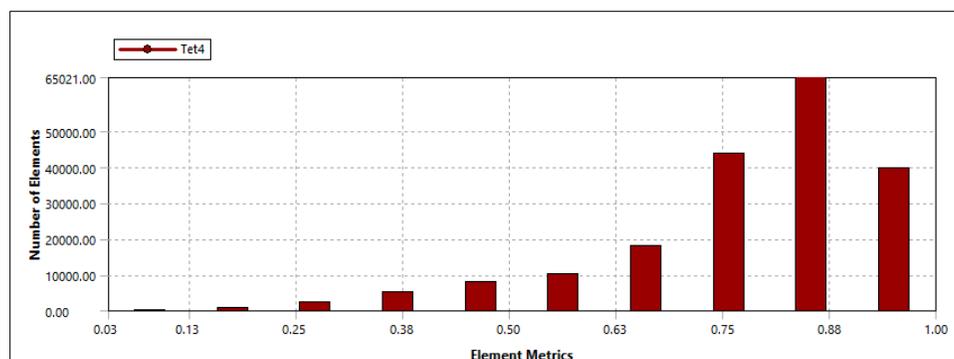


Figura 19. Resultado de la calidad del elemento

Se puede observar que la calidad de los elementos es alta, en su mayoría los elementos están ubicados del 75 al 97% en calidad para elementos tetraedros.

La oblicuidad de los elementos compara la geometría y forma del elemento obtenido en la malla respecto al elemento más ideal (cuadrilátero o triangular para mallado en 2 dimensiones). Quiere decir que se indica la desviación geométrica que tienen los elementos sobre lo que debería ser lo más óptimo. Los valores están entre 0 – 1, siendo los valores más cercanos al 0 lo más adecuado ya que indicaría que no se desvían de lo ideal

Una valoración de cómo este parámetro de oblicuidad influye para colocar en diferentes rangos los elementos es como se muestra en la figura 20

Value of Skewness	Cell Quality
1	degenerate
0.9 – <1	bad (sliver)
0.75 – 0.9	poor
0.5 – 0.75	fair
0.25 – 0.5	good
>0 – 0.25	excellent
0	equilateral

Figura 20. Valores de los parámetros de oblicuidad

La relación que se toma para este parámetro se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Skewness} = \frac{\text{Optimal Cell Size} - \text{Cell Size}}{\text{Optimal Cell Size}} \quad (16)$$

Los valores se encuentran distribuidos entre 0.10 - 0.38, lo que indica que los elementos no están desviados significativamente de los elementos más ideales como se explicó anteriormente, evidenciados en la figura 21

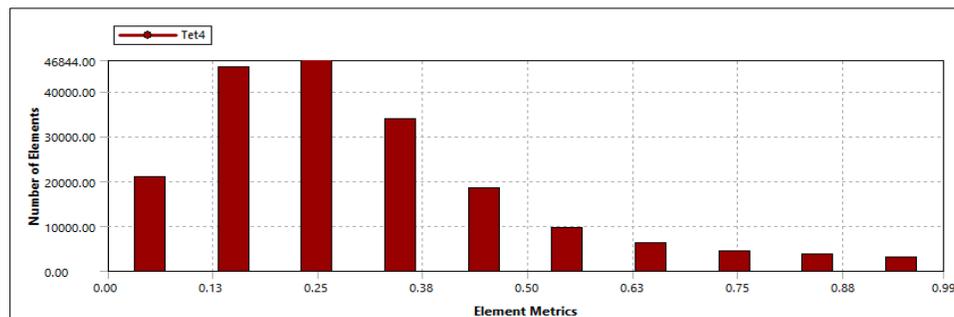


Figura 21. Distribución de los valores

Se procede por lo tanto a determinar el objeto con mallado, como se puede evidenciar en la figura 22.

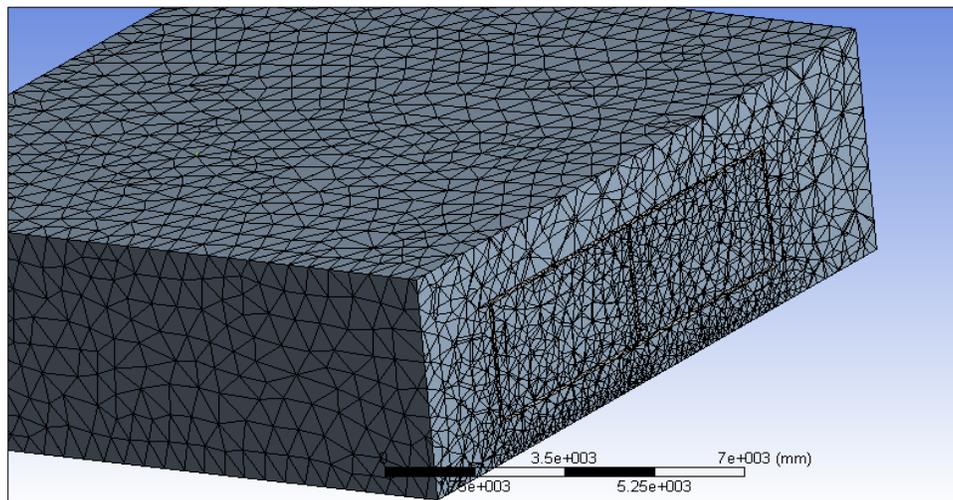


Figura 22. Objeto con mallado

Los elementos generados son:

- 20683 tetrahedral cells, zone 5, binary.
- 170970 tetrahedral cells, zone 6, binary.
- 20683 cell partition ids, zone 5, 3 partitions, binary.
- 170970 cell partition ids, zone 6, 3 partitions, binary.
- 21450 mixed wall faces, zone 8, binary.
- 21450 mixed wall faces, zone 15, binary.
- 18 triangular wall faces, zone 1, binary.
- 9260 triangular wall faces, zone 2, binary.
- 34492 triangular interior faces, zone 3, binary.
- 328802 triangular interior faces, zone 4, binary.

- 1094 triangular velocity-inlet faces, zone 9, binary.
- 2932 triangular pressure-outlet faces, zone 10, binary.
- 13730 triangular interface faces, zone 11, binary.
- 12990 triangular interface faces, zone 12, binary.
- 21450 interface face parents, binary.
- 21450 interface face parents, binary.
- 21450 interface metric data, zone 8, binary.
- 21450 interface metric data, zone 15, binary.
- 21450 shadow face pairs, binary.
- 42149 nodes, binary.
- 42149 node flags, binary.

El tipo de flujo seleccionado es el modelo viscoso, turbulento, k-e (kappa - épsilon) que permite describir muy bien el comportamiento de la simulación numérica ya que la convección del aire es un aspecto importante y valores de velocidades de viento como 8 m/s pueden sucederse por tanto existirá turbulencia, para k-e el método Realizable simplifica y mejora el uso y resolución de las ecuaciones de *Navier Stokes*, las constantes del modelo se las deja por default ya que son las que mejores se han adaptado a este modelo de turbulencia k-e, se registran en la figura 23

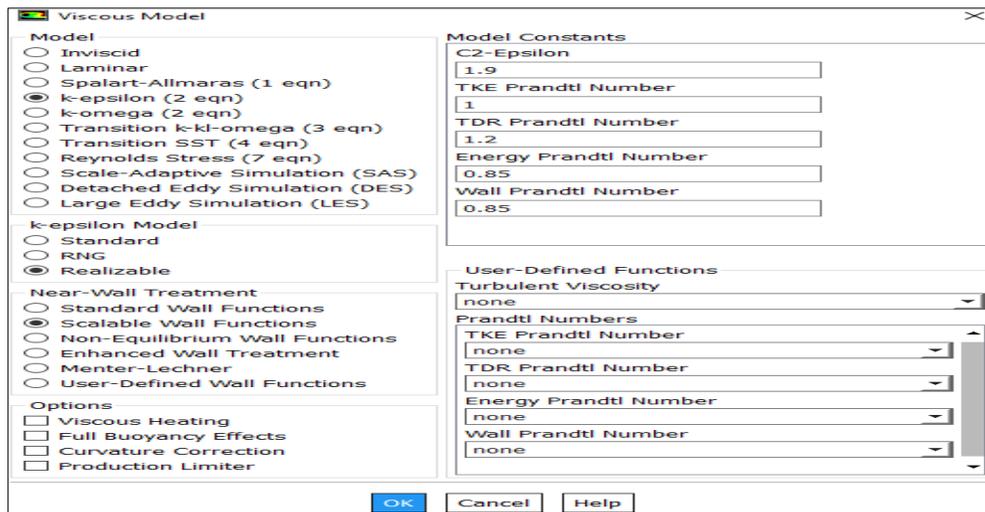


Figura 23. Modelo viscoso

Los materiales seleccionados son tres tipos de madera:

1. Arenillo
2. Laurel
3. Seique

Además el aire será el fluido, no se han tomado consideraciones de variación de densidad u otra variable para el fluido, esta selección del material se realiza tal como se indica en la figura 24.

Name	wood	Material Type	solid	Order Materials by	<input checked="" type="radio"/> Name <input type="radio"/> Chemical Formula
Chemical Formula		Fluent Solid Materials	wood	Fluent Database...	User-Defined Database...
		Mixture	none		
Properties					
Density (kg/m3)	constant		700	Edit...	
Cp (Specific Heat) (j/kg-k)	constant		2310	Edit...	
Thermal Conductivity (w/m-k)	constant		0.19126	Edit...	
Change/Create Delete Close Help					

Figura 24. Selección del material

Se puede observar cómo se han modificado las propiedades de la madera según corresponda a los valores obtenidas en laboratorio; de las celdas existe sólido y fluido, como se aprecia en la figura 25.

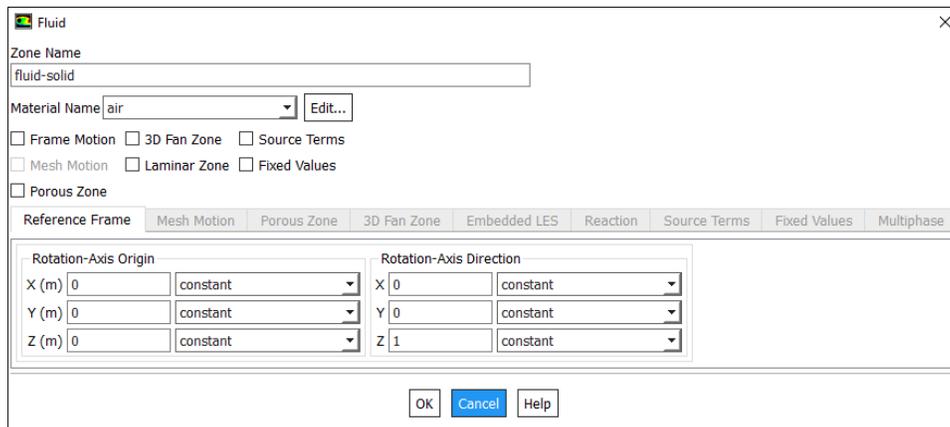


Figura 25. Celdas de fluido

En cuanto al Modelo de Radiación, los parámetros usados en la simulación se pueden apreciar a continuación en la figura 26.

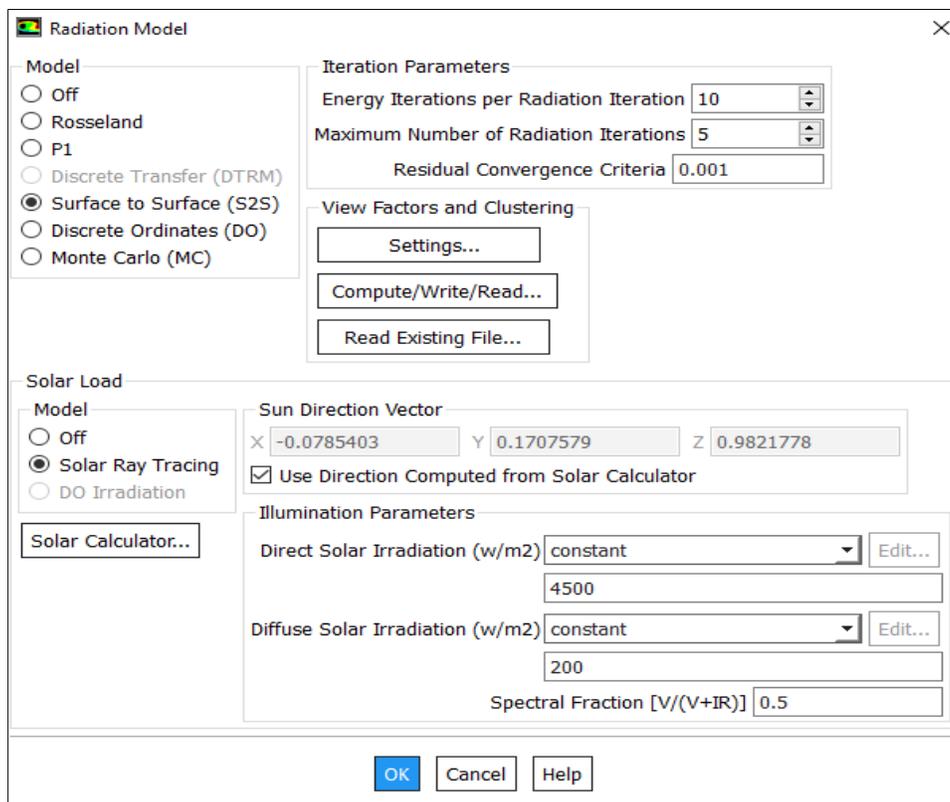


Figura 26. Parámetros usados en la simulación

Donde se evidencia una Irradiación total de 4500W/m2; se ha utilizado la calculadora solar, donde se pueden ingresar los valores de latitud y longitud, registrados en la figura 27.

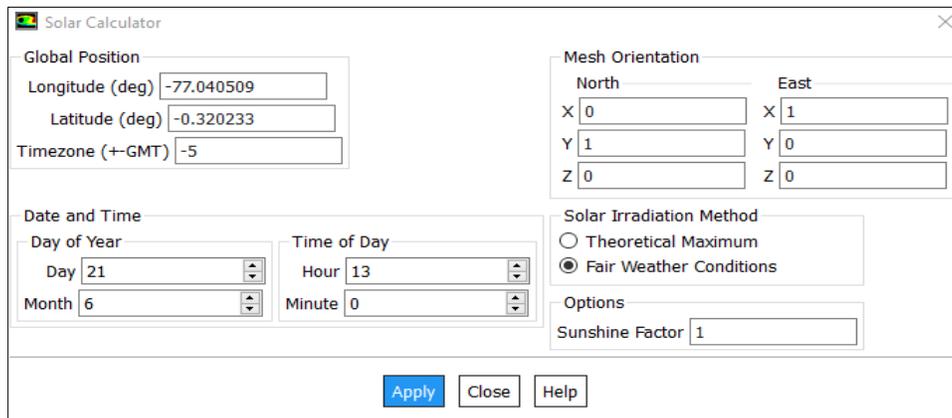


Figura 27. Calculadora solar

El día y el mes y hora, se han escogido el 21 de junio a las 13:00, ya que se estima que es un día pico en radiación, lo cual se aprecia en la figura 28.

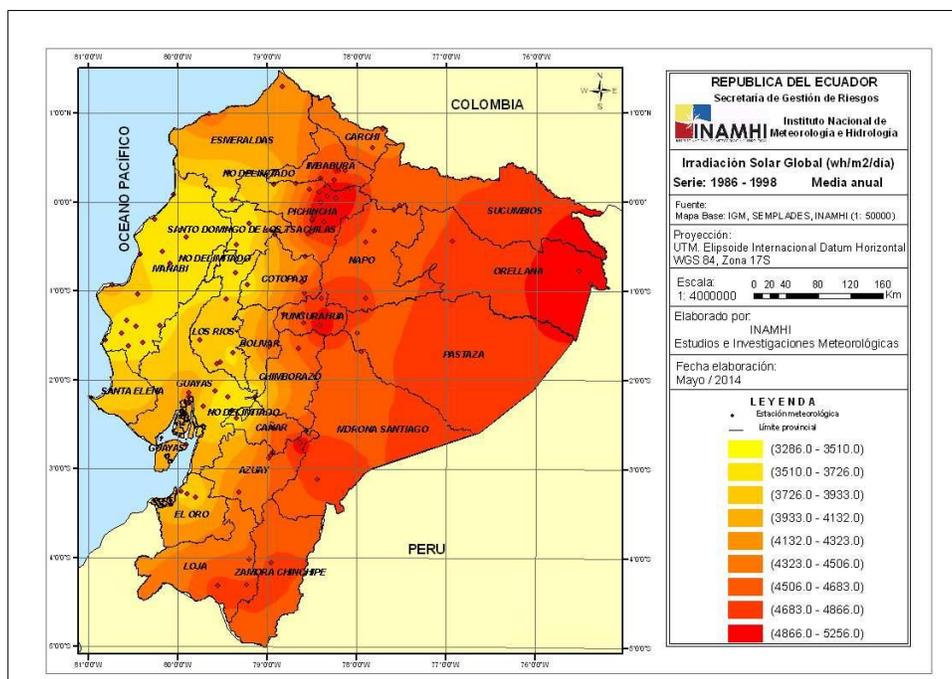


Figura 28. Irradiación solar en Ecuador
Fuente: INAMHIM, (2014)

Adicionalmente, según el INAMHI en la provincia de Napo y Orellana, la radiación alcanza un promedio de 4500 W/m²; por lo que se ha seleccionado este valor; hay que tener en

cuenta que cada 11 años se actualizan estos valores de radiación debido al ciclo solar que dura este tiempo por la rotación del Sol en su propio eje.

Para resolver un problema específico de radiación, se deben tomar en cuenta los parámetros de absorptividad, emisividad, reflectividad y transmisibilidad, y para simplificar el análisis y realizar suposiciones, existen distintos métodos como los usados en herramientas de simulación *Rosseland*, P1, S2S y otros, para este estudio se ha seleccionado el método *Surface to Surface S2S* ya que es el más recomendado para este caso, tal como se muestra en la figura 29.

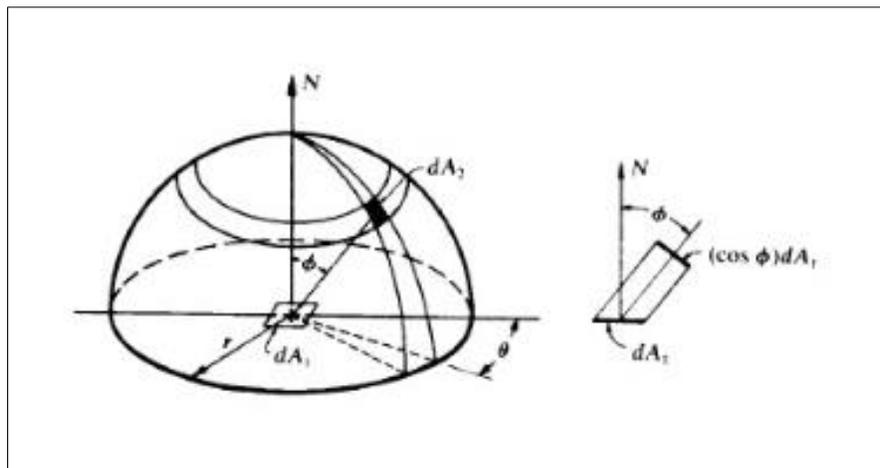


Figura 29. Dirección de la radiación
Fuente: Gooding, (2008)

Se puede apreciar un análisis de dirección de la radiación respecto a un elemento diferencial de Área con Irradiación incidente I, el método de solución S2S para radiación se usa para entornos y volúmenes de control con el principio de superficies grises difusas (son simplificaciones para resolver el problema del cuerpo negro en la radiación), basado en que el intercambio de energía entre dos superficies depende, en parte de su tamaño, orientación,

geometría y separación, por lo que los llamados “*view factors*” permiten obtener la cantidad de radiación que se refleja en la superficie contraria.

La principal suposición del método S2S es que cualquier absorción, emisión o dispersamiento de radiación puede ser ignorada; claro está que se consideró solo la radiación entre superficies con el método S2S. La emisividad y absorptividad de una superficie gris difusa es independiente de la longitud de onda.

La ecuación que gobierna el método S2S es la siguiente:

$$q_{out, \kappa} = \epsilon_{\kappa} \sigma T_{\kappa}^4 + \rho_{\kappa} q_{in, \kappa} \quad (17)$$

En donde q_{out} es el flujo de calor abandonando la superficie, se puede distinguir también la emisividad, la constante de boltzman y q_{in} que es el flujo de calor incidente de los alrededores; por tanto se ha seleccionado este método de radiación S2S para solucionar las ecuaciones de energía y momentum que corresponden al modelado de radiación incidente sobre una vivienda en el Oriente Ecuatoriano, en este caso las paredes de la vivienda simularan superficies grises difusas que absorberán la radiación proveniente del sol y la emisividad y la absorptividad serán independientes de la longitud de onda, mostrado en la figura 30.

Figura 30. Condiciones de borde

En este paso del proceso, se seleccionan las condiciones térmicas combinadas ya que existirá radiación y convección, el coeficiente de transferencia de calor por convección será de 28 W/m² K según la ecuación de Wammuf que relaciona la velocidad del viento en este fenómeno, la temperatura externa del aire será de 300 K.

Se coloca un estimado del espesor de las paredes en toda la vivienda igual a 0.1, y se selecciona la madera como material, como se muestra en la figura 31.

Figura 31. Condiciones térmicas

Para el modelamiento de presión y velocidad se escoge *Coupled*, ya que es el que mejores resultados presenta junto al método de radiación S2S, en el modelo de presión y velocidad se aplican condiciones para resolver las ecuaciones de momentum; existen los modelos SIMPLE, SIMPLER, PISO, *Coupled* y NITA; el método *Coupled* usado ofrece robustez y eficiencia para la implementación de modelos de flujo estable, este método se visualiza en la figura 32.

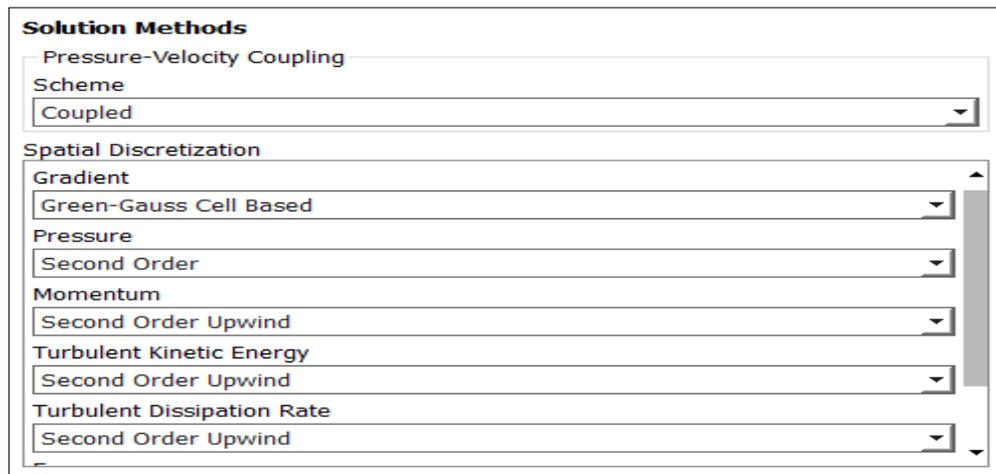


Figura 32. Método *Coupled*

Se establecen los valores de convergencia para momentum, energía, velocidad y el modelo k-e, los residuales indican que tan bien ocurre la convergencia del problema, indicados en la figura 33.

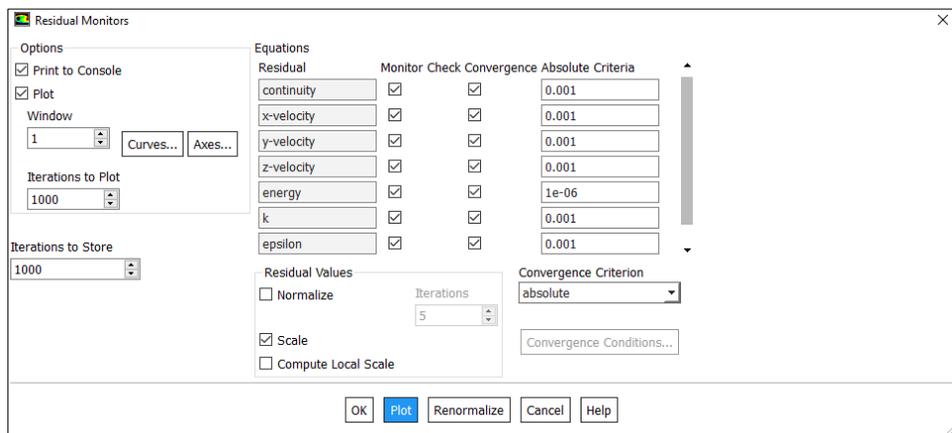


Figura 33. Residuales

Después de realizar la simulación, los residuales obtenidos son satisfactorios y se muestran en la gráfica de convergencia como en la figura 34.

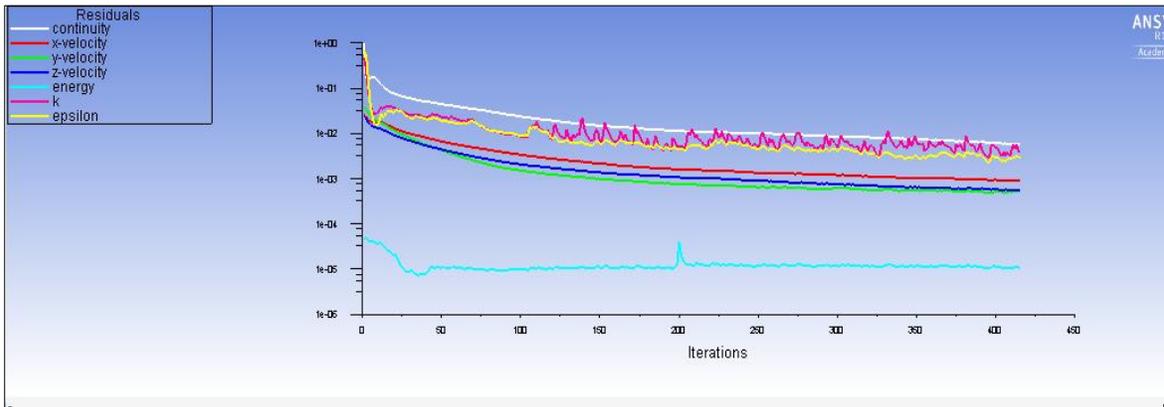


Figura 34. Residuales obtenidos

. - Modelo de resultados

Tomando un plano a 0.906 m del centro en el eje z y una altura de 2 m en el eje y, es posible observar los resultados de temperatura, cómo se muestra en la figura 35.

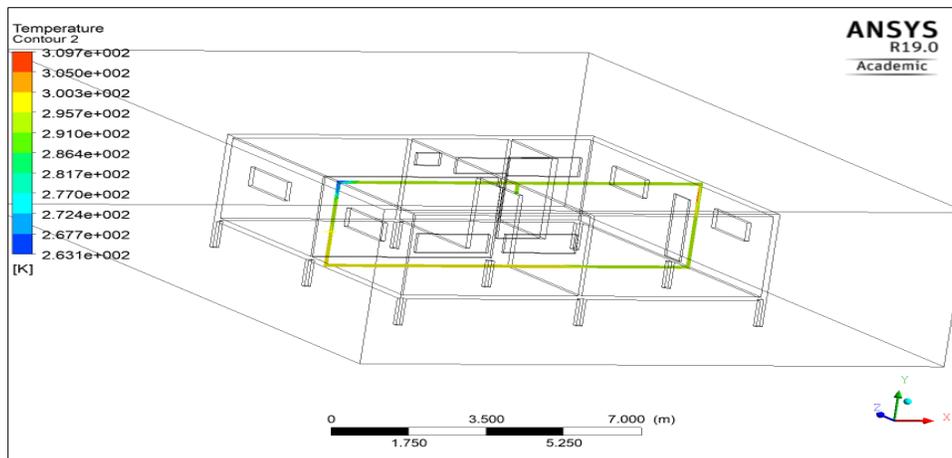


Figura 35. Plano con temperaturas

En este mismo plano en la pared izquierda se traza el perfil de temperatura, como se muestra en la figura 36.



Figura 36. Perfil de temperatura

Se obtiene el siguiente modelo de gráfica de temperatura para la pared izquierda, según la figura 37.

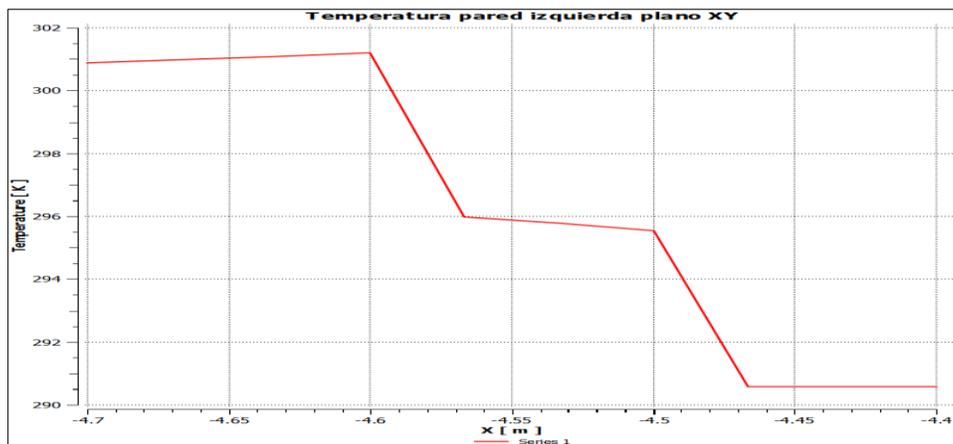


Figura 37. Modelo de gráfica de temperatura pared izquierda

Se obtiene el siguiente modelo de gráfica de temperatura para la pared derecha, según la figura 38.

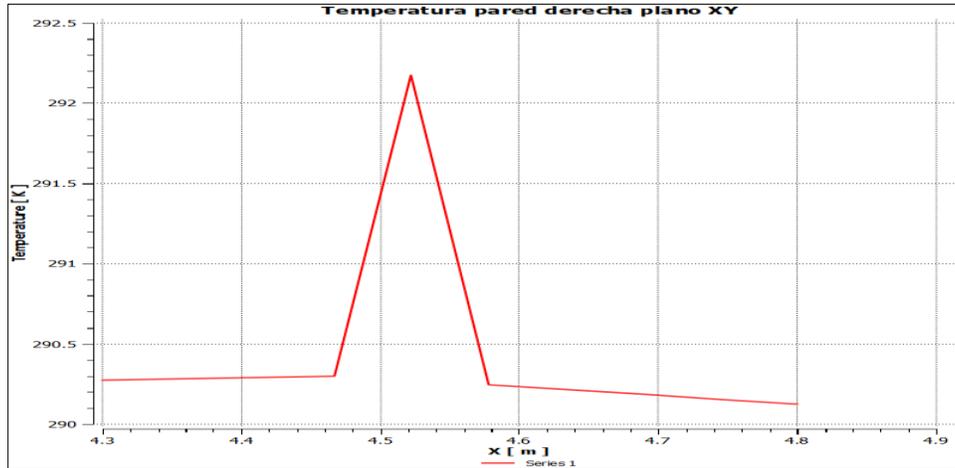


Figura 38. Modelo de gráfica de temperatura pared derecha

Analizando el plano YZ se obtienen el plano de temperatura y los perfiles de temperatura frontales y laterales, como se ejemplifica en las figuras 39, 40 y 41 respectivamente.

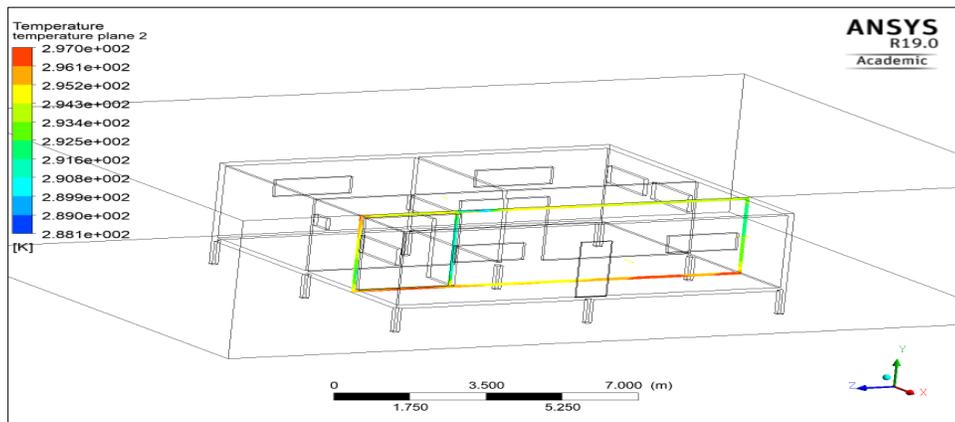


Figura 39. Plano de temperatura

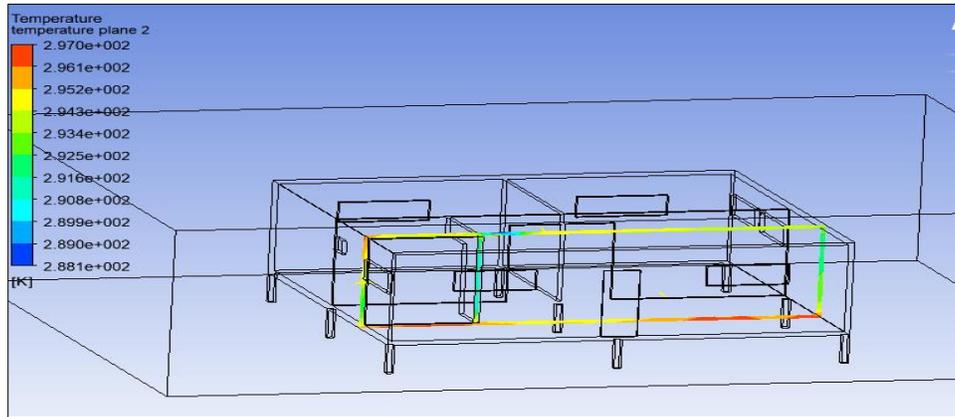


Figura 40. Perfil de temperatura

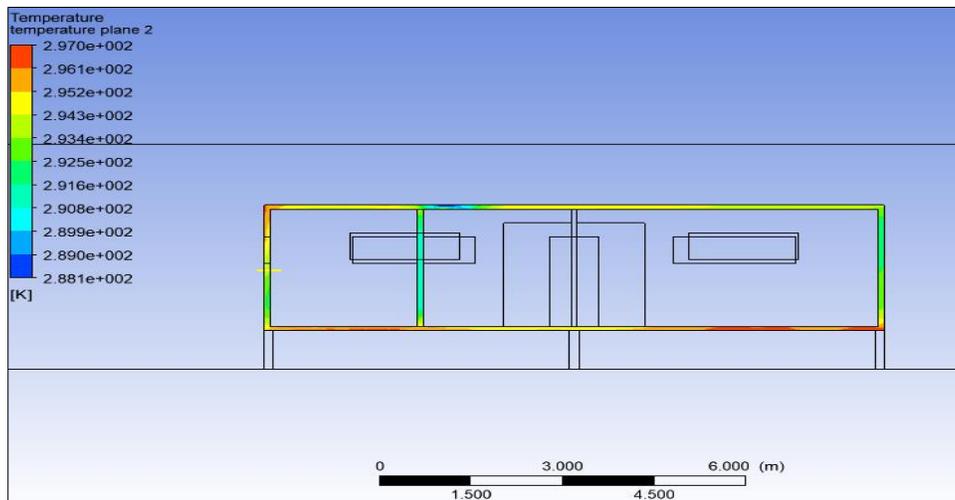


Figura 41. Perfil de temperatura pared izquierda

Posteriormente es posible obtener las gráficas de temperatura de las paredes, ejemplos de modelos de estas se evidencian en las figuras 42 y 43.

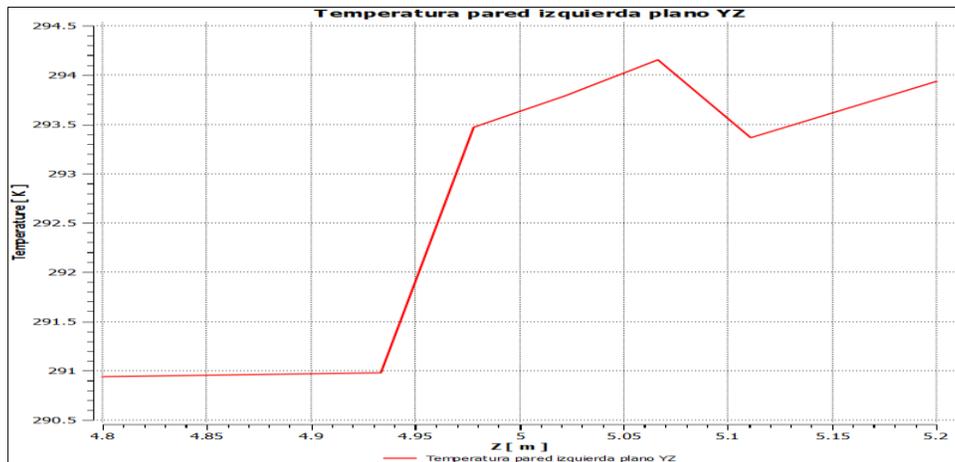


Figura 42. Modelo de gráfica de temperatura pared izquierda

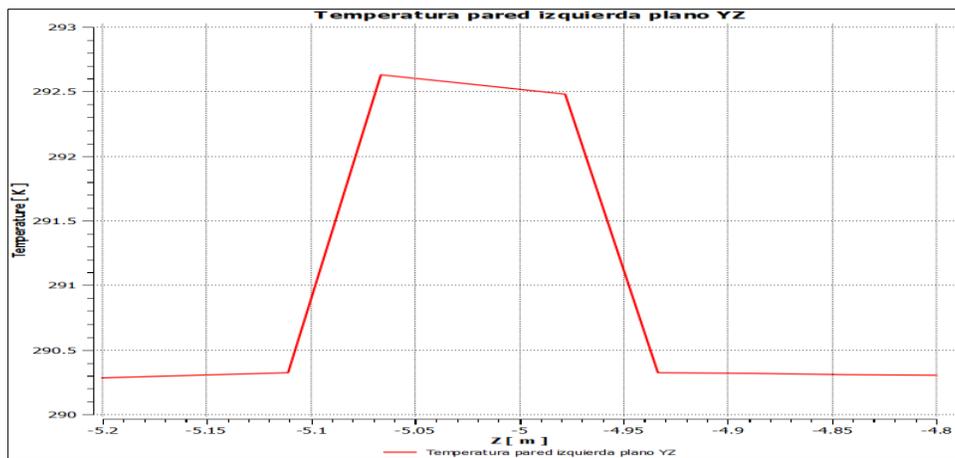


Figura 43. Modelo de gráfica de temperatura pared derecha

Simulación con Sistema ANSYS R19.0 para caracterización de conductividad térmica de las maderas en estudio

Se realizó una simulación con este sistema para establecer, en condiciones virtuales, la conductividad térmica a través de las paredes de madera de una estructura de vivienda tipo rural, en la cual se diseñaron cuatro cortes para cada una de la maderas.

Los datos obtenidos con el programa permitieron realizar los siguientes cálculos:

.- **Flujo por Conducción:** se trata de un mecanismo de transferencia de calor a través de la materia, donde existe una entrega de energía desde las partículas que contienen más hacia las que contienen menos, esto conlleva a un flujo de calor de calor desde la partícula con mayor temperatura hacia la que contiene temperaturas más bajas, esto solo ocurrirá si existe diferencia de temperatura entre dos partes del medio conductor, la fórmula empleada para su cálculo es:

$$H = \frac{kA (T_2 - T_1)}{L} \quad (18)$$

Donde:

H= calor transferido por unidad de tiempo (Watts)

k= conductividad térmica del material (W/mK)

A= área

T= temperatura de las superficies exteriores

L= largo

.- **Flujo por Convención:** se trata de un mecanismo de transferencia de calor por circulación dentro de la materia o sustancia, se relaciona con diferencia de densidades de la materia, se calcula con la siguiente fórmula:

$$H = h A (T_A - T) \quad (19)$$

Donde:

H= transferencia de calor por convección (W)

h= coeficiente de convección (W/m²K)

A= superficie que entrega calor

TA= temperatura al fluido adyacente

T= temperatura

.- Flujo por Radiación: es la energía emitida por un material que se encuentra a una determinada temperatura, la misma se produce de manera directa desde la fuente de calor hacia afuera de esta y se transmite en todas direcciones, la fórmula empleada para su cálculo es:

$$H_{\text{neta}} = \varepsilon \sigma A (T^4 - T_0^4) \quad (20)$$

Donde:

H= transferencia neta de calor por radiación (W)

ε = emisividad

σ = constante de Stefan-Boltzmann (Ludwing Boltzmann) ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$)

A = área de superficie

T= temperatura del cuerpo

T₀= temperatura del ambiente

Para todas las maderas se estableció que por convección del viento, se tiene un valor de 28 W/m²-k según la ecuación de Watmuf, la temperatura de 17 C; Rad: 4500 W/m-k; Velocidad del viento: 5 m/s.

.- Arenillo

Tipo: CFD

Estado: Estado Estable

Fluidos: Aire

Solidos: Madera – Arenillo

Conductividad térmica del Arenillo: 0.19126 W/m-K

.- Laurel

Tipo: CFD

Estado: Estado Estable

Fluidos: Aire

Solidos: Madera – Laurel

Conductividad térmica del Laurel: 0.10076 W/m-K

.- Seique

Tipo: CFD

Estado: Estado Estable

Fluidos: Aire

Solidos: Madera – Seique

Conductividad térmica del Seique: 0.11652 W/m-K

CAPÍTULO III

Resultados

Compresión Paralela a la Fibra

.- Arenillo

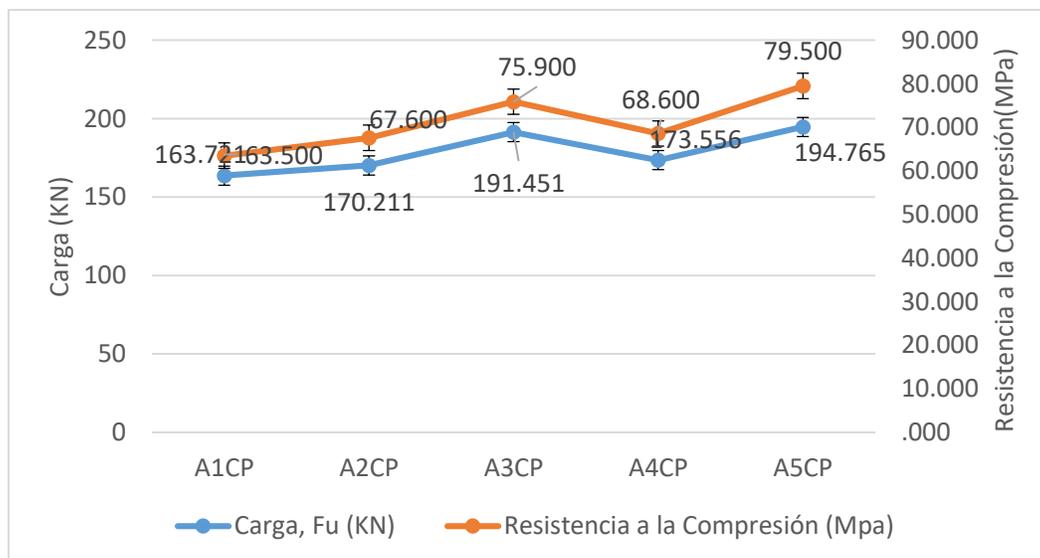


Figura 44. Gráfica Carga vs Resistencia a la Compresión paralela a la fibra de Arenillo

La figura 44 muestra las 5 probetas de Arenillo sometidas a compresión con cargas hasta de 195 KN, y se evidencia que la probeta A1CP y A2CP registraron el menor esfuerzo último, mientras que la A5CP registró el máximo valor; la desviación estándar fue de 6.51 Mpa, como se evidencia en la tabla 12.

Tabla 12

Resultado del ensayo de compresión paralela a la fibra del Arenillo

Compresión Paralela a la fibra del Arenillo					
N°	Espécimen	Área, A (mm ²)	Carga, Fu (KN)	Esfuerzo último, (Mpa)	Resistencia a la Compresión (Mpa)
1	A1CP	2578.10	163.721	71.34	63.50
2	A2CP	2517.53	170.211	74.17	67.60
3	A3CP	2522.53	191.451	83.42	75.90
4	A4CP	2531.60	173.556	75.62	68.60
5	A5CP	2450.24	194.765	84.86	79.50
Media				70.7746	70.783
Desviación estándar				6.5128	6.516
Intervalo de confianza				0.6736	0.674

La tabla 12 muestra un promedio de 70.783 Mpa para la Resistencia a la Compresión de la fibra del Arenillo.

.- Laurel

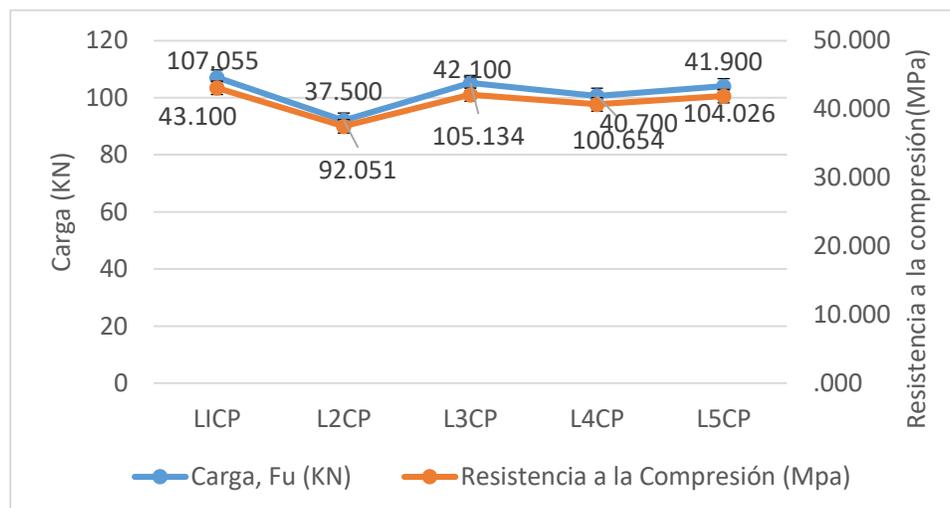


Figura 45. Gráfica Carga vs Resistencia a la Compresión paralela a la fibra de Laurel

La figura 45 muestra las 5 probetas de Laurel sometidas a compresión con cargas hasta de 107 KN, y se evidencia que la probeta L2CP registró el menor esfuerzo último, mientras que la L1CP registró el valor máximo; la desviación estándar fue de 2.1394 Mpa como se evidencia en la tabla 13.

Tabla 13

Resultado del ensayo de compresión paralela a la fibra del Laurel

Compresión Paralela a la fibra del Laurel					
Nº	Espécimen	Área, A (mm ²)	Carga, Fu (KN)	Esfuerzo último, (Mpa)	Resistencia a la Compresión (Mpa)
1	L1CP	2485.512	107.055	43.07	43.10
2	L2CP	2453.1809	92.051	37.52	37.50
3	L3CP	2499.4958	105.134	42.06	42.10
4	L4CP	2471.0441	100.654	40.73	40.70
5	L5CP	2484.9825	104.026	41.86	41.90
		Media		41.00435	41.013
		Desviación estándar		2.13948	2.165
		Intervalo de confianza		0.22128	0.224

La tabla 13 muestra un promedio de 41.013 Mpa para la Resistencia a la Compresión de la fibra del Laurel

.- Seique

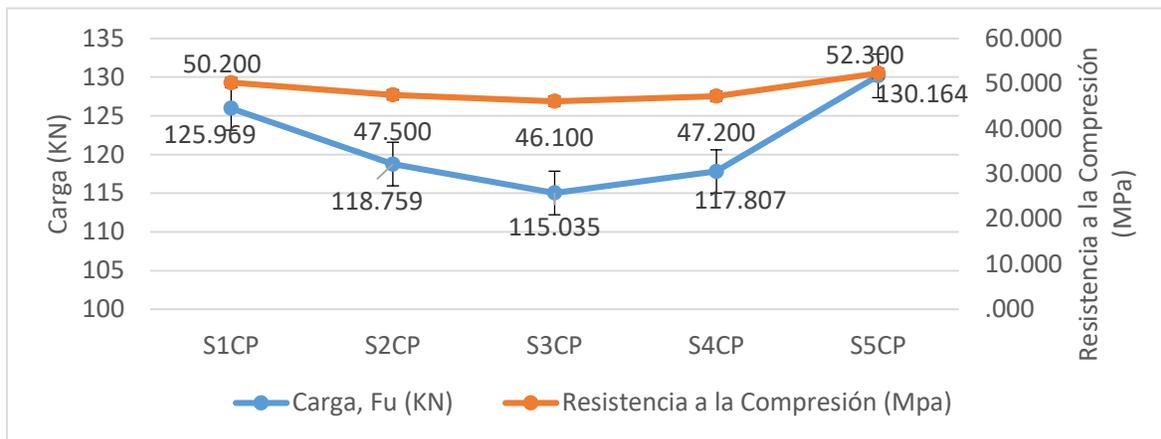


Figura 46. Gráfica Carga vs Resistencia a la Compresión paralela a la fibra de Seique

La figura 46 muestra las 5 probetas de Seique sometidas a compresión con cargas hasta de 130 KN, y se evidencia que las probetas S2CP, S3CP y S4CP registraron el menor esfuerzo último y la S5CP el mayor; la desviación estándar se registró en de 2.543 Mpa como se evidencia en la tabla 14.

Tabla 14

Resultado del ensayo de compresión paralela a la fibra del Seique

Compresión Paralela a la fibra del Seique					
N°	Espécimen	Área, A (mm ²)	Carga, Fu (KN)	Esfuerzo último, (Mpa)	Resistencia a la Compresión (Mpa)
1	S1CP	2507.00	125.969	50.25	50.20
2	S2CP	2501.00	118.759	47.48	47.50
3	S3CP	2496.49	115.035	46.08	46.10
4	S4CP	2496.50	117.807	47.19	47.20
5	S5CP	2489.51	130.164	52.29	52.30
Media				48.60448	48.608
Desviación estándar				2.54304	2.532
Intervalo de confianza				0.26302	0.262

La tabla 14 muestra un promedio de 48.608 Mpa para la Resistencia a la Compresión de la fibra del Seique

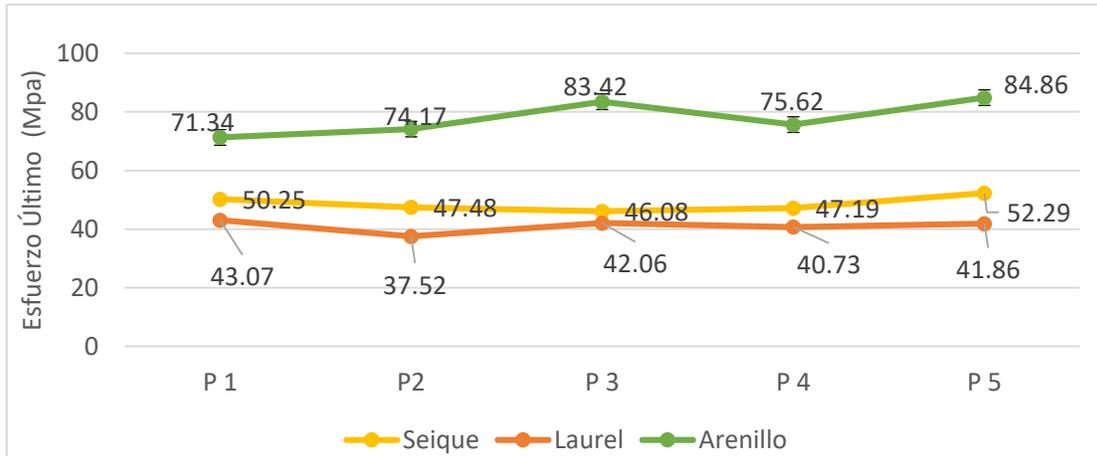


Figura 47. . Grafica comparativa de las diferentes especies de madera respecto a la resistencia a la compresión paralela

La figura 47, muestra la diferencia de los resultados obtenidos de la resistencia a compresión paralela para las diferentes especies de madera, donde se evidencia que la madera Arenillo mostró mayor resistencia en comparación con las otras especies, mientras que Seique y Laurel presentaron resistencia a la compresión paralela similares entre sí.

Compresión Perpendicular a la Fibra

.- Arenillo

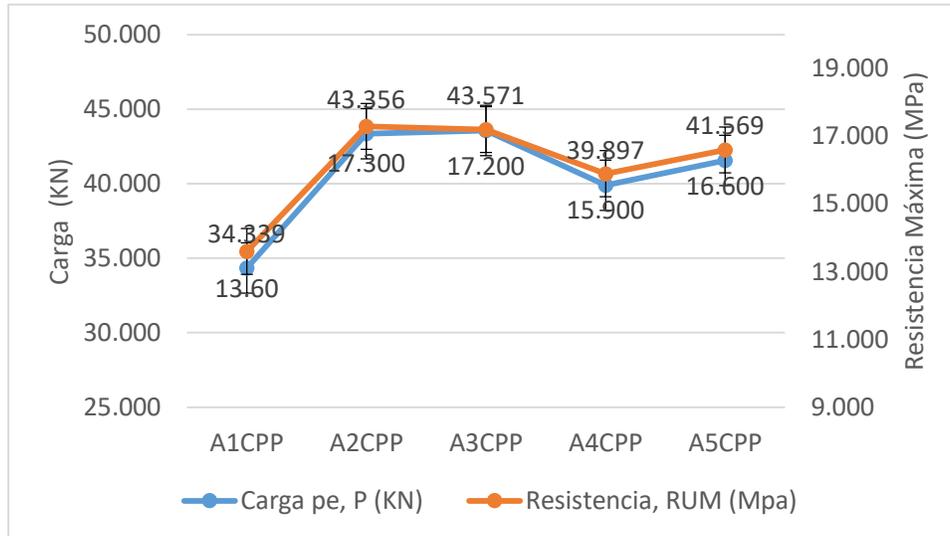


Figura 48. Gráfica Carga vs Resistencia a la Compresión perpendicular a la fibra de Arenillo

En la figura 48 se pueden apreciar los datos de las 5 probetas de la madera Arenillo que fueron sometidas a compresión perpendicular a la fibra con cargas entre 34 a 41.5 KN. El promedio de la RLP presentó una desviación estándar de 7.63 kg/cm², como se evidencia en la tabla 15.

Tabla 15

Resultados de ensayos de compresión perpendicular a la fibra de la madera del Arenillo

Compresión Perpendicular a la fibra del Arenillo								
Nº	Espécimen	Área, A (mm ²)	Carga lp, P (N)	Carga pe, P (KN)	Resistencia, RLP (Mpa)	Resistencia, RUM (Mpa)	Resistencia, RLP (kg/cm ²)	Resistencia, RUM (kg/cm ²)
1	A1CPP	2528.00	18150.00	34.34	7.18	13.60	73.21	138.68
2	A2CPP	2508.00	13840.00	43.36	5.52	17.30	56.27	176.41
3	A3CPP	2533.00	13880.00	43.57	5.48	17.20	55.88	175.39
4	A4CPP	2507.00	16920.00	39.90	6.75	15.90	68.82	162.14
5	A5CPP	2508.50	15780.00	41.57	6.29	16.60	64.15	169.27
Media					6.20755	16.059	63.300	163.759
Desviación estándar					0.74890	1.516	7.637	15.455
Intervalo de confianza					0.07746	0.157	0.790	1.598

En los resultados de la tabla 15, se registra un promedio de 163.75 Kg/cm² para la Resistencia Última Máxima por aplastamiento. La desviación estándar de 0,74 Mpa indica que la variación es baja

.- Laurel

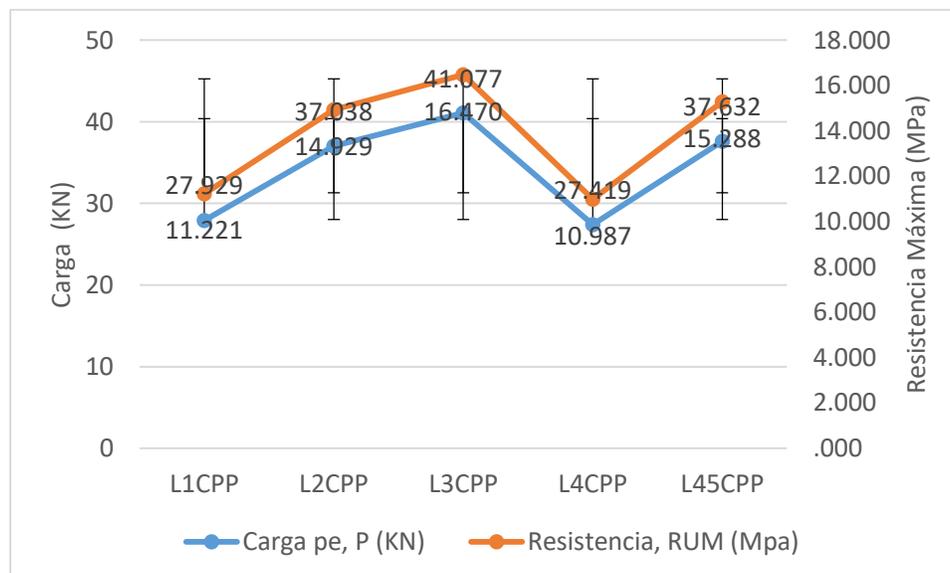


Figura 49. Gráfica Carga vs Resistencia a la Compresión perpendicular a la fibra de Laurel

En la figura 49 se puede apreciar las 5 probetas de la madera Laurel que fueron sometidas a compresión perpendicular a la fibra con cargas entre 27 a 41 KN. El promedio de la RLP presentó una desviación estándar de 26.561 kg/cm², como se evidencia en la tabla 16

Tabla 16. Resultados de ensayos de compresión perpendicular a la fibra de la madera del Laurel

Compresión Perpendicular a la fibra del Laurel								
N°	Espécimen	Área, A (mm ²)	Carga lp, P (N)	Carga pe, P (KN)	Resistencia, RLP (Mpa)	Resistencia, RUM (Mpa)	Resistencia, RLP (kg/cm ²)	Resistencia, RUM (kg/cm ²)
1	L1CPP	2489	14834.8191	27.929	5.96	11.22	60.78	114.42
2	L2CPP	2481	22596.521	37.038	9.11	14.93	92.87	152.23
3	L3CPP	2494	31585.0424	41.077	12.66	16.47	129.14	167.95
4	L4CPP	2495.5	18044.6558	27.419	7.23	10.99	73.73	112.04
5	L45CPP	2461.5	24994.1124	37.632	10.15	15.29	103.54	155.90
Media					8.72202	13.589	88.940	138.574
Desviación estándar					2.60476	2.509	26.561	25.584
Intervalo de confianza					0.26941	0.259	2.747	2.646

En los resultados de la tabla 16, se registra un promedio de 138.574 Kg/cm² para la resistencia última máxima por aplastamiento, la desviación estándar fue de 2.604 Mpa

.- Seique

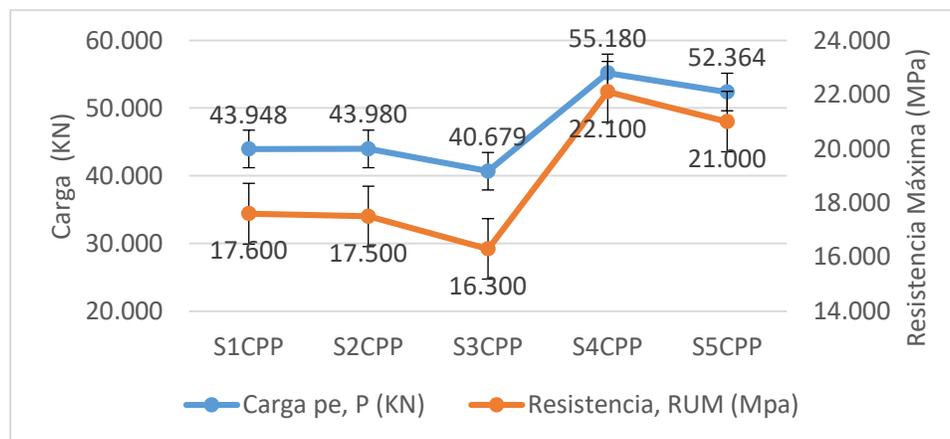


Figura 50. Gráfica Carga vs Resistencia a la Compresión perpendicular a la fibra de Seique

En la figura 50 se pueden apreciar los resultados de las 5 probetas de la madera Seique que fueron sometidas a compresión perpendicular a la fibra con cargas entre 40 a 55 KN. El promedio de la RLP presentó una desviación estándar de 19.956 kg/cm², como se evidencia en la tabla 17

Tabla 17

Resultados de ensayos de compresión perpendicular a la fibra de la madera del Seique

Compresión Perpendicular a la fibra del Seique								
Nº	Espécimen	Área, A (mm ²)	Carga lp, P (N)	Carga pe, P (KN)	Resistencia, RLP (Mpa)	Resistencia, RUM (Mpa)	Resistencia, RLP (kg/cm ²)	Resistencia, RUM (kg/cm ²)
1	S1CPP	2499	27392	43.95	10.96	17.60	111.77	179.33
2	S2CPP	2509	27437	43.98	10.94	17.50	111.51	178.45
3	S3CPP	2496	23386	40.68	9.37	16.30	95.54	166.21
4	S4CPP	2493.5	35265	55.18	14.14	22.10	144.22	225.36
5	S5CPP	2498	33411	52.36	13.38	21.00	136.39	214.14
		Media			11.62645	18.770	118.557	191.3739
		Desviación estándar			1.95698	2.503	19.956	25.5419
		Intervalo de confianza			0.20241	0.259	2.064	2.6418

En los resultados de la tabla 17, se registra un promedio de 191.3739 Kg/cm² para la resistencia última máxima por aplastamiento. La desviación estándar fue de 2.503 Mpa por lo que la variación es media.

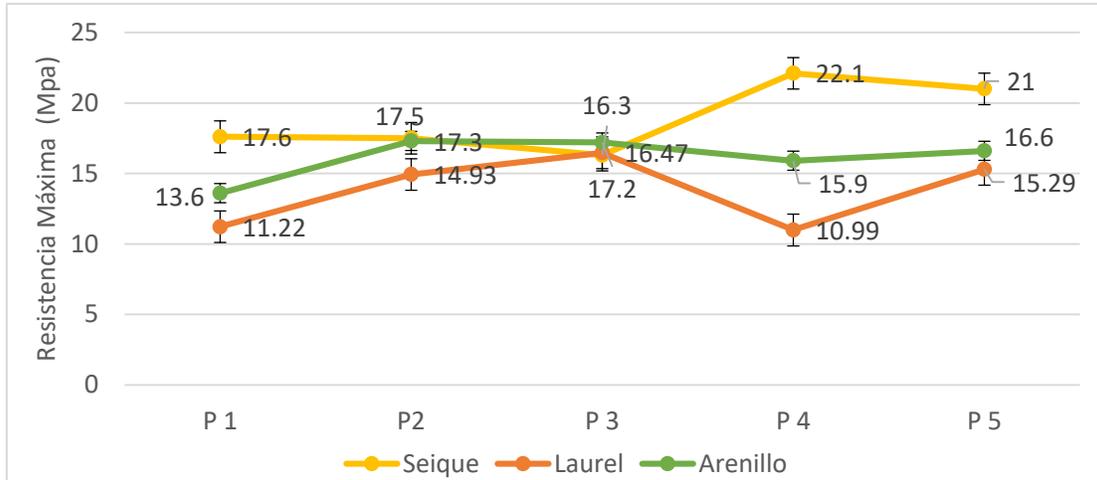


Figura 51. Gráfica comparativa de las diferentes especies de madera respecto a la resistencia a la compresión perpendicular

La figura 51, muestra la diferencia de los resultados obtenidos, de la resistencia a compresión perpendicular a la fibra, para las diferentes especies de madera, donde se evidencia que la madera del Seique mostró mayor resistencia en comparación con las otras especies.

Tracción Paralela a la Fibra

- Arenillo

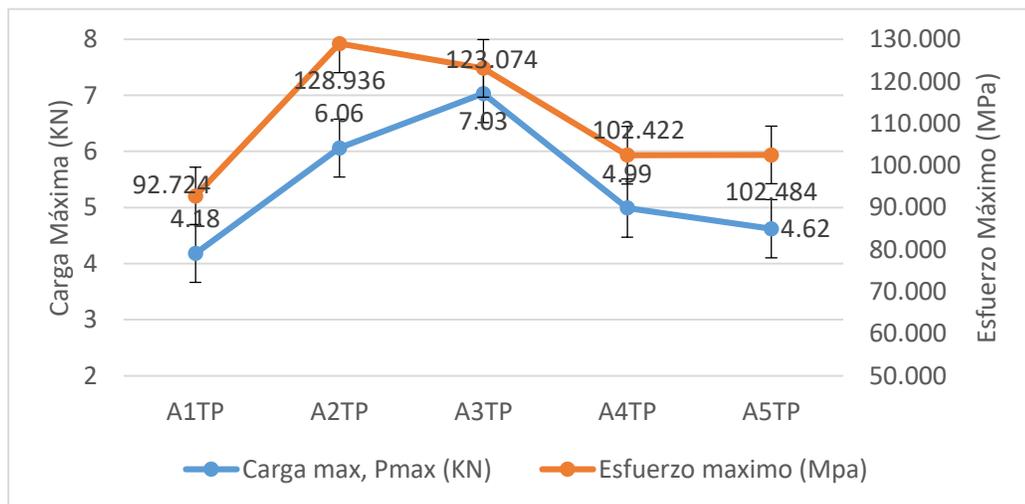


Figura 52. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción paralela a la fibra de Arenillo

La figura 52, muestra las gráficas de cinco probetas de madera Arenillo, sometidas a tracción paralela a la fibra, la carga máxima presentó variaciones que oscilan entre 4 a 7 KN.

Tabla 18

Resultados del ensayo de tracción paralela a la fibra de la madera Arenillo

Espécimen	Nº	Área, A (mm ²)	Carga máx., P _{máx} (KN)	Carga en LimProp (N)	Esfuerzo deformación (Mpa)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Esfuerzo LimProp (Mpa)
A1TP	1	45.08	4.18	3780	68	92.72	83.85
A2TP	2	47	6.06	3860	69	128.94	82.13
A3TP	3	57.12	7.03	4460	80	123.07	78.08
A4TP	4	48.72	4.99	3080	59	102.42	63.22
A5TP	5	45.08	4.62	3080	55	102.48	68.32
Media						109.08	74.68
Desviación estándar						15.34	8.97
Intervalo de confianza						1.59	0.93

En la tabla 18, se describen los promedios para el esfuerzo máximo que es de 109.08 Mpa, con una desviación estándar que indica una variación de 15.34 Mpa

.- Laurel

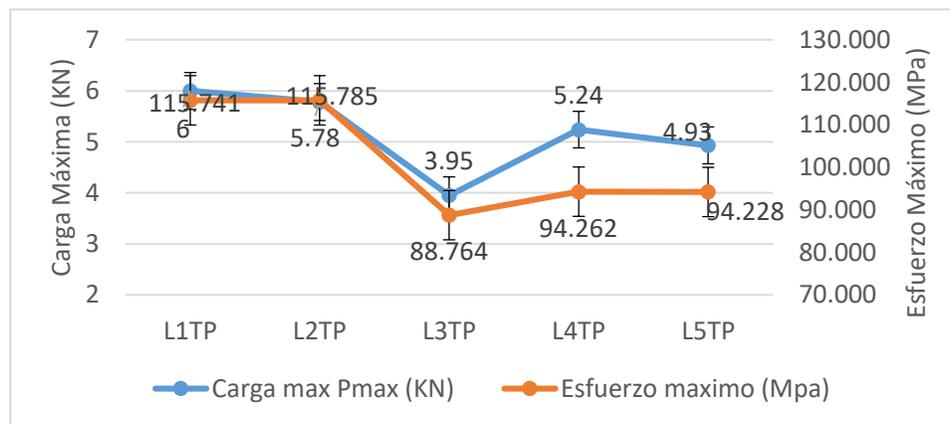


Figura 53. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción paralela a la fibra de Laurel

La figura 53 muestra las gráficas de cinco probetas de la madera Laurel, sometidas a tracción paralela a la fibra, la carga máxima presentó variaciones que oscilan entre 3.95 a 6 KN

Tabla 19

Resultados del ensayo de tracción paralela a la fibra de la madera de Laurel

Espécimen	Nº	Área, A (mm ²)	Carga máx. P _{máx} (KN)	Carga en LimProp (N)	Esfuerzo deformación (Mpa)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Esfuerzo LimProp (Mpa)
L1TP	1	51.84	6	5086	65	115.74	98.11
L2TP	2	49.92	5.78	3500	63	115.79	70.11
L3TP	3	44.5	3.95	2450	44	88.76	55.06
L4TP	4	55.59	5.24	3230	58	94.26	58.10
L5TP	5	52.32	4.93	3819	45	94.23	72.99
Media						101.11	69.37
Desviación estándar						12.98	17.03
Intervalo de confianza						1.34	1.76

En la tabla 19, se describen los promedios para el esfuerzo máximo que es de 101.11 Mpa, con una desviación estándar que indica una variación de 12.98 Mpa

- Seique

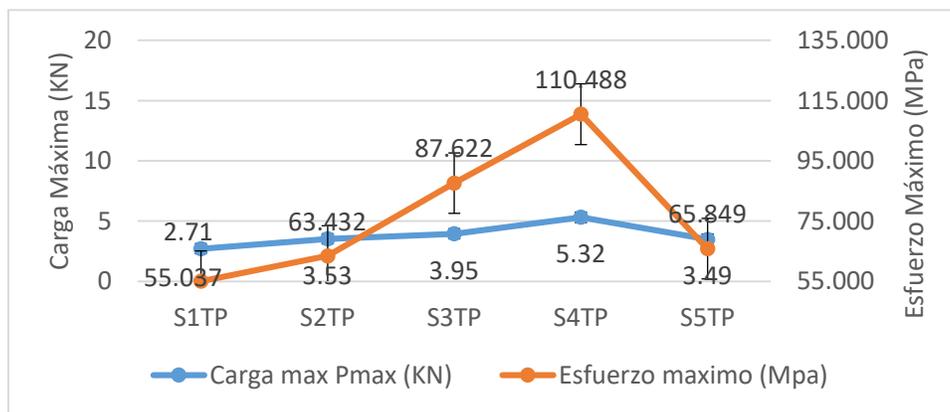


Figura 54. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción paralela a la fibra de Seique

La figura 54, muestra las gráficas de cinco probetas de la madera Seique, sometidas a tracción paralela a la fibra, la carga máxima presentó variaciones que oscilan entre 2.71 a 5.32

KN

Tabla 20

Resultados del ensayo de tracción paralela a la fibra de la madera de Seique

Espécimen	Nº	Área, A (mm ²)	Carga máx. P _{máx} (KN)	Carga en LimProp (N)	Esfuerzo deformación (Mpa)	Esfuerzo maximo (Mpa)	Esfuerzo LimProp (Mpa)
S1TP	1	49.24	2.71	1980	35	55.04	40.21
S2TP	2	55.65	3.53	2440	48	63.43	43.85
S3TP	3	45.08	3.95	2520	45	87.62	55.90
S4TP	4	48.15	5.32	3400	61	110.49	70.61
S5TP	5	53	3.49	2220	40	65.85	41.89
			Media			74.04	49.31
			Desviación estándar			22.49	12.83
			Intervalo de confianza			2.33	1.33

En la tabla 20, se describen los promedios para el esfuerzo máximo que es de 74.04 Mpa, con una desviación estándar que indica una variación de 22.49 Mpa

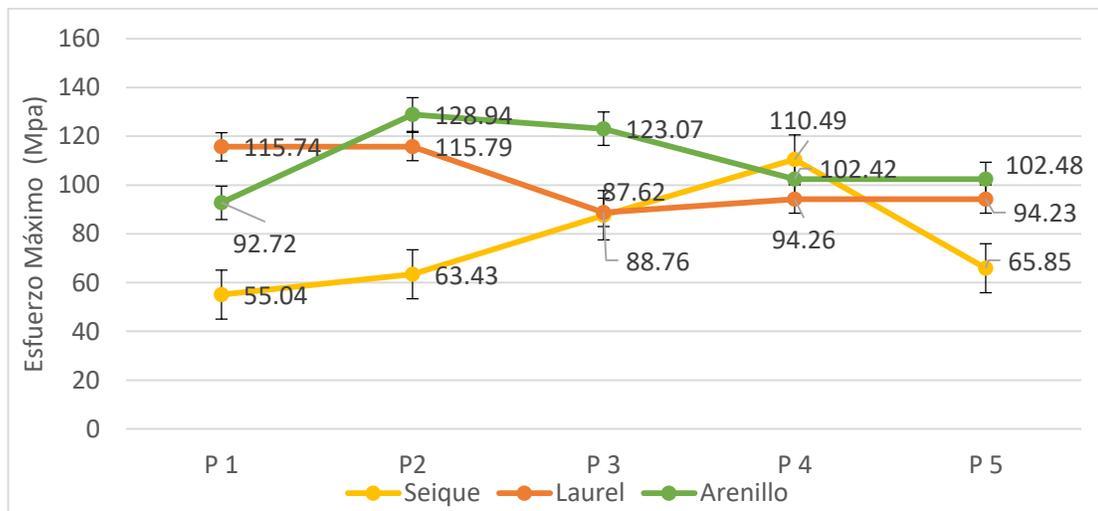


Figura 55. Gráfica comparativa de las diferentes especies de madera respecto a la resistencia a la tracción paralela a la fibra

La figura 55, muestra la diferencia de los resultados obtenidos de la resistencia a Tracción Paralela a la fibra de la madera para las diferentes especies, algunos valores fueron aproximados entre las tres maderas, sin embargo el Arenillo presentó valores más elevados de resistencia al esfuerzo.

Tracción Perpendicular a la Fibra

.- Arenillo

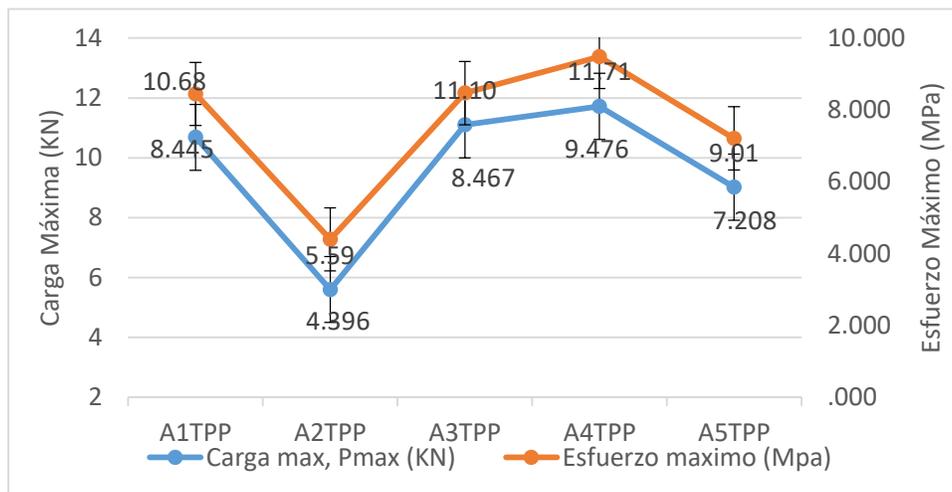


Figura 56. Gráfica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción perpendicular a la fibra de Arenillo

La figura 56, muestra las gráficas de cinco probetas de la madera Arenillo, sometidas a tracción perpendicular a la fibra, la carga máxima presentó variaciones que oscilan entre 9 a 11.72 KN.

Tabla 21

Resultados del ensayo de tracción perpendicular a la fibra de la madera de Arenillo

Espécimen	Nº	Área, A (mm ²)	Carga máx., P _{máx} (KN)	Carga en LimProp (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)
A1TPP	1	1265.045	10.683668	9634.9406	8.45
A2TPP	2	1273.072	5.5960704	5043.8095	4.40
A3TPP	3	1311.21	11.101666	10239.776	8.47
A4TPP	4	1236.5573	11.718212	10475.55	9.48
A5TPP	5	1251.03	9.0169035	8307.3827	7.21
			Media		7.35
			Desviación estándar		1.96
			Intervalo de confianza		0.20

En la tabla 21 se describen los promedios para el esfuerzo máximo que es de 7.35 Mpa, con una desviación estándar que indica una variación de 1.96 Mpa

.- Laurel

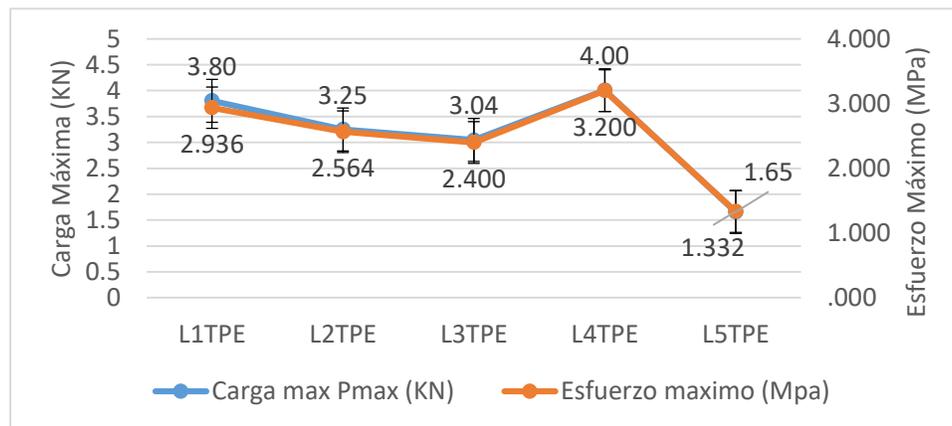


Figura 57. . Gráfica Carga vs Esfuerzo del ensayo de tracción perpendicular a la fibra de Laurel

La figura 57, muestra las gráficas de cinco probetas de la madera Laurel, sometidas a tracción perpendicular a la fibra, la carga máxima presentó variaciones que oscilan entre 1.6 a 4 KN.

Tabla 22

Resultados del ensayo de tracción paralela a la fibra de la madera de Laurel

Espécimen	Nº	Área, A (mm ²)	Carga máx. Pmáx (KN)	Carga en LimProp (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)
L1TPE	1	1295.4	3.803905	7961.5664	2.94
L2TPE	2	1267.35	3.2500582	3695.7517	2.56
L3TPE	3	1269.528	3.046285	7317.4124	2.40
L4TPE	4	1252.47	4.00768	4966.9237	3.20
L5TPE	5	1244.6	1.657592	4382.5949	1.33
			Media		2.38
			Desviación estándar		0.72
			Intervalo de confianza		0.07

En la tabla 22, se describen los promedios para el esfuerzo máximo que es de 2.38 Mpa, con una desviación estándar que indica una variación de 0.72 Mpa

.- Seique

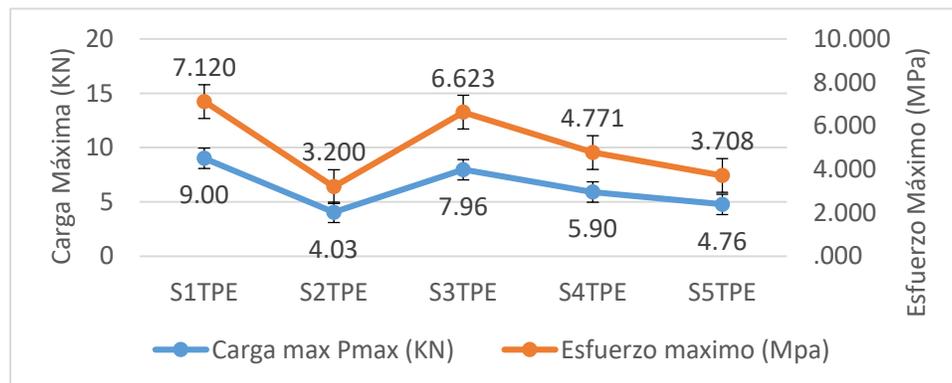


Figura 58. Gráfica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción perpendicular a la fibra de Seique

La figura 58, muestra las gráficas de cinco probetas de la madera Seique, sometidas a tracción perpendicular a la fibra, la carga máxima presentó variaciones que oscilan entre 4.03 a 9 KN.

Tabla 23

Resultados del ensayo de tracción paralela a la fibra de la madera de Seique

Espécimen	Nº	Área, A (mm ²)	Carga máx. P _{máx} (KN)	Carga en LimProp (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)
S1TPE	1	1264.2	9.001228	3301.0728	7.12
S2TPE	2	1262.38	4.039029	2916.6454	3.20
S3TPE	3	1202.8	7.965724	2682.1874	6.62
S4TPE	4	1237.5	5.904344	3526.6038	4.77
S5TPE	5	1285	4.7653	1460.9474	3.71
			Media		4.84
			Desviación estándar		1.74
			Intervalo de confianza		0.18

En la tabla 23 se describen los promedios para el esfuerzo máximo que es de 4.84 Mpa, con una desviación estándar que indica una variación de 1.74 Mpa.

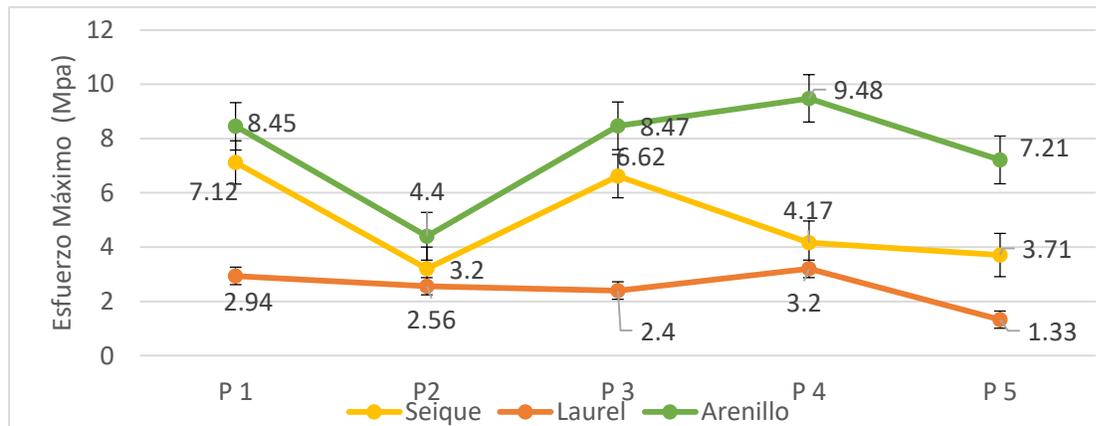


Figura 59. Gráfica comparativa de las diferentes especies de madera respecto a la resistencia a la tracción perpendicular a la fibra

La figura 59, muestra la diferencia de los resultados obtenidos, de la resistencia a Tracción Perpendicular a la fibra de la madera para las diferentes especies, algunos valores

fueron aproximados entre las maderas Laurel y Seique, sin embargo el Arenillo presentó los valores más elevados de resistencia al esfuerzo.

Flexión de la Madera

.- Arenillo

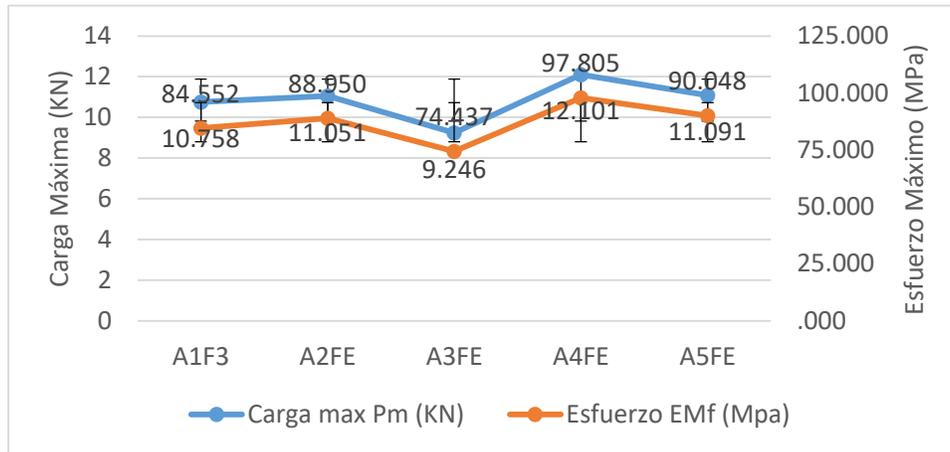


Figura 60. Gráfica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de flexión del Arenillo.

La figura 60 muestra las gráficas de cinco probetas de madera Arenillo, ensayadas a flexión, se evidencia que la probeta A5FE registró una mayor resistencia en base al valor de la carga de 11.091 KN como se muestra en la tabla 24.

Tabla 24

Resultados del ensayo de flexión del Arenillo

Espécimen	N°	Ancho, b (mm)	Alto, h (mm)	apoyos L (mm)	Flexión estática a la madera de Arenillo					
					Carga máx. Pm (KN)	Carga, P2 (N)	Esfuerzo ELPf (Mpa)	Esfuerzo EMf (Mpa)	Módulo del esfuerzo MOEf (Mpa)	Módulo de elasticidad E (Mpa)
A1F3	1	51.47	51.31	710	10.758	8864.86	69.67	84.55	5185.66	489.00
A2FE	2	50.93	50.97	710	11.051	7789.72	62.70	88.95	6115.51	502.32
A3FE	3	50.88	50.99	710	9.246	7073.11	56.94	74.44	6092.60	420.27
A4FE	4	50.74	50.96	710	12.101	8792.35	71.06	97.81	4861.43	550.05
A5FE	5	50.67	50.88	710	11.091	8817.26	71.59	90.05	6389.76	504.14
				Media			66.14	86.81	5697.15	491.31
				Desviación estándar			6.37	8.57	664.47	46.82
				Intervalo de confianza			0.66	0.89	68.73	4.84

En los resultados de la tabla 24, se muestran los promedios para el esfuerzo unitario al límite proporcional (ELPf) de 66.14MPa y con un módulo de elasticidad de 491.31 Mpa. La desviación estándar indica una variación de 6.37 Mpa

.- Laurel

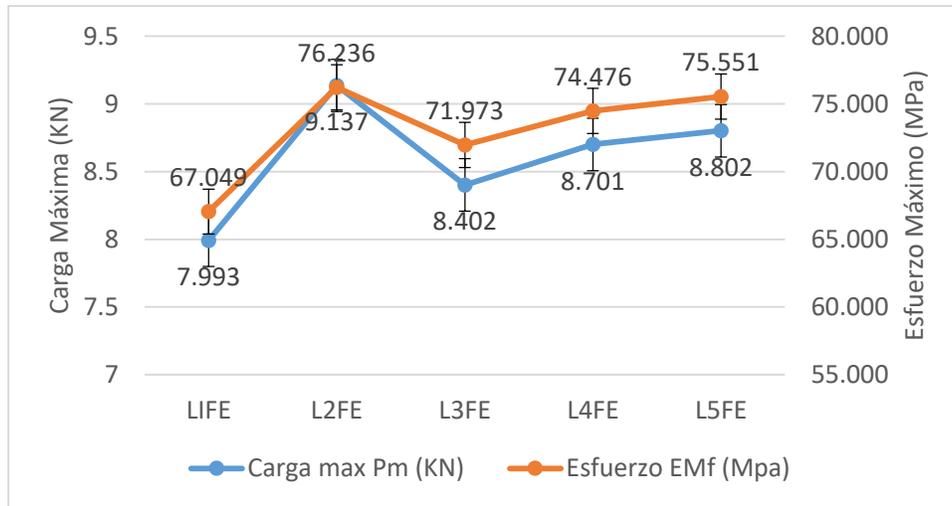


Figura 61. Gráfica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de flexión del Laurel

La figura 61 muestra las gráficas de cinco probetas de madera Laurel, ensayadas a flexión, se evidencia que la probeta L2FE registró una mayor resistencia en base al valor de la carga de 9.137 KN.

Tabla 25

Resultados del ensayo de flexión del Laurel

Flexión estática a la madera de Laurel										
Espécimen	Nº	Ancho, b (mm)	Alto, h (mm)	apoyos L (mm)	Carga máx. Pm (KN)	Carga, P2 (N)	Esfuerzo ELPf (Mpa)	Esfuerzo EMf (Mpa)	Módulo del esfuerzo MOEf (Mpa)	Módulo de elasticidad E (Mpa)
L1FE	1	50.24	50.27	710	7.993	5747.992	48.22	67.05	3748.15	371.77
L2FE	2	50.13	50.46	710	9.137	4630.59	38.64	76.24	2884.74	424.98
L3FE	3	49.83	49.95	710	8.402	5142.589	44.05	71.97	3398.94	390.79
L4FE	4	49.67	50.05	710	8.701	5928.145	50.74	74.48	3735.88	404.70
L5FE	5	49.93	49.85	710	8.802	6186.58	53.10	75.55	4068.05	409.40
				Media			46.66	72.98	3543.31	399.92
				Desviación estándar			5.73	3.73	448.92	20.10
				Intervalo de confianza			0.59	0.39	46.43	2.08

En los resultados de la tabla 25, se muestran los promedios para el esfuerzo unitario al límite proporcional (ELPf) de 46.66 MPa y con un módulo de elasticidad de 399.92 Mpa. La desviación estándar indica una variación de 5.73 Mpa.

- Seique

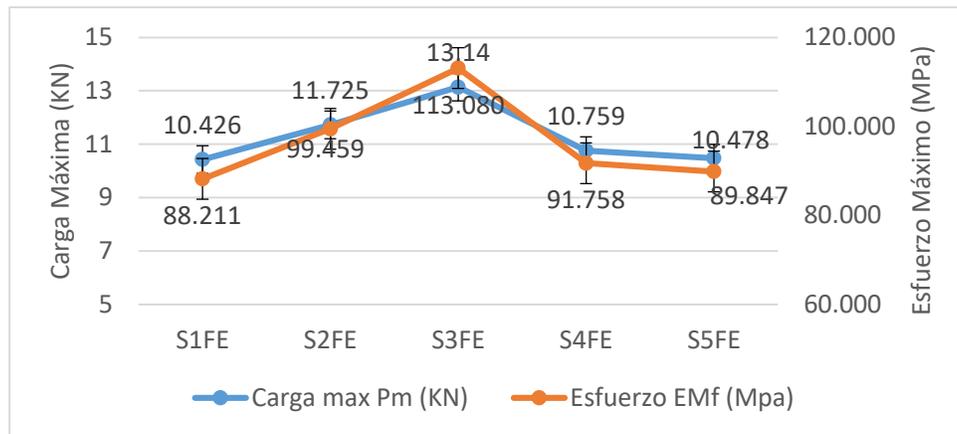


Figura 62. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de flexión del Seique

La figura 62 muestra las gráficas de cinco probetas de madera Seique, ensayadas a flexión, se evidencia que la probeta S2FE registró una mayor resistencia en base al valor de la carga de 11.725 K

Tabla 26

Resultados del ensayo de flexión del Seique

Especimen	N°	Ancho, b (mm)	Alto, h (mm)	apoyos L (mm)	Flexión estática a la madera de Seique					
					Carga máx. Pm (KN)	Carga, P2 (N)	Esfuerzo ELPf (Mpa)	Esfuerzo EMf (Mpa)	Módulo del esfuerzo MOEf (Mpa)	Módulo de elasticidad E (Mpa)
S1FE	1	50.11	50.12	710	10.426	7828.87	66.24	88.21	5783.03	543.02
S2FE	2	50.04	50.09	710	11.725	8068.62	68.44	99.46	7756.79	610.68
S3FE	3	49.72	49.89	710	13.14	6566.01	56.51	113.08	5143.68	684.38
S4FE	4	50.01	49.97	710	10.759	7350.68	62.69	91.76	10333.74	560.36
S5FE	5	49.98	49.85	710	10.478	6727.93	57.69	89.85	5857.29	545.73
				Media			62.14	96.06	6745.49	586.51
				Desviación estándar			5.20	10.24	2116.37	59.94
				Intervalo de confianza			0.54	1.06	218.89	6.20

En los resultados de la tabla 26, se muestran los promedios para el esfuerzo unitario al límite proporcional (ELPf) de 62.14 MPa y con un módulo de elasticidad de 586.51 Mpa. La desviación estándar indica una variación de 5.2 Mpa

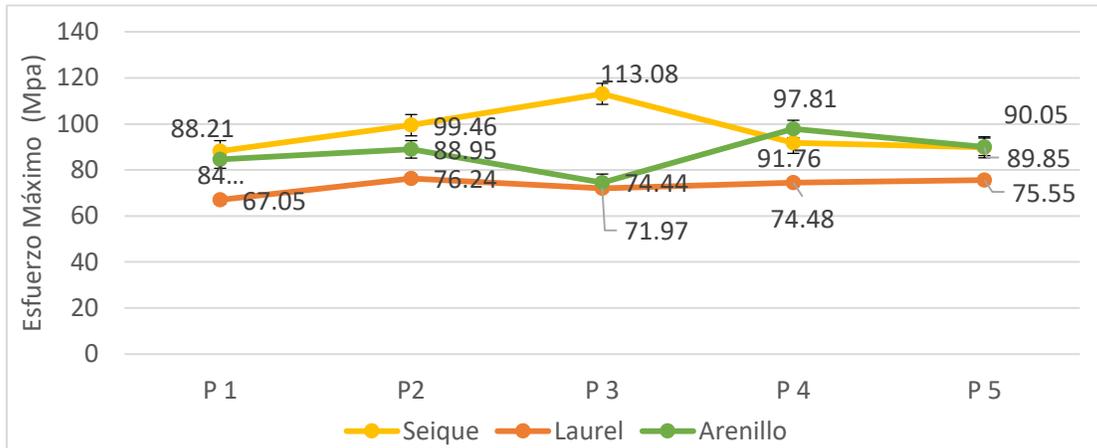


Figura 63. Gráfica comparativa de resistencia a flexión en madera de diferentes especies.

La figura 63, muestra la diferencia de los resultados obtenidos de la resistencia a flexión, para las tres especies de madera utilizadas en el ensayo, se evidencia que la madera Seique y Arenillo tienen un dos probetas con valores aproximados, registrando Seique los valores más altos, superando el esfuerzo de las otras especies de madera, mientras que el Laurel registró las cifras más bajas en todas las maderas.

Absorción de humedad de la madera del árbol Arenillo

Al evaluar la ganancia de peso de la muestra de madera del árbol Arenillo en los tiempos estipulados para la investigación, se logra evidenciar un aumento en todas las probetas, lográndose estimar la absorción de humedad según se evidencia en las Tablas 27 y 28.

Tabla 27

Ganancia de peso de la madera del árbol Arenillo

Tiempos	A1AH	A2AH	A3AH	A4AH	A5AH
Tiempo 1	0	0	0	0.1	0.1
Tiempo 2	0.1	0.1	0	0.1	0
Tiempo 3	0.1	0.1	0	0	0
Tiempo 4	0	0	0.1	0	0.1
Tiempo 5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Tiempo 6	0	0	0	0	0.1
Tiempo 7	0.1	0.1	0.1	0.1	0
Tiempo 8	0	0	0	0.1	0
Tiempo 9	0	0.1	0.1	0	0
Tiempo 10	0.1	0	0	0	0.1
TOTAL	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
Absorción de Humedad	11.48	13.77	12.5	12.74	14.1

Tabla 28

Estadísticos descriptivos de Absorción de Humedad Arenillo

	Media	Desviación	Límite Superior	Límite Inferior
Absorción de Humedad	12.9	0.94	13.86	11.98

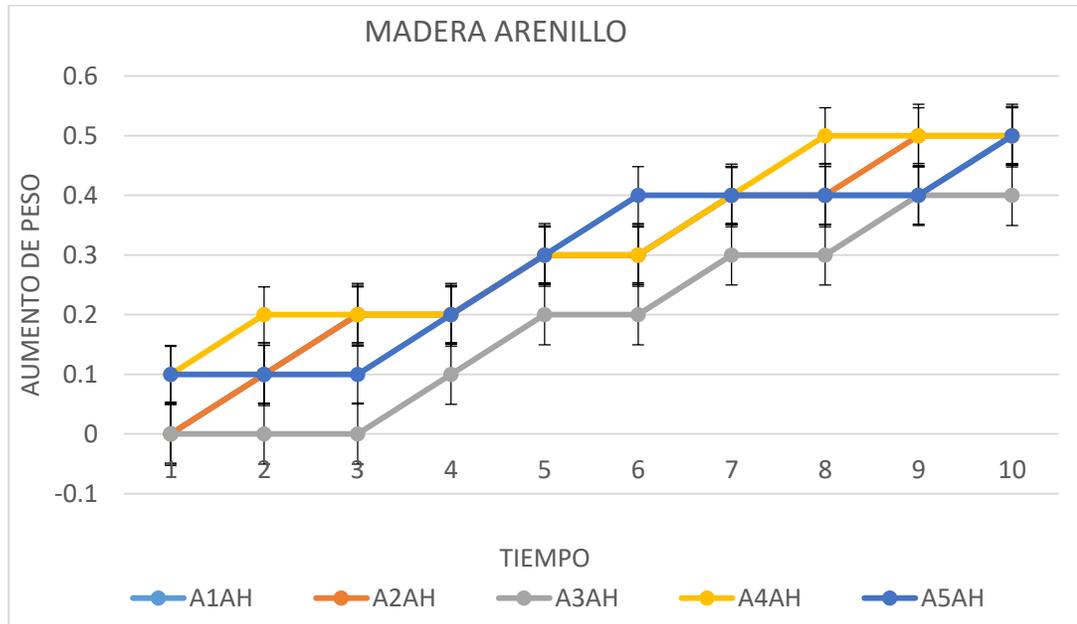


Figura 64. Gráfica de Aumento de peso por tiempo

En la figura 64 se evidencia el aumento de peso de cada una de las probetas fue constante, con pequeñas variaciones, sin embargo 4 lograron alcanzar un máximo de 0.5 gramos y una un máximo de 0.4 gramos, datos que sirvieron de base para los cálculos de absorción de humedad.

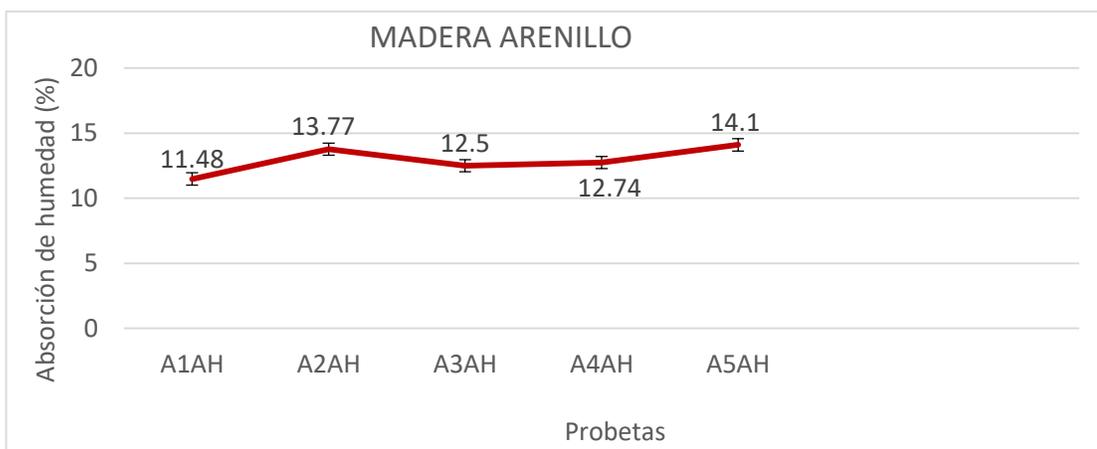


Figura 65. Absorción de Humedad madera árbol Arenillo

En la figura 65, se registra la absorción de humedad de cada una de las probetas de madera del árbol Arenillo, donde se evidencia que se encuentra dentro de un rango aceptable en virtud de que no supera el 30%

Absorción de humedad de la madera del árbol Laurel

Al evaluar la ganancia de peso de la muestra de madera del árbol Laurel en los tiempos estipulados para la investigación, se logra evidenciar un aumento en todas las probetas, lográndose estimar la Absorción de Humedad de cada una de acuerdo a la fórmula establecida, logrando un mínimo de 10.42% y un límite superior de 13.82% con una Media de 12.12%, tablas 29 y 30.

Tabla 29

Ganancia de peso de la madera del árbol Laurel

Tiempos	L1AH	L2AH	L3AH	L4AH	L5AH
Tiempo 1	0	0.1	0.1	0.1	0.1
Tiempo 2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Tiempo 3	0.1	0	0.1	0	0
Tiempo 4	0	0.1	0	0.1	0
Tiempo 5	0	0.1	0.1	0.1	0.1
Tiempo 6	0.2	0	0	0	0
Tiempo 7	0	0	0.1	0.1	0.1
Tiempo 8	0.1	0.1	0.1	0.1	0
Tiempo 9	0	0	0	0	0.1
Tiempo 10	0.1	0	0.1	0.1	0.1
TOTAL	0.6	0.5	0.7	0.7	0.6
Absorción de Humedad	11.46	14.9	10.24	10.81	13.19

Tabla 30

Estadísticos descriptivos de Absorción de Humedad Laurel

	Media	Desviación	Límite superior	Límite Inferior
Absorción de humedad	12.12	1.7	13.82	10.42

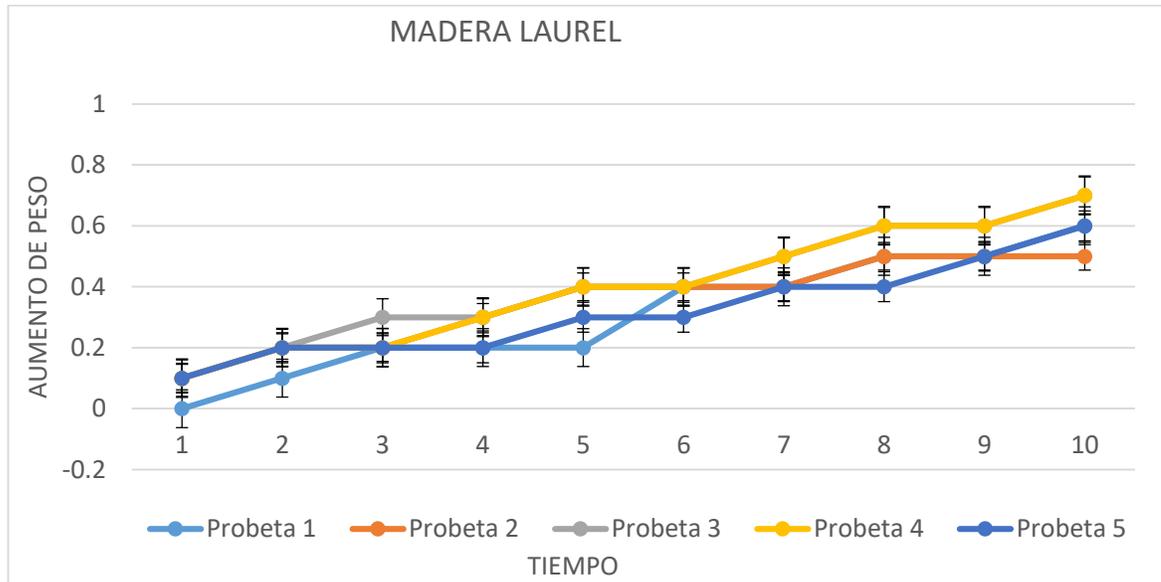


Figura 66. Gráfica de Ganancia de peso por tiempo

En la figura 66 se evidencia el aumento de peso de cada una de las probetas fue constante, con pequeñas variaciones, sin embargo 2 lograron alcanzar un máximo de 0.7 gramos, dos probetas un máximo de 0.6 y una 0.5 gramos, datos que sirvieron de base para los cálculos de absorción de humedad.

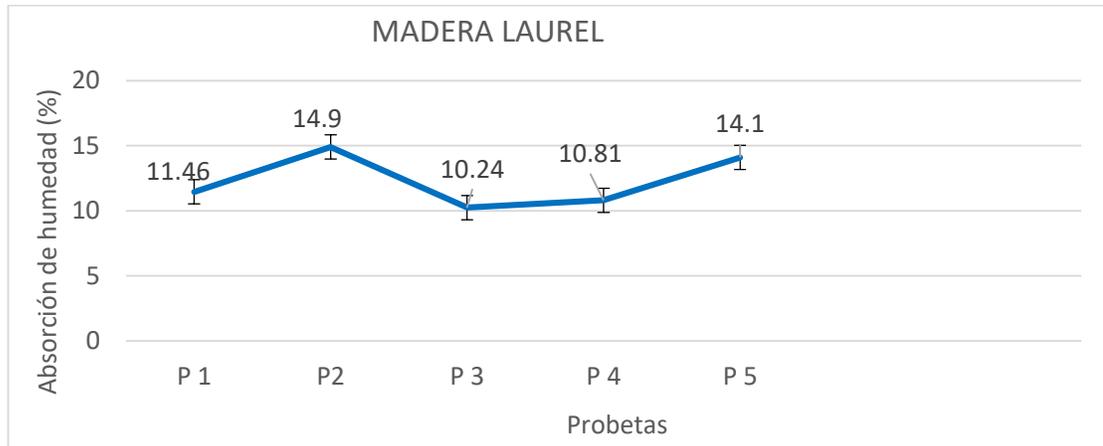


Figura 67. Absorción de Humedad madera árbol Laurel

En la figura 67 se registra la absorción de humedad de cada una de las probetas de madera del árbol Laurel, donde se evidencia que se encuentra dentro de un rango aceptable en virtud de que ninguna de sus muestras supera el 30%

Absorción de humedad de la madera del árbol Seique

Al evaluar la ganancia de peso de la muestra de madera del árbol Seique en los tiempos estipulados para la investigación, se logra evidenciar un aumento en todas las probetas, lográndose estimar la Absorción de Humedad de cada una de acuerdo a la fórmula establecida, logrando un mínimo de 12.23% y un límite superior de 13.9% con una Media de 13.07%, tablas 31 y 32

Tabla 31

Ganancia de peso de la madera del árbol Seique

Tiempos	S1AH	S2AH	S3AH	S4AH	S5AH
Tiempo 1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
Tiempo 2	0	0.1	0.1	0.1	0.1
Tiempo 3	0.1	0.1	0.1	0	0.1
Tiempo 4	0	0.1	0.1	0.1	0.1
Tiempo 5	0.1	0	0	0.1	0
Tiempo 6	0	0.1	0.1	0	0.1
Tiempo 7	0.1	0.1	0	0.1	0.1
Tiempo 8	0.1	0	0.1	0	0.1
Tiempo 9	0	0.1	0.1	0.1	0
Tiempo 10	0.1	0	0	0	0.1
TOTAL	0.6	0.8	0.7	0.6	0.8
Ganancia de Peso total	13.78	13.11	14.05	11.68	12.74

Tabla 32

Estadísticos descriptivos de Absorción de Humedad Seique

	Media	Desviación	Límite superior	Límite Inferior
Absorción de humedad	13.07	0.838	13.9	12.23

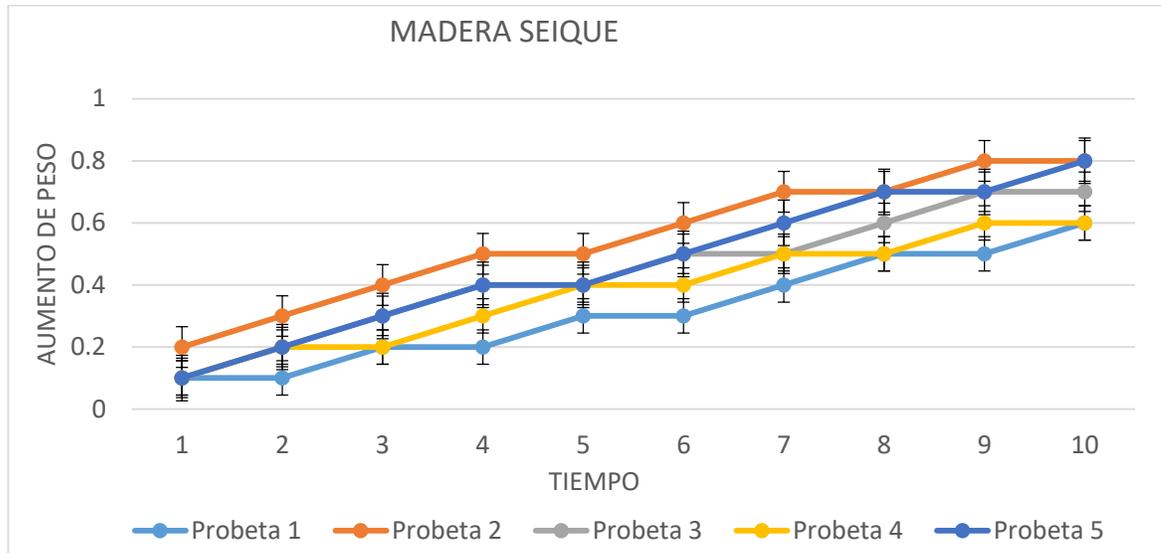


Figura 68. Gráfica de Ganancia de peso por tiempo

En la figura 68 se evidencia el aumento de peso de cada una de las probetas fue constante, con pequeñas variaciones, sin embargo 2 lograron alcanzar un máximo de 0.8 gramos, dos probetas un máximo de 0.6 gramos y una 0.7 gramos, datos que sirvieron de base para los cálculos de absorción de humedad.

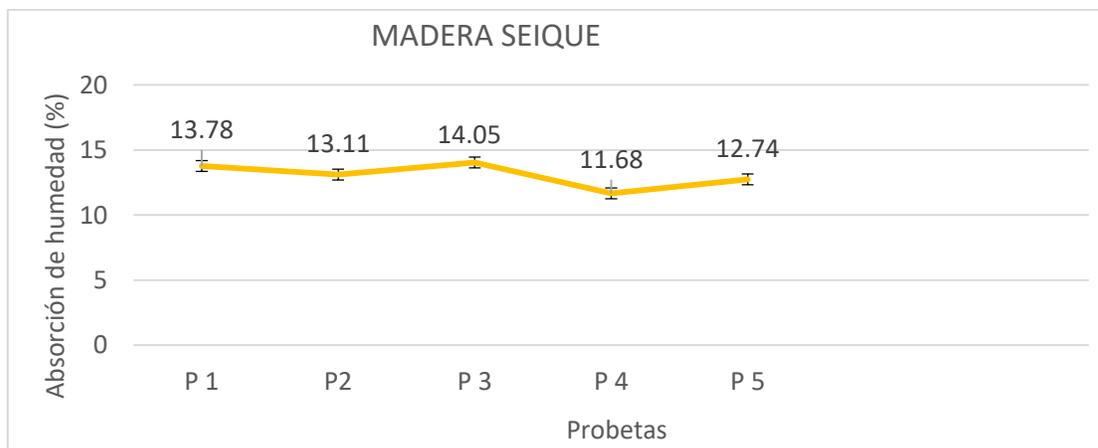


Figura 69. Gráfica de Absorción de Humedad madera árbol Seique

En la figura 69 se registra la absorción de humedad de cada una de las probetas de madera del árbol Seique, donde se evidencia que se encuentra dentro de un rango aceptable en virtud de que no supera el 30%

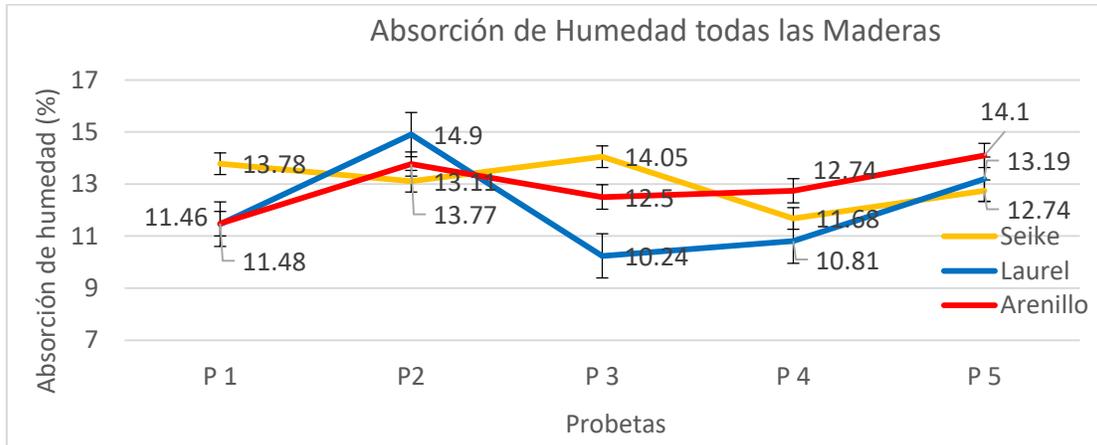


Figura 70. Absorción de Humedad todas las maderas

Al comparar la absorción de humedad de las tres maderas del estudio, se evidencia que el Arenillo presentó valores altos, los picos máximos los presento el Laurel tanto altos como bajos, y la mayor Media el Seique, como se puede apreciar en la figura 70.

Contenido de Humedad madera árbol Arenillo

Se estableció el contenido de humedad de la madera Arenillo al finalizar cada ensayo mecánico, evidenciando que posterior a la Flexión esta madera presenta el menor contenido de humedad y posterior a la tracción perpendicular registra el mayor promedio de contenido de humedad, tal como se evidencia en la figura 71 y tabla 33.

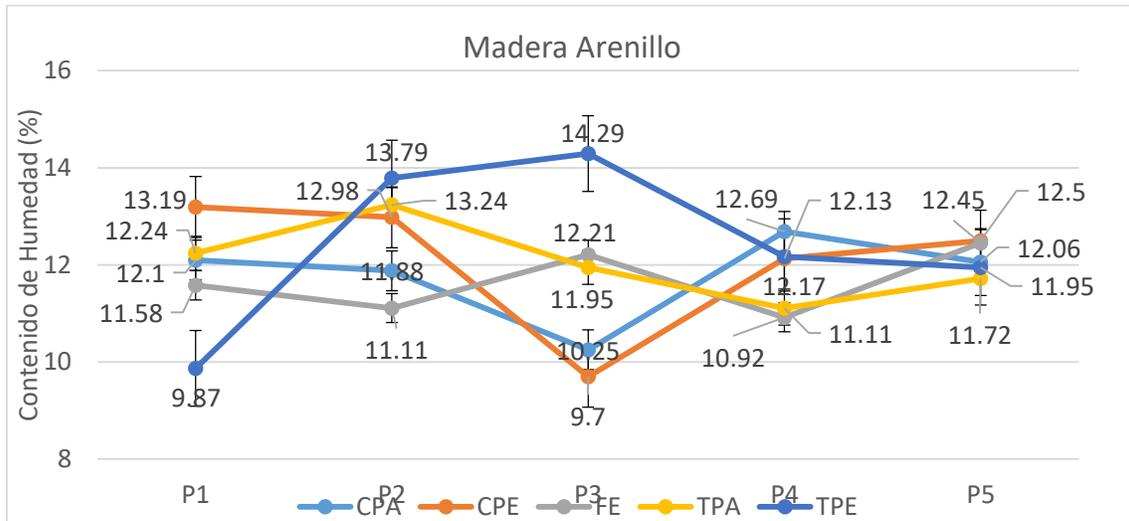


Figura 71. Contenido de Humedad Arenillo durante todos los ensayos

Tabla 33

Contenido de Humedad de las probetas de madera de Arenillo, para los ensayos realizados

	Contenido de Humedad del Arenillo (g)					Promedio
	P1	P2	P3	P4	P5	
Compresión paralela	12.1	11.88	10.25	12.69	12.06	11.8
Compresión perpendicular	13.19	12.98	9.7	12.13	12.5	12.1
Flexión	11.58	11.11	12.21	10.92	12.45	11.65
Tracción Paralela	12.24	13.24	11.95	11.11	11.72	12.05
Tracción Perpendicular	9.87	13.79	14.29	12.17	11.95	12.41

Contenido de Humedad madera árbol Laurel

Se estableció el contenido de humedad de la madera Laurel al finalizar cada ensayo mecánico, evidenciando que posterior a la Compresión Paralela esta madera presenta el menor

contenido de humedad y posterior a la tracción paralela registra el mayor promedio de contenido de humedad, señalados en la figura 72 y tabla 34 correspondientes.

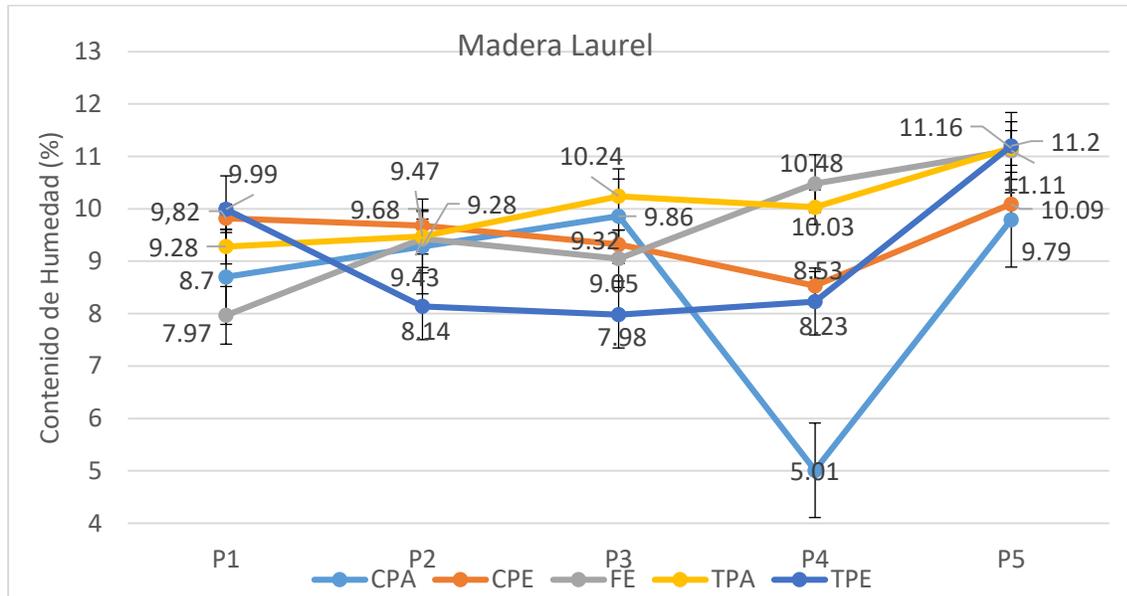


Figura 72. Contenido de Humedad Laurel durante todos los ensayos

Tabla 34

Contenido de Humedad de las probetas de la madera de Laurel para los ensayos realizados

Ensayos	Contenido de Humedad del Laurel					Promedio
	P1	P2	P3	P4	P5	
Compresión paralela	8.7	9.28	9.86	5.01	9.79	8.53
Compresión perpendicular	9.82	9.68	9.32	8.53	10.09	9.49
Flexión	7.97	9.43	9.05	10.48	11.11	9.6
Tracción Paralela	9.28	9.47	10.24	10.03	11.16	10.03
Tracción Perpendicular	9.99	8.14	7.98	8.23	11.2	9.11

Contenido de Humedad madera árbol Seique

Se estableció el contenido de humedad de la madera Seique al finalizar cada ensayo mecánico, evidenciando no existió marcada diferencia en los resultados, siendo por el contrario muy similares, señalados en la figura 73 y tabla 35 correspondientes.

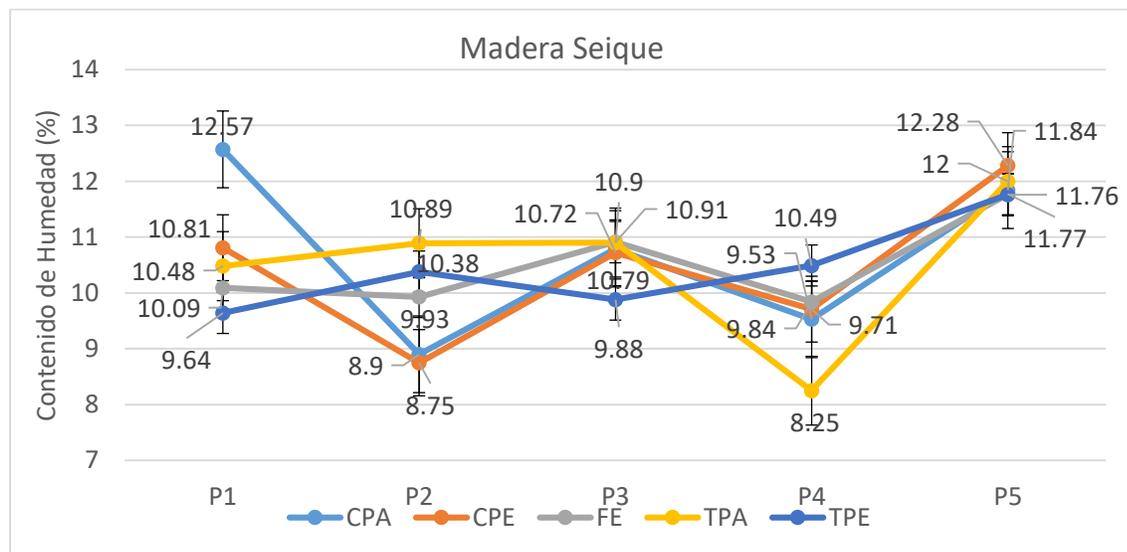


Figura 73. Contenido de Humedad Seique durante todos los ensayos

Tabla 35

Contenido de Humedad de las probetas de la madera de Seique para los ensayos realizados

Ensayos	Contenido de Humedad del Seique					Promedio
	P1	P2	P3	P4	P5	
Compresión paralela	12.57	8.9	10.79	9.53	11.84	10.73
Compresión perpendicular	10.81	8.75	10.72	9.71	12.28	10.45
Flexión	10.09	9.93	10.91	9.84	11.77	10.51
Tracción Paralela	10.48	10.89	10.9	8.25	12	10.5
Tracción Perpendicular	9.64	10.38	9.88	10.49	11.76	10.43

Hinchamiento Volumétrico

Se obtuvieron los cálculos para hinchamiento volumétrico transversal de cada muestra de madera, adicionalmente se aplicaron estadísticos descriptivos para obtener la Media de cada una de ellas, donde se evidenció que la Media más alta la obtuvo la madera del Arenillo en 7.59% y la más baja la de Seique con 1.82%, demostrado en la figura 74 y tablas 36 a 38.

Tabla 36

Hinchamiento volumétrico Transversal de las maderas

Hinchamiento Volumétrico	1HVT	2HVT	3HVT	4HVT	5HVT
Arenillo	7.50	6.38	9.15	7.95	6.97
Laurel	6.5	6.62	3.54	6.46	6.9
Seike	2.65	1.86	0.65	1.74	2.22

Tabla 37

Hinchamiento Volumétrico Radial de las maderas

Hinchamiento Volumétrico	1HVR	2HVR	3HVR	4HVR	5HVR
Arenillo	3.69	2.15	5.66	1.34	2.51
Laurel	3.34	3.68	6.85	8.48	6.63
Seike	8.28	10.36	8.85	10.40	9.91

Tabla 38

Estadísticos descriptivos de las maderas árbol Arenillo, Laurel, Seique

HV%	Media	Desviación	Límite Superior	Límite Inferior
Arenillo	7.59	0.94	8.53	6.65
Laurel	6.00	1.24	7.24	4.76
Seique	1.82	0.67	2.5	1.16

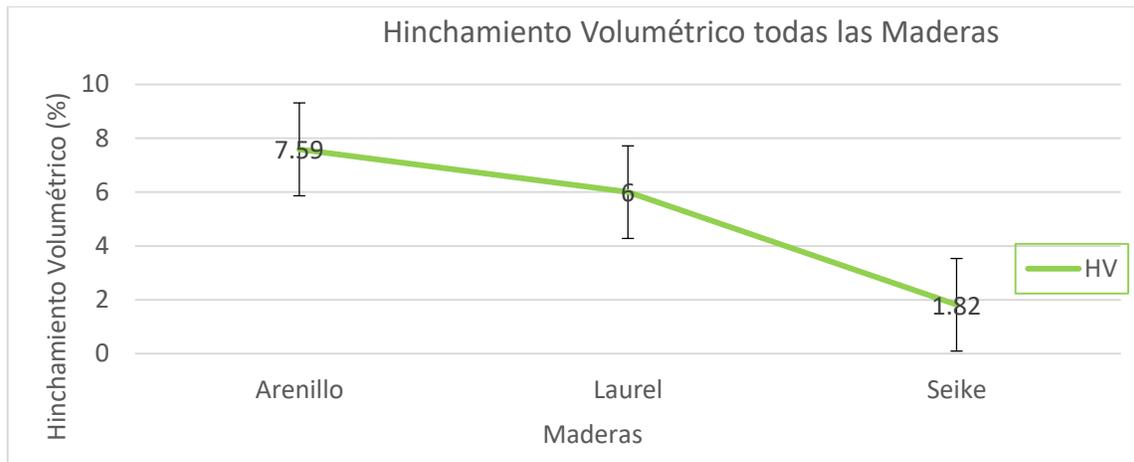


Figura 74. Hinchamiento Volumétrico de todas las maderas

Conductividad Térmica

.- Arenillo

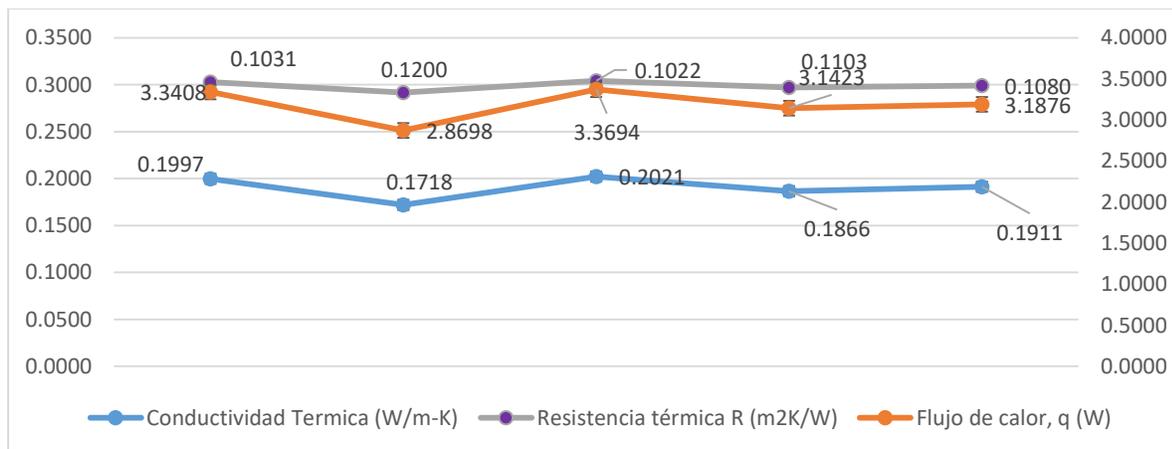


Figura 75. Conductividad Térmica madera Arenillo

La figura 75, muestra la Conductividad Térmica de cada probeta de la madera Arenillo, con poca diferencia entre las probetas, igualmente la Resistencia Térmica no mostró variaciones importantes, respecto a Flujo de Calor, presentó variaciones desde 2.8 hasta 3.36 W

Tabla 39

Conductividad térmica madera árbol Arenillo

Especimen	N°	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Conductividad Térmica madera de Arenillo				
					Conductividad Térmica (W/m-K)	Área, A (m ²)	Diferencia temp., AT (K)	Flujo de calor, q (W)	Resistencia térmica R (m ² K/W)
1807001	1	0.1520	0.1510	0.0206	0.1997	0.0230	15.00	3.3408	0.1031
1807002	2	0.1520	0.1510	0.0206	0.1718	0.0230	15.00	2.8698	0.1200
1807003	3	0.1520	0.1510	0.0207	0.2021	0.0230	15.00	3.3694	0.1022
1807004	4	0.1520	0.1520	0.0206	0.1866	0.0231	15.00	3.1423	0.1103
1807005	5	0.1520	0.1510	0.0206	0.1911	0.0230	15.00	3.1876	0.1080
			Media		0.1899	0.0230	15.0000	3.1768	0.1085
			Desviación estándar		0.0121	0.0001	0.0000	0.1996	0.0071
			Intervalo de confianza		0.0012	0.0000	0.0000	0.0206	0.0007

La tabla 39 muestra los datos obtenidos en el ensayo de Conductividad Térmica para la madera Arenillo, evidenciando una Media de 0.1899 W/m-K y Resistencia Térmica de 0.1085 m²K/W.

.- Laurel

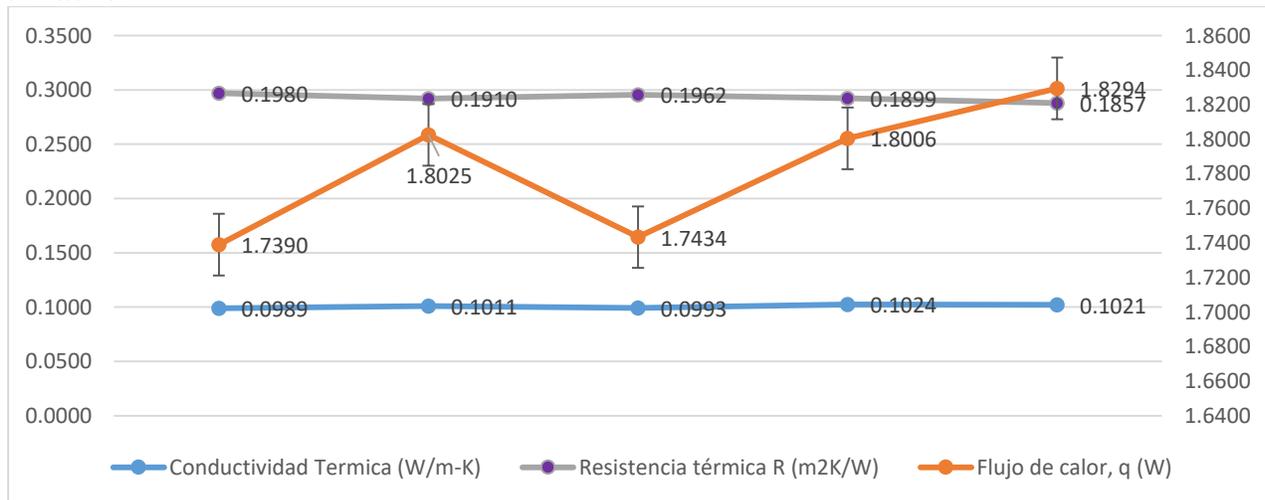


Figura 76. Conductividad Térmica madera Laurel

La figura 76, muestra la Conductividad Térmica de cada probeta de la madera Laurel, con poca diferencia entre las probetas, igualmente la Resistencia Térmica no mostró variaciones importantes, respecto a Flujo de Calor, presentó pocas variaciones desde 1.7 W hasta 1.83 W.

Tabla 40

Conductividad térmica madera árbol Laurel

Tracción perpendicular a la madera de Laurel									
Espécimen	Nº	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m-K)	Área, A (m ²)	Diferencia temp., AT (K)	Flujo de calor, q (W)	Resistencia térmica R (m ² K/W)
1807006	1	0.1520	0.1510	0.0196	0.0989	0.0230	15.00	1.7390	0.1980
1807007	2	0.1520	0.1510	0.0193	0.1011	0.0230	15.00	1.8025	0.1910
1807008	3	0.1520	0.1500	0.0195	0.0993	0.0228	15.00	1.7434	0.1962
1807009	4	0.1500	0.1520	0.0195	0.1024	0.0228	15.00	1.8006	0.1899
1807010	5	0.1520	0.1490	0.0190	0.1021	0.0226	15.00	1.8294	0.1857
			Media		0.1007	0.0228	15.0000	1.7826	0.1921
			Desviación estándar		0.0016	0.0001	0.0000	0.0398	0.0049
			Intervalo de confianza		0.0002	0.0000	0.0000	0.0041	0.0005

La tabla 40 muestra los datos obtenidos en el ensayo de Conductividad Térmica para la madera Laurel, evidenciando una Media de 0.1007 W/m-K y para Resistencia Térmica de 0.1921 m²K/W.

.- Seique

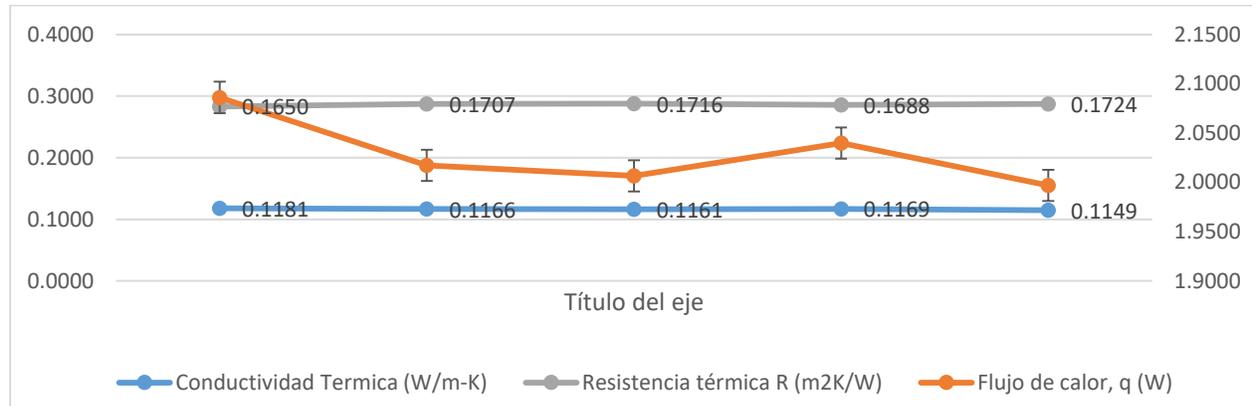


Figura 77. Conductividad Térmica madera Seique

La figura 77, muestra la Conductividad Térmica de cada probeta de la madera Seique, con poca diferencia entre las probetas, igualmente la Resistencia Térmica no mostró variaciones importantes, respecto a Flujo de Calor, presentó variaciones desde 1.99 hasta 2.08 W.

Tabla 41

Conductividad térmica madera árbol Seique

Tracción perpendicular a la madera de Seique									
Espécimen	Nº	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m-K)	Área, A (m ²)	Diferencia temp., AT (K)	Flujo de calor, q (W)	Resistencia térmica R (m ² K/W)
1807011	1	0.1520	0.1510	0.0195	0.1181	0.0230	15.00	2.0862	0.1650
1807012	2	0.1520	0.1510	0.0199	0.1166	0.0230	15.00	2.0172	0.1707
1807013	3	0.1520	0.1510	0.0199	0.1161	0.0230	15.00	2.0066	0.1716
1807014	4	0.1520	0.1510	0.0197	0.1169	0.0230	15.00	2.0399	0.1688
1807015	5	0.1520	0.1510	0.0198	0.1149	0.0230	15.00	1.9969	0.1724
Media					0.1165	0.0230	15.0000	2.0291	0.1697
Desviación estándar					0.0012	0.0000	0.0000	0.0356	0.0029
Intervalo de confianza					0.0001	0.000	0.000	0.0037	0.0003

La tabla 41 muestra los datos obtenidos en el ensayo de Conductividad Térmica para la madera Seique, evidenciando una Media de 0.1165 W/m-K y 0.1697 m²K/W

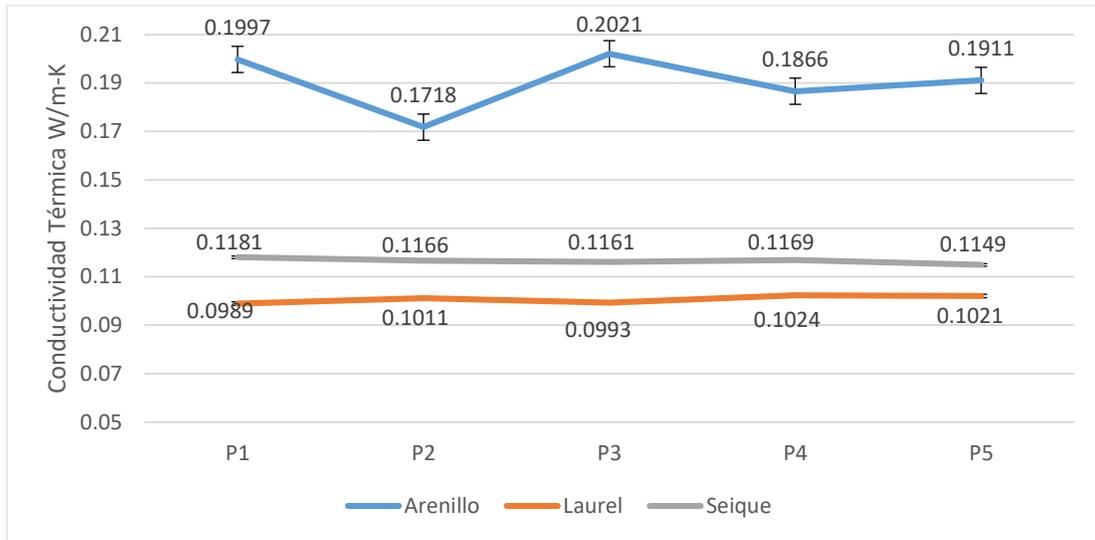


Figura 78. Comparación de la Conductividad Térmica de todas las maderas

La Figura 78 evidencia la similitud que presentan entre las maderas Laurel y Seique respecto a la Conductividad Térmica, mientras que la madera Arenillo muestra mayor Conductividad Térmica que las anteriores.

Resultados de Flujo de Calor por Conducción, Convención y Radiación en la Simulación (Programa ANSYS R19.0)

.- Arenillo

En el corte 1 se logra evidenciar que el mayor flujo de calor por Conducción se presenta de manera similar en techo y piso y el menor en la pared interna. Respecto al flujo por Convención es mayor en el techo y considerablemente menor en pared frontal, siendo piso y pared interna nulo. El flujo de calor por Radiación fue máximo en piso, seguido de techo y menor las paredes posterior y frontal, siendo nulo en la pared interna, evidente en la figura 79 y tabla 42.

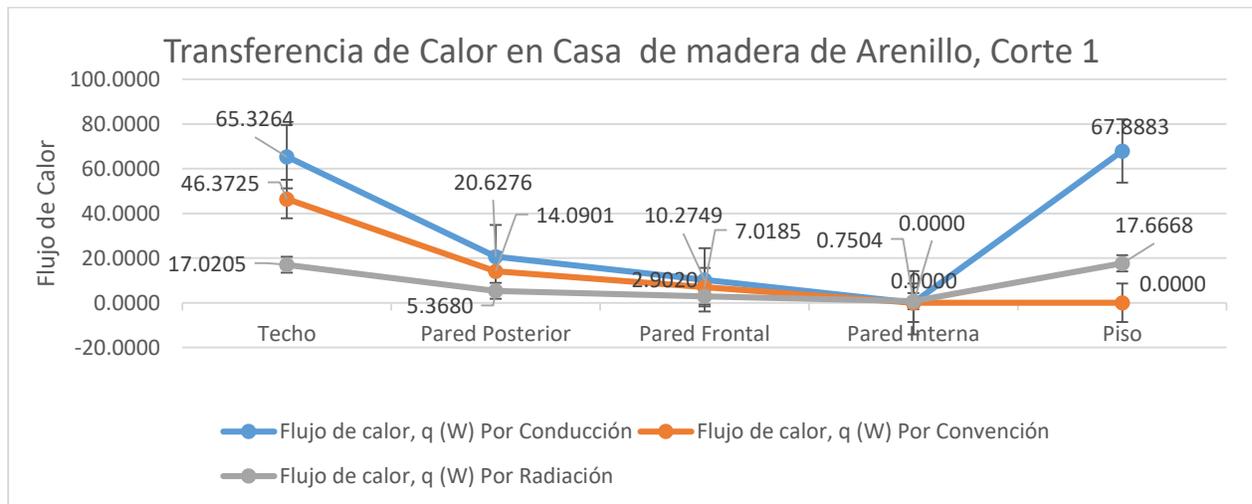


Figura 79. Transferencia de calor casa de madera de Arenillo, corte 1

En el corte 2 se muestra que el mayor flujo de calor por Conducción se presenta muy elevado en techo seguido de la pared posterior, es nulo en la pared frontal, interna y piso. Respecto al flujo por Convención es mayor en el piso y pared frontal, siendo techo y pared posterior muy bajo, registrando datos negativos en pared interna. El flujo de calor por Radiación fue máximo en piso, seguido de techo y menor las paredes posterior, frontal e interna, tal como se registra en la figura 80 y tabla 43.

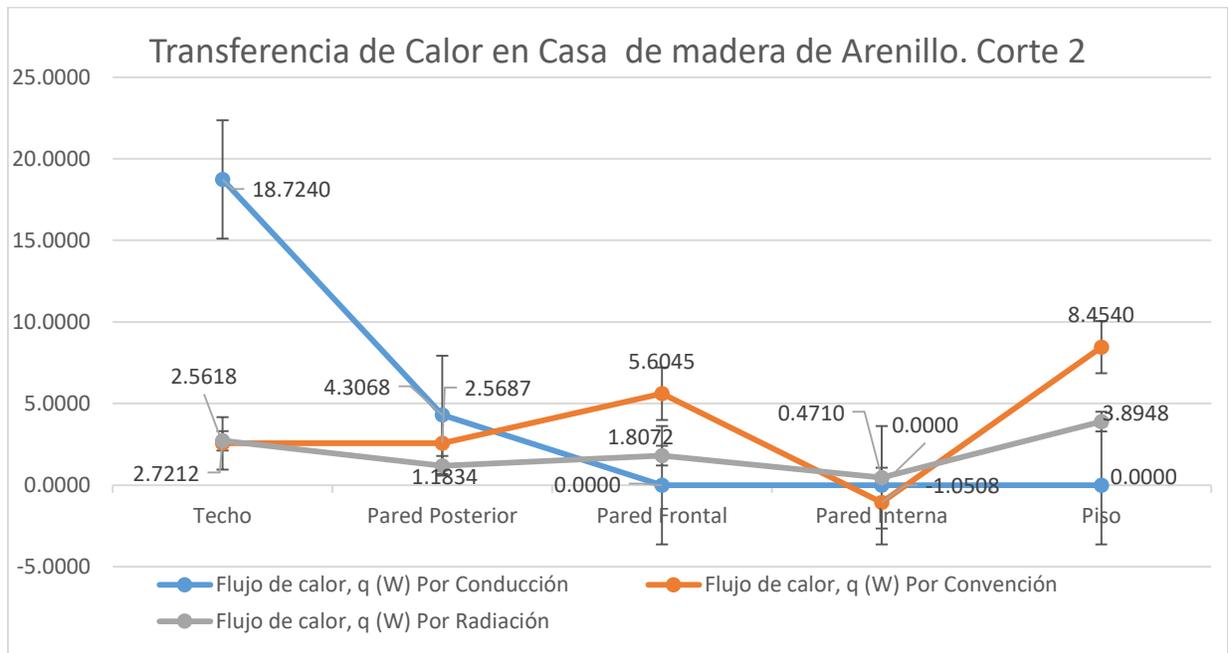


Figura 80. Transferencia de calor casa de madera de Arenillo, corte 2

En el corte 3 se muestra que el mayor flujo de calor por Conducción se presenta muy elevado en techo seguido de la pared lateral izquierda, siendo muy bajo y hasta nulo en el resto de la estructura. Respecto al flujo por Convención es mayor en el piso y techo, seguido de la pared lateral izquierda y derecha. El flujo de calor por Radiación fue máximo en piso, seguido de techo y menor las paredes restantes, según figura 81 y tabla 44.

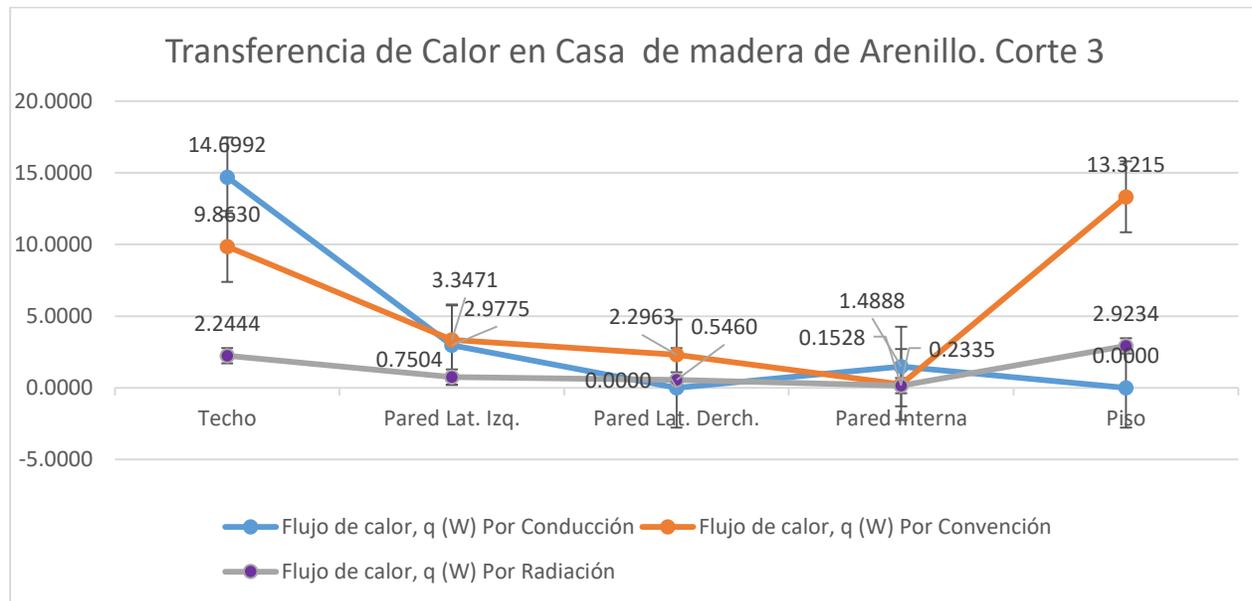


Figura 81. Transferencia de calor casa de madera de Arenillo, corte 3

En el corte 4 se muestra que el mayor flujo de calor por Conducción se presenta muy elevado en techo seguido de la pared lateral izquierda y piso, siendo más bajo en el resto de la estructura. Respecto al flujo por Convención es mayor en el piso, seguido de la pared lateral izquierda, comportándose de manera similar en el resto de la estructura con registros bajos. El flujo de calor por Radiación fue máximo en piso, seguido de techo y menor las paredes restantes, como se muestra en la figura 82 y tabla 45.

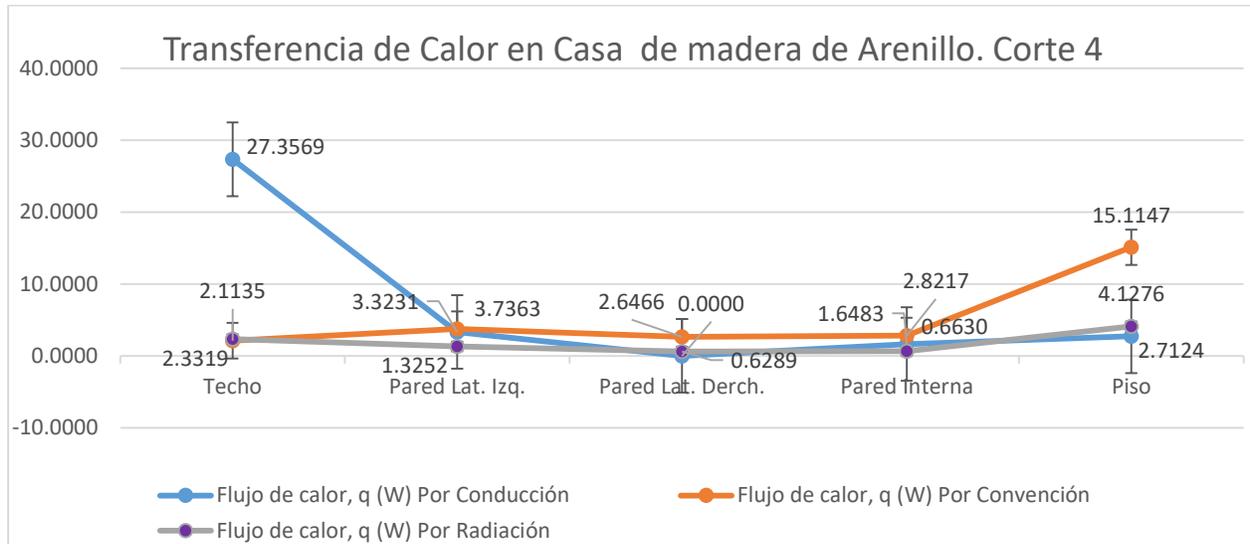


Figura 82. Transferencia de calor casa de madera de Arenillo, corte 4

Tabla 44

Transferencia de calor en casa de madera Arenillo, corte3

Transferencia de Calor en Casa de madera de Arenillo																				Corte 3
Espécimen	Nº	Alto o Largo (m)	Ancho del Corte (m) (Asumido para Cálculo)	Espesor de la madera (m)	Temp. Exterior (K)	Temp. Interior (K)	Temp. De la Madera (K)	Temp. Ambiente (K)	Conductividad Térmica (W/m-K)	Coefficiente de Convección del Aire (W/m ² -K)	Coefficiente de emisividad de la Madera	Constante de Stefan-Boltzmann (W/m ² -K ⁴)	Área, A (m ²)	Diferencia Temp., AT (K) (Exterior-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera4-Temp. Amb.4)	Flujo de calor, q (W) Por Conducción	Flujo de calor, q (W) Por Convención	Flujo de calor, q (W) Por Radiación	Resistencia térmica R (m ² K/W)
Techo	1	9,1494	0,0100	0,0100	299,3000	290,9000	294,7500	290,1500	0,19126	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	8,40	3,85	460,3E+6	14,6992	9,8630	2,2444	0,0523
Pared Lat. Izq.	2	2,7800	0,0100	0,0100	296,5000	290,9000	295,2000	290,1500	0,19126	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	5,60	4,30	506,5E+6	2,9775	3,3471	0,7504	0,0523
Pared Lat. Derecha.	3	2,7800	0,0100	0,0100	290,9000	290,9000	293,8500	290,1500	0,19126	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	2,95	368,5E+6	0,0000	2,2963	0,5460	0,0523
Pared Interna	5	2,7800	0,0100	0,0100	293,7000	290,9000	291,2000	290,1500	0,19126	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	2,80	0,30	103,2E+6	1,4888	0,2335	0,1528	0,0523
Piso	4	9,1494	0,0100	0,0100	290,9000	290,9000	296,1000	290,1500	0,19126	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	0,00	5,20	599,5E+6	0,0000	13,3215	2,9234	0,0523
									0,1913	28,0000	0,9400	5,67E-08	0,0448	0,0000	2,3789	350,8E+6	0,0000	2,9821	0,837025	0,0523
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0349	3,6508	1,8730	189,5E+6	6,1985	5,5308	1,1948871	0,0000
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0036	0,3776	0,1937	19,6E+6	0,6411	0,5720	0,1235854	0,0000

Tabla 45

Transferencia de calor en casa de madera Arenillo, corte 4

Transferencia de Calor en Casa de madera de Arenillo																				Corte 4
Espécimen	Nº	Alto o Largo (m)	Ancho del Corte (m) (Asumido para Cálculo)	Espesor de la madera (m)	Temp. Exterior (K)	Temp. Interior (K)	Temp. De la Madera (K)	Temp. Ambiente (K)	Conductividad Térmica (W/m-K)	Coefficiente de Convección del Aire (W/m ² -K)	Coefficiente de emisividad de la Madera	Constante de Stefan-Boltzmann (W/m ² -K ⁴)	Área, A (m ²)	Diferencia Temp., AT (K) (Exterior-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera4-Temp. Amb.4)	Flujo de calor, q (W) Por Conducción	Flujo de calor, q (W) Por Convención	Flujo de calor, q (W) Por Radiación	Resistencia térmica R (m ² K/W)
Techo	1	9,149	0,0100	0,0100	309,7333	294,1000	294,9250	290,1500	0,19126	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	15,63	0,82	478,2E+6	27,3569	2,1135	2,3319	0,0523
Pared Lat. Izq.	2	2,780	0,0100	0,0100	300,3500	294,1000	298,9000	290,1500	0,19126	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	6,25	4,80	894,4E+6	3,3231	3,7363	1,3252	0,0523
Pared Lat. Derecha.	3	2,780	0,0100	0,0100	291,0000	291,0000	294,4000	290,1500	0,19126	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	3,40	424,5E+6	0,0000	2,6466	0,6289	0,0523
Pared Interna	5	2,780	0,0100	0,0100	294,1000	291,0000	294,6250	290,1500	0,19126	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	3,10	3,62	447,5E+6	1,6483	2,8217	0,6630	0,0523
Piso	4	9,149	0,0100	0,0100	294,1000	292,5500	298,4500	290,1500	0,19126	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	1,55	5,90	846,4E+6	2,7124	15,1147	4,1276	0,0523
									0,1913	28,0000	0,9400	5,67E-08	0,0448	0,0000	3,1036	585,4E+6	0,0000	3,8905	1,3968859	0,0523
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0349	6,2184	1,8981	231,7E+6	11,4449	5,5252	1,4653522	0,0000
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0036	0,6432	0,1963	24,0E+6	1,1837	0,5715	0,1515592	0,0000

.- Seique

En el corte 1 se muestra que el mayor flujo de calor por Conducción se presenta máxima en la pared posterior, nula en las paredes frontal e interna y negativa en techo. Respecto al flujo por Convención es muy elevado en el techo y nulo en el resto de la estructura. El flujo de calor por Radiación fue máximo en el techo, seguido del piso y se mantiene igual en el resto de la estructura, tal como se registra en la figura 83 y tabla 46.

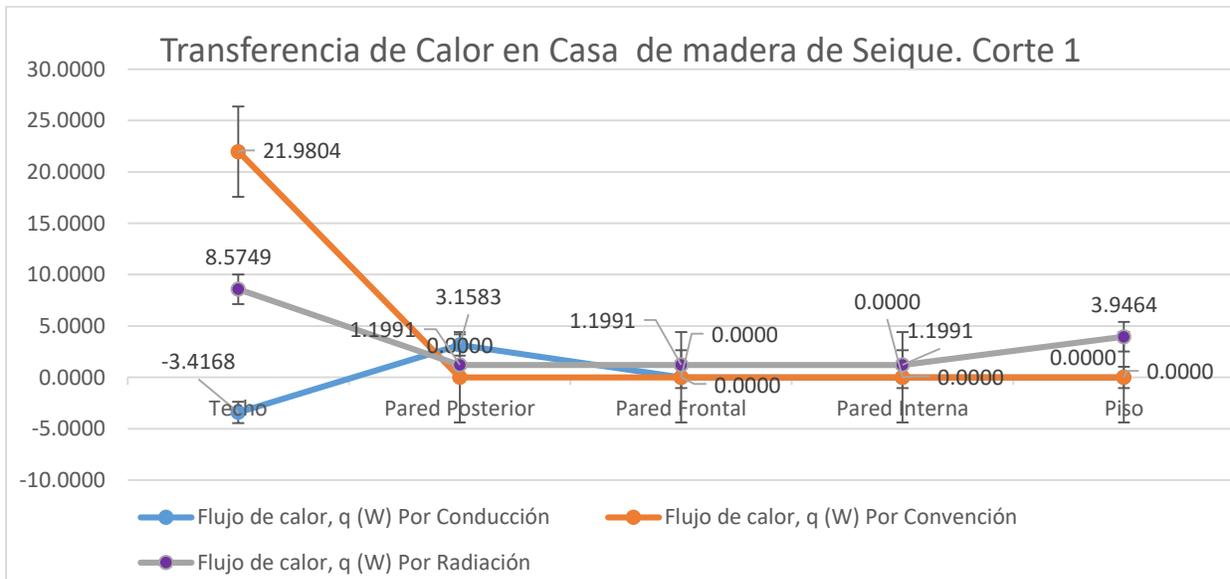


Figura 83. Transferencia de calor casa de madera de Seique, corte 1

En el corte 2 se muestra que el mayor flujo de calor por Conducción se presenta máxima en el techo seguida en menor proporción por pared posterior y el piso, siendo nula en el resto de la estructura. Respecto al flujo por Convención es muy elevado en el piso seguido de pared posterior y techo, en el resto es nulo. El flujo de calor por Radiación es menor respecto a los dos anteriores, siendo máximo en el piso seguido de la pared posterior, sin embargo es negativo en la pared interna y frontal, tal como se evidencia en la figura 84 y tabla 47.

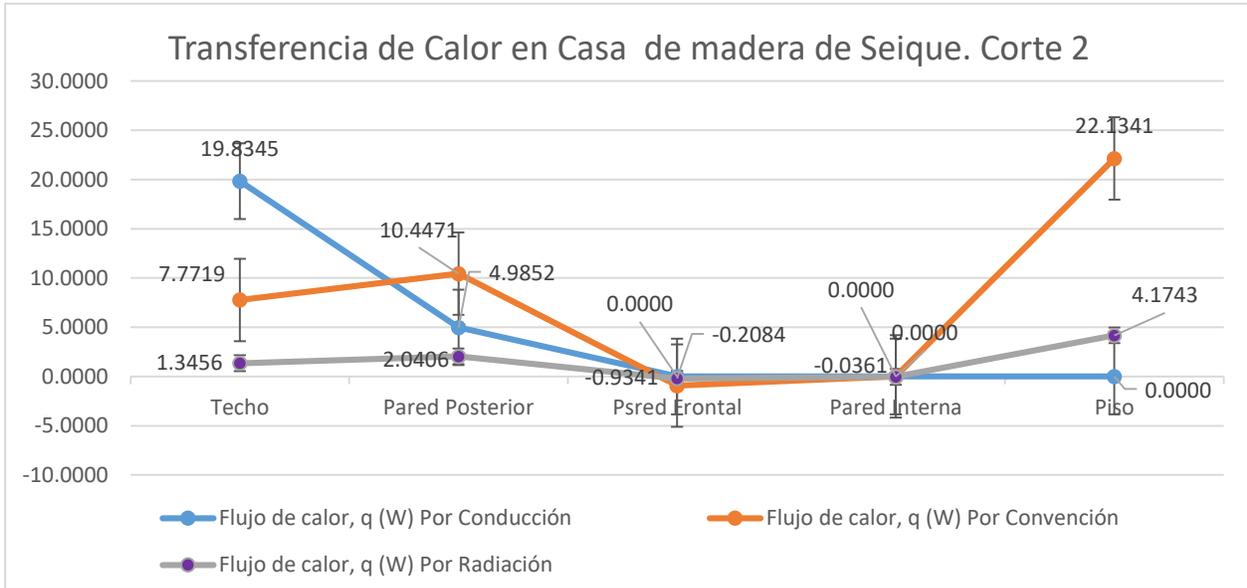


Figura 84. Transferencia de calor casa de madera de Seique, corte 2

En el corte 3 se muestra que el mayor flujo de calor por Conducción se presenta en el techo seguido de la pared lateral izquierda, siendo nulo en el resto de la estructura. En cuanto al flujo por Convención es muy elevado en el piso, seguido en techo, en menor cantidad en las paredes laterales izquierda y derecha, con registro nulo en la pared interna. El flujo de calor por Radiación fue máximo en piso, seguido de techo y menor las paredes restantes, como se muestra en la figura 85 y tabla 48.

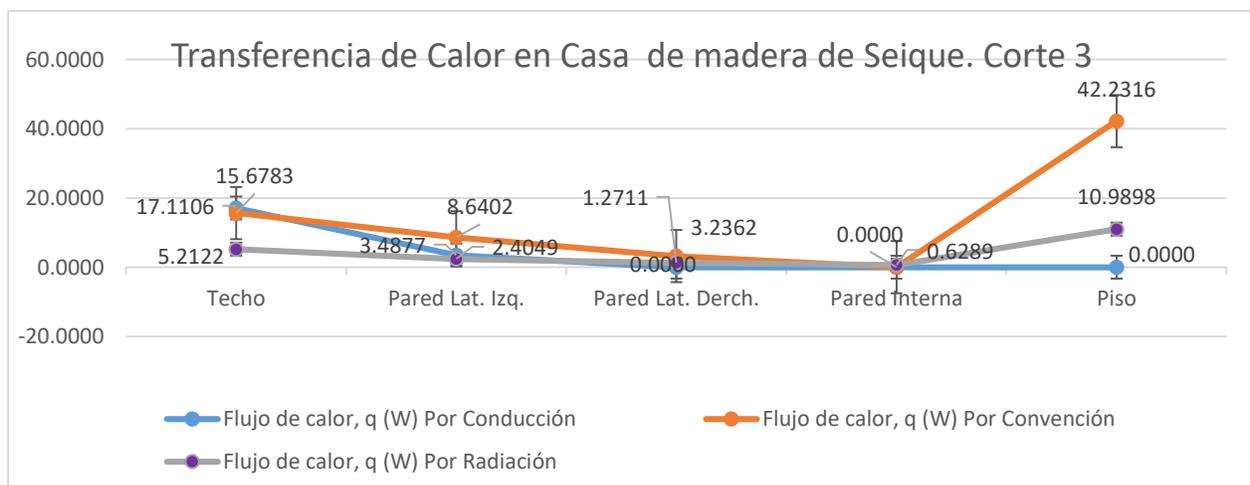


Figura 85. Transferencia de calor casa de madera de Seique, corte 3

En el corte 4 se muestra que el mayor flujo de calor por Conducción se presenta muy elevado en el techo para bajar de manera considerable en la pared lateral izquierda, con registros nulos en el resto de la estructura. En relación al flujo por Convención es muy elevado en el piso, y en proporción similar en techo, en menor cantidad en la pared lateral izquierda, con registro negativo en la pared interna. El flujo de calor por Radiación fue máximo en el techo y en con registros nulos en el resto de la estructura, como se muestra en la figura 86 y tabla 49.

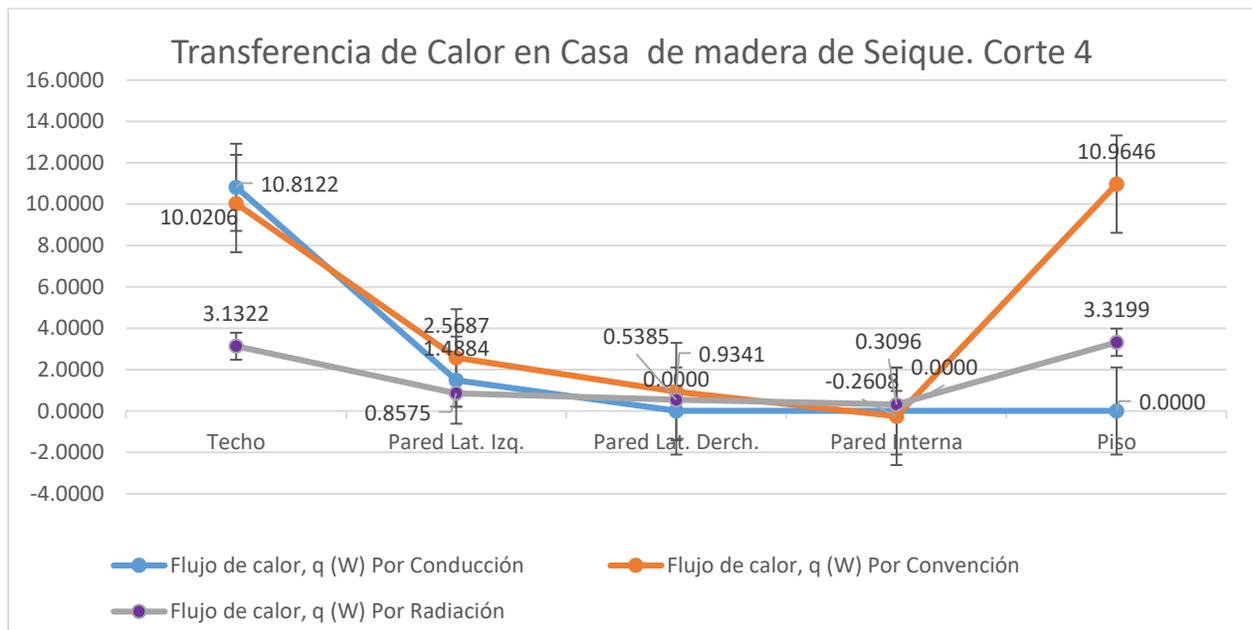


Figura 86. Transferencia de calor casa de madera de Seique, corte 4

Tabla 46

Transferencia de calor en casa de madera de Seique, corte 1

Transferencia de Calor en Casa de madera de Seique																				Corte 1
Espécimen	Nº	Alto o Largo (m)	Ancho del Corte (m) (Asumido para Cálculo)	Espesor de la madera (m)	Temp. Exterior (K)	Temp. Interior (K)	Temp. De la Madera (K)	Temp. Ambiente (K)	Conductividad Térmica (W/m-K)	Coefficiente de Convección del Aire (W/m ² -K)	Coefficiente de emisividad de la Madera	Constante de Stefan-Boltzmann (W/m ² -K ⁴)	Área, A (m ²)	Diferencia Temp., AT (K) (Exterior-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera4-Temp. Amb.4)	Flujo de calor, q (W) Por Conducción	Flujo de calor, q (W) Por Convención	Flujo de calor, q (W) Por Radiación	Resistencia térmica R (m ² K/W)
Techo	1	9,1494	0,0100	0,0100	294,8950	298,1000	306,6800	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	-3,21	8,58	1,8E+9	-3,4168	21,9804	8,5749	0,0858
Pared Posterior	2	2,7800	0,0100	0,0100	307,8500	298,1000	298,1000	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	9,75	0,00	809,3E+6	3,1583	0,0000	1,1991	0,0858
Pared Frontal	3	2,7800	0,0100	0,0100	298,1000	298,1000	298,1000	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	0,00	809,3E+6	0,0000	0,0000	1,1991	0,0858
Pared Interna	5	2,7800	0,0100	0,0100	298,1000	298,1000	298,1000	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	0,00	809,3E+6	0,0000	0,0000	1,1991	0,0858
Piso	4	9,1494	0,0100	0,0100	298,1000	298,1000	298,1000	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	0,00	0,00	809,3E+6	0,0000	0,0000	3,9464	0,0858
									0,1165	28,0000	0,9400	5,67E-08	0,0448	0,0000	0,0000	945,2E+6	0,0000	0,0000	2,2552851	0,0858
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0349	4,9185	3,8371	424,5E+6	2,3257	9,8299	3,2192655	0,0000
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0036	0,5087	0,3969	43,9E+6	0,2405	1,0167	0,3329639	0,0000

Tabla 47

Transferencia de calor en casa de madera de Seique, corte 2

Transferencia de Calor en Casa de madera de Seique																				Corte 2
Espécimen	Nº	Alto o Largo (m)	Ancho del Corte (m) (Asumido para Cálculo)	Espesor de la madera (m)	Temp. Exterior (K)	Temp. Interior (K)	Temp. De la Madera (K)	Temp. Ambiente (K)	Conductividad Térmica (W/m-K)	Coefficiente de Convección del Aire (W/m ² -K)	Coefficiente de emisividad de la Madera	Constante de Stefan-Boltzmann (W/m ² -K ⁴)	Área, A (m ²)	Diferencia Temp., AT (K) (Exterior-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera4-Temp. Amb.4)	Flujo de calor, q (W) Por Conducción	Flujo de calor, q (W) Por Convención	Flujo de calor, q (W) Por Radiación	Resistencia térmica R (m ² K/W)
Techo	1	9,1494	0,0100	0,0100	308,5050	289,9000	292,9338	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	18,61	3,03	275,9E+6	19,8345	7,7719	1,3456	0,0858
Pared Posterior	2	2,7800	0,0100	0,0100	305,2900	289,9000	303,3213	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	15,39	13,42	1,4E+9	4,9852	10,4471	2,0406	0,0858
Pared Frontal	3	2,7800	0,0100	0,0100	289,9000	289,9000	288,7000	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	-1,20	-	0,0000	-0,9341	-0,2084	0,0858
Pared Interna	5	2,7800	0,0100	0,0100	289,9000	289,9000	289,9000	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	0,00	140,6E+6	0,0000	0,0000	-0,0361	0,0858
Piso	4	9,1494	0,0100	0,0100	289,9000	289,9000	298,5400	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	0,00	8,64	856,0E+6	0,0000	22,1341	4,1743	0,0858
									0,1165	28,0000	0,9400	5,67E-08	0,0448	0,0000	0,0000	000,0E+0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0858
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0349	9,3790	6,1488	637,8E+6	8,5886	9,3483	1,7846117	0,0000
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0036	0,9701	0,6360	66,0E+6	0,8883	0,9669	0,1845798	0,0000

Tabla 48

Transferencia de calor en casa de madera de Seique, corte 3

Transferencia de Calor en Casa de madera de Seique																			Corte 3	
Espécimen	Nº	Alto o Largo (m)	Ancho del Corte (m) (Asumido para Cálculo)	Espesor de la madera (m)	Temp. Exterior (K)	Temp. Interior (K)	Temp. De la Madera (K)	Temp. Ambiente (K)	Conductividad Térmica (W/m-K)	Coefficiente de Convección del Aire (W/m ² -K)	Coefficiente de emisividad de la Madera	Constante de Stefan-Boltzmann (W/m ² -K ⁴)	Área, A (m ²)	Diferencia Temp., AT (K) (Exterior-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera4-Temp. Amb.4)	Flujo de calor, q (W) Por Conducción	Flujo de calor, q (W) Por Convención	Flujo de calor, q (W) Por Radiación	Resistencia térmica R (m ² K/W)
Techo	1	9,1494	0,0100	0,0100	310,4500	294,4000	300,5200	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	16,05	6,12	1,1E+9	17,1106	15,6783	5,2122	0,0858
Pared Lat. Izq.	2	2,7800	0,0100	0,0100	305,1670	294,4000	305,5000	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	10,77	11,10	1,6E+9	3,4877	8,6402	2,4049	0,0858
Pared Lat. Derecha.	3	2,7800	0,0100	0,0100	294,4000	294,4000	298,5575	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	4,16	857,9E+6	0,0000	3,2362	1,2711	0,0858
Pared Interna	5	2,7800	0,0100	0,0100	294,4000	294,4000	294,4000	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	0,00	424,5E+6	0,0000	0,0000	0,6289	0,0858
Piso	4	9,1494	0,0100	0,0100	294,4000	294,4000	310,8850	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	0,00	16,49	2,3E+9	0,0000	42,2316	10,9898	0,0858
									0,1165	28,0000	0,9400	5,67E-08	0,0448	0,0000	0,0000	1,1E+9	0,0000	0,0000	2,5608124	0,0858
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0349	7,5779	6,3834	709,7E+6	7,4175	16,8850	4,2317626	0,0000
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0036	0,7838	0,6602	73,4E+6	0,7672	1,7464	0,437685	0,0000

Tabla 49

Transferencia de calor en casa de madera de Seique, corte 4

Transferencia de Calor en Casa de madera de Seique																			Corte 4	
Espécimen	Nº	Alto o Largo (m)	Ancho del Corte (m) (Asumido para Cálculo)	Espesor de la madera (m)	Temp. Exterior (K)	Temp. Interior (K)	Temp. De la Madera (K)	Temp. Ambiente (K)	Conductividad Térmica (W/m-K)	Coefficiente de Convección del Aire (W/m ² -K)	Coefficiente de emisividad de la Madera	Constante de Stefan-Boltzmann (W/m ² -K ⁴)	Área, A (m ²)	Diferencia Temp., AT (K) (Exterior-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera4-Temp. Amb.4)	Flujo de calor, q (W) Por Conducción	Flujo de calor, q (W) Por Convención	Flujo de calor, q (W) Por Radiación	Resistencia térmica R (m ² K/W)
Techo	1	9,1494	0,0100	0,0100	302,7420	292,6000	296,5115	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	10,14	3,91	642,3E+6	10,8122	10,0206	3,1322	0,0858
Pared Lat. Izq.	2	2,7800	0,0100	0,0100	297,1950	292,6000	295,9000	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	4,60	3,30	578,7E+6	1,4884	2,5687	0,8575	0,0858
Pared Lat. Derecha.	3	2,7800	0,0100	0,0100	292,6000	292,6000	293,8000	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	1,20	363,4E+6	0,0000	0,9341	0,5385	0,0858
Pared Interna	5	2,7800	0,0100	0,0100	292,6000	292,6000	292,2650	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	-0,34	208,9E+6	0,0000	-0,2608	0,3096	0,0858
Piso	4	9,1494	0,0100	0,0100	292,6000	292,6000	296,8800	290,1500	0,11652	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	0,00	4,28	680,8E+6	0,0000	10,9646	3,3199	0,0858
									0,1165	28,0000	0,9400	5,67E-08	0,0448	0,0000	0,0000	453,7E+6	0,0000	0,0000	1,0824858	0,0858
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0349	4,4872	1,9700	201,5E+6	4,7132	5,2626	1,4700337	0,0000
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0036	0,4641	0,2038	20,8E+6	0,4875	0,5443	0,1520434	0,0000

.- Laurel

En el corte 1 se muestra que el flujo de calor por Conducción se presenta con un registro máximo en el techo seguida en menor proporción por pared posterior, en el resto de la estructura el flujo es nulo. Respecto al flujo por Convención es muy elevado en el techo y en el resto es nulo. El flujo de calor por Radiación se presentó máximo en el techo seguido del piso y negativo en el resto de la estructura, tal como se evidencia en la figura 87 y tabla 50.

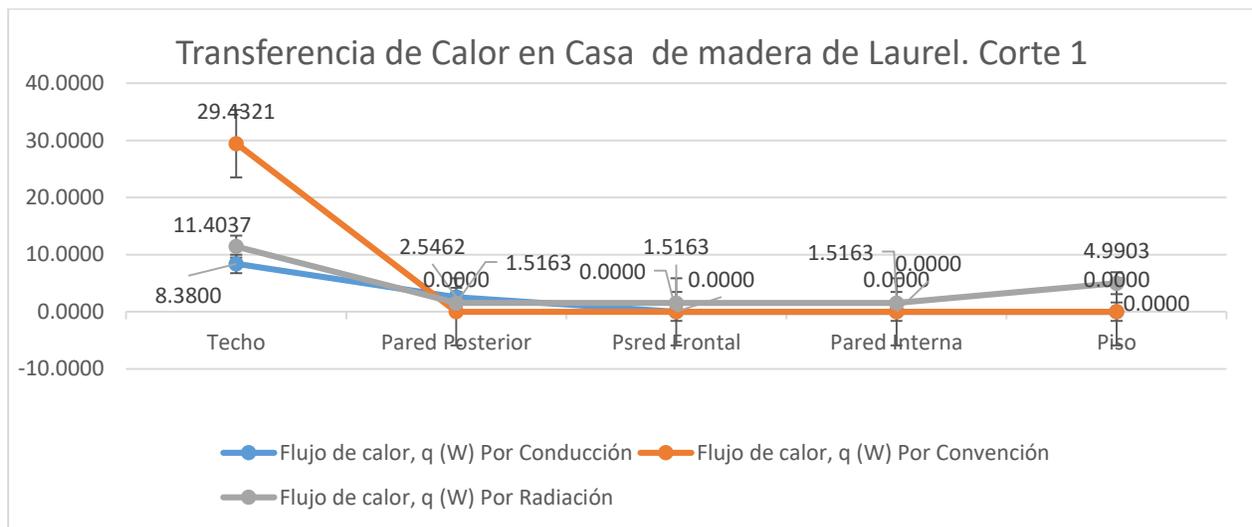


Figura 87. Transferencia de calor casa de madera de Laurel, corte 1

En el corte 2 se muestra que el flujo de calor por Conducción se presenta con un registro máximo en el techo seguida en menor proporción por pared posterior, en el resto de la estructura el flujo de calor es nulo. En cuanto al flujo por Convención es muy elevado en el piso seguido en menor proporción por la pared posterior y luego el techo, en el resto es nulo. El flujo de calor por Radiación se presentó máximo en el piso seguido de la pared posterior, siendo negativo en el resto de la estructura, tal como se evidencia en la figura 88 y tabla 51.

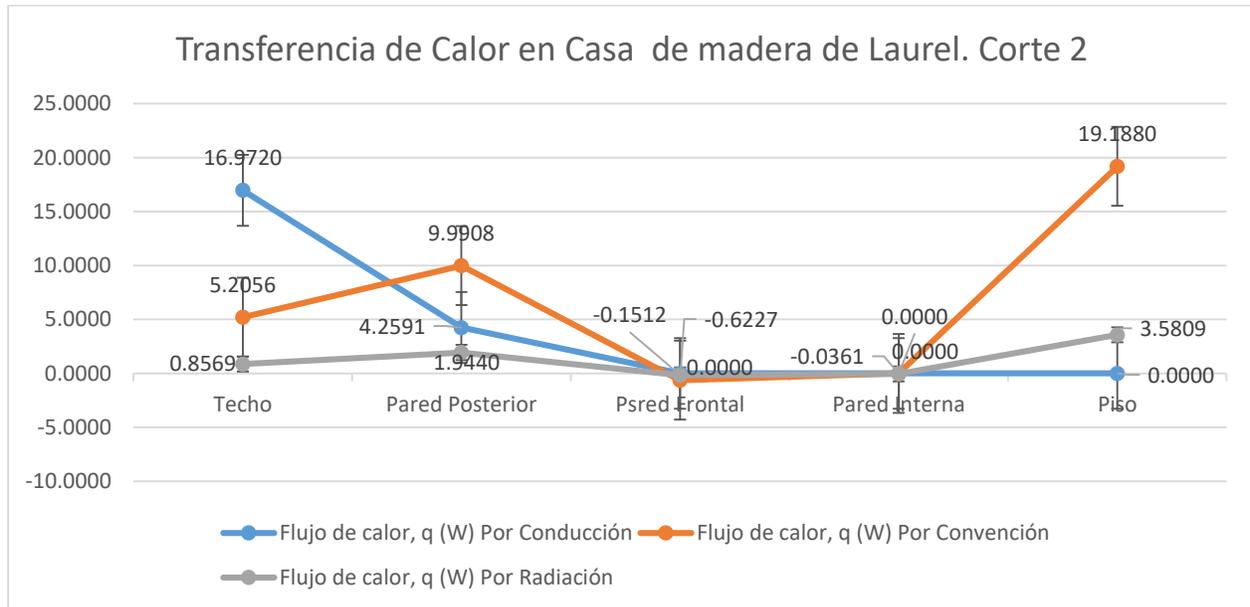


Figura 88. Transferencia de calor casa de madera de Laurel, corte 2

En el corte 3 se muestra el flujo de calor por Conducción muy elevado en el techo para bajar de manera considerable en las paredes laterales, con registros nulos en el resto. En relación al flujo por Convención es muy elevado en el techo y en proporción similar en piso, en menor cantidad y con igual magnitud en las paredes laterales, con registro negativo en la pared interna. El flujo de calor por Radiación fue máximo en el techo y piso, en con registros iguales en paredes laterales y negativo en la pared interna, como se muestra en la figura 89 y tabla 52.

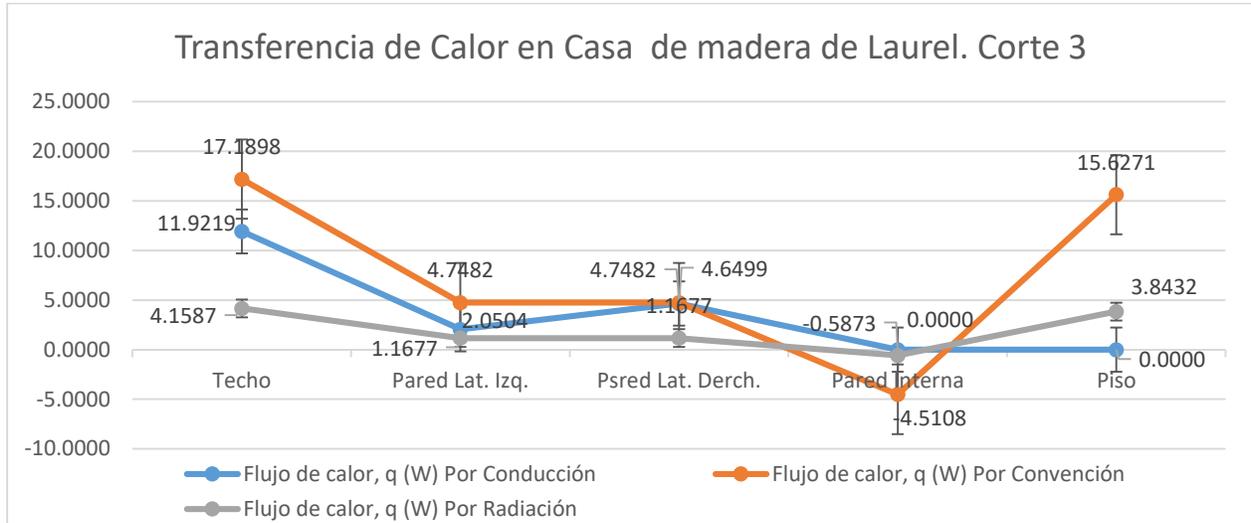


Figura 89. Transferencia de calor casa de madera de Laurel, corte 3

En el corte 4 se muestra el flujo de calor por Conducción muy elevado en el techo para bajar de manera considerable en las paredes laterales, con registros nulos en el resto. En relación al flujo por Convención es muy elevado en el techo, disminuyendo considerablemente en las paredes laterales, con registros nulos en el resto de la estructura. El flujo de calor por Radiación fue máximo en el techo seguido luego por el piso, en con registros similares pero bajos en el resto de la estructura, como se muestra en la figura 90 y tabla 53.

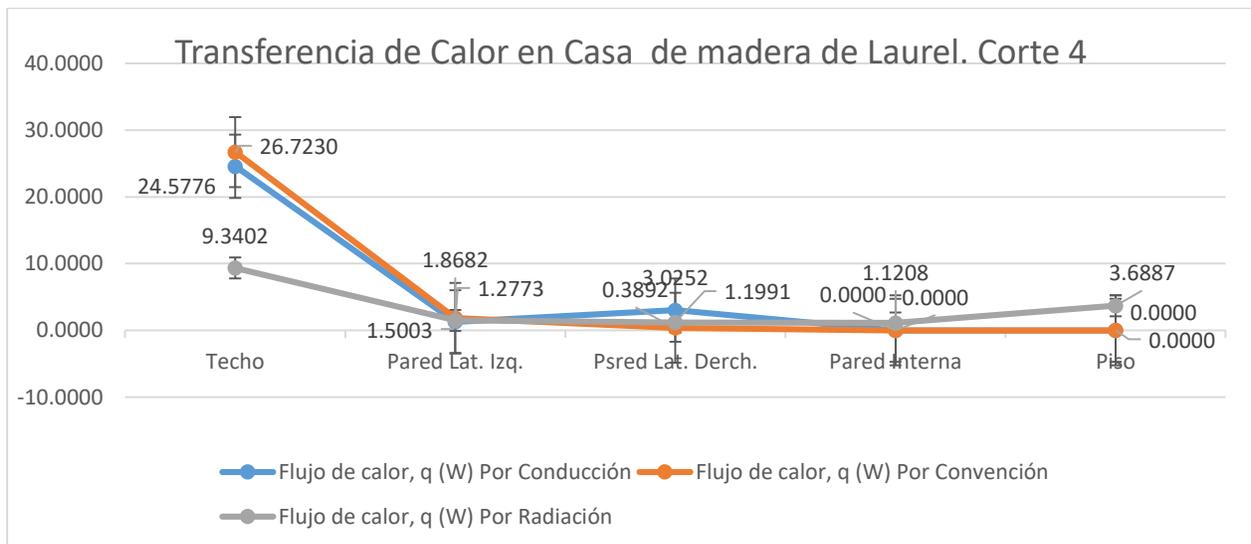


Figura 90. Transferencia de calor casa de madera de Laurel, corte 4

Tabla 50

Transferencia de calor en casa de madera de Laurel, corte 1

Transferencia de Calor en Casa de madera de Laurel																				Corte 1
Espécimen	Nº	Alto o Largo (m)	Ancho del Corte (m) (Asumido para Cálculo)	Espesor de la madera (m)	Temp. Exterior (K)	Temp. Interior (K)	Temp. De la Madera (K)	Temp. Ambiente (K)	Conductividad Térmica (W/m-K)	Coefficiente de Convección del Aire (W/m²-K)	Coefficiente de emisividad de la Madera	Constante de Stefan-Boltzmann (W/m²-K⁴)	Área, A (m²)	Diferencia Temp., AT (K) (Exterior-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera4-Temp. Amb.4)	Flujo de calor, q (W) Por Conducción	Flujo de calor, q (W) Por Convención	Flujo de calor, q (W) Por Radiación	Resistencia térmica R (m²K/W)
Techo	1	9,1494	0,0100	0,0100	309,1900	300,1000	311,5888	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	9,09	11,49	2,3E+9	8,3800	29,4321	11,4037	0,0992
Pared Posterior	2	2,7800	0,0100	0,0100	309,1900	300,1000	300,1000	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	9,09	0,00	1,0E+9	2,5462	0,0000	1,5163	0,0992
Pared Frontal	3	2,7800	0,0100	0,0100	300,1000	300,1000	300,1000	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	0,00	1,0E+9	0,0000	0,0000	1,5163	0,0992
Pared Interna	5	2,7800	0,0100	0,0100	300,1000	300,1000	300,1000	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	0,00	1,0E+9	0,0000	0,0000	1,5163	0,0992
Piso	4	9,1494	0,0100	0,0100	300,1000	300,1000	300,1000	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	0,00	0,00	1,0E+9	0,0000	0,0000	4,9903	0,0992
									0,1008	28,0000	0,9400	5,67E-08	0,0448	0,0000	0,0000	1,2E+9	0,0000	0,0000	2,8807297	0,0992
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0349	4,9788	5,1379	588,2E+6	3,6342	13,1624	4,3047731	0,0000
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0036	0,5149	0,5314	60,8E+6	0,3759	1,3614	0,4452363	0,0000

Tabla 51

Transferencia de calor en casa de madera de Laurel, corte 2

Transferencia de Calor en Casa de madera de Laurel																				Corte 2
Espécimen	Nº	Alto o Largo (m)	Ancho del Corte (m) (Asumido para Cálculo)	Espesor de la madera (m)	Temp. Exterior (K)	Temp. Interior (K)	Temp. De la Madera (K)	Temp. Ambiente (K)	Conductividad Térmica (W/m-K)	Coefficiente de Convección del Aire (W/m²-K)	Coefficiente de emisividad de la Madera	Constante de Stefan-Boltzmann (W/m²-K⁴)	Área, A (m²)	Diferencia Temp., AT (K) (Exterior-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera4-Temp. Amb.4)	Flujo de calor, q (W) Por Conducción	Flujo de calor, q (W) Por Convención	Flujo de calor, q (W) Por Radiación	Resistencia térmica R (m²K/W)
Techo	1	9,1494	0,0100	0,0100	308,3100	289,9000	291,9320	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	18,41	2,03	175,7E+6	16,9720	5,2056	0,8569	0,0992
Pared Posterior	2	2,7800	0,0100	0,0100	305,1050	289,9000	302,7350	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	15,21	12,84	1,3E+9	4,2591	9,9908	1,9440	0,0992
Pared Frontal	3	2,7800	0,0100	0,0100	289,9000	289,9000	289,1000	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	-0,80	-	0,0000	-0,6227	-0,1512	0,0992
Pared Interna	5	2,7800	0,0100	0,0100	289,9000	289,9000	289,9000	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	0,00	-24,4E+6	0,0000	0,0000	-0,0361	0,0992
Piso	4	9,1494	0,0100	0,0100	289,9000	289,9000	297,3900	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	0,00	7,49	734,3E+6	0,0000	19,1880	3,5809	0,0992
									0,1008	28,0000	0,9400	5,67E-08	0,0448	0,0000	0,0000	000,0E+0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0992
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0349	9,2753	5,7590	596,7E+6	7,3491	8,1779	1,5561106	0,0000
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0036	0,9593	0,5956	61,7E+6	0,7601	0,8458	0,1609462	0,0000

Tabla 52

Transferencia de calor en casa de madera de Laurel, corte 3

Transferencia de Calor en Casa de madera de Laurel																			Corte 3	
Espécimen	Nº	Alto o Largo (m)	Ancho del Corte (m) (Asumido para Cálculo)	Espesor de la madera (m)	Temp. Exterior (K)	Temp. Interior (K)	Temp. De la Madera (K)	Temp. Ambiente (K)	Conductividad Térmica (W/m-K)	Coefficiente de Convección del Aire (W/m ² -K)	Coefficiente de emisividad de la Madera	Constante de Stefan-Boltzmann (W/m ² -K ⁴)	Área, A (m ²)	Diferencia Temp., AT (K) (Exterior-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera4-Temp. Amb.4)	Flujo de calor, q (W) Por Conducción	Flujo de calor, q (W) Por Convención	Flujo de calor, q (W) Por Radiación	Resistencia térmica R (m ² K/W)
Techo	1	9,1494	0,0100	0,0100	304,7320	291,8000	298,5100	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	12,93	6,71	852,8E+6	11,9219	17,1898	4,1587	0,0992
Pared Lat. Izq.	2	2,7800	0,0100	0,0100	299,1200	291,8000	297,9000	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	7,32	6,10	788,1E+6	2,0504	4,7482	1,1677	0,0992
Pared Lat. Derecha.	3	2,7800	0,0100	0,0100	308,4000	291,8000	297,9000	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	16,60	6,10	788,1E+6	4,6499	4,7482	1,1677	0,0992
Pared Interna	5	2,7800	0,0100	0,0100	291,8000	291,8000	286,0050	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	-5,80	-	0,0000	-4,5108	-0,5873	0,0992
Piso	4	9,1494	0,0100	0,0100	291,8000	291,8000	297,9000	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	0,00	6,10	788,1E+6	0,0000	15,6271	3,8432	0,0992
									0,1008	28,0000	0,9400	5,67E-08	0,0448	0,0000	0,0000	000,0E+0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0992
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0349	7,4961	5,3943	537,7E+6	4,9649	8,9349	2,0077689	0,0000
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0036	0,7753	0,5579	55,6E+6	0,5135	0,9241	0,2076606	0,0000

Tabla 53

Transferencia de calor en casa de madera de Laurel, corte 4

Transferencia de Calor en Casa de madera de Laurel																			Corte 4	
Espécimen	Nº	Alto o Largo (m)	Ancho del Corte (m) (Asumido para Cálculo)	Espesor de la madera (m)	Temp. Exterior (K)	Temp. Interior (K)	Temp. De la Madera (K)	Temp. Ambiente (K)	Conductividad Térmica (W/m-K)	Coefficiente de Convección del Aire (W/m ² -K)	Coefficiente de emisividad de la Madera	Constante de Stefan-Boltzmann (W/m ² -K ⁴)	Área, A (m ²)	Diferencia Temp., AT (K) (Exterior-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera-Interior)	Diferencia Temp., AT (K) (Madera4-Temp. Amb.4)	Flujo de calor, q (W) Por Conducción	Flujo de calor, q (W) Por Convención	Flujo de calor, q (W) Por Radiación	Resistencia térmica R (m ² K/W)
Techo	1	9,1494	0,0100	0,0100	324,2600	297,6000	308,0313	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	26,66	10,43	1,9E+9	24,5776	26,7230	9,3402	0,0992
Pared Lat. Izq.	2	2,7800	0,0100	0,0100	302,1600	297,6000	300,0000	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	4,56	2,40	1,0E+9	1,2773	1,8682	1,5003	0,0992
Pared Lat. Derecha.	3	2,7800	0,0100	0,0100	308,4000	297,6000	298,1000	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	10,80	0,50	809,3E+6	3,0252	0,3892	1,1991	0,0992
Pared Interna	5	2,7800	0,0100	0,0100	297,6000	297,6000	297,6000	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0278	0,00	0,00	756,4E+6	0,0000	0,0000	1,1208	0,0992
Piso	4	9,1494	0,0100	0,0100	297,6000	297,6000	297,6000	290,1500	0,10076	28,00000	0,94000	5,67E-08	0,0915	0,00	0,00	756,4E+6	0,0000	0,0000	3,6887	0,0992
									0,1008	28,0000	0,9400	5,67E-08	0,0448	0,0000	0,0000	978,7E+6	0,0000	0,0000	2,3353815	0,0992
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0349	11,1249	4,4519	495,1E+6	10,5833	11,7238	3,5004397	0,0000
									0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0036	1,1506	0,4605	51,2E+6	1,0946	1,2126	0,3620453	0,0000

Simulación

La conductividad térmica calculada por el programa de simulación ANSYS R19.0, presenta el valor más elevado en la madera Arenillo con 0,1913 W/mK, seguido del Laurel con 0,1165 W/mK y el valor más bajo lo presentó la madera Laurel con 0,1008 W/mK. La Resistencia Térmica fue más elevada en el Laurel con 0,0992 W/mK, seguido de Seique con 0,0858 W/mK y los valores más bajos los obtenidos por el Arenillo con 0,0523 W/mK.

Los valores de flujo por conducción se registraron más elevados en el techo para las maderas de Arenillo y Laurel, en el caso de Seique presentó valores altos en techo y en pared posterior.

El flujo por convección presentó los valores positivos más elevados en la madera Arenillo ubicada en piso, igualmente en el caso de Seique mientras que en el Laurel, los valores más elevados se presentaron en techo.

Respecto al flujo por radiación, los valores más elevados se presentaron en los cortes de la madera Seique, seguida de Laurel y los valores más bajos los registró la madera Arenillo. De manera más específica, en cuanto a Arenillo y Seique, los valores más elevados fueron en piso, mientras que para el Laurel la ubicación con mayor registro fue el techo.

En cuanto a la Resistencia Térmica, la madera Laurel presentó el valor más alto, 0,0992 m²K/W, seguido de Seique con 0,0858 m²K/W y los valores más bajos los registró el Arenillo en 0,0523 m²K/W.

Reporte de simulación estudio de radiación en casa

Datos generales: por convección del viento, se tiene un valor de 28 W/m²-k según la ecuación de Watmuf, temperatura: 17 C. Rad: 4500 W/m-k. Velocidad del viento: 5 m/s

- **Términos de la Madera Arenillo**

Tipo: CFD

Estado: Estado Estable

Fluidos: Aire

Solidos: Madera – Arenillo

Conductividad térmica del Arenillo: 0.19126 W/m-K

Planos de temperatura

- Madera Arenillo Corte 1

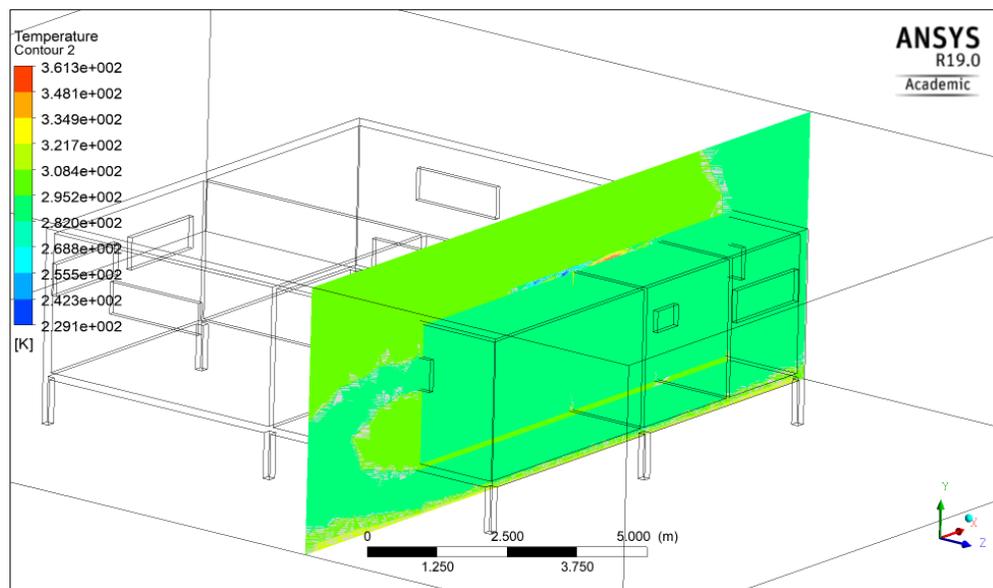


Figura 91 Plano madera arenillo corte 1

En la figura 91 se evidencia que las temperaturas que predominan en el exterior del corte se distribuyen de una manera un poco uniforme y oscilan desde 295,2000 hasta 321,7000 K desde el piso hasta el techo.

- Madera Arenillo Corte 2

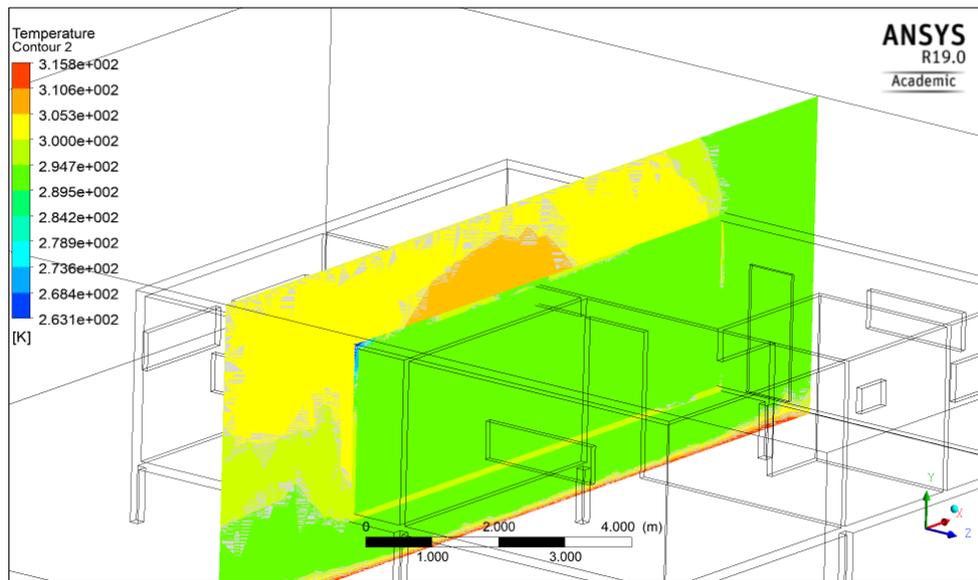


Figura 92. Plano madera arenillo corte 2

En la figura 92 se evidencia que las temperaturas que predominan en la pared interna son más variadas y oscilan desde 294,7000 hasta 305,4000 K desde el piso hasta el techo.

- Madera Arenillo Corte 3

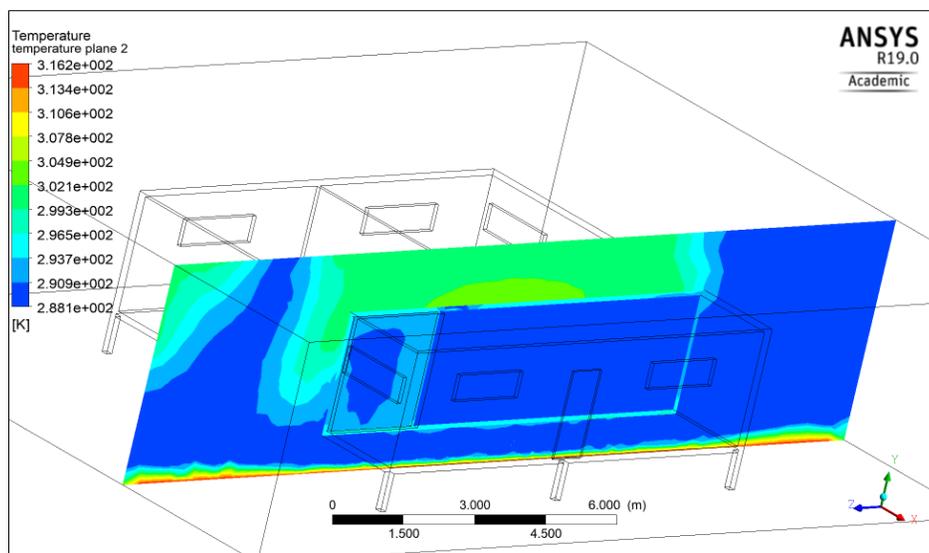


Figura 93. Plano madera arenillo corte 3

En la figura 93 se evidencia que las temperaturas que predominan desde el piso hasta el techo en la zona frontal, abarcando ambas paredes laterales oscilan desde 290,9000 hasta 296,500 K.

- Madera Arenillo Corte 4

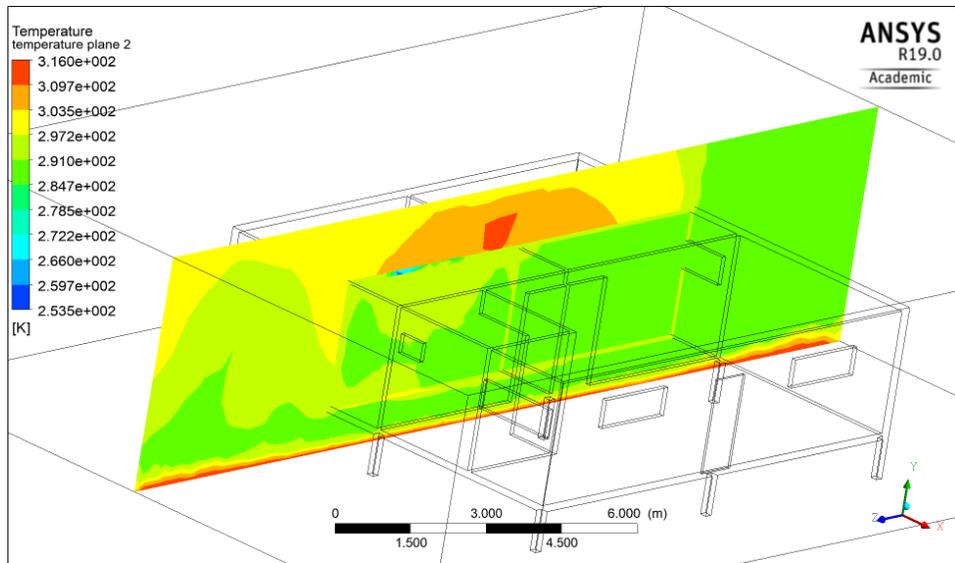


Figura 94. Plano madera arenillo corte 4

En la figura 94 se evidencia que las temperaturas que predominan desde el piso hasta el techo en la zona interna, abarcando ambas paredes laterales son más variadas y oscilan desde 290,1000 hasta 309,7333 K.

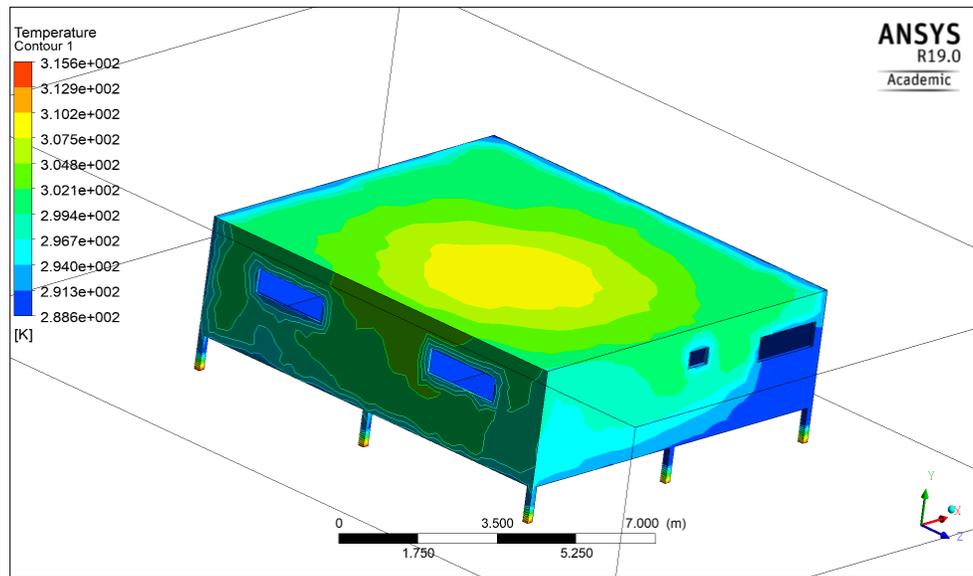


Figura 95. Plano completo madera arenillo

La figura 95 muestra el plano completo con la variación de la temperatura según el corte para una casa con madera arenillo.

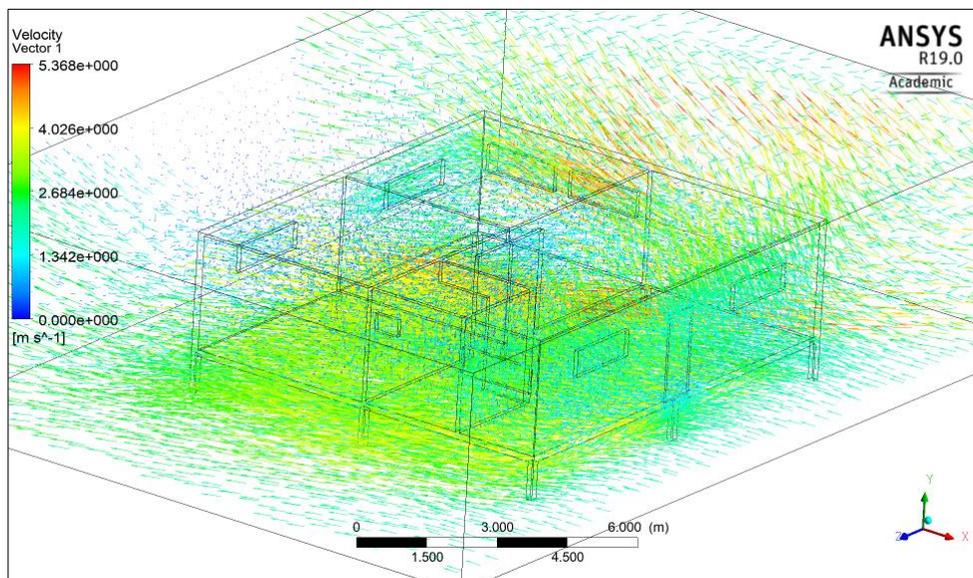


Figura 96. Campo de velocidades madera Arenillo

La figura 96 muestra el campo de velocidades de la casa construida con madera arenillo.

- **Términos de la Madera Laurel**

Tipo: CFD

Estado: Estado Estable

Fluidos: Aire

Solidos: Madera – Laurel

Conductividad térmica de Laurel: 0.10076 W/m-K

Planos de temperatura

- Madera Laurel Corte 1

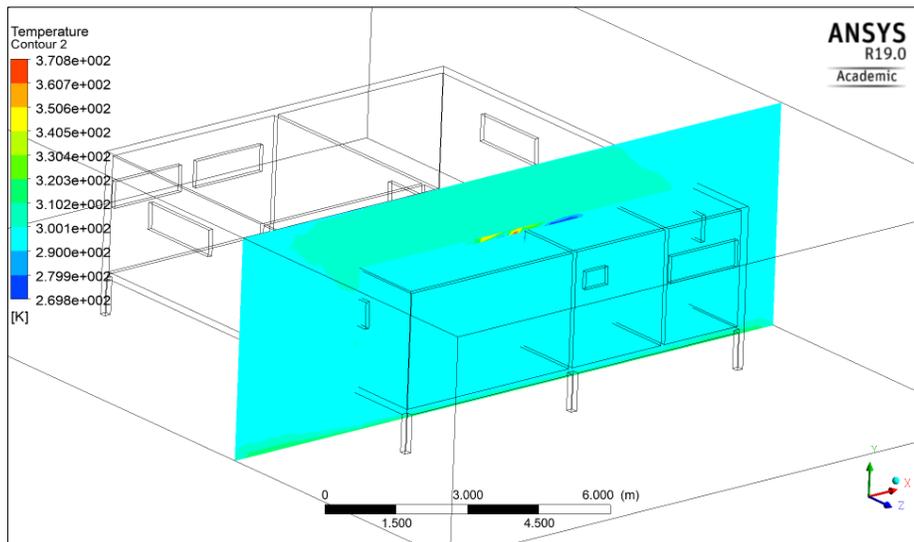


Figura 97. Plano madera laurel corte 1

En la figura 97 se evidencia que las temperaturas que predominan en el exterior del corte de la pared lateral, donde se distribuyen de una manera un poco uniforme y oscilan desde 298,1000 hasta 307,8500 K desde el piso hasta el techo.

- Madera Laurel Corte 2

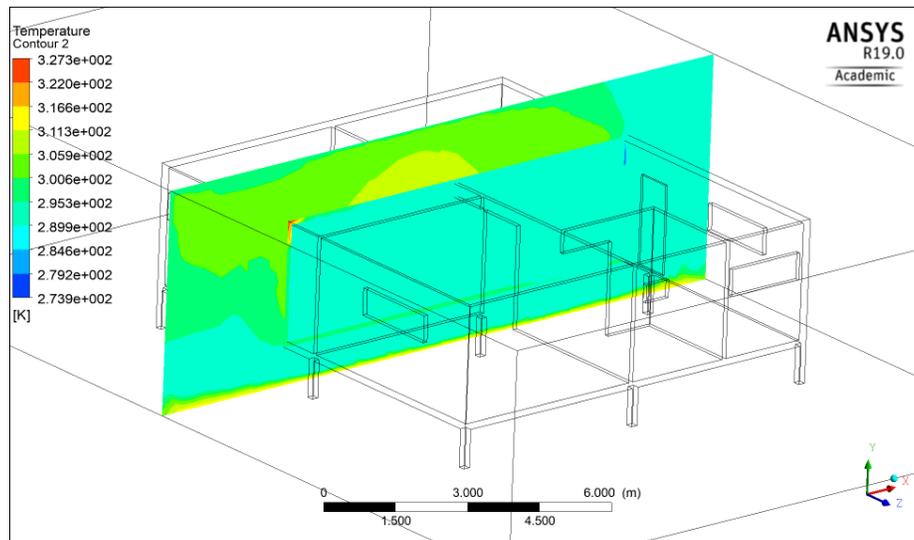


Figura 98. Plano madera laurel corte 2

En la figura 98 se evidencia que las temperaturas que predominan desde el piso hasta el techo en la zona interna, abarcando ambas paredes laterales mantienen poca variación y oscilan desde 289,9000 hasta 308,5050 K.

- Madera Laurel Corte 3

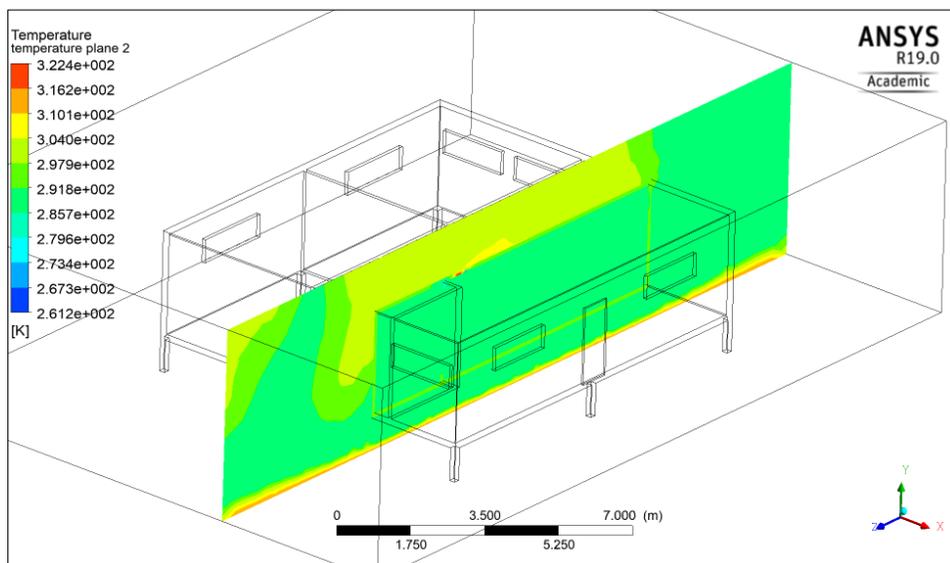


Figura 99. Plano madera laurel corte 3

En la figura 99 se evidencia que las temperaturas que predominan desde el piso hasta el techo en la zona frontal abarcando ambas paredes laterales, presentan poca variación y oscilan desde 294,4000 hasta 310,4500 K.

- Madera Laurel Corte 4

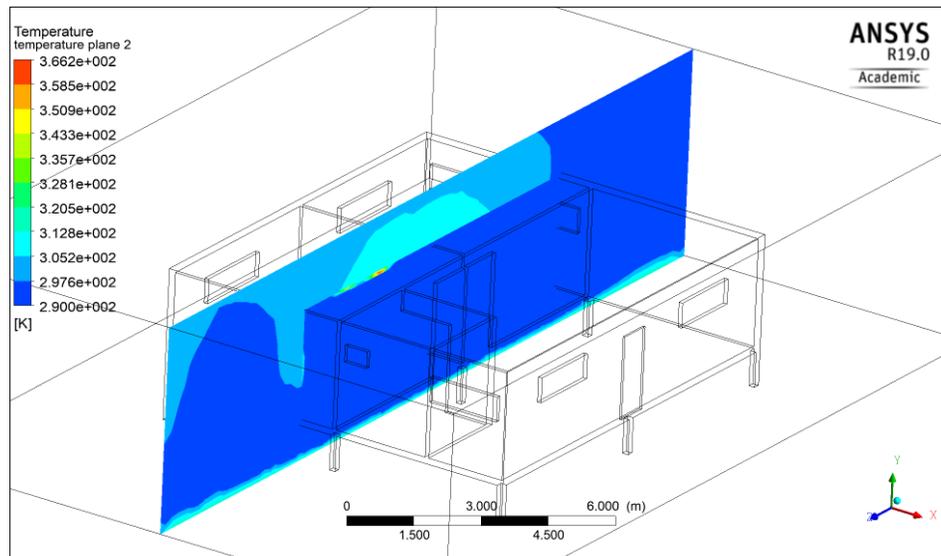


Figura 100. Plano madera laurel corte 4

En la figura 100 se evidencia que las temperaturas que predominan desde el piso hasta el techo en la zona medial abarcando ambas paredes laterales, se presentan con tendencia a ser bajas con poca variación y oscilan desde 292,6000 hasta 302,7420 K.

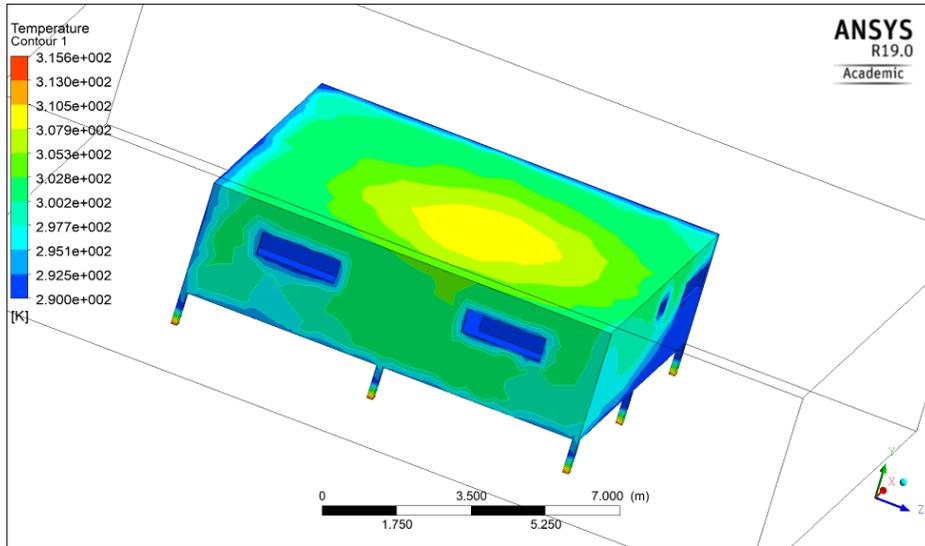


Figura 101. Plano completo madera Laurel

La figura 101 muestra el plano completo con la variación de la temperatura según el corte para una casa con madera de laurel.

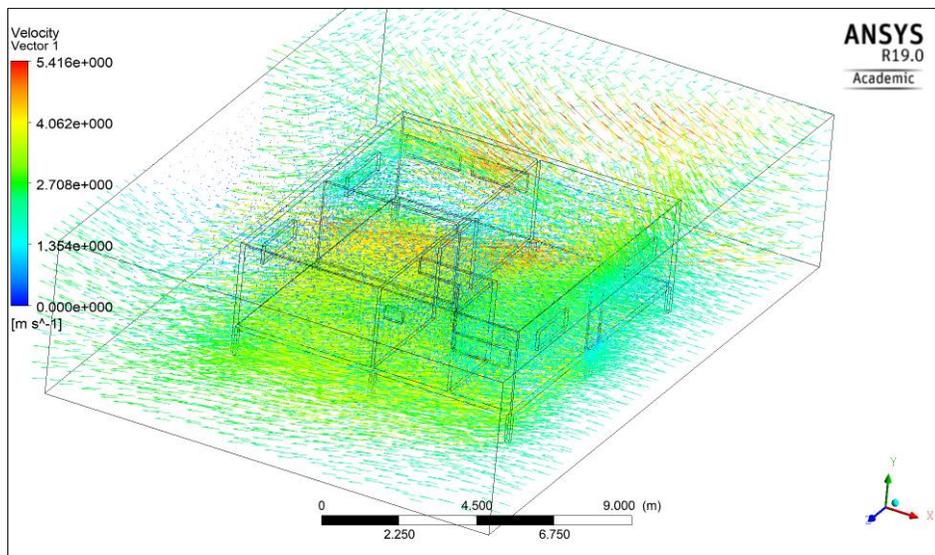


Figura 102. Campo de velocidades madera Laurel

La figura 102 muestra el campo de velocidades de la casa construida con madera de laurel.

- **Términos de la Madera Seique**

Tipo: CFD

Estado: Estado Estable

Fluidos: Aire

Solidos: Madera – Seique

Conductividad térmica de Seique: 0.11652 W/m-K

Planos de Temperatura

- Madera Seique Corte 1

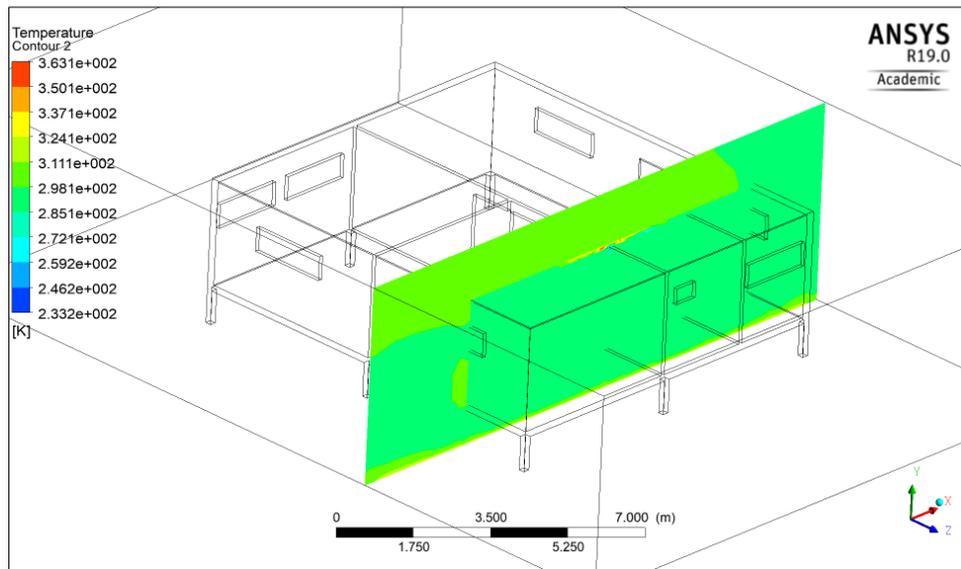


Figura 103. Plano madera seique corte 1

En la figura 103 se evidencia que las temperaturas que predominan en el exterior del corte se distribuyen de una manera un poco uniforme y oscilan desde 298,1000 hasta 307,8500 K desde el piso hasta el techo.

- Madera Seique Corte 2

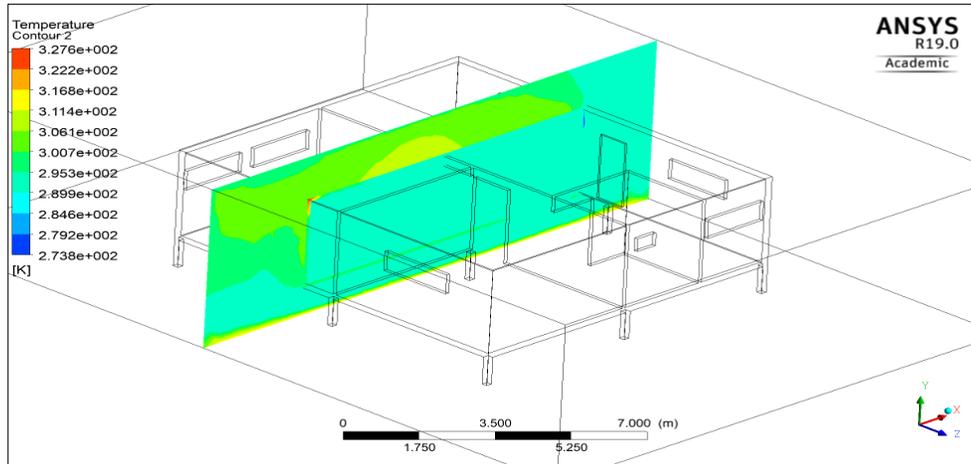


Figura 104. Plano madera seique corte 2

En la figura 104 se evidencia que las temperaturas que predominan en la pared interna son más variadas y oscilan desde 289,9000 hasta 305,2900 K desde el piso hasta el techo.

- Madera Seique Corte 3

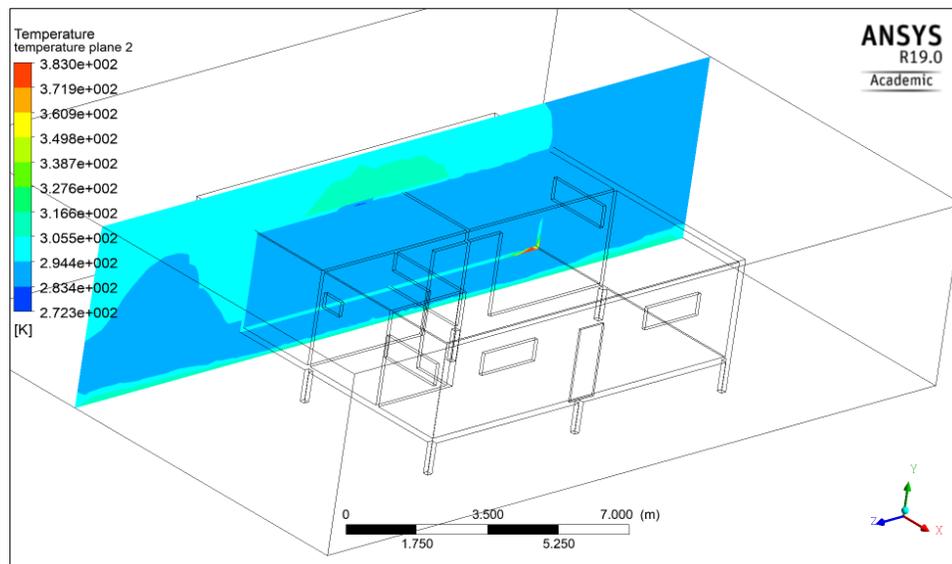


Figura 105. Plano madera seique corte 3

En la figura 105 se evidencia que las temperaturas que predominan desde el piso hasta el techo en la zona frontal, abarcando ambas paredes laterales oscilan desde 294,4000 hasta 310,4500 K.

- Madera Seique Corte 4

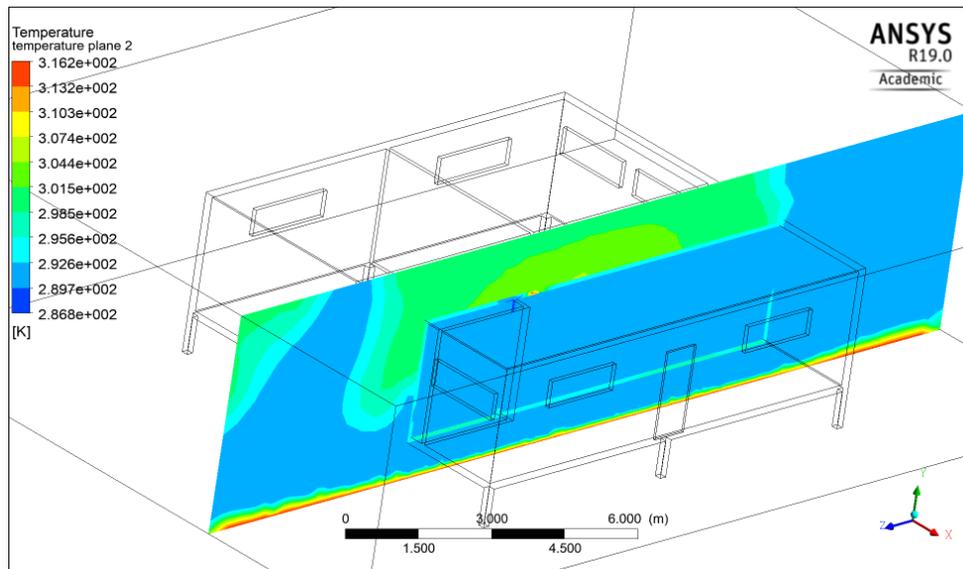


Figura 106. Plano madera seique corte 4

En la figura 106 se evidencia que las temperaturas que predominan desde el piso hasta el techo en la zona interna, abarcando ambas paredes laterales son más variadas y oscilan desde 292,6000 hasta 302,7420 K.

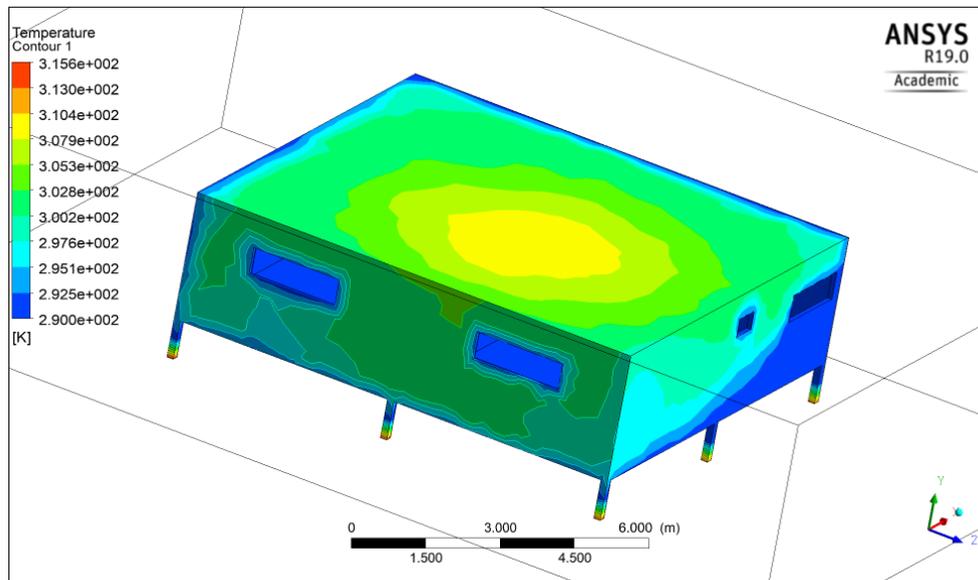


Figura 107. Plano completo madera seique

La figura 107 muestra el plano completo con la variación de la temperatura según el corte para una casa con madera seique.

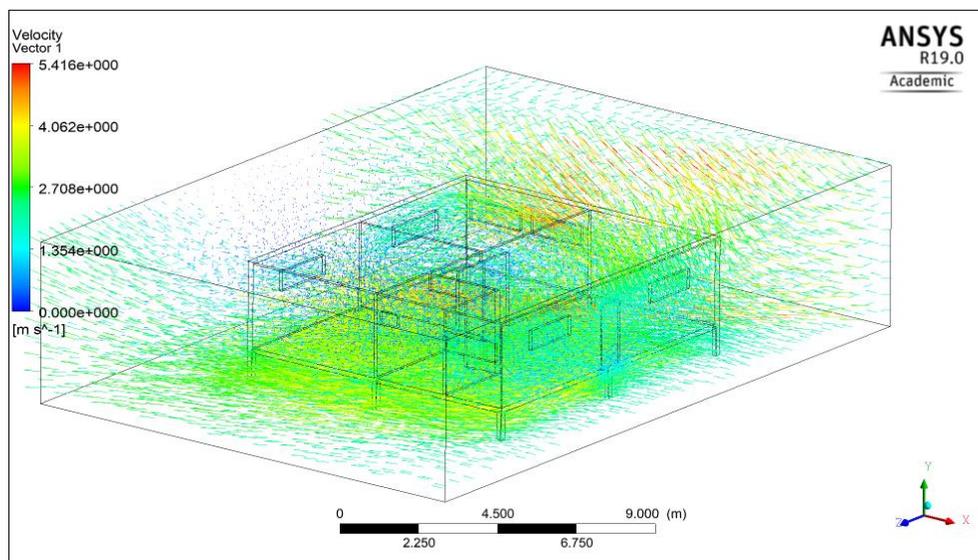


Figura 108. Campo de velocidades madera seique

La figura 108 muestra el campo de velocidades de la casa construida con madera de seique.

CAPÍTULO IV

Análisis y Discusión de Resultados

Caracterizar las propiedades de la madera, tanto mecánicas como térmicas, permitió establecer los elementos fundamentales del comportamiento de un material muy importante para la construcción, los ensayos realizados proporcionan un aporte invaluable para darle el uso correcto de las mismas, así como su mayor aprovechamiento dependiendo de las necesidades y exigencias de la construcción, tomando en cuenta igualmente las características ambientales, tal como lo señalan Zabala & Natalini (2000), quienes confirman la importancia de estos estudios para hacer uso óptimo de este recurso.

Para realizar este estudio se tomó en cuenta las condiciones de las probetas, medidas y humedad, así como las temperaturas, manteniendo condiciones similares para cada una de ellas, coincidiendo con las sugerencias de Zabala & Natalini (2000),

Compresión paralela a la fibra de la madera

Los resultados que se obtuvieron a través de los ensayos de Compresión Paralela a la Fibra, permiten afirmar que de las tres especies de madera analizadas, el Arenillo se encuentra dentro del rango mostrado en las (Normas Técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de madera, 2008), con una Resistencia a la Compresión Paralela promedio de 70.8 Mpa; el valor según la Organización Internacional de las Maderas Tropicales promedio es de 60,6 Mpa (OIMT, 2018)

Respecto al Seique, los resultados obtenidos de promedio 48.6 kg/cm^2 son similares a los que establecen en 51.31 kg/cm^2 en su investigación Espinoza & Salazar (2011)

El Laurel mostro el menor registro entre las tres maderas con un valor promedio de 41 Mpa.

Compresión perpendicular a la fibra de la madera

Los resultados obtenidos de la madera Arenillo presentaron un promedio de 63 Kg/cm^2 de la resistencia al límite proporcional, los cuales se asemejan a los indicados por el Ministerio del Ambiente

Los valores obtenidos para Seique y Laurel en promedio de 118.55 kg/cm^2 , 88.9 kg/cm^2 respectivamente están por encima de lo estipulado por el Ministerio del Ambiente, el cual señala un valor de 41 y 46 kg/cm^2 para cada una. La norma técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de madera, (2008) establecen valores desde 40 Kg/cm^2 .

Respecto al Seique, los valores obtenidos se encuentran por encima de lo indicado por otros investigadores que registran un valor de 19.77 kg/cm^2 (Espinoza & Salazar, 2011)

Flexión estática de la madera

Los resultados obtenidos sobre la flexión de las madera oscilan desde 66.14 kg/cm^2 para Arenillo, 46.66 kg/cm^2 para laurel y 62.14 kg/cm^2 para Seique, respecto al esfuerzo unitario al límite proporcional, estos valores se encuentran por debajo de lo estimado por las Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de madera, (2008) donde se establecen valores desde 80 Kg/cm^2 para el esfuerzo al límite proporcional. Sin embargo, los hallazgos de esta investigación respecto al Seique están por encima de los establecido por Espinosa y Salazar (2011) quienes señalan un valor de $55,33 \text{ kg/cm}^2$

Tracción paralela a la fibra de la madera

Los valores del esfuerzo máximo de las especies de madera analizadas, registraron valores de 109 Mpa para arenillo, 101,11 Mpa para laurel y 74 Mpa para Seique, las dos primeras están cercanas de lo señalado por el Ministerio del Ambiente y en el estudio de Espinosa y Salazar, 2011 se registra para Seique un valor de 140,8 kg/cm², en la investigación ésta madera registro el valor más bajo respecto a las otras dos.

Tracción perpendicular

En este estudio se obtuvieron valores de Esfuerzo al Límite Proporcional desde 6,68 k/cm² para Arenillo, 4,2 kg/cm² para Laurel y 2.13 kg/cm² para Seique, estos valores están cercanos a lo estipulado por el Ministerio del Ambiente (2014) y respecto a Seique, los valores que obtuvieron Espinosa y Salazar (2011) fueron más elevados, ubicado en 6,15 kg/cm².

El estudio de las propiedades mecánicas de la madera, permitió obtener una aproximación confiable de su comportamiento de una manera específica ante el tratamiento que recibirá durante su empleo en la construcción, donde tiene que resistir condiciones externas, tales como fuerzas y deformidades, coincide con lo señalado por Zabala & Natalini (2000).

Contenido de humedad de la madera

El Contenido de Humedad para las tres maderas del estudio se mantuvo en una Media de 12,9 % al 13,07%, por lo tanto, según las Normas Técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de madera, (2008) pueden ser consideradas maderas secas, y ninguna se acercó al límite máximo estipulado.

Cuando la madera es utilizada en construcción está expuesta condiciones atmosféricas, por lo tanto uno de los parámetros que se ha de tener presente es el contenido de humedad, el cual

es factible de alterarse y fluctuar ampliamente según los elementos atmosféricos, en este sentido, la investigación realizada por Zabala & Natalini (2000), afirma que la madera, siendo un elemento en vida latente en las primeras etapas de su uso estructural, el aspecto de la humedad de la madera se relaciona con su durabilidad, provocando modificaciones en color y deformidades, siendo más visible cuando es sometida a la flexión y torsión, menos evidente cuando es sometida a tracción y compresión.

Durante la realización de los ensayos se mantuvo presente que las características físicas y mecánicas de la madera se encuentran muy relacionados con el contenido de humedad, tal como afirman los estudios de Espinoza y Salazar (2011)

Conductividad térmica de la madera dura

Los resultados de la conductividad térmica para Arenillo fueron de 0,1899 W/m K, el Laurel 0,1007 W/m K y Seique 0,1165 W/m K, al relacionar estos valores con lo estipulado en la norma NBE-CT-79, donde señala el rango de valor de conductividad térmica para madera desde 0,08 a de 0,21 W/m K., es posible afirmar que las maderas de este estudio se encuentran dentro de los límites establecidos, registrando mayor conductividad el Arenillo (Ministerio de Obras Públicas de España, 1979).

Aplicación de los resultados

Adicionalmente a la caracterización física y mecánica de la madera, las características térmicas completan los elementos indispensables a tomar en cuenta para utilizar la madera en la construcción, demostrándose que la madera posee una ventaja respecto a otros materiales de construcción respecto al aislamiento térmico, el cual varía de una madera a otra, así lo demuestra la investigación de Jiménez (2012), evidenciando que las ventanas de madera presentaron 45,8%

mayor capacidad de aislamiento del calor respecto al aluminio; por lo tanto, es importante tener presente esta cualidad para manejar las temperaturas según el clima donde se realice la construcción.

Es importante tener una caracterización de los materiales utilizados en la construcción, específicamente la madera, con datos provenientes del país, ante la evidencia de la dificultad para obtenerlos durante la revisión bibliográfica, especialmente de datos obtenidos directamente con ensayos sistemáticos; basado en la recomendación que concluye el trabajo de investigación de Morillón (1990), donde observaron que las características de un mismo material, en cuanto a conductividad térmica proporcionado por el fabricante, puede variar hasta en el 34% de los casos según la fuente de donde procede, adicionalmente recomienda no fiarse de datos de fuentes extranjeras, por el contrario procurar garantizar la construcción con datos propios.

Conclusiones

La madera del árbol Arenillo registró los valores más cercanos a los promedios estipulados como normales, principalmente en la compresión paralela a la fibra, la tracción paralela y perpendicular y conductividad térmica, seguido del Seique, el cual obtuvo valores aceptables en este estudio en cuanto a tracción paralela y conductividad térmica.

La madera del árbol de Laurel solo presentó valores permisibles en la tracción paralela, al igual que todas las demás, obtuvo valores aceptables en el Contenido de Humedad.

Es importante resaltar que la madera de Seique tiene estudios previos en Ecuador, siendo catalogada como una madera estructural Tipo D.

Existe una propuesta para una nueva clasificación de las maderas estructurales donde el Arenillo podría ser clasificada como Tipo D.

No hay estudios de caracterización térmica y mecánica recientes en Ecuador sobre Arenillo y Laurel que permitan realizar una mejor comparación con los datos obtenidos en el presente estudio.

La caracterización térmica y mecánica de las maderas disponibles en el país permite la posibilidad de realizar una mejor selección dependiendo de las condiciones y parámetros de la construcción.

En este sentido, en relación a los datos utilizados para la simulación de la conductividad térmica, coinciden con los datos obtenidos en los ensayos de las tres maderas, siendo el Arenillo la madera con mayor conductividad térmica, seguido del Seique y el Laurel, la madera con menor conductividad.

En el análisis del comportamiento de las maderas en la simulación realizada con base a las condiciones del oriente del país, específicamente en cuanto a clima, velocidad del viento y temperatura, es posible establecer que respecto a la transferencia de calor, los valores más elevados en el caso del Arenillo fue por conducción, respecto al Seique y Laurel, se evidencian variaciones según el corte siendo, con valores elevados tanto en conducción como por convección. El flujo por radiación siempre fue el que presentó los valores más bajos en las tres maderas.

Al analizar los datos obtenidos sobre la Resistencia Térmica, la madera Arenillo presentó los valores más bajos, mientras que el Laurel los más elevados, el Seique presentó valores intermedios entre las dos anteriores, por lo tanto, con las maderas Laurel y Seique se obtuvieron los valores más bajos de Conductividad y más altos de Resistencia térmica, es decir pueden emplearse en zonas cálidas porque la temperatura alta del medio ambiente no será transmitida fácilmente hacia el interior de la casa, mientras que la madera Arenillo presentó la Conductividad Térmica más elevada y la Resistencia térmica más baja, se infiere que la temperatura elevada del medio ambiente podrá ser transferida con mayor facilidad al interior de la casa.

El uso de programa de simulación como el ANSYS R19.0 es una herramienta útil para establecer la ubicación más conveniente de cada tipo de madera según el flujo de calor que se requiere generar cuando son empleadas maderas estructurales en la construcción.

Recomendaciones

Estandarizar y actualizar normas nacionales que incluya datos de todas las maderas disponibles en el país.

Incluir estudios que evalúen la respuesta sísmica de los materiales de construcción en todos los ensayos.

Actualizar los instrumentos de medición de las universidades para que puedan estar al alcance de los estudiantes, mejorando la preparación y actualización de los datos.

Continuar y mantener estudios de esta índole con otras maderas nativas e introducidas en el país para disponer de datos propios y confiables.

Acompañar los ensayos de madera con simulación realizada a través de programas de internet, para obtener criterios más específicos cuando se requiera decidir el manejo del flujo de calor en cada estancia de la estructura y según la temperatura ambiental que se maneje, principalmente útiles en un país con temperaturas ambientales marcadamente diferentes de una zona a otra, de esta manera la decisión de usar una madera u otra tendrá un basamento más confiable y específico.

Referencias

- AIDIMA. (2013). *Medición de la conductividad térmica en elementos de construcción y carpintería*. Recuperado el 08 de 04 de 2018, de <http://blog.simbolocalidad.com/medicion-de-la-conductividad-termica-en-elementos-de-construccion-y-carpinteria>
- AITIM. (2016). *Propiedades mecánicas de la madera estructural*. Recuperado el 08 de 04 de 2018, de <http://infomadera.net/>:
http://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_40_mecanicaEstructural.pdf
- ASTM. (16 de junio de 2014). <https://doclegend.com>. Recuperado el 08 de 04 de 2018, de [https://doclegend.com: https://doclegend.com/download/astm-d1037-12-evaluating-properties-of-wood-base-fiber-and-particle-panel-materials_59dee6b2d64ab2e01dd834cf_pdf](https://doclegend.com/download/astm-d1037-12-evaluating-properties-of-wood-base-fiber-and-particle-panel-materials_59dee6b2d64ab2e01dd834cf_pdf)
- Calvo, C., Cotrina, A., Cuffre, A., & Ott, M. (Junio de 2007). *Propiedades de hinchamiento y contracción en la madera*. Recuperado el 08 de 04 de 2018, de <http://madeira.set.eesc.usp.br/article/download/195/pdf>
- Carpio, T. (enero de 2010). *La Madera como expresión viva del detalle estético*. Recuperado el 30 de Marzo de 2018, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3139/1/tdis34.pdf>
- Castrillón, B., & Malaver, D. (2004). *Procedimientos de ensayo para la determinación de las propiedades*. Recuperado el 08 de 04 de 2018, de http://www.usmp.edu.pe/centro_bambu_peru/pdf/Procedimientos_ensayos.pdf
- Clavón, J., & Rosero, F. (2013). *Análisis de las propiedades físico-mecánicas de las maderas nativas del Ecuador*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/6911/T-ESPE-047315.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Cruz, J. (2011). *Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera*. (CONAFOR, Ed.)
Obtenido de <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Consideraciones-tecnologicas-de-la-madera.pdf>
- C-Therm Technologies. (2018). *Resistencia Térmica y Conductancia Térmica*. Obtenido de https://ctherm.com/products/tci_thermal_conductivity/helpful_links_tools/thermal_resistance_thermal_conductance/lang/es/
- Ecuador Forestal . (2010). *Seique* . Obtenido de <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/08/SEIQUE.pdf>
- Enk, H., & Van-Houtte, P. (5 de julio de 2004). *Texture and Anisotropy*. Obtenido de <http://eps.berkeley.edu/~wenk/TexturePage/Publications/TexRevRPP.pdf>
- Espinoza, A., & Salazar, A. (2011). *Propiedades físico-mecánicas de uniones clavadas y empernadas, sometidas a compresión con maderas tipo A, tipo B y tipo C: guayacán, eucalipto y fernánsanchéz; para el diseño estructural de la cubierta del proyecto Casa Montufar 623 (FONSAL)*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3549/1/T-ESPE-031261.pdf>
- Gooding, N. (2008). *Transferencia de calor* (2da. ed.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- INAMHI. (2014). *Irradiación Solar Global* . Obtenido de <http://sni.gob.ec/coberturas>
- INER. (2014). *Eficiencia Energetica en Edificaciones*. Obtenido de http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/2014/12/EDIFICACIONES_DOSSIER.pdf
- ITTO. (2018). *PAU DE CUBIÚ (Dendrobangia boliviana)*. Obtenido de <http://www.tropicaltimber.info/es/specie/pau-de-cubiu-dendrobangia-boliviana/>
- Jiménez , I. (2012). *Estudio de la Transferencia de Calor en Ventanas Mexicanas en Condiciones de Clima Frío Mediante una Cámara de Ambiente Controlado*. Obtenido de <http://www.cenidet.edu.mx/subplan/biblio/seleccion/Tesis/MM%20Ingrid%20Paulina%20Jimenez%20Garcia%202012.pdf>
- La madera.net. (2018). *Conductividad térmica* . Obtenido de <https://lamadera.net/conductividad-termica-la-madera/>
- Lara, M., & Moya, C. (30 de abril de 2010). *Ciencia y tecnología de la madera*. Recuperado el 07 de 04 de 2018, de <http://cytdelamadera.blogspot.com/2010/03/cosas-de-arboles.html>

- López, D. (2012). *Laboratorio de Comprsión de Maderas (perpendicular y paralelo a las fibras)*. Recuperado el 08 de 04 de 2018, de http://www.academia.edu/16603200/Laboratorio_de_Compresion_de_Maderas_perpendicular_y_paralelo_a_la_fibra
- Merlo, E. (2014). *Métodos no destructivos para caracterizar la calidad de la madera, desde el árbol en pie, el rollo y la tabla*. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_charla_calidad_de_la_madera.pdf
- Ministerio de Obras Públicas de España. (1979). *NBE-CT-79*. Obtenido de https://w3.ual.es/Depar/proyectosingenieria/descargas/Normas_Edificacion/NBE-CT-79.pdf
- Ministerio del Ambiente . (2014). *Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales* . Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4407s.pdf>
- Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda. (15 de diciembre de 2014). *Estructuras de Madera, Norma Ecuatoriana de la Construcción. Actualización mediante Acuerdo Ministerial Nro. 0047*. (M. Dirección de Comunicación Social, Ed.) Obtenido de <https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec8.pdf>
- Morillón, D. (1990). *Diseño de dispositivo y método para medición de conductividad térmica de materiales de construcción* . Obtenido de http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/David%20Morrillon%20Galvez.pdf
- OIMT. (2018). *Arenillo*. Obtenido de <http://www.tropicaltimber.info/specie/pau-de-cubiu-dendrobangia-boliviana/>
- Parra, J. (2013). *Manual de construcción en madera para viviendas de bajo costo resistente a desastres en la Moskitia*. Obtenido de <http://dipecholac.net/docs/files/490-6.pdf>
- PROMADE. (julio de 2013). *¿Por qué construir con Madera?* Obtenido de <http://www.promadegt.com/por-que-construir-con-madera/>
- Químicas Thái. (marzo de 2010). *La Madera: estructura macroscópica*. Obtenido de <https://quimicasthai.wordpress.com/2010/03/09/la-madera-estructura-macroscopica/>
- Universidad de Valladolid. (2013). *7ª Materiales Para Estructuras: Madera*. Obtenido de https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/474/46049/1/Documento17.pdf
- Vinueza, M. (2012). *Ecuador Forestal. Ficha Técnica N° 4: Laurel* . Obtenido de <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-4-laurel/>

Zabala , M., & Natalini, M. (2000). *Comportamiento de maderas regionales, bajo el efecto de fluencia lenta o “Creep”*. Obtenido de http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2000/7_tecnologicas/t_pdf/t_004.pdf