

Caracterización Térmica y Mecánica de Materiales de Construcción más usados en Ecuador.

Materiales para piso y Pared.

Mario F. Bustamante Crespo

Universidad Internacional SEK

Nota de Autor

Mario Bustamante Crespo, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Internacional SEK; Director Javier Martínez.

Cualquier correspondencia respecto al presente trabajo puede dirigirse a:
mfercho69210@gmail.com.

Declaración juramentada

Yo, MARIO FERNANDO BUSTAMANTE CRESPO, con cédula de identidad 171856856-9, 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.

MARIO FERNANDO BUSTAMANTE CRESPO

C.I.: 171856856-9

Dedicatoria

A mi familia que con su amor incondicional han estado presentes en el desarrollo de mi vida.

Sobre todo a mi madre Zenaida y a mi padre Jorge que siempre me dieron fuerzas para seguir adelante y me apoyaron en todo momento para culminar con mi profesión.

MARIO FERNANDO BUSTAMANTE CRESPO

Agradecimientos

A dios por guiar mis pasos y bendecir cada una de las decisiones que me ayudaron a llegar a este momento tan importante de mi vida profesional.

A los docentes de la facultad de ingeniería mecánica, especialmente al director del proyecto Dr. Javier Martínez, que brindaron sus conocimientos para impulsar el avance de esta investigación.

MARIO FERNANDO BUSTAMANTE CRESPO

Índice de Contenidos

Declaración juramentada.....	2
Dedicatoria	3
Agradecimientos.....	4
Resumen	14
Abstract	15
Introducción	16
Método	23
Adobe.....	27
Bloque de concreto	28
Madera	29
Propiedades térmicas y mecánicas.	29
Ensayos mecánicos, muestreo y propiedades.	29
Muestreo del adobe.....	30
Compresión del adobe	31
Flexión del adobe.....	33
Contenido de humedad del adobe.....	34
Muestreo del bloque de concreto.....	37
Compresión del bloque de concreto	37
Contenido de humedad del bloque de concreto.....	41

Muestreo de la madera.....	43
Compresión paralela de la madera.....	44
Compresión perpendicular de la madera	47
Flexión de la madera.....	49
Tracción de la madera.....	53
Contenido de humedad de la madera.....	56
Ensayos térmicos, muestreo y propiedades.	59
Conductividad térmica.....	59
Resultados	64
Compresión del adobe	64
Flexión del adobe.....	65
Contenido de Humedad del adobe.....	67
Compresión del bloque de concreto	68
Contenido de humedad del bloque de concreto.....	73
Compresión paralela a la fibra de la madera	76
Compresión perpendicular a la fibra de la madera	81
Flexión estática de la madera.....	85
Tracción paralela a la fibra de la madera.....	90
Contenido de humedad de la madera.....	94
Conductividad térmica del Adobe.	101

Conductividad térmica del Bloque de Concreto.....	102
Conductividad térmica de la Madera dura.....	104
Discusión.....	106
Compresión del adobe	106
Flexión del adobe.....	106
Contenido de Humedad del adobe.....	106
Compresión del bloque de concreto	107
Contenido de humedad del bloque de concreto.....	107
Compresión paralela a la fibra de la madera	107
Compresión perpendicular a la fibra de la madera	108
Flexión estática de la madera.....	108
Tracción paralela a la fibra de la madera.....	109
Contenido de humedad de la madera.....	110
Conductividad térmica del adobe	110
Conductividad térmica de bloques de hormigón.....	111
Conductividad térmica de la madera dura	111
Conclusiones	113
Recomendaciones.....	115
Referencias	116
Anexo A	121

Anexo B.....122

Índice de Tablas y Figuras

Tablas

Tabla 1. Materiales obtenidos.....26

Tabla 2. Dimensiones de los bloques de concreto.....28

Tabla 3. Criterio de aceptación y rechazo de los lotes de inspección.....30

Tabla 4. Dimensiones obtenidas de las probetas de adobe para compresión.....32

Tabla 5. Dimensiones obtenidas de las probetas de adobe para flexión.....34

Tabla 6. Datos obtenidos de las probetas de adobe para el contenido de humedad.....36

Tabla 7. Dimensiones obtenidas de las probetas de bloques de concreto para compresión en los diferentes sectores.....39

Tabla 8. Datos obtenidos de las probetas de bloques de concreto para el contenido de humedad.....42

Tabla 9. Dimensiones obtenidas de las probetas de madera de diferente tipo en los diferentes sectores, para compresión paralela.....46

Tabla 10. Dimensiones obtenidas de las probetas de madera de diferente tipo en los diferentes sectores, para compresión perpendicular.....48

Tabla 11. Dimensiones obtenidas de las probetas de madera de diferente tipo en los diferentes sectores, para flexión.....52

Tabla 12. Dimensiones obtenidas de las probetas de madera de diferente tipo en los diferentes sectores, para tracción.....55

Tabla 13. Dimensiones obtenidas de las probetas de madera de eucalipto, para los ensayos realizados.....	57
Tabla 14. Dimensiones obtenidas de las probetas de la madera de manzano colorado, para los ensayos realizados.....	58
Tabla 15. Dimensiones obtenidas de las probetas de la madera de guayacán negro, para los ensayos realizados.....	58
Tabla 16. Medidas de los especímenes de bloques de concreto de los diferentes sectores.....	61
Tabla 17. Medidas de los especímenes de madera de los diferentes sectores.....	62
Tabla 18. Medidas de los especímenes del adobe procedente de Amagüaña.....	62
Tabla 19. Resultados del ensayo de compresión para el adobe.....	64
Tabla 20. Resultados del ensayo de flexión para el adobe.....	66
Tabla 21. Resultados del ensayo de contenido de humedad para el adobe.....	67
Tabla 22. Resultados del ensayo de compresión para el bloque de concreto de Amagüaña.....	69
Tabla 23. Resultados del ensayo de compresión para el bloque de concreto de El Tingo.....	70
Tabla 24. Resultados del ensayo de compresión para el bloque de concreto de Sangolqui.....	72
Tabla 25. Resultados del ensayo de contenido de humedad para el bloque de concreto (Amagüaña)	74
Tabla 26. Resultados del ensayo de contenido de humedad para el bloque de concreto (El Tingo)	74
Tabla 27. Resultados del ensayo de contenido de humedad para el bloque de concreto (Sangolqui)	75
Tabla 28. Resultados del ensayo de compresión paralela del Guayacán.....	76
Tabla 29. Resultados del ensayo de compresión paralela del Eucalipto.....	78

Tabla 30. Resultados del ensayo de compresión paralela del Colorado.....	79
Tabla 31. Resultados del ensayo de compresión perpendicular del Guayacán.....	81
Tabla 32. Resultados del ensayo de compresión perpendicular del Eucalipto.....	82
Tabla 33. Resultados del ensayo de compresión perpendicular del Colorado.....	84
Tabla 34. Resultados del ensayo de flexión del Guayacán.....	86
Tabla 35. Resultados del ensayo de flexión del Eucalipto.....	87
Tabla 36. Resultados del ensayo de flexión del Colorado.....	88
Tabla 37. Resultados del ensayo de tracción del Guayacán.....	90
Tabla 38. Resultados del ensayo de tracción del Eucalipto.....	92
Tabla 39. Resultados del ensayo de tracción del Colorado.....	93
Tabla 40. Resultados del peso de la madera anhidra del Eucalipto.....	94
Tabla 41. Resultados del ensayo de contenido de humedad del Eucalipto.....	95
Tabla 42. Resultados del peso de la madera anhidra del Colorado.....	96
Tabla 43. Resultados del ensayo de contenido de humedad del Colorado.....	97
Tabla 44. Resultados del peso de la madera anhidra de Guayacán.....	98
Tabla 45. Resultados del ensayo de contenido de humedad del Guayacán.....	99
Tabla 46. Resultados del ensayo de conductividad térmica para el adobe.....	101
Tabla 47. Resultados del ensayo de conductividad térmica para los bloques de concreto de los diferentes zonas de Pichincha.....	102
Tabla 48. Resultados del ensayo de conductividad térmica para diferentes especies de madera, provenientes de diferentes zonas de Pichincha.....	104
Figuras	
Figura 1. Máquina de ensayos universal de la UISEK.....	24
Figura 2. Edificación fabricada con adobe.....	27

Figura 3. Lote de adobes del sector Amagüaña.....	30
Figura 4. Compresión del adobe hasta la falla.....	31
Figura 5. Flexión para ladrillo de adobe.....	33
Figura 6. Secado del adobe.	35
Figura 7. Saturado del adobe.....	35
Figura 8. Lote de bloques de concreto de 15 cm.....	37
Figura 9. Compresión del bloque de concreto.....	38
Figura 10. Probeta seca de hormigón.....	41
Figura 11. Aserradero de madera sector El Tingo.	44
Figura 12. Tipos de falla de compresión paralela.	44
Figura 13. Compresión paralela a la fibra de la madera.....	45
Figura 14. Compresión perpendicular a la fibra de la madera.....	47
Figura 15. Tipos de falla para el ensayo de flexión estática.....	50
Figura 16. Flexión estática de la madera..	50
Figura 17. Tracción paralela en la madera.	53
Figura 18. Dimensiones de los especímenes para tracción.....	54
Figura 19. Especímenes preparados de los ensayos de madera.....	57
Figura 20. Máquina de ensayos térmicos de la ESPOL.	59
Figura 21. Grafica Carga vs Desplazamiento del ensayo de compresión para el adobe.....	64
Figura 22. Grafica Carga vs Modulo de rotura resultante del ensayo de flexión para el adobe....	65
Figura 23. Grafica del contenido de humedad para el adobe.....	67
Figura 24. Grafica Carga vs Resistencia resultante del ensayo de compresión del bloque de concreto del sector de Amagüaña.....	68

Figura 25. Grafica Carga vs Resistencia resultante del ensayo de compresión del bloque de concreto del sector El Tingo.....70

Figura 26. Grafica Carga vs Resistencia resultante del ensayo de compresión del bloque de concreto del sector Sangolqui.....71

Figura 27. Grafica comparativa de resistencia a compresión en bloques de concreto de diferentes sectores.....73

Figura 28. Graficas del contenido de humedad en bloques de concreto de diferentes sectores.....73

Figura 29. Grafica Carga vs Modulo de elasticidad del ensayo de compresión paralela para Guayacán.76

Figura 30. Grafica Carga vs Modulo de elasticidad del ensayo de compresión paralela para Eucalipto.....77

Figura 31. Grafica Carga vs Modulo de elasticidad del ensayo de compresión paralela para la madera de manzano colorado.79

Figura 32. Grafica comparativa de resistencia a compresión paralela en madera de diferentes especies.....80

Figura 33. Grafica Carga vs Resistencia del ensayo de compresión perpendicular para el Guayacán.....81

Figura 34. Grafica Carga vs Resistencia del ensayo de compresión perpendicular para el Eucalipto.....82

Figura 35. Grafica Carga vs Desplazamiento resultante del ensayo de compresión perpendicular para el manzano Colorado.....83

Figura 36. Grafica comparativa de resistencia a compresión perpendicular en madera de diferentes especies.....85

Figura 37. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de flexión para Guayacán.....85

Figura 38. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de flexión para Eucalipto.....87

Figura 39. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de flexión para Colorado.....88

Figura 40. Grafica comparativa de resistencia a flexión en madera de diferentes especies.....89

Figura 41. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción para Guayacán.....90

Figura 42. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción para Eucalipto.....91

Figura 43. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción para Colorado.....93

Figura 44. Grafica comparativa de resistencia a Tracción paralela en madera de diferentes especies.....94

Figura 45. Grafica comparativa del contenido de humedad en los ensayos de madera Eucalipto.....96

Figura 46. Grafica comparativa del contenido de humedad en los ensayos de madera Manzano Colorado.....98

Figura 47. Grafica comparativa del contenido de humedad en los ensayos de madera Guayacán.....100

Figura 48. Grafica comparativa de la conductividad térmica en Adobe.....101

Figura 49. Gráfica comparativa de la conductividad térmica en bloques de concreto de varios sectores.....102

Figura 50. Gráfica comparativa de la conductividad térmica en madera dura de varias especies.....104

Resumen

En el presente proyecto se evaluaron las propiedades mecánicas y térmicas de materiales de construcción para piso y pared, de la región sierra del Ecuador. Se determinaron magnitudes como resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistencia a la tracción, contenido de humedad y conductividad térmica en adobe, bloques de concreto y madera dura como el eucalipto, el manzano colorado y el madero de guayacán.

El diseño para construcciones de viviendas en Ecuador, en su mayoría se priorizan las resistencias mecánicas. Sin embargo se pasa por alto las consideraciones térmicas. Esto provoca un incremento en el consumo de energía, por lo cual se generan pérdidas monetarias y se produce un efecto negativo en el medioambiente. Una solución ante estos acontecimientos es promover la construcción de viviendas autosustentables, y para esto es necesario utilizar materiales que sean energéticamente eficientes que puedan ofrecer un ambiente de confort.

Se busca cuantificar las características térmicas y mecánicas de materiales de construcción en la provincia de Pichincha, a través de métodos experimentales y estadísticos. Para ello se presenta una investigación a fondo en artículos científicos, normas de ámbito nacional e internacional y trabajos de investigación, los mismos que tienen similitud con el tema analizado.

Palabras Clave

Adobe

Bloque de concreto

Madera Dura

Compresión

Flexión

Tracción

Conductividad térmica

Abstract

In the present project, the mechanical and thermal properties of construction materials for the floor and wall of the mountain region of Ecuador were evaluated. Magnitudes were determined such as compressive strength, flexural strength, tensile strength, moisture content and thermal conductivity in adobe, concrete blocks and hard wood such as eucalyptus, red apple and guayacan wood.

The design for housing construction in Ecuador, mostly prioritizes mechanical resistance. However, thermal considerations are overlooked. This causes an increase in energy consumption, which leads to monetary losses and a negative effect on the environment. A solution to these events is to promote the construction of self-sustaining housing, and for this it is necessary to use materials that are energy efficient that can offer a comfortable environment.

The aim is to quantify the thermal and mechanical characteristics of building materials in the province of Pichincha, through experimental and statistical methods. To this end, an in-depth investigation is presented in scientific articles, national and international standards and research works, which are similar to the subject analyzed.

Keywords

Adobe

Concrete block

Hard wood

Compression

Flexion

Traction

Thermal conductivity

Introducción

Desde la antigüedad la eficiencia energética y el diseño para construcciones de viviendas han trabajado juntas. Siendo una parte fundamental que contribuye de manera importante en la reducción de sistemas de calefacción o refrigeración, Manteca (2012).

Consiste en mantener la temperatura adecuada en el interior de los hogares para mejorar las condiciones de habitabilidad. Basándose en la eficiencia energética de los materiales que conformaran las viviendas.

En Ecuador el consumo energético ha aumentado significativamente en las últimas décadas; por esta razón y debido al uso ineficiente de energía, la calidad de vida de las personas no ha mejorado mucho.

Astudillo (2009) asegura que las variaciones térmicas en el día y en la noche, producen pérdidas y ganancias de calor. Debido a un diseño inadecuado al no seleccionar de manera eficiente los materiales y su comportamiento frente al clima local.

El diseño de edificaciones con distintos materiales y con distintas formas arquitectónicas es necesario para disminuir gran parte de las pérdidas energéticas. Dado que la transferencia de energía entre el entorno y la edificación genera una demanda energética, Manteca (2012).

Dentro del ámbito de sustentabilidad, la constitución declara que basado en el “buen vivir” se establece el derecho a un “hábitat seguro y saludable, respecto a la preservación del ambiente y garantiza un modelo sustentable de desarrollo.” Asamblea Nacional del Ecuador (2008). Además, en la actualidad el país se enfrenta a una transición del cambio en su matriz energética.

Existen varios materiales que se usan para la construcción de edificaciones en las diferentes zonas del Ecuador, Yépez (2012). Sin embargo, algunas características pueden mejorar la calidad de vida de las personas, ya sea para el confort de vida, reducir costos de construcción,

ayudar al medio ambiente, entre otros beneficios, Jiménez (2008). Los mismos que pueden analizarse de forma estadística para aprovechar eficientemente las cualidades de dichos materiales; que dependerán de la ubicación donde se construya una vivienda.

En cuanto al impacto ambiental de los materiales y componentes de edificaciones, existen factores como la orientación, ventilación, emplazamiento, origen de los materiales de construcción, instalaciones eléctricas, Daza (2010); Estos ayudan en la disminución de contaminantes en el ambiente interior de los inmuebles. Dicho impacto se puede analizar desde diferentes etapas como por ejemplo, durante la construcción, durante la utilización y al terminar la obra (etapa de abandono). En estas etapas se puede distinguir varios efectos ambientales como la generación acústica, consumo energético, emisiones de CO₂ y residuos en general, Daza (2010).

También se debe tomar en cuenta los efectos nocivos que generan algunos materiales como el hormigón, que puede contener residuos de radón en distintos tipos de suelo. El cual es un material radioactivo, Hess (2005).

Mientras que el aislamiento de poliuretano para madera, puede generar humo altamente toxico al momento de inflamarse.

Lamentablemente, la eficiencia energética en edificaciones es un tema muy poco tratado en el país. Por esta razón es de suma importancia si se desea reducir los costes energéticos y daños medioambientales, Hess (2005). Y para ello hay que tomar en cuenta el ecosistema en donde se procederá a construir las edificaciones.

Sin duda, existe gran falta de contenido informativo como artículos o trabajos de investigación sobre la caracterización de materiales de construcción en el país. No existe actualmente una normativa ecuatoriana que especifique los métodos de ensayos a seguir para la determinación de las propiedades térmicas y mecánicas, de los materiales fabricados en la

provincia de Pichincha, por lo que se busca aportar con datos al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), mediante la caracterización con metodologías basadas en proyectos de investigación, libros, artículos, normas INEN, ASTM y procedimientos experimentales. Estos servirán como base para futuros ensayos y prácticas de diseño, para la construcción de edificaciones a nivel nacional.

Para analizar el intercambio térmico de los materiales de construcción, existen diferentes métodos como el del balance de calor propuesto en la normativa de aire acondicionado, refrigeración y calefacción. Por ejemplo ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers) que trata de una organización americana que analiza el ahorro energético a través de un método de cálculo para cargas térmicas.

Este estudio será ejecutado a partir de materiales de construcción obtenidos de diferentes lugares de la provincia de Pichincha del Ecuador, como empresas o viviendas que producen artesanalmente adobe, bloques de concreto y madera dura. Se proveerá de las probetas respectivas de los lugares mencionados, para los ensayos de resistencia a la compresión perpendicular a la fibra de la madera, resistencia a la compresión paralela a la fibra de la madera, resistencia a la flexión de la madera, resistencia a la tracción de la madera, contenido de humedad de la madera, conductividad térmica de la madera, resistencia a la compresión del concreto, contenido de humedad del concreto, conductividad térmica del concreto, resistencia a la compresión del adobe, resistencia a la flexión del adobe, contenido de humedad del adobe, conductividad térmica del adobe, que se efectuaran para obtener las características que permitirán realizar un análisis estadístico y obtener información que servirá para mejorar las futuras edificaciones, brindando comodidad en un ambiente energéticamente eficiente con el ecosistema.

Las propiedades mecánicas de los materiales son importantes de analizar, ya que miden la resistencia a fuerzas o cargas. La respuesta del material ante la deformación tiene relación con la

fuerza aplicada, y en caso de ser una resultante excesiva, se producirá la rotura. La resistencia a compresión es la característica principal en materiales de construcción para pared, ya que deben soportar esfuerzos de compresión constantes. Por otro lado la flexión genera momentos internos cuando se somete a un esfuerzo de flexión, donde se producen tensiones transversales a lo largo del espécimen ensayado, como consecuencia del pandeo. La tracción es el esfuerzo interno que se genera al aplicar dos fuerzas, que actúan en sentidos opuestos hasta la ruptura del material. (Vélez L., 2013). Sobre la resistencia a la compresión, flexión y tracción se puede encontrar el concepto y aplicaciones de estas propiedades con materiales como el concreto y la madera en el libro “Resistencia de materiales” de Pérez (1992).

Las propiedades térmicas de los materiales son importantes de analizar, ya que determinan el comportamiento frente a un aumento de temperatura. La conductividad térmica es una propiedad fundamental de medir, ya que proporciona información sobre la capacidad que tiene el material para conducir calor. Se definen propiedades como la conductividad térmica y el calor específico de diversos materiales en el libro “Principio de transferencia de calor” de Incropera (2006). También se pueden definir conceptos de propiedades como la conductividad térmica y calor específico del libro “Termodinámica” de Cengel (2003).

Actualmente son muy pocos los lugares donde se producen bloques de adobe, y solamente se consiguen por lotes desde 200 unidades. Por esta razón solo se logró conseguir el material suficiente para hacer los ensayos respectivos y así poder hacer una comparación con otras investigaciones como el proyecto de titulación de los autores Guerra S. y Jaramillo V. (2015).

Dentro de los proyectos de titulación a nivel nacional, destaca el proyecto del autor Carrera Hidalgo (2015), “Análisis y desarrollo para la fabricación de bloques de hormigón como aislantes térmicos basados en la biomasa de la cascarilla de cacao apto para construcción en edificaciones”, donde se investiga una mejora energética en edificaciones a través de ensayos a

probetas de hormigón que contienen cascarilla de cacao como fibras de acuerdo a la Norma Ecuatoriana INEN 638-643, conjuntamente con otras normas como ASTM C177 (2013) para hallar la conductividad del bloque o la Norma Básica Española de Edificación (NBE) CT-79 para el coeficiente de transferencia térmica.

También cabe mencionar el proyecto de los autores Siavichay y Narváez (2010) con el tema “Propuesta de mejoramiento de las características técnicas del Adobe para la aplicación en viviendas unifamiliares emplazadas en el área periurbana de la ciudad de Cuenca” donde se propone un mejoramiento para el adobe ante las condiciones ambientales y cargas a las que está sometido, con diferentes técnicas químicas y mecánicas. También se basan en la Norma Técnica de Edificación (NTE) E0.080 de Perú, ya que en Ecuador no existe una norma respecto a la construcción de edificaciones para realizar ensayos requeridos para la obtención de las propiedades.

Otro proyecto de titulación de interés es el de los autores Guerra S. y Jaramillo V. (2015), con el tema “Caracterización física, mecánica y térmica de materiales vernáculos de la región sierra del Ecuador” donde se caracterizan los materiales elaborados artesanalmente que se emplean en viviendas de las provincias de Cotopaxi, Imbabura y Pichincha tales como la teja y el adobe. Los ensayos realizados siguen procedimientos bajo las normas tomadas de referencia como la ASTM D7263, ASTM D4611, ASTM C518, INEN 988 y la norma para adobe NTE E.080.

Pérez Marín (2005), “Aplicación de nuevos materiales a soluciones de vivienda en Colombia”, determina la propiedades mecánicas a través de ensayos para resistencia tanto a la compresión como a la flexión, descritos en la norma de la Asociación Americana de Ensayos y Materiales (ASTM) D790; cuya finalidad es aportar con nuevos materiales de construcción para viviendas.

Se puede mencionar al artículo internacional “Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones” elaborado por Lira C., Gonzales R. y Méndez E. (2008), donde se realizan ensayos de conductividad térmica a bloques de concreto, utilizando el Aparato de placa caliente con guarda (APCG) con flujo de calor permanente.

Respecto a las normas de contexto internacional que se relacionan con las propiedades de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión. La norma europea UNE-EN 772-1 (2011), muestra los pasos necesarios para determinar la resistencia a la compresión de bloques de tierra comprimidos. También está la norma peruana NTE E.080 (1999) donde se obtiene el procedimiento que determina la resistencia a la compresión del adobe. Cabe señalar que ésta última normativa peruana tiene acceso libre con respecto a las normas UNE e ISO, las cuales están de venta y tienen un costo mayor a 50 dólares.

Con respecto a las normas que están relacionadas con las propiedades térmicas, la norma chilena NCh 853.91 para acondicionamiento térmico, muestra los procesos que determinan la transmitancia y resistencia de materiales de construcción. La normativa ASTM-C-518 de contexto internacional se utiliza para la obtención de propiedades de flujo de calor en estado estable y transmisión térmica. Además la norma UNE-EN-12667 muestra un proceso para determinar la resistencia térmica con la metodología de placa caliente guardada y otra para medir el flujo de calor de materiales de construcción con resistencia térmica media y alta.

De ámbito nacional encontramos la norma INEN 2506:2009 donde se dan a conocer datos de conductividad térmica y calor específico de varios materiales de construcción como el hormigón y madera dura.

Las normas ecuatorianas INEN señaladas anteriormente son de acceso libre a través del sitio web.

El objetivo del presente proyecto es caracterizar de manera térmica y mecánica, los materiales de construcción como el adobe y bloque de concreto para paredes; y madera dura para pisos, utilizando ensayos mecánicos destructivos y ensayos térmicos no destructivos para establecer datos referentes al sector constructivo del Ecuador.

Las propiedades que se evaluarán serán de diferentes materiales, clasificándolos en materiales de pared como: bloque de concreto, adobe; y materiales de piso como: madera dura (Guayacán negro o madero, eucalipto, manzano colorado). Con la finalidad de mejorar el confort térmico de las personas en torno a los materiales usados en la construcción de inmuebles. Por otra parte aumentar la eficiencia energética reduciendo parte de la contaminación que producen los factores asociados al área de construcción y al lugar de donde se extraen dichos materiales utilizados en cada región. Estableciendo una metodología que permita la caracterización de dichas propiedades para los materiales ya mencionados.

Método

Se realizaron diferentes ensayos destructivos y no destructivos con probetas de abobe, bloque de concreto y algunos tipos de madera dura. La obtención del material para los ensayos, fue de diferentes productoras en localidades como Amagüaña, El tingo y Sangolquí. Puesto que las productoras de bloques y ladrillos cerámico se localizan en lugares alejados de la ciudad. De igual forma los aserraderos para madera se ubican en sectores donde el clima ayude a secar la madera cortada por tablones, como los mencionados anteriormente.

En primer lugar, se investigó la información referente al tema para definir las propiedades térmicas y mecánicas; en segundo lugar se seleccionaron los procedimientos a seguir para los ensayos destructivos y no destructivos.

Para los ensayos mecánicos destructivos se utilizó la maquina electro-hidráulica universal del laboratorio de la Universidad Internacional SEK (UISEK), que se muestra en la figura 1. Esta máquina adopta un cilindro de aceite destinado al control del ajuste descendente que se utiliza principalmente para el metal, la tensión no metálica, la compresión, la flexión y tracción. Puede generar una fuerza máxima de 600 KN en los ensayos, para cumplir con los requisitos de normas ASTM, ISO y otros estándares internacionales. La máquina es adecuada para la metalurgia, construcción, industria ligera, aviación, el espacio, materiales, instituciones terciarias, unidades de investigación científica, etc.

Los resultados que se obtuvieron de las gráficas de los ensayos, para los materiales seleccionados, se muestran como una curva de Carga vs Desplazamiento (Fuerza vs Deformación o Esfuerzo vs Deformación).



Figura 1. Máquina de ensayos universal de la UISEK.

Los materiales de construcción se fabrican a partir de recursos naturales que se encuentran en el medio ambiente y son fáciles de adquirir, los cuales se utilizan para la elaboración de viviendas a nivel social. Entre ellos: madera, adobe, teja, caña guadua, bloque de concreto, tapial, adoquín, etc. Las ventajas que presentan estos materiales son: el bajo costo de producción, buen aislamiento térmico y versatilidad de dimensionamiento según la construcción. (Moreno, C. & Cañizares, O., 2011). A continuación se van a explicar.

Se prepararon 6 probetas para cada ensayo, de las cuales 1 se utiliza para medir la carga máxima que se usa de referencia para los ensayos de compresión del adobe y bloque de concreto. Las otras 5 serán las analizadas bajo una norma seleccionada, que será de base para el muestreo con las dimensiones adecuadas para cada prueba.

En el caso del adobe para las pruebas mecánicas se ensayaron 5 probetas a compresión, 5 a flexión y 5 para el contenido de humedad. Además, se ensayaron 4 probetas para las pruebas

térmicas. El material se lo obtuvo de una distribuidora y productora ubicada en la vía Amagüaña en el barrio “La victoria”.

Los ensayos para el adobe se hicieron en base a la norma Técnica Ecuatoriana INEN 294:1977 para determinar la resistencia a la compresión, INEN 295:1977 para determinar la resistencia a la flexión e INEN 296:2014 para el contenido de humedad.

Para el bloque de concreto se ensayaron 5 especímenes a compresión de tres lotes diferentes, y 4 especímenes de cada lote para ensayos térmicos. El primer lote de material se obtuvo de Sangolqui, el segundo lote de EL Tingo y el tercer lote de Amagüaña.

Los ensayos del bloque de concreto se hicieron bajo la normativa técnica Ecuatoriana NTE INEN 639:2012 para determinar la resistencia a la compresión.

En la madera los ensayos fueron de 5 especímenes para compresión paralela a las fibras, 5 a compresión perpendicular a las fibras, 5 a flexión y 5 a tracción. Además, se analizaron 4 probetas de madera para los ensayos térmicos.

El material se obtuvo de tres sectores diferentes por lo que hay 3 tipos diferentes de madera dura. El primer lote procede del sector de Sangolqui de donde se adquirió eucalipto; el segundo lote precede del sector de Amagüaña de donde se obtuvo madera de monte (guayacán) y el tercer lote procede del sector El Tingo de donde se adquirió madera de manzano colorado.

Los ensayos se realizaron en la madera según la norma ASTM 143 donde se especifica la metodología para compresión paralela, compresión perpendicular, flexión, tracción paralela y otras (Hoyos L., 2016).

A continuación en la tabla 1, se muestran los materiales que se obtuvieron de diferentes ubicaciones de la provincia de Pichincha.

Tabla 1.

Materiales obtenidos.

Material	Lote	Ubicación	Composición / Tipo
Bloque de concreto	1	Sangolqui	Granulado volcánico, cemento portland, cal, arena, agua, aditivos, agregados generales.
	2	Amagüaña	Cascajo de Piedra pómez, cemento portland, cal, arena, agua, aditivos, agregados generales.
	3	El Tingo	Piedra partida, cemento portland, cal, arena, agua, aditivos, agregados generales.
Madera	1	Sangolqui	Eucalipto
	2	Amagüaña	Guayacán negro
	3	El Tingo	Manzano Colorado
Adobe	1	Vía Amagüaña	Arcilla, arena, agua, paja

Adobe

Es un material elaborado a partir de arcilla, arena y agua, al que se le añade diferentes materiales orgánicos como la paja, pasto, diferentes fibras vegetales e incluso estiércol. Se lo utiliza desde la antigüedad y sus estructuras son muy duraderas y se preservan hasta el día de hoy. (Ruiz, S., 2015)

El adobe es fabricado tradicionalmente con medidas 35 x 25 x 10 cm y pesa aproximadamente 14 kilogramos (figura 3). Se compone de tierra y paja, conformada con 65 % de arena, 20 % arcilla y 15 % de agregados. El porcentaje de arena tiene que ser mayor que de la arcilla. (Arteaga, M., 2011)

La utilización del adobe cada vez disminuye, gracias a la nueva generación de materiales que actúan de mejor manera tecnológicamente, que poseen propiedades superiores a los materiales que se fabrican de manera artesanal. Sin embargo aún se puede apreciar las grandes construcciones coloniales en diferentes ciudades como Quito, Loja, Latacunga, Cuenca, etc. Algunas edificaciones como la mostrada en la figura 2, se han restaurado adicionando distintos materiales solamente para conservar su estructura arquitectónica.



Figura 2. Edificación fabricada con adobe. Iglesia de la catedral. Tomado de (Suarez, J., 2016)

Bloque de concreto

Están elaborados con cemento Portland y diferentes áridos gruesos y finos como la grava, arena, arcilla cocida, piedra pómez, piedra partida, granulados volcánicos, escorias y otros materiales inorgánicos. (INEN 638, 2014)

Las paredes de los bloques no deben tener un espesor menor a 25 mm de acuerdo al tipo de bloque A y B; mientras que para los tipos de bloques C, D, E, el espesor de paredes no debe ser menor a 20 mm, como se muestra en la tabla 2. (INEN 638, 2014)

Tabla 2.

Dimensiones de los bloques. Tomado de (INEN 638, 2014).

Tipo	Dimensiones nominales (cm)			Dimensiones efectivas (cm)		
	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto
A, B	40	20, 15, 10	20	39	19, 14, 9	19
C, D	40	10, 15, 20	20	39	9, 14, 19	19
E	40	10, 15, 20, 25	20	39	9, 14, 19, 24	20

Los bloques son paralelepípedos que poseen uno o varios huecos transversales en su interior, de manera que del 50 al 75 % sea material sólido. (Moreno, C., Cañizares, O., 2011)

Es utilizado generalmente en la construcción de viviendas y edificaciones. El bloque analizado en esta investigación es de 15 cm de ancho, que se utiliza con más frecuencia en construcciones de uno y dos pisos.

Actualmente se realizan pruebas para mejorar el bloque de concreto, agregándole todo tipo de material inorgánico para obtener una mejora eficiente de las propiedades térmicas y mecánicas las cuales aumentaran su resistencia. En el trabajo del autor (López C, 2015), se

desarrollan bloques de concreto con cascarilla de café para utilizarlos como material aislante y de ese manera reducir el consumo de energía y a su vez disminuir la contaminación.

Madera

La madera es un material con una estructura compleja y natural; que además de ser utilizada en decoraciones, muebles y enseres, también se lo usa de manera estructural para paredes, recubrimiento de pisos, fachadas, etc. (Modenese P., 2016)

Existen muchas variedades de árboles en el Ecuador, y los tipos de madera más utilizada es el chanul, moral, colorado, arenillo, eucalipto, seike, tablero de monte. (Modenese P., 2016)

La madera utilizada en este proyecto comprende el eucalipto, manzano colorado y guayacán negro que son del tipo madera dura, para pisos.

El material se lo consigue por tablas, tablones, tableros, vigas, cuartón, pingo o listón. Dependiendo del uso que sea requerido.

En este trabajo las probetas para los ensayos requieren un espesor específico dado por la norma, por lo que el material se consiguió en tablones de 5 x 25 x 240 cm para luego cortarlo en las respectivas probetas para los ensayos térmicos y mecánicos. (Modenese P., 2016)

Propiedades térmicas y mecánicas.

Existen varias propiedades que se pueden determinar en los materiales, pero solo se muestran a continuación aquellas que se evaluarán en esta tesis. (Jaramillo V., Guerra S, 2015)

Ensayos mecánicos, muestreo y propiedades.

A continuación se indica el procedimiento aplicado por cada norma para el muestreo y los diferentes ensayos de los materiales.

Para el dimensionamiento de cada probeta se sacaron cinco medidas de las diferentes superficies y se obtuvo un promedio total.

Muestreo del adobe

Para la obtención de las muestras, se puede extraer de manera sistemática, estratificada o aleatoria. (INEN 292, 2015)

Cada unidad debe ser marcada de forma adecuada para su identificación. Las marcas no deben ocupar más del 5 % de la superficie de la muestra. (INEN 292, 2015)

Tabla 3.

Criterio de aceptación y rechazo de los lotes de inspección. Tomado de (INEN 292, 2015).

Tamaño del lote	Unidades de muestreo	Ac_1	Re_1	Ac_2	Re_2
Hasta 35 000	5	0	2	1	2
Mayor de 35 000	8	0	3	3	4

La tabla 3, muestra el número mínimo de probetas que se deben obtener según la cantidad del lote. Esta norma se aplica para todos los ensayos mecánicos en ladrillos de adobe.

Las muestras tomadas para los ensayos de compresión, flexión y contenido de humedad fueron de seis ladrillos de adobe. Uno de ellos se utiliza como referencia para sacar el valor de la carga máxima, necesaria para realizar la prueba de las muestras restantes bajo normalización.

La figura 3 a continuación, muestra una manera de utilización de bloques de adobe en muros soportantes, los mismos que se obtuvieron para los ensayos.



Figura 3. Lote de adobes del sector Amagüaña.

Compresión del adobe

Es el esfuerzo máximo que soporta un material cuando se le aplica una fuerza a cualquier superficie del mismo, lo cual genera una deformación longitudinal transversal.

Se basa en aplicar una carga progresiva de compresión a una muestra de adobe, hasta determinar su resistencia máxima admisible (rotura o falla) y registrar su valor. (INEN 294, 1978)

Los especímenes de prueba consistieron en mitades de ladrillos con caras planas y paralelas, obtenidas de cinco ladrillos secos, enteros y sin defectos apreciables. (INEN 294, 1978)

Se aplica la carga a cualquier velocidad aproximadamente hasta la mitad de la carga máxima admisible, para luego aumentar la velocidad gradualmente hasta la falla en un intervalo de 1 a 2 minutos. (INEN 294, 1978)

Este ensayo se inició con una velocidad aplicada de 0.5 mm / min hasta la mitad de la carga máxima y se fue aumentando la velocidad 0.1 mm / min progresivamente hasta la falla, como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Compresión del adobe hasta la falla.

La resistencia a compresión se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$C = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde:

C = Resistencia a la compresión (Mpa)

P = Carga de rotura (N)

A = Área de la sección (mm^2)

El área de la sección se calculara mediante la fórmula:

$$A = a * L \quad (2)$$

Donde:

a = ancho de la muestra (mm)

L = largo/espesor de la muestra (mm)

El valor promedio que se obtiene de las cinco muestras representa la resistencia a compresión del lote de ladrillos. (INEN 294, 1978). A continuación en la tabla 4, se muestra el promedio de las dimensiones tomadas de cada probeta.

Tabla 4.

Dimensiones obtenidas de las probetas de adobe para compresión.

N°	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)		
		Largo	Ancho	Alto/Espesor
1	P1CA	197.8	197.5	107.3
2	P2CA	197	198.3	107
3	P3CA	197.3	199.5	108.3
4	P4CA	197	197.5	110
5	P5CA	197.8	199.5	109
6	P6CA	196	200	108.3

Flexión del adobe

El procedimiento se basa en aplicar una carga progresiva de flexión a una muestra de bloque, hasta determinar y registrar la resistencia máxima admisible. (INEN 295, 1977)

Las probetas utilizadas consisten en cinco ladrillos enteros, secos y que no tengan defectos apreciables. (INEN 295, 1977)

Se coloca la cara mayor del espécimen sobre los apoyos, dejando una separación entre estos de 15 cm, como se aprecia en la figura 5. Se aplica la carga a una velocidad de tal manera que el cabezal no avance más de 1.5 mm / min, hasta que se produzca la falla. (INEN 295, 1977)



Figura 5. Flexión para ladrillo de adobe.

Para la resistencia a la flexión se calcula el módulo de rotura con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{300 Gl}{2bd^2} \quad (3)$$

Donde:

R = Modulo de rotura (Mpa)

G = Carga de rotura (N)

l = Distancia entre apoyos (mm)

b = Ancho de cara a cara de la muestra (mm)

d = Promedio del espesor de cara a cara de la muestra (mm)

El valor promedio de los resultados representa la resistencia a flexión del lote de ladrillos. (INEN 295, 1977). A continuación en la tabla 5, se muestra el promedio de las dimensiones tomadas de cada probeta.

Tabla 5.

Dimensiones obtenidas de las probetas de adobe para flexión.

N°	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)		
		Largo	Ancho	Alto/Espesor
1	P1AF	397.3	197.5	122.5
2	P2AF	397.3	201.5	124
3	P3AF	398.3	199	121.3
4	P4AF	397	201	122.3
5	P5AF	397.8	196	124.3
6	P6AF	398	196.5	127.5

Contenido de humedad del adobe.

El procedimiento se basa en determinar la masa de una muestra de ladrillo de adobe antes y después de ser sumergida en el agua, diferenciando sus dos masas para hallar el valor de la absorción de la humedad. (INEN 296,2014).

Se debe elegir 5 ladrillos enteros, que se deshidrataran en una estufa a 110°C hasta obtener una masa constante. Luego se enfriaran a temperatura ambiente y se pesaran nuevamente.

Si hay un aumento del 1% se repetirá el ensayo. (INEN 296,2014).

Una vez anotada la masa constante de la muestra, sumergir en agua a una temperatura de 15 a 30 °C durante 24 horas. Sacar las muestras del agua y secarlas con una toalla húmeda antes de pesarlas. (INEN 296,2014).

La figura 6 a continuación, muestra una probeta al salir del horno (deshidratada), que previamente será sumergida en agua como se muestra en la figura 7.



Figura 6. Secado del adobe.



Figura 7. Saturado del adobe.

Para calcular el contenido de humedad se aplica la formula tomada de referencia de la norma (INEN 639) referente a bloques de concreto que se discutirá en breve.

Se calcula el porcentaje de contenido de humedad de cada espécimen con la ecuación siguiente:

$$CH \% = \frac{P_1 - P_2}{P_3 - P_2} * 100 \quad (4)$$

Donde:

P₁ = Masa inicial de la muestra.

P₂ = Masa de la muestra secada al horno.

P₃ = Masa de la muestra después de ser sumergida en agua.

El promedio de los valores resultantes en las cinco muestras, representan el porcentaje de absorción de humedad del lote inspeccionado. (INEN 296,2014). A continuación en la tabla 6, se muestra el promedio del peso de cada probeta.

Tabla 6.

Datos obtenidos de las probetas de adobe para el contenido de humedad.

Nº	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)			Peso (g)
		Largo	Ancho	Alto/Espesor	
1	P1AH1	196	197.5	108.3	5360
2	P2AH1	195.8	198.3	109	5520
3	P3AH1	196.3	199.5	108.3	6130
4	P4AH1	196	197.5	110	5230
5	P5AH1	195.8	199.5	109.3	5520

Muestreo del bloque de concreto

Se deben seleccionar especímenes enteros con forma y dimensiones similares que representarán a todo el lote de bloques. (INEN 639, 2012). Como se muestra en la figura 8 a continuación.

El grupo de especímenes debe estar conformado por seis unidades enteras. Para los ensayos se tendrá que seleccionar un solo conjunto de muestras de cada lote de 10 000 unidades o fracción. (INEN 639, 2012).

Para identificar los especímenes se deben rotular en un área no mayor al 5 % de la superficie. (INEN 639, 2012).



Figura 8. Lote de bloques de concreto de 15 cm.

Compresión del bloque de concreto

Se basa en aplicar una carga progresiva de compresión a un bloque, hasta determinar su resistencia máxima admisible (rotura o falla) y registrar su valor. (INEN 639, 2012).

De acuerdo a la normativa se deben ensayar tres especímenes pero en esta investigación se realizó la prueba de cinco especímenes. Adicionalmente un espécimen se ensaya para tomar de referencia la carga máxima.

Todos los especímenes se deben ensayar con las celdas en posición vertical, excepto para las unidades especiales que se colocan de manera horizontal, como se muestra en la figura 9. (INEN 639, 2012).

Todos los especímenes tienen que estar libres de humedad visible antes de proceder con el ensayo. (INEN 639, 2012).

Se aplica la carga a cualquier velocidad aproximadamente hasta la mitad de la carga máxima admisible, para luego aumentar la velocidad gradualmente hasta la falla en un intervalo de 1 a 2 minutos. (INEN 639, 2012).

Este ensayo se inició con una velocidad aplicada de 0.6 mm / min hasta la mitad de la carga máxima y se fue aumentando la velocidad 0.1 mm / min progresivamente hasta la falla según la norma.



Figura 9. Compresión del bloque de concreto.

Para calcular la resistencia a la compresión se utiliza las siguientes ecuaciones en base al área de la superficie seleccionada: (INEN 639, 2012)

Resistencia a la compresión del área neta (Mpa):

$$R_{neta} = \frac{P_{max}}{A_n} \quad (5)$$

Donde:

P_{max} = Carga máxima de compresión (N)

A_n = Área neta del espécimen (mm^2)

Resistencia a la compresión del área bruta (Mpa):

$$R_{bruta} = \frac{P_{max}}{A_g} \quad (6)$$

Donde:

P_{max} = Carga máxima de compresión (N)

A_g = Área bruta del espécimen (mm^2)

El área neta se calcula con la ecuación:

$$A_n = L * W \quad (7)$$

Donde:

A_n = Área neta de la fracción o del espécimen entero (mm^2)

L = Longitud promedio de la fracción o del espécimen entero (mm)

W = Ancho promedio de la fracción o del espécimen entero (mm)

El área bruta se calcula con la ecuación:

$$A_g = L * W \quad (8)$$

Donde:

A_g = Área bruta del espécimen entero (mm^2)

L = Longitud promedio del espécimen entero (mm)

W = Ancho promedio del espécimen entero (mm)

A continuación en la tabla 7, se muestra el dimensionamiento de los especímenes obtenidos de los distintos lugares comerciales.

Tabla 7.

Dimensiones obtenidas de las probetas de bloques de concreto para compresión en los diferentes sectores.

Lugar de procedencia	N°	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)		
			Largo	Ancho	Alto/Espesor
Sector Amagüaña	1	P1C1	400.5	150.5	198.3
	2	P2C1	400.8	150.5	199
	3	P3C1	400.5	150.8	197.5
	4	P4C1	400.3	150.3	197.8
	5	P5C1	401	150.8	197.5
	6	P6C1	400.3	151	196.5
Sector Sangolqui	1	P1C2	370	135	190
	2	P2C2	370	135	190
	3	P3C2	370	135	190
	4	P4C2	370	135	190
	5	P5C2	370	135	190
	6	P6C2	370	135	190
Sector El Tingo	1	P1C3	400	150.2	200.2
	2	P2C3	400	150.2	200
	3	P3C3	400.5	150	200
	4	P4C3	400.2	150.2	200
	5	P5C3	400	150.2	200.2
	6	P6C3	400.2	150	200

Contenido de humedad del bloque de concreto

Para realizar este ensayo se usan tres especímenes según la norma, pero en este caso se utilizaron cinco. (INEN 639, 2012)

Los ensayos se realizan en especímenes enteros o cortados de unidades enteras, como se muestra en la figura 10. Los valores que se calculen para la absorción y contenido de humedad de especímenes cortados, deben ser tomados como representaciones de los especímenes enteros. (INEN 639, 2012)

Para la saturación se sumerge en agua los especímenes a una temperatura entre 16 y 27 °C durante un lapso de 24 a 28 horas. Se retiran del agua y se dejan escurrir durante un minuto, luego se retira el agua visible con un paño húmedo y se determina la masa M_s (masa del espécimen saturado). (INEN 639, 2012)

Luego se procede con el secado, que consiste en secar todos los especímenes en un horno ventilado entre 100 y 115 °C durante un tiempo de al menos 24 horas, hasta que la masa del espécimen no disminuya en más del 0.2 % en determinaciones sucesivas a intervalos de 2 horas, respecto a la última determinación. Se registra el valor de los especímenes secos como M_d (masa del espécimen seco al horno). (INEN 639, 2012)



Figura 10. Probeta seca de hormigón

El contenido de humedad se calcula en el momento en el que se realiza el muestreo y se pesa la masa inicial M_r de los especímenes tal como se reciben. (INEN 639, 2012)

Se utiliza la fórmula:
$$CH = \frac{M_r - M_d}{M_s - M_d} * 100 \tag{9}$$

Donde:

M_r = Masa del espécimen tal como se recibe (kg)

M_d = Masa del espécimen seco al horno (kg)

M_s = Masa del espécimen saturado (kg)

La tabla 8, muestra el peso obtenido de cada probeta al momento de obtener los bloques.

Tabla 8.

Datos obtenidos de las probetas de bloques de concreto para el contenido de humedad.

Lugar de procedencia	N°	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)			Peso M_r (g)
			Largo	Ancho	Alto/Espesor	
Sector Amagüaña	1	P1BH1	150.5	150.5	198.3	4630
	2	P2BH1	150	150.5	199	4550
	3	P3BH1	150.5	150.8	197.5	4589
	4	P4BH1	150	150.3	197.8	4612
	5	P5BH1	150.3	150.8	197.5	4595
Sector El Tingo	1	P1BH2	120	135	190	3846
	2	P2BH2	120.2	135	190	3901
	3	P3BH2	120.1	135.1	190.1	3880
	4	P4BH2	120	135.1	190.1	3887
	5	P5BH2	120.3	135	190	3896

Sector Sangolqui	1	P1BH3	150.3	150.2	200.2	4621
	2	P2BH3	150.2	150.2	200	4612
	3	P3BH3	150.2	150	200	4627
	4	P4BH3	150	150.2	200	4633
	5	P5BH3	150.1	150.2	200.2	4648

Muestreo de la madera

La población puede ser finita o infinita. Los procesos de evaluación de las propiedades mecánicas se evalúan con muestras pequeñas. (Hoyos L., 2016)

Se considera entre cinco y diez probetas libre de defectos para los ensayos en madera. (Salvador C., 2010)

Se puede utilizar el muestreo probabilístico para estudiar la relación entre la población y las muestras tomadas de la misma. (Hoyos L., 2016)

El muestreo aleatorio nos sirve para obtener una muestra representativa de toda la población. De esta manera cualquier espécimen dentro de la población tiene la misma probabilidad de ser incluido. (Hoyos L., 2016)

Para el tamaño de las muestras se debe tomar en cuenta que una muestra muy pequeña puede disminuir la precisión de los resultados; mientras que una muy grande implicaría un gasto excesivo de dinero. (Hoyos L., 2016)

En la figura 11, se muestra el lugar comercial del sector El tingo, donde se obtuvo el material para los ensayos de madera, de la especie Manzano Colorado.



Figura 11. Aserradero de madera sector El Tingo.

Compresión paralela de la madera

Las dimensiones de los especímenes para este ensayo son de 20 cm de largo con una sección rectangular de 5 x 5 cm, siendo un prisma con una variación de ± 1cm y debe haber perpendicularidad en las caras. (ASTM D143, 2016)

La velocidad de aplicación de carga es de 0.6 mm/min hasta que ocurra la ruptura y obtener el esfuerzo último a compresión, en función de la norma (ASTM D143, 2016).






		
Aplastante : Este término debe ser usado cuando el plano de ruptura es aproximadamente horizontal	Cuña partida : la dirección de la rajadura debe ser anotada así sea radial o tangencial.	Corte : este término debe ser utilizado cuando el plano de ruptura genera un ángulo de más
		
Partición : este tipo de fallas ocurre frecuentemente en probetas que poseen defectos internos previos al ensayo, lo cual debe ser una base para la selección de la muestra.	Compresión y corte paralelo a la fibra : este tipo de fallas ocurre en muestras con secciones transversales en contra fibra.	Astillado : este tipo de falla es asociado con el exceso de humedad en los extremos de las probetas, incorrecto corte de la probeta, o ambos. Este no es un tipo de falla aceptable; se lo asocia con una carga reducida

Figura 12. Tipos de falla de compresión paralela. Tomado de (Clavón G. & Rosero A., 2013)

En la figura 12, se muestra los tipos de falla que puede ocurrir en el ensayo de compresión paralela a la fibra. (Clavón G. & Rosero A., 2013)



Figura 13. Compresión paralela a la fibra de la madera.

La figura 13, muestra la posición correcta en la que debe ser colocada la probeta para el ensayo de compresión.

Para calcular el esfuerzo último se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A} \quad (10)$$

Donde:

σ_u = Esfuerzo ultimo a compresión paralela (Mpa)

F_u = 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:

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

Donde:

σ = Esfuerzo a compresión paralela (Mpa)

E = Modulo de elasticidad (Mpa)

ε = Deformación Unitaria

En la tabla 9, se muestra el promedio de las dimensiones que se obtuvieron para los ensayos de compresión paralela, de maderas provenientes de diferentes sectores de Pichincha.

Tabla 9.

Dimensiones obtenidas de las probetas de madera de diferente tipo en los diferentes sectores, para compresión paralela.

Tipo de madera y procedencia	Nº	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)		
			Largo	Ancho	Alto/Espesor
Guayacán negro Sector Amagüaña	1	P2CP	200	51.4	51.5
	2	P3CP	201.3	51.5	51.3
	3	P4CP	201	51.4	51.4
	4	P5CP	201	51.7	51.5
	5	P6CP	201	51.2	51.5
Eucalipto Sector Sangolquí	1	P1CP2	200.5	49.3	49.5
	2	P2CP2	201	49.3	49.3
	3	P3CP2	200.3	49.8	49
	4	P4CP2	201	50.3	49.2
	5	P5CP2	200.3	49.5	50

Manzano colorado Sector El Tingo	1	P1CP3	200	51	50.2
	2	P2CP3	200.5	51	50.2
	3	P3CP3	200.5	51.2	51
	4	P4CP3	200	51.2	51
	5	P5CP3	200	51.2	51

Compresión perpendicular de la madera

El espécimen es un prisma con sección rectangular de 5 x 5 cm y un largo de 15 cm y debe ser homogéneo. (ASTM D143, 2016)

Se utiliza una placa metálica de dimensiones 5.11 x 11.6 cm con un espesor de 0.5 aproximadamente, para distribuir la carga al centro de la probeta de tal manera que el fallo se dé por aplastamiento, como se muestra en la figura 14. (ASTM D143, 2016).

La velocidad de carga continua aplicada es de 0.305 mm / min hasta la falla o penetración máxima de 2.5 mm, en función de la norma (ASTM D143, 2016).



Figura 14. Compresión perpendicular a la fibra de la madera

La resistencia al límite de proporcionalidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$RLP = \frac{p}{s} \tag{12}$$

Donde:

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 (mm^2)

La resistencia unitaria máxima se calcula con la ecuación:

$$RUM = \frac{p}{S} \tag{13}$$

Donde:

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 (mm^2)

En la tabla 10, se muestra las dimensiones promedio obtenidas de diferentes especies de madera, para los ensayos de compresión perpendicular.

Tabla 10.

Dimensiones de las probetas de madera de diferentes sectores, para compresión perpendicular.

Tipo de madera y procedencia	N°	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)		
			Largo	Ancho	Alto/Espesor
Guayacán negro Sector Amagüaña	1	P1CPP1	151.8	50	51
	2	P2CPP1	151.3	49.3	51
	3	P3CPP1	150.5	50	51
	4	P4CPP1	151	49	51

Eucalipto	Sector Sangoiqui	5	P5CPP1	151.5	49	51
		1	P1CPP2	151	49.3	49.2
		2	P2CPP2	151.3	49.3	50.5
		3	P3CPP2	151.3	49.4	49.2
		4	P4CPP2	151	49.3	49.2
Manzano colorado	Sector El Tingo	5	P5CPP2	150	49.4	49.2
		1	P1CPP3	150	51.2	51
		2	P2CPP3	151	51	51.2
		3	P3CPP3	151	51	51.2
		4	P4CPP3	151	51.2	51
		5	P5CPP3	151	51.2	51

Flexión de la madera

La probeta es un prisma de sección rectangular de 5 x 5 cm y un largo de 76 cm, con una precisión de $\pm 3\%$. (ASTM D143, 2016)

Se tomaron cinco mediciones de la probeta, especialmente de la parte central donde estará situada la carga y finalmente se obtuvo el promedio.

La distancia entre apoyos debe ser de 71 cm y un apoyo tiene que permitir la rotación en el eje de la probeta. (ASTM D143, 2016)

La velocidad para este ensayo es de 2.5 mm / min hasta la ruptura de la probeta. (ASTM D143, 2016)

Los tipos de falla pueden variar según el espécimen, ya que puede generarse la rotura tanto por compresión como a tracción de las fibras, como se muestra en la figura 15. (ASTM D143, 2016)

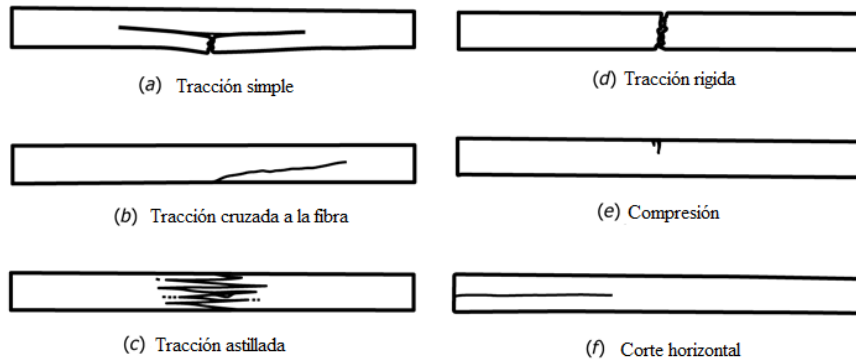


Figura 15. Tipos de falla para el ensayo de flexión estática. Tomado de (ASTM D143, 2016)

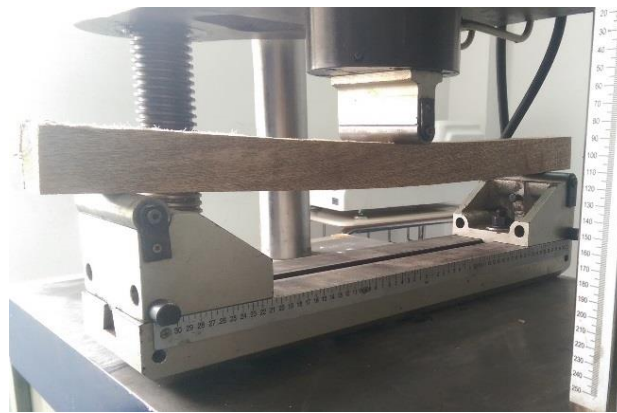


Figura 16. Flexión estática de la madera.

La figura 16, muestra el ensayo de flexión en proceso, con la probeta centralizada y la distancia correcta entre los apoyos.

EL esfuerzo unitario para el límite de proporcionalidad se calcula con la ecuación:

$$ELPf = \frac{3 \cdot P_2 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (14)$$

Donde:

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 calcula con la siguiente ecuación:

$$EMf = \frac{3*P_m*L}{2*b*h^2} \quad (15)$$

Donde:

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)

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

$$MOEf = \frac{P_2*L^3}{4*d_1*b*h^3} \quad (16)$$

Donde:

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:

$$E = \frac{\sigma_2}{\varepsilon} \quad (17)$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad (Mpa)

σ_2 = Carga en el límite de proporcionalidad (Mpa)

ε = Deformación unitaria

En la tabla 11, se muestra el promedio obtenido de las dimensiones de cada probeta para los ensayos de flexión estática.

Tabla 11.

Dimensiones de las probetas de madera de diferentes especies, para flexión.

Tipo de madera y procedencia	Nº	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)		
			Largo	Ancho	Alto/Espesor
Guayacán negro Sector Amagüaña	1	P1F1	761.3	51.2	51
	2	P2F1	760.9	51.2	51.3
	3	P3F1	760.8	51.8	51.8
	4	P4F1	760.8	51.5	51.2
	5	P5F1	760.3	51.3	51.8
Eucalipto Sector Sangolqui	1	P1F2	761.3	49.5	49.9
	2	P2F2	761	49.8	49.3
	3	P3F2	761.3	49.8	50.5
	4	P4F2	761.2	49.4	49.2
	5	P5F2	760.8	49.9	50
Manzano colorado Sector El Tingo	1	P1F3	760.8	51	51
	2	P2F3	760	51.2	51
	3	P3F3	760.3	51.8	51
	4	P4F3	761	51	51.2
	5	P5F3	760	51	51

Tracción de la madera

Consiste en aplicar un esfuerzo axial de tracción hasta la rotura, como se muestra en la figura 17. (ASTM D143, 2016)

Las dimensiones de los especímenes tendrán una longitud de 46 cm y la sección central será de 0.98 x 0.45 cm para una distancia de 6.35 cm. Los soportes de los extremos tendrán una extensión de 10.1 cm y serán de sección cuadrada con medida 2.54 x 2.54 cm. (ASTM D143, 2016). Así como se muestra en la figura 18.

La velocidad para el este ensayo es de 1 mm / min continuamente hasta la falla de la probeta. (ASTM D143, 2016)

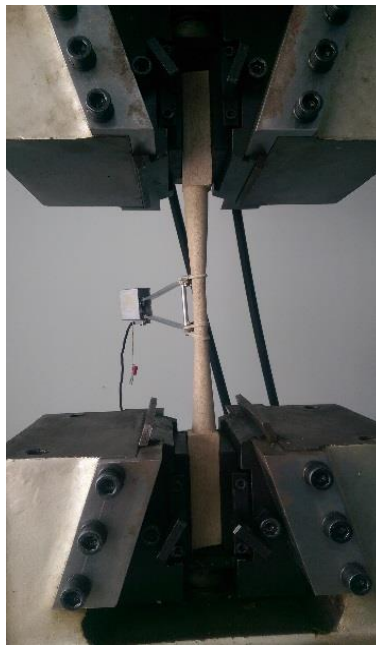


Figura 17. Tracción paralela en la madera.

El esfuerzo unitario máximo se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A} \quad (18)$$

Donde:

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:

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} \tag{19}$$

Donde:

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 Modulo de elasticidad se calcula con la ecuación:

$$E = \frac{\sigma_2}{\varepsilon} \tag{20}$$

Donde:

E= Modulo de elasticidad (Mpa)

σ_2 = Esfuerzo de la deformación (Mpa)

ε = Deformación unitaria

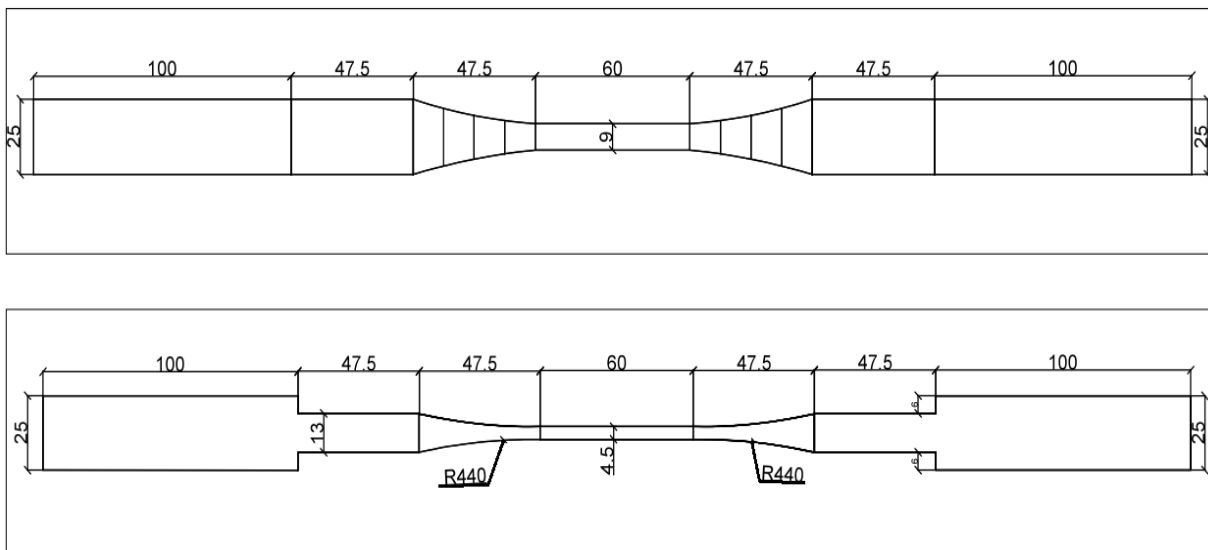


Figura 18. Dimensiones de los especímenes para tracción. Tomado de (ASTM D143, 2016)

En la tabla 12, se muestra el promedio obtenido de las medidas de cada probeta para el ensayo de tracción paralela.

Tabla 12.

Dimensiones de las probetas de madera de diferentes especies, para tracción.

Tipo de madera y procedencia	N°	Identificación de probetas	Dimensiones (mm)		
			Largo	Ancho	Alto/Espesor
Guayacán negro Sector Amagüaña	1	P1T1	459	9.9	4.9
	2	P2T1	460	9.8	5
	3	P3T1	460	9.9	4.8
	4	P4T1	459	9.8	5
	5	P5T1	460	9.9	5
Eucalipto Sector Sangolqui	1	P1T2	460	9.8	4.8
	2	P2T2	460	9.9	4.9
	3	P3T2	460	9.8	4.8
	4	P4T2	460	9.8	4.8
	5	P5T2	460	9.9	4.8
Manzano colorado Sector El Tingo	1	P1T3	459	9.9	4.9
	2	P2T3	460	9.8	4.9
	3	P3T3	459	9.9	4.8
	4	P4T3	460	9.9	4.8
	5	P5T3	459	9.9	4.9

Contenido de humedad de la madera

Este ensayo permite determinar el porcentaje de pérdida de peso del agua. Existen tres formas en las que el agua está presente en la madera: (Clavón, G., Rosero, A., 2013)

- El Agua libre que se encuentra llenando cavidades celulares e intercelulares.
- El agua higroscópica que está contenida en las paredes celulares
- El agua de constitución que forma parte integral de la estructura molecular y comprende del 0 al 30 % de contenido de humedad. Se encuentra en las partículas sólidas adheridas a la superficie por atracción molecular y solamente se puede eliminar por carbonización.

(No se toma en cuenta para la determinación del contenido de humedad)

Para la determinación del contenido de humedad se debe establecer una relación entre la masa de agua libre y la masa de agua higroscópica que contiene una muestra, en relación con la masa de la muestra anhidra (Peso seco al horno). (Clavón, G., Rosero, A., 2013)

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)

La normativa indica que los especímenes deben ser cortados y sustraídos de la zona próxima a la falla y almacenar dichas probetas bajo condiciones que no alteren el contenido de humedad. (Clavón, G., Rosero, A., 2013)

Para los especímenes de compresión paralela, compresión perpendicular y flexión, se cortaron pedazos de 2.54 cm de arista de las probetas previamente ensayadas. Mientras que para los especímenes de tracción se extrajeron pedazos de 7.5 cm de longitud cercanos a la rotura. (Hoyos, L., 2016)

Los especímenes preparados deben ser rotulados para su reconocimiento y posteriormente se pesaran antes de introducirlos al horno. El tiempo de secado es de 24 horas a una temperatura

de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pasado este tiempo se procede 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 por última vez, como se observa en la figura 19. (Hoyos, L., 2016)

Hay que recalcar que este ensayo se lo debe realizar luego de haber ejecutado cada ensayo mecánico. (Clavón, G., Rosero, A., 2013)



Figura 19. Especímenes preparados de los ensayos de madera.

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

$$CH = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100\% \tag{21}$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%)

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

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

Tabla 13.

Peso obtenido de las probetas de madera de eucalipto, para los ensayos realizados.

Ensayos	Peso de las probetas para los ensayos respectivos del eucalipto
	(g)

	P1	P2	P3	P4	P5
Compresión paralela	50.3	50.2	50.2	56.9	50
Compresión perpendicular	47.6	54.2	47.1	48.3	46.4
Flexión	52.4	53.9	51.8	53.4	53.8
Tracción	9.7	9	13.9	7.6	7.7

Tabla 14.

Peso obtenido de las probetas de la madera de manzano colorado, para los ensayos realizados.

Ensayos	Peso de las probetas para los ensayos respectivos del manzano colorado (g)				
	P1	P2	P3	P4	P5
Compresión paralela	42.1	43.3	42.5	42.1	41.6
Compresión perpendicular	41.4	40.6	39.9	40.6	41.1
Flexión	46.8	42.4	39.7	42.6	41.3
Tracción	12.4	4.6	7	11.6	6.9

Tabla 15.

Peso obtenido de las probetas de la madera de guayacán negro, para los ensayos realizados.

Ensayos	Peso de las probetas para los ensayos respectivos del guayacán negro(g)				
	P1	P2	P3	P4	P5
Compresión paralela	30.9	32.5	29.3	29.4	28
Compresión perpendicular	27.6	27.2	27.2	25	24.8

Flexión	33.2	38.6	36.2	34.8	37.6
Tracción	4.8	6.5	5.3	5.6	4.2

En las tablas 13, 14 y 15 se muestra los pesos de las probetas de diferentes especies, obtenidos a partir de los especímenes ensayados a compresión, flexión y tracción.

Ensayos térmicos, muestreo y propiedades.

Aquí se indica el procedimiento aplicado por cada norma para el muestreo y ensayos de los materiales.

Conductividad térmica.

Es la capacidad que tiene un material para transferir energía térmica (calor) ante un gradiente de temperatura. Para la medición de esta variable térmica en materiales aislantes como en algunos empleados en la construcción de edificaciones, se utiliza un aparato de placa caliente resguardada (APCG). (Lira C., Gonzales R. & Méndez E., 2008)

Los ensayos para los materiales en esta investigación se realizaron con la máquina de medición de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik λ -Meter EP500e, Versión C, que se muestra en la figura 20. Ubicada en la ciudad de Guayaquil en el laboratorio de ensayos térmicos y eficiencia energética de la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL).



Figura 20. Máquina de ensayos térmicos de la ESPOL.

Un APCG funciona basándose en el principio de transferencia de calor por conducción entre dos placas frías y una caliente central, en estado permanente para determinar la conductividad térmica con la ecuación:

$$\lambda = \frac{q \cdot L}{\Delta T \cdot A} \quad (22)$$

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 (m^2)

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

$$q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L} \quad (23)$$

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 (°C o K)

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

L = espesor de la muestra (m)

Para la obtener el valor de la conductividad térmica, los especímenes deberán estar en estado estable para realizar las mediciones de flujo de calor, espesor y temperaturas fijas de las superficies de ambas caras del espécimen. (ISO 8302, 1991)

El rango de conductividad permitido según el procedimiento es de 0.002 a 2.5 W/m K.

Las temperaturas medias para el ensayo son desde -10 °C hasta 50 °C, con una diferencia de temperaturas de 15 °C entre las placas. (ISO 8302, 1991)

Las muestras deben ser composiciones homogéneas de forma cuadrada, con dimensiones mínimas de 150 x 150 mm² y con espesores desde 10 mm hasta 200 mm. (ISO 8302, 1991)

A continuación en la tabla 16, se muestran las medidas correspondientes a las probetas de bloque de concreto de los diferentes sectores, para el ensayo de conductividad térmica.

Tabla 16.

Medidas de los especímenes de bloques de concreto de los diferentes sectores. Obtenido de Laboratorio de ensayos térmicos y eficiencia energética de la ESPOL.

Procedencia	Nº	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)
Amagüaña	1	1707033	150	152	26.2	942.5
	2	1707034	151	150	26.9	1071.7
	3	1707035	150	150	25	881.5
	4	1707036	150	149	26.8	1108.1
Sangolqui	1	1707025	150	150	23.5	902.6
	2	1707026	151	152	23.8	865.6
	3	1707027	150	150	25.9	1039.1
	4	1707028	150	149	24.9	907.8
El Tingo	1	1707037	151	150	26.7	1013.2
	2	1707038	150	151	26.5	1008.6
	3	1707039	150	151	27.1	1020.8
	4	1707040	151	150	26.9	1019.1

En la tabla 17, se muestran las medidas correspondientes a las probetas de madera dura de los diferentes sectores, para el ensayo de conductividad térmica.

Tabla 17.

Medidas de los especímenes de madera de los diferentes sectores. Obtenido de Laboratorio de ensayos térmicos y eficiencia energética de la ESPOL

Procedencia	Nº	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)
Amagüaña Guayacán	1	1707001	150	150	20.3	176.4
	2	1707002	150	148	20.3	182.5
	3	1707003	150	150	20.4	180.6
	4	1707004	150	150	20.4	180.6
Sangolqui Eucalipto	1	1707009	148	147	21.2	572.3
	2	1707010	150	149	21.4	584.4
	3	1707011	150	148	21.0	561
	4	1707012	149	148	21.4	570.2
El Tingo Colorado	1	1707005	150	150	20.4	384.4
	2	1707006	150	150	20.6	385.2
	3	1707007	150	150	20.3	382.3
	4	1707008	150	150	20.3	382.0

A continuación en la tabla 18, se muestran las medidas correspondientes a las probetas de adobe, para el ensayo de conductividad térmica.

Tabla 18.

Medidas de los especímenes del adobe procedente de Amagüaña. Obtenido de Laboratorio de ensayos térmicos y eficiencia energética de la ESPOL

Nº	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)
1	1707001	154	152	49.1	1494.2
2	1707002	150	154	47.5	1443.9
3	1707003	152	152	49.3	1444.9
4	1707004	150	153	50.5	1512.1

Para el procedimiento de preparación de las muestras, se requiere especímenes homogéneos y con medidas lo más exactas posibles.

Es necesario recubrir cada probeta con plástico y colocar una capa de gel de ultrasonido, esparciéndola uniformemente por toda la superficie de contacto.

El proceso puede durar varias horas (8 horas generalmente) hasta que la temperatura se estabilice para obtener datos precisos de la conductividad térmica.

Resultados

Compresión del adobe

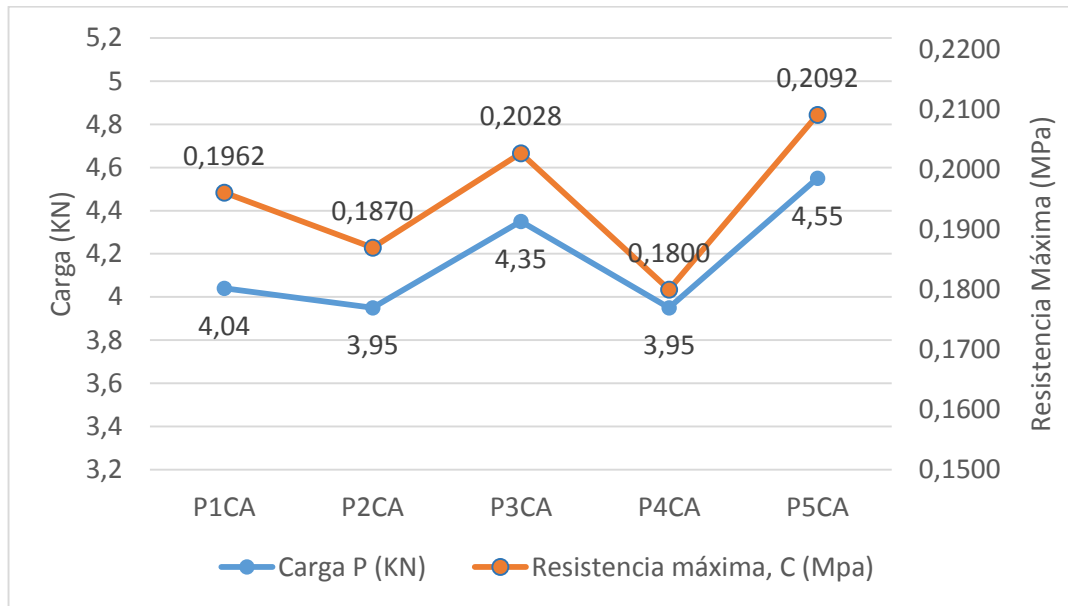


Figura 21. Grafica Carga vs Resistencia resultante del ensayo de compresión para el adobe.

En la figura 21, se muestra la gráfica de los ensayos realizados a cinco especímenes; además de otros dos, cuya finalidad es obtener la carga máxima que sirve como dato de referencia para proceder con los ensayos y obtener los valores enumerados en la tabla 19.

Tabla 19.

Resultados del ensayo de compresión para el adobe.

Compresión del Adobe					
Nº	Especímen	Carga P (N)	Área, a (mm ²)	Resistencia máxima, C (Mpa)	Resistencia máxima, C (kg/cm ²)
1	P1CA	4040	20590	0,1962	2,0008
2	P2CA	3950	21120	0,1870	1,9071
3	P3CA	4350	21450	0,2028	2,0680

4	P4CA	3950	21940	0,1800	1,8359
5	P5CA	4550	21750	0,2092	2,1332
	Media			0,1962	1,9861
	Desviación estándar			0,01174	0,11971

En la tabla 19, se muestra el promedio de la carga máxima para la resistencia a la compresión del adobe, es de 1.9861 kg/cm². Siendo un valor muy bajo respecto al mínimo requerido que es de 10.2 kg/cm² según la norma técnica de edificación (NTE E.080) para el adobe.

Flexión del adobe

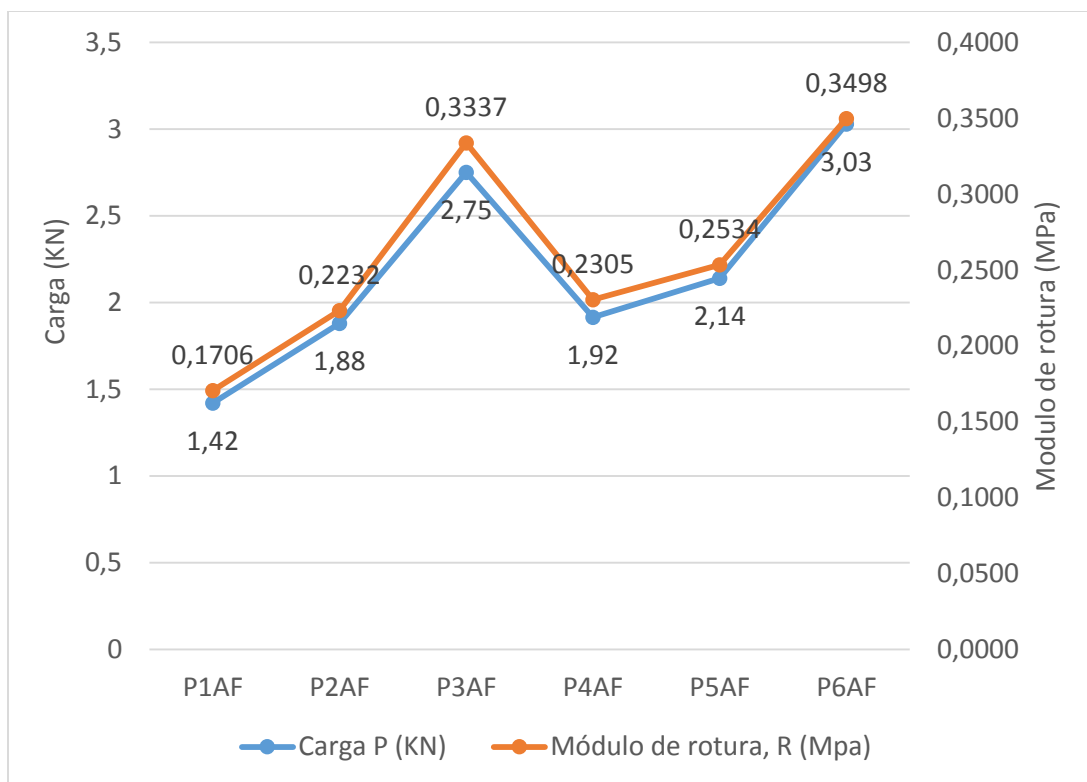


Figura 22. Grafica Carga vs Modulo de rotura resultante del ensayo de flexión para el adobe.

En la figura 22, se muestra la gráfica de los ensayos realizados a los seis especímenes. Las gráficas reflejan una diferencia en la carga máxima, dado que el tipo de adobe utilizado no contiene agregado de paja y la resistencia se debe a las piedras que componen el bloque.

Tabla 20.

Resultados del ensayo de flexión para el adobe.

		Flexión del Adobe				
Nº	Espécimen	Carga P (N)	Área, a (mm ²)	Módulo de rotura, R (Mpa)	Módulo de rotura, R (kg/cm ²)	Espesor (mm)
1	P1AF	1420	24190	0,1706	1,7400	122,5
2	P2AF	1880	24680	0,2232	2,2757	124
3	P3AF	2750	24790	0,3337	3,4030	121,3
4	P4AF	1915	24120	0,2305	2,3503	122,3
5	P5AF	2140	24300	0,2534	2,5842	124,3
6	P6AF	3030	24410	0,3498	3,5671	127,5
	Media			0,25	2,58	123,63
	Desviación estándar			0,0689	0,7029	

La tabla 20, muestra que el promedio del módulo de rotura para la resistencia a la flexión del adobe, es de 2.58 kg/cm². Ruiz, S. (2015) reporta en su trabajo un valor de 2.11 kg/cm², y afirma que no cumple con el valor mínimo establecido que es de 3 kg/cm² según los reportes de otras investigaciones para el adobe.

Contenido de Humedad del adobe

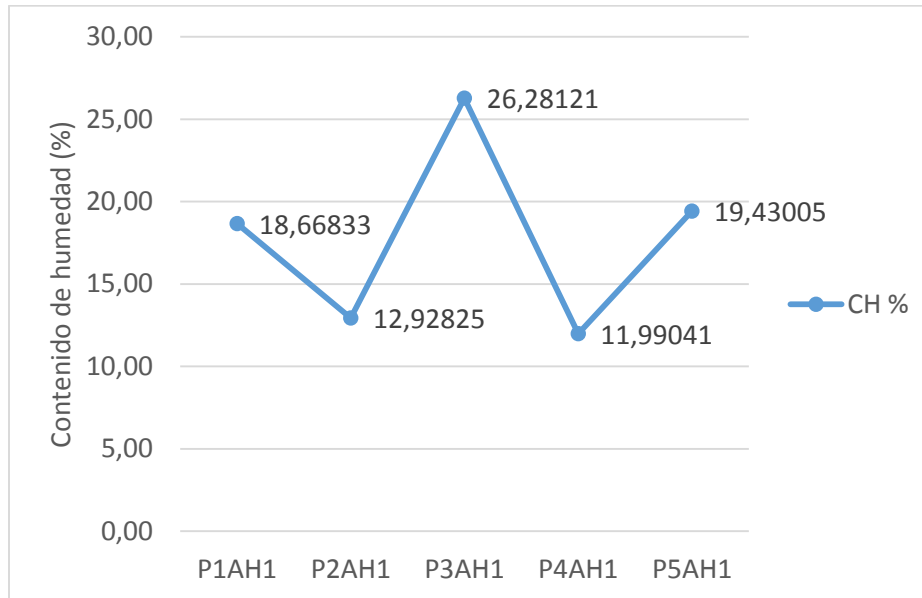


Figura 23. Grafica del contenido de humedad para el adobe.

La figura 23, muestra el contenido de humedad para cada probeta ensayada, donde se observa que el espécimen P3AH1 tiene un CH mayor. Una razón para CH elevado es la falta de fibras vegetales.

Tabla 21.

Resultados del ensayo de contenido de humedad para el adobe.

Contenido de Humedad del Adobe					
Nº	Espécimen	Peso, P1 (g)	Peso, P2 (g)	Peso, P3 (g)	CH %
1	P1AH1	5360	5357	6964	0,18668
2	P2AH1	5520	5518	7065	0,12928
3	P3AH1	6130	6126	7648	0,26281
4	P4AH1	5230	5228	6896	0,11990
5	P5AH1	5520	5517	7061	0,19430

Media	0,17136
Desviación estándar	0,05762

El promedio del contenido de humedad para bloques de adobe, es del 17.14%. Según el proyecto de actualización de la norma E.080 (2013), las unidades de adobe no deben sobrepasar el 20% del contenido de humedad. Por lo que se concluye que si cumple con el valor establecido para el adobe.

Compresión del bloque de concreto

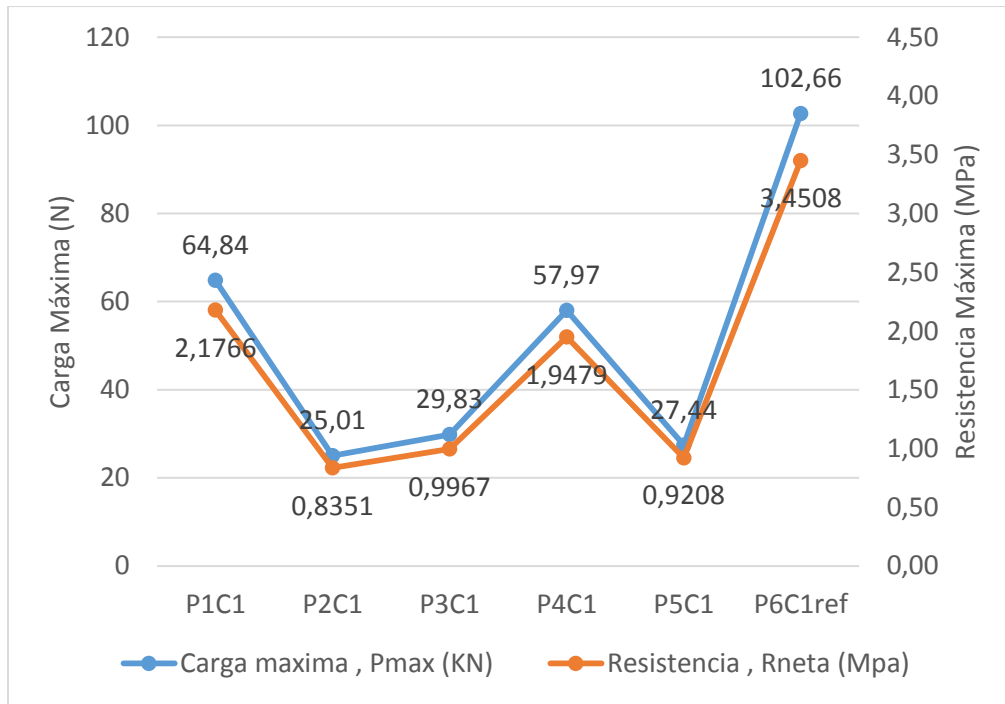


Figura 24. Grafica Carga vs Resistencia resultante del ensayo de compresión del bloque de concreto del sector de Amagitiaña.

En la figura 24, se muestra los ensayos realizados a las seis probetas de bloques de concreto. Como se aprecia en la gráfica, la línea con mayor desplazamiento y mayor carga es la probeta de referencia P6C1ref, utilizada para obtener la carga máxima de 102,66 KN que se usa como valor base para el resto de especímenes.

Tabla 22.

Resultados del ensayo de compresión para el bloque de concreto de Amagüaña.

Compresión del bloque de concreto sector Amagüaña					
Nº	Espécimen	Área neta, An (mm ²)	Carga máxima , Pmax (N)	Resistencia , R _{neta} (Mpa)	Resistencia , R _{neta} (kg/cm ²)
1	P1C1	29790	64840	2,1766	22,1949
2	P2C1	29950	25010	0,8351	8,5153
3	P3C1	29930	29830	0,9967	10,1631
4	P4C1	29760	57970	1,9479	19,8633
5	P5C1	29800	27440	0,9208	9,3896
6	P6C1ref	29750	102660	3,4508	35,1881
		Media		1,27	12,91
		Desviación estándar		0,635	6,473

La tabla 22, muestra el promedio de la resistencia neta a la compresión del bloque de concreto en el sector de Amagüaña, que fue de 1,27 MPa. Según la norma (NTE INEN 643, 2014) la resistencia a compresión en bloques huecos de concreto no soportantes será de 3,5 MPa para unidades individuales y 4 MPa para el promedio de cinco bloques huecos de concreto ensayados.

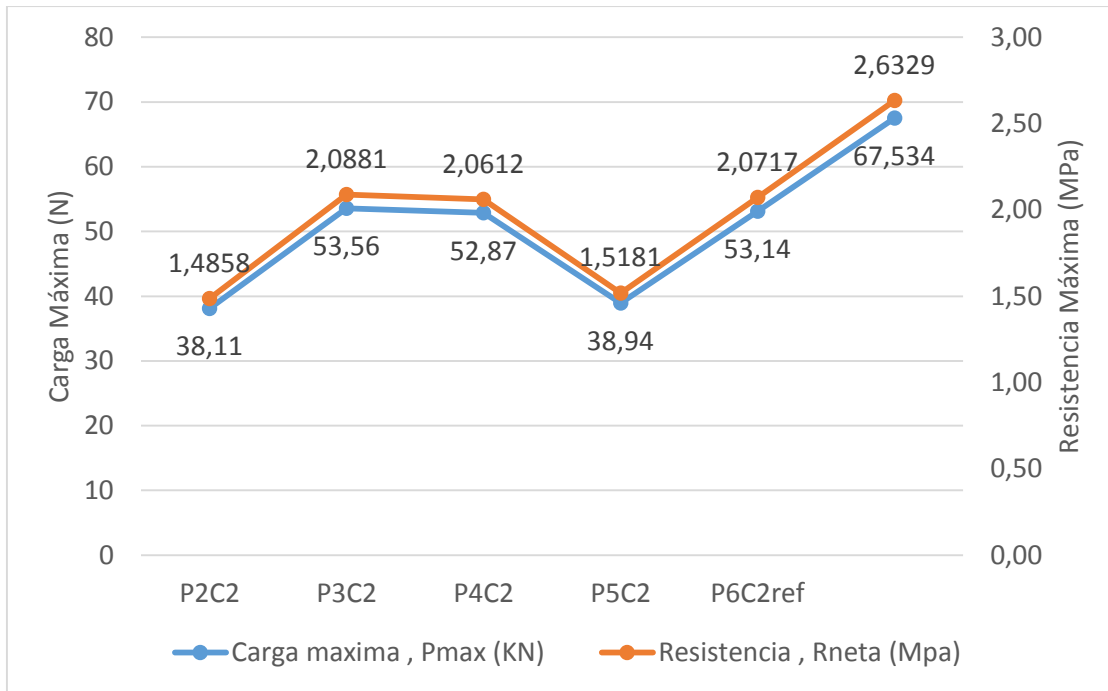


Figura 25. Grafica Carga vs Resistencia resultante del ensayo de compresión del bloque de concreto del sector El Tingo.

En la figura 25, se muestran las gráficas de las cinco probetas sometidas a compresión donde se puede observar que el espécimen P2C2 y P4C2 no alcanzan la resistencia deseada en comparación de las otras tres. Esto ocurre cuando el contenido de humedad está presente en algunas zonas del bloque probablemente por el lugar de almacenaje.

Tabla 23.

Resultados del ensayo de compresión para el bloque de concreto de El Tingo.

Compresión del bloque de concreto sector El Tingo					
Nº	Especimen	Área neta, An (mm ²)	Carga máxima, Pmax (N)	Resistencia, Rneta (MPa)	Resistencia, Rneta (kg/cm ²)
1	P1C2	25650	38110	1,8858	15,1507
2	P2C2	25650	53560	2,0881	21,2929

3	P3C2	25650	52870	2,0612	21,0186
4	P4C2	25650	38940	1,8181	15,4807
5	P5C2	25650	53140	2,0717	21,1259
6	P6C2ref	25650	67534	2,6329	26,8483
Media				2,12	21,65
Desviación estándar				0,114	1,197

La tabla 23, muestra el promedio de la resistencia neta a la compresión del bloque de concreto en el sector de El Tingo, que fue de 21,65 Kg/cm². El valor de la desviación estándar muestra que existe una dispersión máxima de 0,114 Kg/cm² respecto a al valor de los especímenes con mayor resistencia.

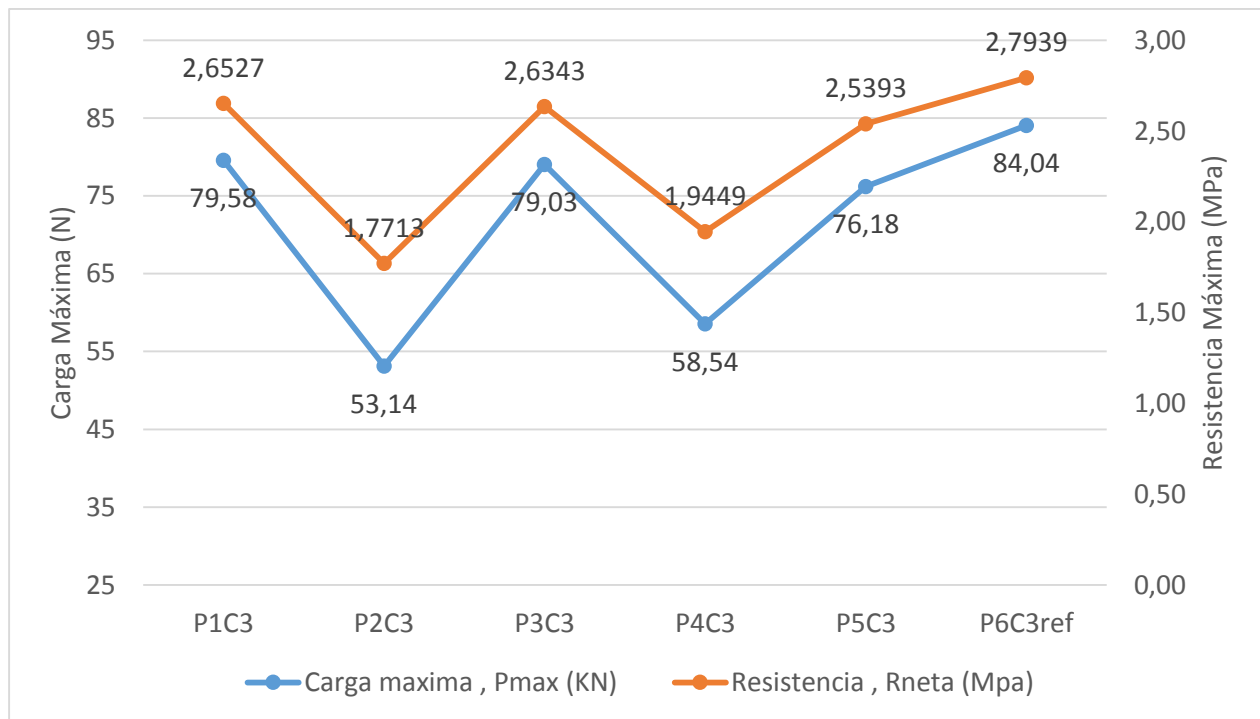


Figura 26. Grafica Carga vs Resistencia resultante del ensayo de compresión del bloque de concreto del sector Sangolqui.

En la figura 26, se puede observar que los especímenes P2C3 y P4C3 tienen menor resistencia, debido a la humedad que pueden presentar los bloques.

Tabla 24.

Resultados del ensayo de compresión para el bloque de concreto de Sangolqui.

Compresión del bloque de concreto sector Sangolqui					
N°	Espécimen	Área neta, An (mm ²)	Carga máxima, Pmax (N)	Resistencia, R _{neta} (Mpa)	Resistencia, R _{neta} (kg/cm ²)
1	P1C3	30000	79580	2,6527	27,0498
2	P2C3	30000	53140	1,7713	18,0626
3	P3C3	30000	79030	2,6343	26,8628
4	P4C3	30100	58540	1,9449	19,8320
5	P5C3	30000	76180	2,5393	25,8941
6	P6C3ref	30080	84040	2,7939	28,4898
		Media		2,37	24,21
		Desviación estándar		0,418	4,262

En la tabla 24, se muestra el promedio de la resistencia neta a la compresión del bloque de concreto en el sector de Sangolqui, que fue de 24,21 Kg/cm². El trabajo de (Hidalgo A., 2015) reporta un valor de 24,19 Kg/cm² para la resistencia a compresión en bloques huecos de hormigón, y considera que es un valor apropiado ya que supera los 2 MPa.

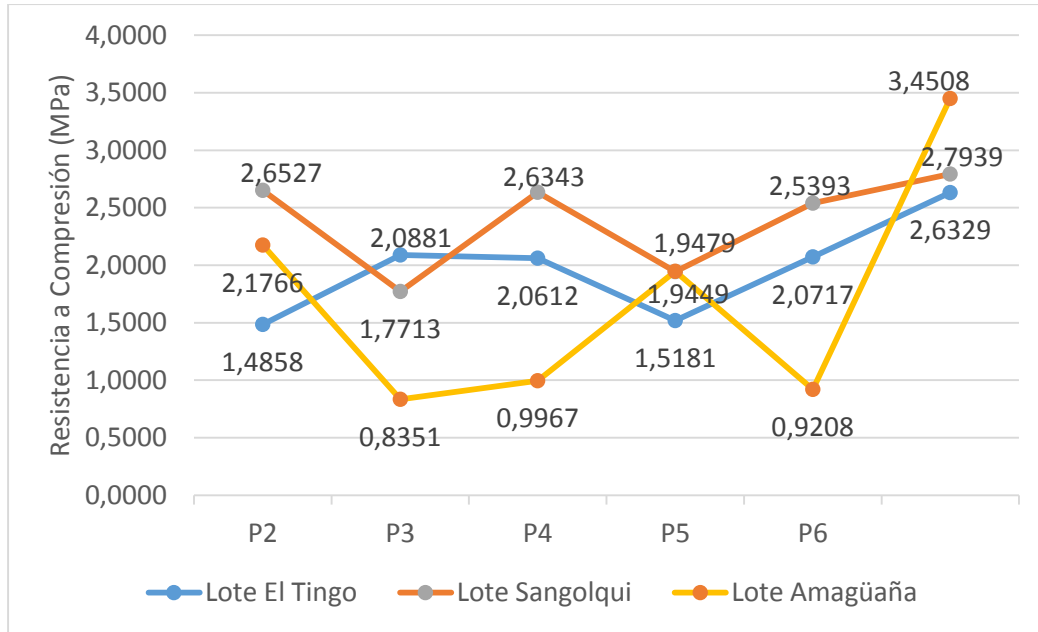


Figura 27. Grafica comparativa de resistencia a compresión en bloques de concreto de diferentes sectores.

La figura 27, muestra la diferencia de los resultados obtenidos, de la resistencia a la compresión para el bloque de concreto de los diferentes sectores. Se puede observar que los bloques del sector Amagüaña, tienen una diferencia notable en los valores.

Contenido de humedad del bloque de concreto

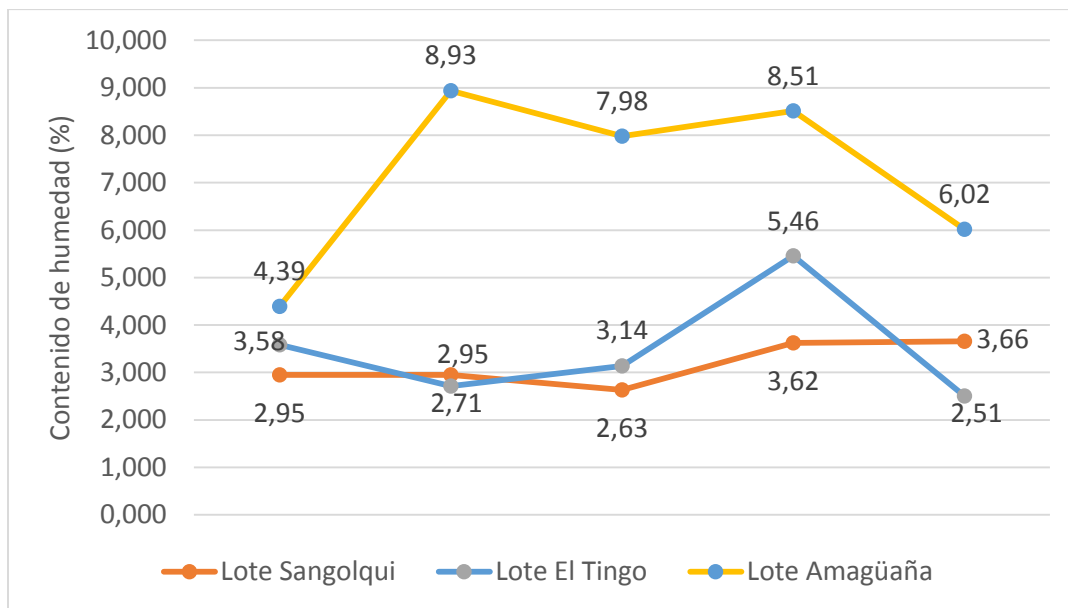


Figura 28. Graficas del contenido de humedad en bloques de concreto de diferentes sectores.

En la figura 28, se observa el contenido de humedad de cada probeta de bloque de concreto para los sectores de Sangolqui, El Tingo y Amagüaña. Las probetas del último sector mencionado muestran mayor CH debido a los agregados que poseen.

Tabla 25.

Resultados del ensayo de contenido de humedad para el bloque de concreto (Amagüaña).

Contenido de Humedad del bloque de concreto del sector Amagüaña					
Nº	Espécimen	Peso, Mr (g)	Peso, Md (g)	Peso, Ms (g)	CH %
1	P1BH1	4930	4902	5540	4,38871
2	P2BH1	4950	4898	5480	8,93471
3	P3BH1	4889	4835	5512	7,97637
4	P4BH1	5012	4964	5528	8,51064
5	P5BH1	4895	4855	5520	6,01504
Media					6,9324
Desviación estándar					1,9125

La tabla 25 muestra el promedio del contenido de humedad de bloques de concreto del sector de Amagüaña que es de 6.93%. De acuerdo con la norma (NTE INEN 639:2012) el valor no podrá superar el 15% para que cumpla con los requisitos.

Tabla 26.

Resultados del ensayo de contenido de humedad para el bloque de concreto (El Tingo).

Contenido de Humedad del bloque de concreto del sector El Tingo					
Nº	Espécimen	Peso, M1 (g)	Peso, M2 (g)	Peso, M3 (g)	CH %
1	P1BH2	3846	3812	4761	3,58272

2	P2BH2	3901	3876	4798	2,71150
3	P3BH2	3880	3851	4775	3,13853
4	P4BH2	3887	3835	4788	5,45645
5	P5BH2	3896	3873	4791	2,50545
Media					3,3419
Desviación estándar					1,1805

La tabla 26 muestra el promedio del contenido de humedad de bloques de concreto del sector de El Tingo que es de 3,34%. Se puede notar que la desviación estándar muestra una diferencia representativa respecto a la media. Esto se debe a que un espécimen tuvo más absorción debido a la compactación del material por una mezcla no homogénea.

Tabla 27.

Resultados del ensayo de contenido de humedad para el bloque de concreto (Sangolqui).

Contenido de Humedad del bloque de concreto del sector Sangolqui					
Nº	Espécimen	Peso, M1 (g)	Peso, M2 (g)	Peso, M3 (g)	CH %
1	P1BH3	4621	4593	5542	2,95047
2	P2BH3	4612	4584	5534	2,94737
3	P3BH3	4627	4602	5553	2,62881
4	P4BH3	4633	4598	5564	3,62319
5	P5BH3	4648	4613	5570	3,65726
Media					3,1352
Desviación estándar					0,4564

La tabla 27 muestra el valor promedio del contenido de humedad de bloques de concreto del sector de Sangolqui que es de 3,13%. Normalmente existe mayor porcentaje de humedad cuando la composición del bloque carece de fibras, ya que las mismas contribuyen en el compactado para evitar la humedad.

Compresión paralela a la fibra de la madera

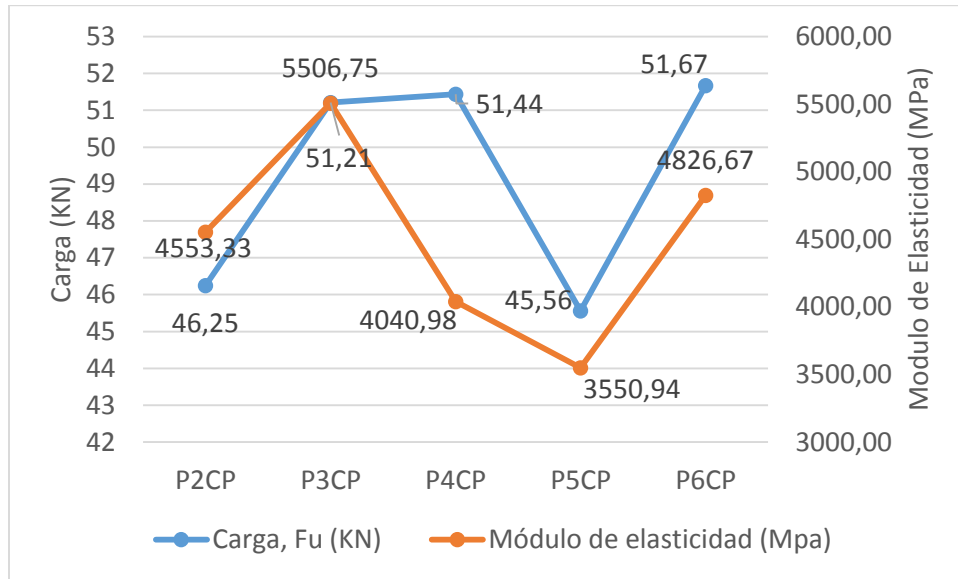


Figura 29. Grafica Carga vs Modulo de elasticidad del ensayo de compresión paralela para Guayacán.

La figura 29, muestra las cinco probetas de madera guayacán, sometidas a compresión con cargas que superan los 45 KN. Se puede ver que la probeta P2CP y P5CP tienen un esfuerzo último menor con una diferencia de 1,2835 MPa en base a la desviación estándar de la tabla a continuación.

Tabla 28.

Resultados del ensayo de compresión paralela del Guayacán.

Compresión Paralela a la fibra del Guayacán

N°	Espécimen	Área, A (mm ²)	Carga, Fu (N)	Esfuerzo último, (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)
1	P2CP	2673	46250	17,30	4553,33	176,44	46431,22
2	P3CP	2657	51210	19,27	5506,75	196,54	56153,41
3	P4CP	2652	51440	19,40	4040,98	197,79	41206,63
4	P5CP	2673	45560	17,04	3550,94	173,81	36209,66
5	P6CP	2611	51670	19,79	4826,67	201,80	49218,53
	Media			18,5252	4445,702	188,906	45333,714
	Desviación estándar			1,2844	747,399	13,097	7621,382

En los resultados de la tabla 28, se registra un promedio de 188,906 Kg/cm² para el esfuerzo último a la rotura por aplastamiento. Mientras que el promedio del módulo de elasticidad tiene un valor de 45333,714 Kg/cm².

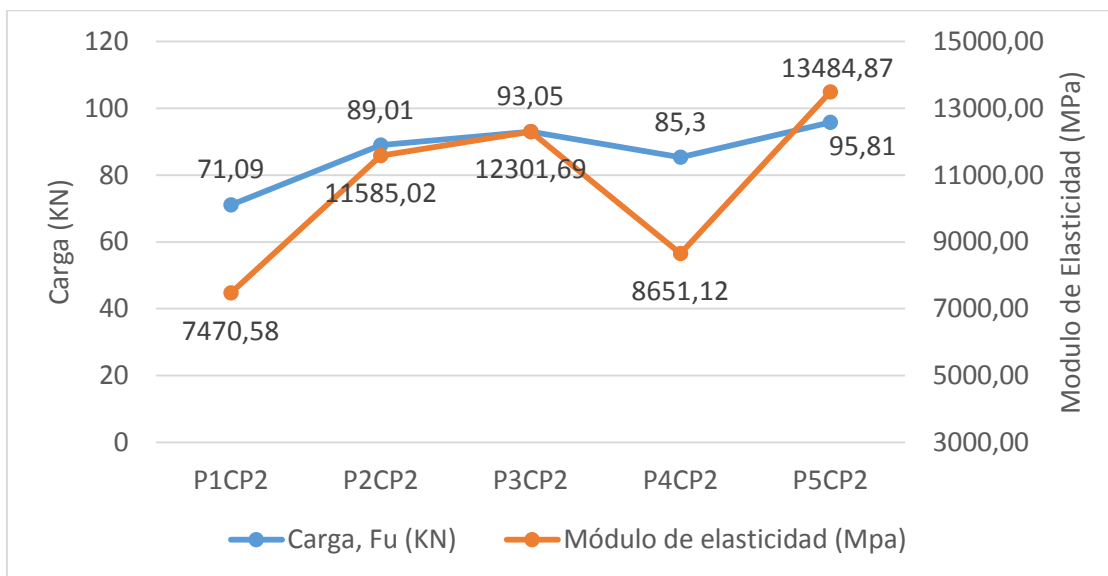


Figura 30. Grafica Carga vs Modulo de elasticidad del ensayo de compresión paralela para Eucalipto.

La figura 30, muestra las cinco probetas de madera eucalipto, sometidas a compresión paralela con cargas que van de los 70 KN hasta los 95 KN. Se observa que la probeta P1CP2 tiene un esfuerzo máximo inferior de 71.09 MPa, causado probablemente por alguna imperfección del material.

Tabla 29.

Resultados del ensayo de compresión paralela del Eucalipto.

Compresión Paralela a la fibra del Eucalipto							
Nº	Espécimen	Área, A (mm ²)	Carga, Fu (N)	Esfuerzo, σ (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Esfuerzo máximo kg/cm ²	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)
1	P1CP2	2440	71090	29,14	7470,58	297,10	76178,96
2	P2CP2	2401	89010	37,07	11585,02	378,03	118134,73
3	P3CP2	2440	93050	38,14	12301,69	388,87	125442,82
4	P4CP2	2465	85300	34,60	8651,12	352,87	88217,16
5	P5CP2	2450	95810	39,11	13484,87	398,77	137507,91
	Media			35,4188	10443,039	361,173	106489,756
	Desviación estándar			3,9897	3,98970	40,684	25863,158

En la tabla 29 se muestran los promedios del esfuerzo máximo y módulo de elasticidad con valores de 361.173 Kg/cm² y 106489,756 Kg/cm² respectivamente. Estos ensayos tienen mayor diferencia en los valores promedios basado en la desviación estándar.

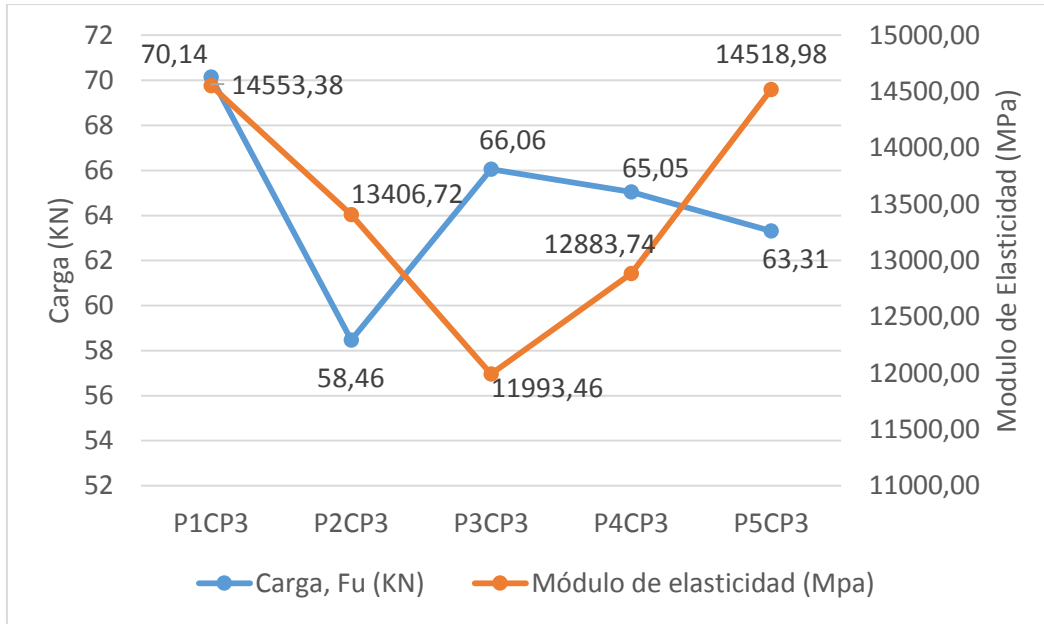


Figura 31. 24 Grafica Carga vs Modulo de elasticidad del ensayo de compresión paralela para la madera de manzano colorado.

La figura 31, muestra las cinco probetas de madera de colorado, sometidas a compresión paralela con cargas entre 55 KN y 75 KN. Se observa que la probeta P3CP3 falla antes que los otros especímenes, debido a la humedad interna que puede contener la madera.

Tabla 30.

Resultados del ensayo de compresión paralela del Colorado.

Compresión Paralela a la fibra del Colorado							
Nº	Espécimen	Área, A (mm ²)	Carga, Fu (N)	Esfuerzo último, (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)
1	P1CP3	2295	70140	30,56	14553,38	311,65	148403,69
2	P2CP3	2295	58460	25,47	13406,72	259,75	136711,00
3	P3CP3	2295	66060	28,78	11993,46	293,52	122299,75

4	P4CP3	2295	65050	28,34	12883,74	289,03	131378,07
5	P5CP3	2295	63310	27,59	14518,98	281,30	148052,91
	Media			28,1005	13435,127	286,546	137000,678
	Desviación estándar			1,8536	1095,664	18,902	11172,701

La tabla 30, muestra el promedio del esfuerzo máximo y módulo de elasticidad para los ensayos de compresión paralela en madera colorado, fue de 286,546 Kg/cm² y 137000,678 Kg/cm² respectivamente.

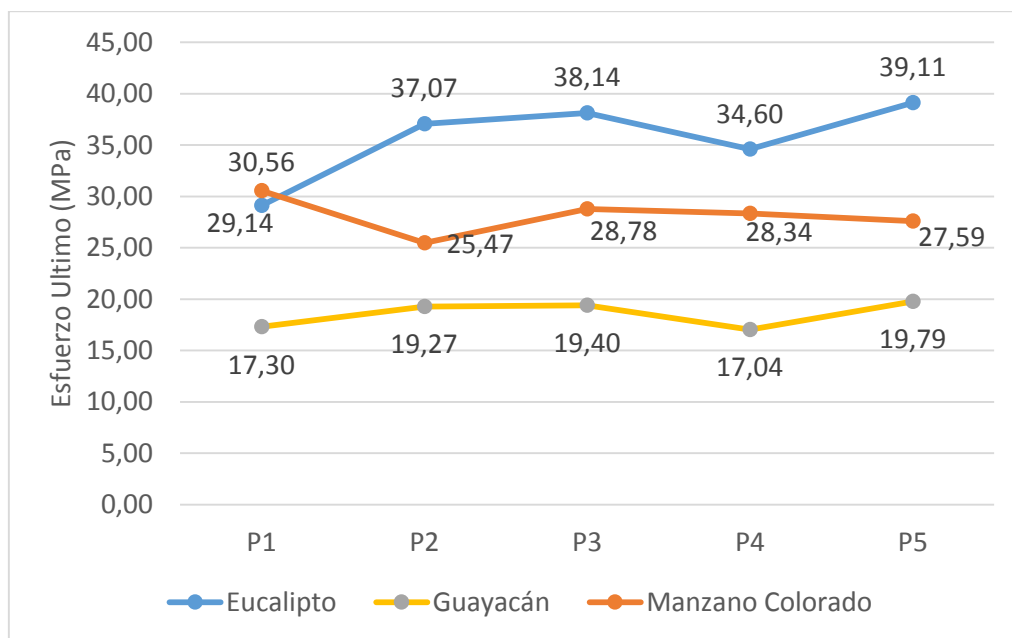


Figura 32. Grafica comparativa de resistencia a compresión paralela en madera de diferentes especies.

La figura 32, muestra la diferencia de los resultados obtenidos, de la resistencia a compresión paralela, para las diferentes especies de madera dura. Se observa que la madera Eucalypto posee mejor resistencia que las otras especies.

Compresión perpendicular a la fibra de la madera

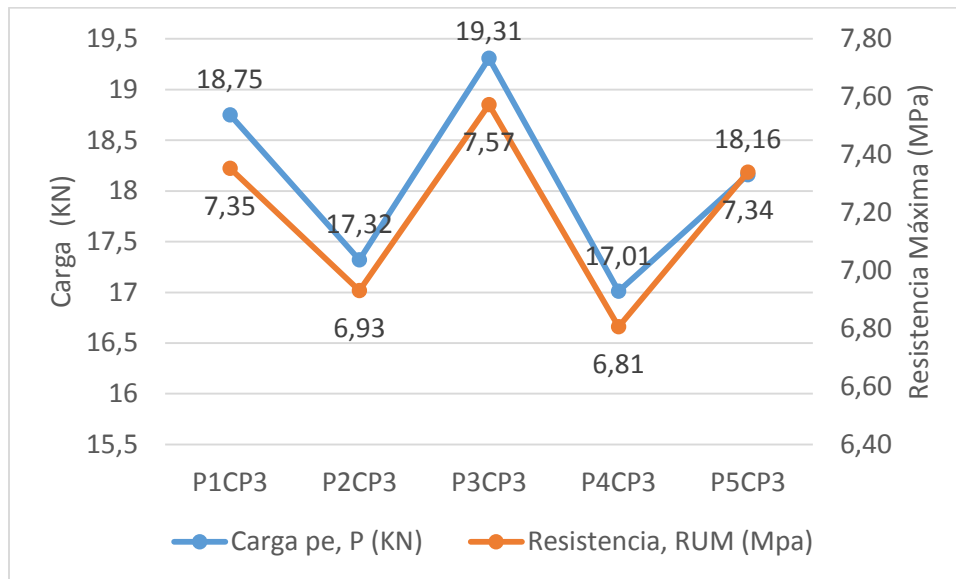


Figura 33. Grafica Carga vs Resistencia del ensayo de compresión perpendicular para el Guayacán.

La figura 33, muestra las cinco probetas de madera guayacán, sometidas a compresión perpendicular por aplastamiento con cargas de 4.1 KN a 4.8 KN. Se puede observar que el promedio de la resistencia al límite proporcional en todas las probetas no varía mucho en base a la desviación estándar en la tabla a continuación.

Tabla 31.

Resultados del ensayo de compresión perpendicular del Guayacán.

Compresión Perpendicular a la fibra del Guayacán								
N°	Esp.	Área A (mm ²)	Carga lp P (N)	Carga pe. P (N)	Resistencia RLP (Mpa)	Resistencia	Resistencia	Resistencia
						RUM (Mpa)	RLP (kg/cm ²)	RUM (kg/cm ²)
1	P1CPP1	2550	11540	18750	4,53	7,35	46,15	74,98
2	P2CPP1	2499	10940	17320	4,38	6,93	44,64	70,67
3	P3CPP1	2550	11810	19310	4,63	7,57	47,23	77,22

4	P4CPP1	2499	10440	17010	4,18	6,81	42,60	69,41
5	P5CPP1	2474	11880	18160	4,80	7,34	48,97	74,85
	Media				4,4978	7,195	45,864	73,368
	Desviación estándar				0,2387	0,320	2,434	3,261

En los resultados de la tabla 31, se registra un promedio de 73,368 Kg/cm² para la resistencia última máxima por aplastamiento. La desviación estándar de 0,24 MPa indica que la variación es baja, lo que demuestra que todas las probetas tienen las dimensiones correctas en base a la norma (ASTM D143, 2016).

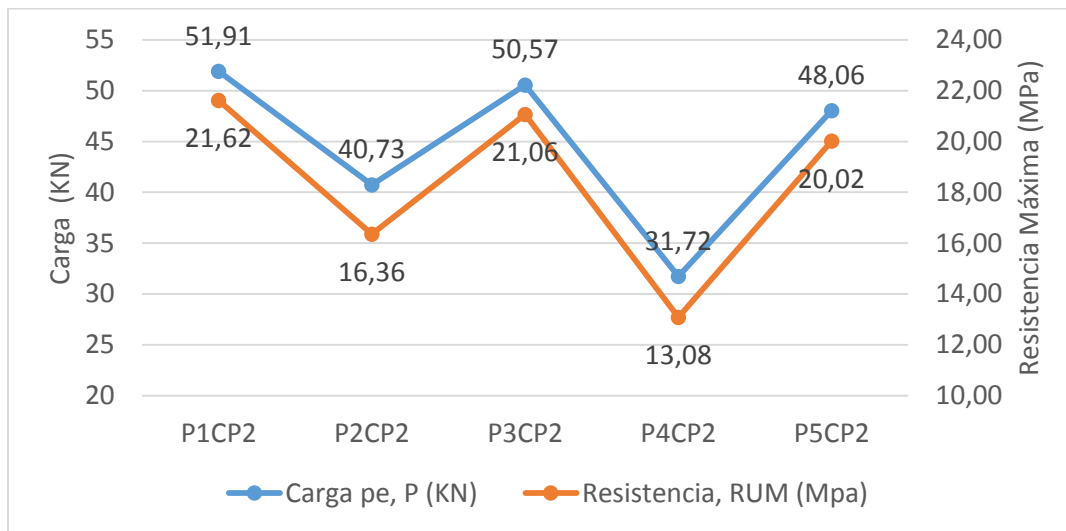


Figura 34. Grafica Carga vs Resistencia del ensayo de compresión perpendicular para el Eucalipto.

La figura 34 muestra las cinco probetas de madera eucalipto, sometidas a compresión perpendicular por aplastamiento comprendidas entre 30 Mpa y 52 MPa de la carga necesaria hasta la penetración.

Tabla 32.

Resultados del ensayo de compresión perpendicular del Eucalipto.

N°	Esp.	Área A (mm ²)	Carga lp P (N)	Carga pe. P (N)	Resistencia RLP (Mpa)	Resistencia	Resistencia	Resistencia
						RUM (Mpa)	RLP (kg/cm ²)	RUM (kg/cm ²)
1	P1CPP2	2401	31310	51910	13,04	21,62	132,98	220,47
2	P2CPP2	2490	29420	40730	11,82	16,36	120,48	166,80
3	P3CPP2	2401	30850	50570	12,85	21,06	131,02	214,77
4	P4CPP2	2426	20460	31720	8,43	13,08	86,00	133,33
5	P5CPP2	2401	29050	48060	12,10	20,02	123,38	204,11
Media					11,5099	18,113	117,369	184,698
Desviación estándar					1,8671	3,626	19,039	36,976

Los resultados de la tabla 32, muestran un promedio de 184,698 Kg/cm² para la resistencia última máxima por aplastamiento y de 117,369 Kg/cm² para la resistencia al límite proporcional. La desviación estándar indica una variación de 1,87 MPa que se debe a la humedad que contienen las probetas.

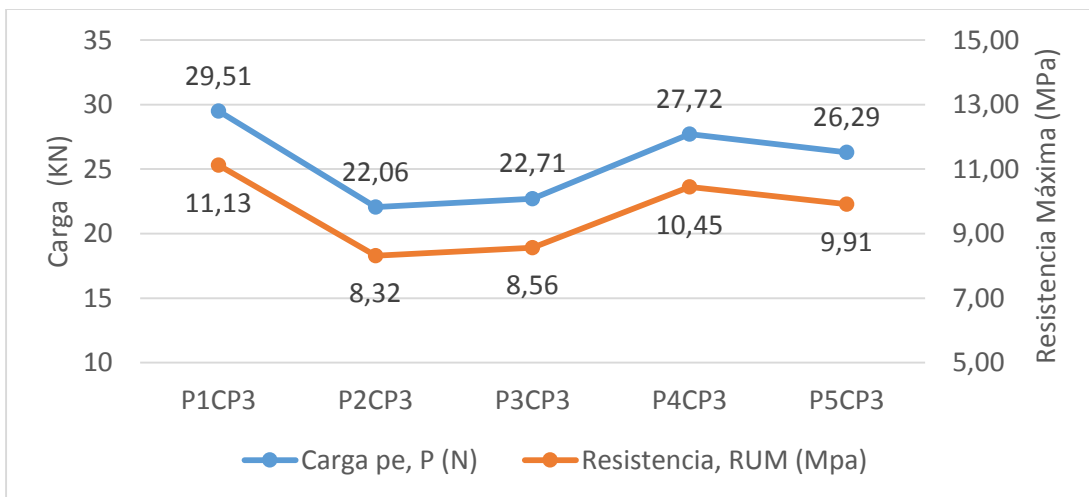


Figura 35. Grafica Carga vs Desplazamiento resultante del ensayo de compresión perpendicular para el manzano Colorado.

En la figura 35, se muestra las cinco probetas de madera de colorado, sometidas a compresión perpendicular por aplastamiento con cargas al límite proporcional entre 16 KN y 18 KN. Se puede observar que las probetas P2CPP3 y P3CPP3 tienen una carga menor y en la gráfica se las distingue claramente.

Tabla 33.

Resultados del ensayo de compresión perpendicular del Colorado.

Compresión Perpendicular a la fibra del Colorado								
N°	Esp.	Área A (mm ²)	Carga lp P (N)	Carga pe. P (N)	Resistencia RLP (Mpa)	Resistencia	Resistencia	Resistencia
						RUM (Mpa)	RLP (kg/cm ²)	RUM (kg/cm ²)
1	P1CPP3	2652	18150	29510	6,84	11,13	69,79	113,47
2	P2CPP3	2652	13840	22060	5,22	8,32	53,22	84,82
3	P3CPP3	2652	13880	22710	5,23	8,56	53,37	87,32
4	P4CPP3	2652	16920	27720	6,38	10,45	65,06	106,59
5	P5CPP3	2652	15780	26290	5,95	9,91	60,68	101,09
Media					5,8913	9,614	60,074	98,035
Desviación estándar					0,7122	1,209	7,262	12,329

En los resultados de la tabla 33, se muestran los promedios para la resistencia última máxima que es de 98,035 Kg/cm² aplastamiento y de 60,074 Kg/cm² para la resistencia al límite proporcional. La desviación estándar indica una variación de 0,712 MPa que se debe a las dos probetas con baja resistencia a la carga.

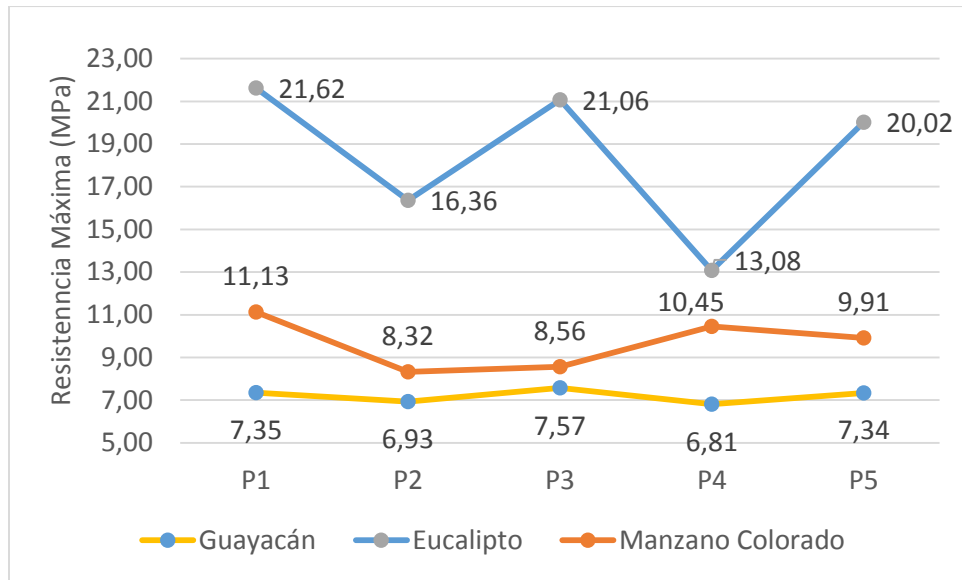


Figura 36. Grafica comparativa de resistencia a compresión perpendicular en madera de diferentes especies.

La figura 36, muestra la diferencia de los resultados obtenidos, de la resistencia a compresión perpendicular, para las diferentes especies de madera dura. Se observa que la madera Eucalipto posee mejor resistencia, siendo tres veces más resistente que la madera de Guayacán y el doble que la madera Manzano Colorado.

Flexión estática de la madera

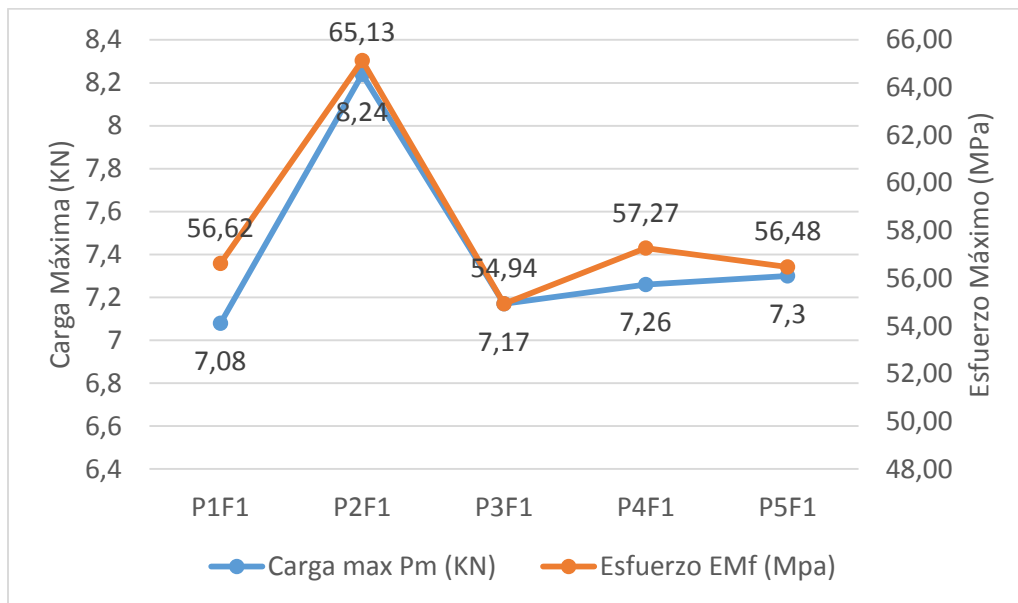


Figura 37. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de flexión para Guayacán.

La figura 37 muestra las gráficas de cinco probetas de madera guayacán, ensayadas a flexión. Se observa que la probeta P2F1 tiene una mayor resistencia en base al valor de la carga de 8,24 KN.

Tabla 34.

Resultados del ensayo de flexión del Guayacán.

Flexión estática a la madera de guayacán							
Nº	apoyos L (mm)	Carga máx. Pm (N)	Carga P2 (N)	Esfuerzo ELPf (Mpa)	Esfuerzo EMf (Mpa)	Módulo del esfuerzo MOEf (Mpa)	Módulo de elasticidad E (Mpa)
P1F1	710	7080	4540	36,31	56,62	2781,97	329,30
P2F1	710	8240	4960	39,20	65,13	2879,19	369,51
P3F1	710	7170	4450	34,10	54,94	2536,88	328,90
P4F1	710	7260	4380	34,55	57,27	2486,78	318,42
P5F1	710	7300	4560	35,28	56,48	2601,06	331,82
		Media		35,84	57,98	2653,03	335,15
		Desviación Estándar		2,03	4,03	166,97	19,64

En los resultados de la tabla 34, se muestran los promedios para el esfuerzo unitario al límite proporcional (ELPf) de 35,84 MPa y con un módulo de elasticidad de 335,15 MPa. La desviación estándar indica una variación de 2,03 MPa que se debe a la diferencia de carga que soporto la probeta P2F1.

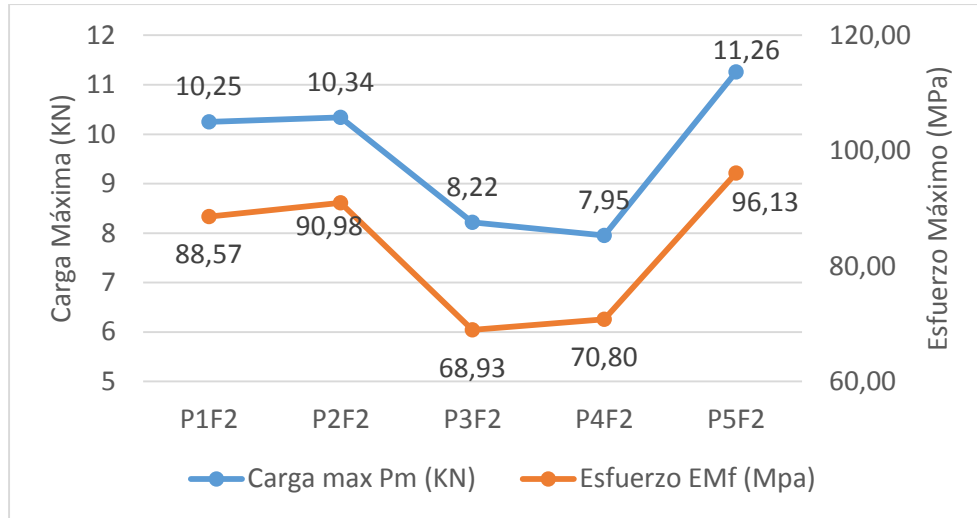


Figura 38. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de flexión para Eucalipto.

En la figura 38, se observa las gráficas de cinco probetas de madera eucalipto, ensayadas a flexión. El valor de la carga máxima pertenece a la probeta P5F2, mientras que se obtienen valores bajos en las probetas P3F2 y P4F2.

Tabla 35.

Resultados del ensayo de flexión del Eucalipto.

Flexión estática a la madera de Eucalipto							
N°	apoyos L (mm)	Carga máx. Pm (N)	Carga P2 (N)	Esfuerzo ELPf (Mpa)	Esfuerzo EMf (Mpa)	Módulo del esfuerzo MOEf (Mpa)	Módulo de elasticidad E (Mpa)
P1F2	710	10250	6340	54,78	88,57	4803,93	533,85
P2F2	710	10340	6290	55,34	90,98	6372,85	698,65
P3F2	710	8220	5010	42,01	68,93	3778,14	444,32
P4F2	710	7950	4960	44,17	70,80	7395,62	779,41
P5F2	710	11260	6760	57,71	96,13	5841,75	678,31
		Media		50,39	82,32	5492,18	614,49

Desviación Estándar	7,17	12,39	1398,71	135,13
---------------------	------	-------	---------	--------

En los resultados de la tabla 35, se muestran los promedios para el esfuerzo unitario al límite proporcional (ELPf) de 50,39 MPa y con un módulo de elasticidad de 614,49 MPa. La desviación estándar indica una variación de 7,17 MPa, debido a la diferencia de la carga en las probetas P3F2 y P4F2.

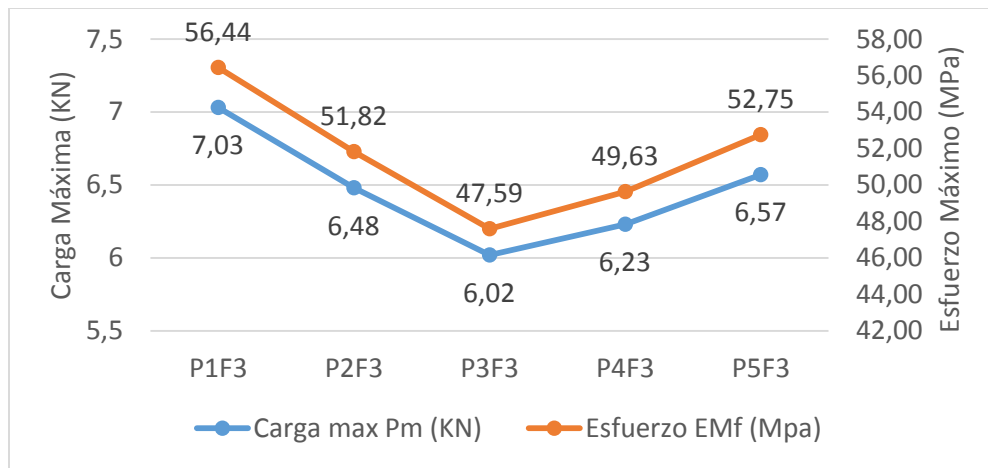


Figura 39. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de flexión para Colorado.

En la figura 39, se observa las gráficas de cinco probetas de madera colorado, ensayadas a flexión. Se observa que la probeta P1F3 tiene un mayor esfuerzo tanto para el unitario máximo (EMf) como para el unitario al límite proporcional (ELPf) de 56,44 MPa y 38,22 MPa respectivamente.

Tabla 36.

Resultados del ensayo de flexión del Colorado.

Flexión estática a la madera de Colorado							
N°	apoyos L (mm)	Carga máx. Pm (N)	Carga P2 (N)	Esfuerzo ELPf (Mpa)	Esfuerzo EMf (Mpa)	Módulo del	Módulo de
						esfuerzo MOEf (Mpa)	elasticidad E (Mpa)

P1F3	710	7030	4760	38,22	56,44	2861,66	319,55
P2F3	710	6480	3990	31,91	51,82	3110,43	383,43
P3F3	710	6020	3670	29,01	47,59	3103,27	390,91
P4F3	710	6230	3830	30,51	49,63	2077,38	258,51
P5F3	710	6570	3990	32,03	52,75	2852,56	355,14
		Media		32,19	51,56	2772,06	337,78
		Desviación Estándar		3,51	3,35	423,40	54,21

En los resultados de la tabla 36, se muestran los promedios para el esfuerzo unitario al límite proporcional (ELPf) de 32,19 MPa y con un módulo de elasticidad de 337,78 MPa. La desviación estándar indica una variación de 3,51 MPa, debido a que el esfuerzo unitario al límite proporcional de la probeta P1F3 es mayor. Mientras que la desviación estándar para el módulo de elasticidad es de 54,21 MPa, debido a la probeta P4F3 con menor valor.

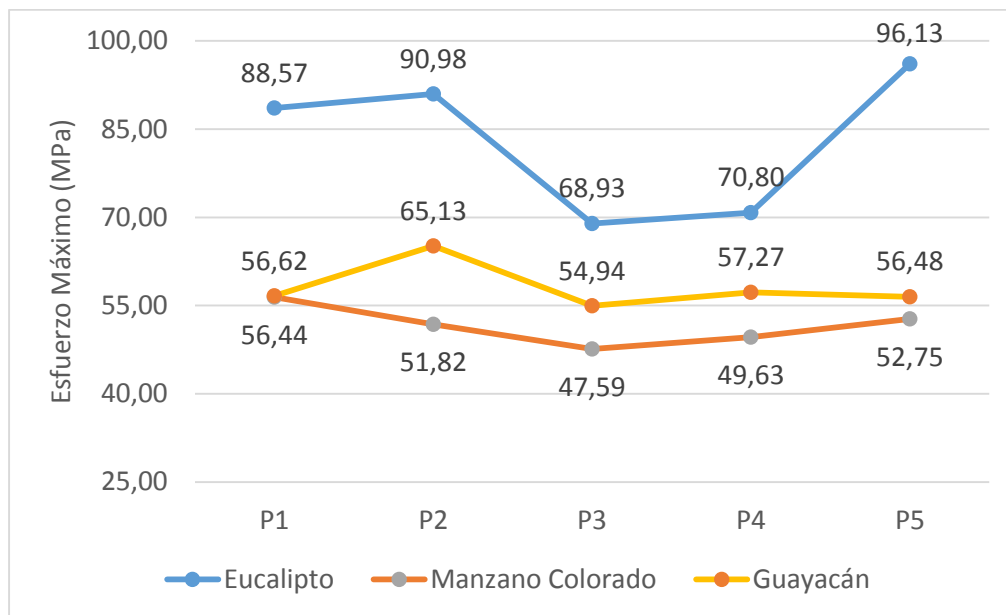


Figura 40. Grafica comparativa de resistencia a flexión en madera de diferentes especies.

La figura 40, muestra la diferencia de los resultados obtenidos, de la resistencia a flexión, para las diferentes especies de madera dura. Se observa que la madera Guayacán y Manzano Colorado tienen un espécimen con valores aproximados. Mientras el Eucalipto supera el esfuerzo de las otras especies de madera.

Tracción paralela a la fibra de la madera

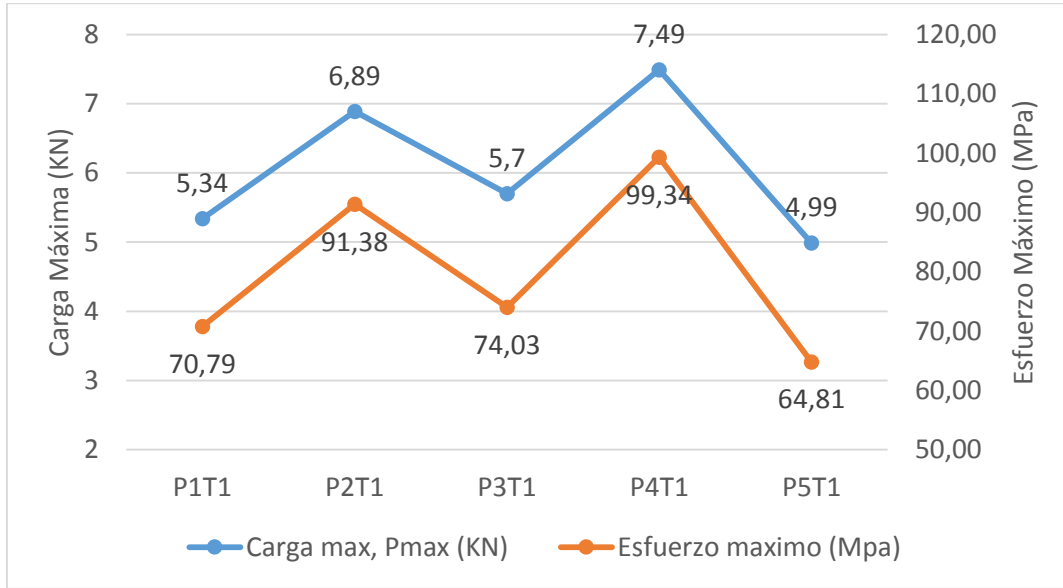


Figura 41. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción para Guayacán.

La figura 41, muestra las gráficas de cinco probetas de madera guayacán, ensayadas a tracción. Se puede ver la variación de la carga que hay entre los especímenes, debido a las dimensiones que no son exactas para este tipo de ensayos.

Tabla 37.

Resultados del ensayo de tracción del Guayacán.

Tracción paralela a la madera de Guayacán							
Nº	Área, A (mm ²)	Carga en Carga máx. Pmax (N)	Carga en LimProp (N)	Esfuerzo de deformación (Mpa)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Esfuerzo LimProp (Mpa)	Módulo de elasticidad E (Mpa)

P1T1	75,43	5340	3640	44	70,79	48,26	11950,03
P2T1	75,4	6890	4380	54	91,38	58,09	19636,36
P3T1	77	5700	3590	42	74,03	46,62	13548,39
P4T1	75,4	7490	4820	59	99,34	63,93	17352,94
P5T1	77	4990	3070	35	64,81	39,87	15555,56
					Media		
						79,03	50,64
					Desviación estándar	14,62	9,58
							3037,19

En los resultados de la tabla 37, se muestran los promedios para el esfuerzo máximo que es de 79,03 MPa y para el módulo de elasticidad de 15371,46 MPa. La desviación estándar indica una variación de 14,62 MPa debido a la variación de cargas producto de la humedad que reduce la resistencia de las probetas.

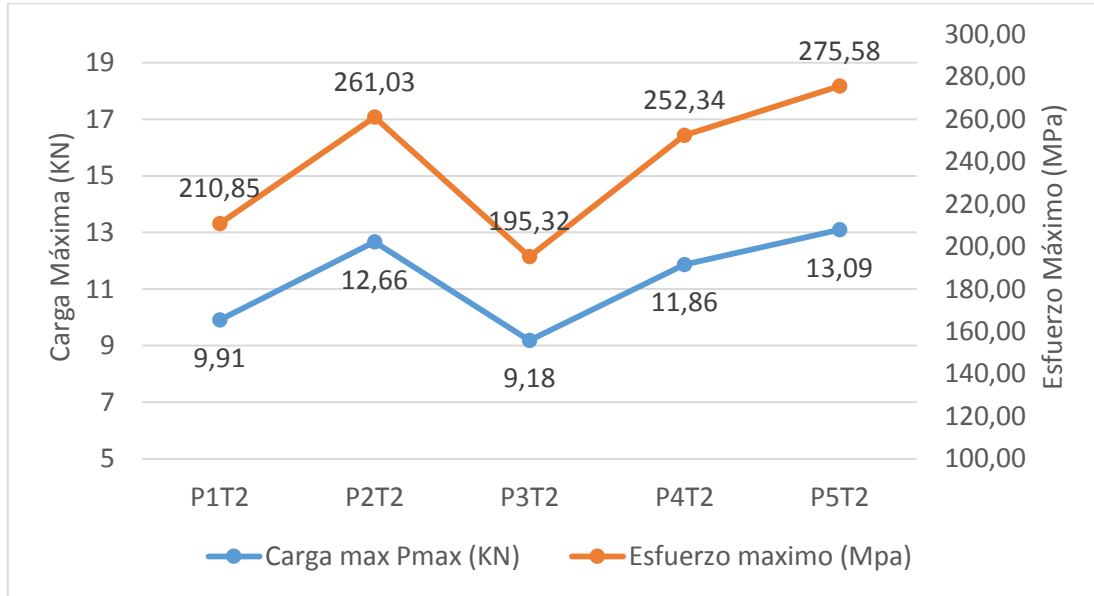


Figura 42. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción para Eucalipto.

La figura 42, muestra las gráficas de cinco probetas de madera eucalipto, ensayadas a tracción. Se observa que las probetas P1T2 y P3T2 tienen una menor resistencia con valores de

carga máxima menores a 10 KN. Esto produce una variación en los promedios en base a la desviación estándar que marca un valor de 34,28 MPa, mostrado a continuación en la tabla.

Tabla 38.

Resultados del ensayo de tracción del Eucalipto.

Tracción paralela a la madera de Eucalipto							
N°	Área, A (mm ²)	Carga máx. Pmax (N)	Carga en LimProp (N)	Esfuerzo deformación (Mpa)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Esfuerzo LimProp (Mpa)	Módulo de elasticidad E (Mpa)
P1T2	47	9910	6220	118	210,85	132,34	29500,00
P2T2	48,5	12660	8360	167	261,03	172,37	29043,48
P3T2	47	9180	6800	121	195,32	144,68	50416,67
P4T2	47	11860	7260	149	252,34	154,47	27090,91
P5T2	47,5	13090	8320	170	275,58	175,16	30357,14
			Media		236,99	154,94	32367,25
			Desviación estándar		34,28	18,20	9653,36

En los resultados de la tabla 38, se muestran los promedios para el esfuerzo máximo que es de 236,99 MPa, para el esfuerzo al límite proporcional de 154,94 MPa y para el módulo de elasticidad de 32367,25 MPa. La diferencia en los valores se debe en ocasiones a la colocación de la galga que mide la deformación en las probetas hasta que se produce la rotura.

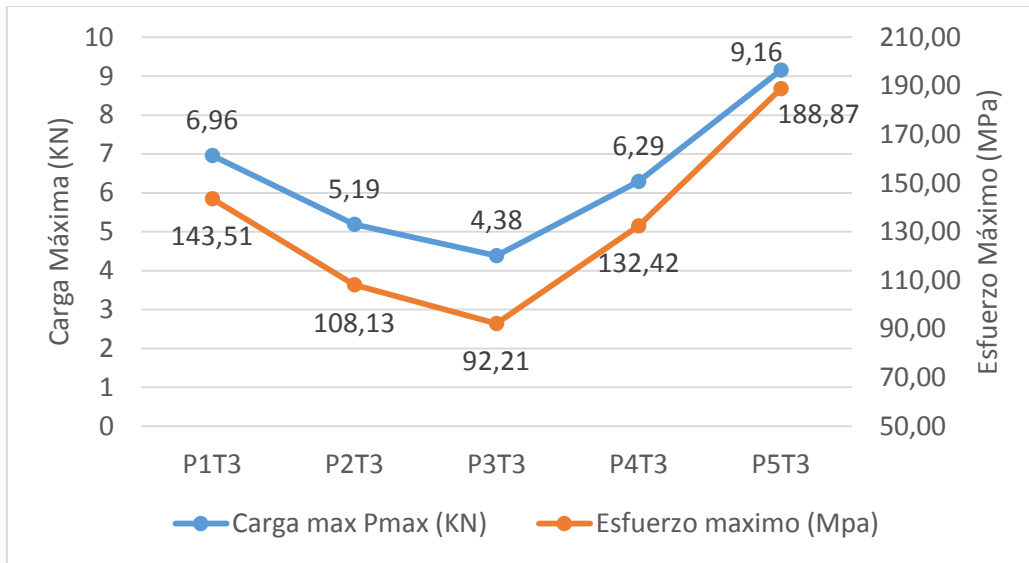


Figura 43. Grafica Carga vs Esfuerzo resultante del ensayo de tracción para Colorado.

La figura 43, muestra las gráficas de cinco probetas de madera de colorado, ensayadas a tracción. Se observa que la probeta P3T3 soporta una carga máxima de 4,38 KN que es inferior al resto de probetas. Mientras que la probeta P5T3 alcanza una carga máxima de 9,16 KN.

Tabla 39.

Resultados del ensayo de tracción del Colorado.

Tracción paralela a la madera de Colorado								
N°	Área, A (mm ²)	Carga máx. Pmax (N)	Carga en		Esfuerzo de deformación (Mpa)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Esfuerzo LimProp (Mpa)	Módulo de elasticidad E (Mpa)
			LimProp (N)					
P1T3	48,5	6960	5100		101	143,51	105,15	38846,15
P2T3	48	5190	3130		61	108,13	65,21	24302,79
P3T3	47,5	4380	3350		66	92,21	70,53	37714,29
P4T3	47,5	6290	5420		110	132,42	114,11	45454,55

P5T3	48,5	9160	5510	109	188,87	113,61	31142,86
		Media			129,04	91,08	34712,76
		Desviación estándar			37,13	23,94	8055,35

En los resultados de la tabla 39, se muestran los promedios para el esfuerzo máximo que es de 129,04 MPa, para el esfuerzo al límite proporcional de 91,08 MPa y para el módulo de elasticidad de 34712,76 MPa. La desviación estándar muestra un valor de 37,13 MPa que se genera por la diferencia de esfuerzos que soportan los especímenes.

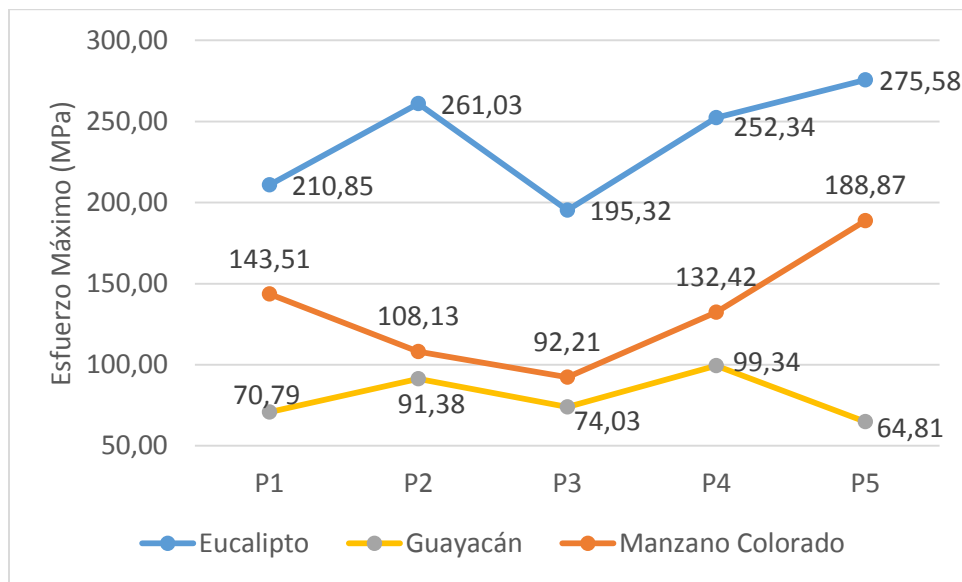


Figura 44. Grafica comparativa de resistencia a Tracción paralela en madera de diferentes especies.

La figura 44, muestra la diferencia de los resultados obtenidos, de la resistencia a Tracción, para las diferentes especies de madera dura. Se observan algunos valores aproximados entre las maderas de Guayacán y Manzano. Sin embargo el Eucalipto tiene dos veces mayor resistencia al esfuerzo.

Contenido de humedad de la madera

Tabla 40.

Resultados del peso de la madera anhidra del Eucalipto.

Ensayos	Peso de la madera en estado inicial (Ph) para los ensayos respectivos del eucalipto (g)					Peso de la madera en estado anhidro (Ps) para los ensayos respectivos del eucalipto (g)				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
Compresión paralela	50,3	50,2	50,2	56,9	50	43,9	43,5	43,3	49,5	43,1
Compresión perpendicular	47,6	54,2	47,1	48,3	46,4	41,7	47,1	41,1	42,5	40,6
Flexión	52,4	53,9	51,8	53,4	53,8	46,1	46	44,7	46,4	46,6
Tracción	9,7	9	13,9	7,6	7,7	8,8	8,2	12,6	7	6,9

La tabla 40 muestra el peso de las probetas en estado húmedo inicial y en estado anhidro (peso final), para la madera eucalipto, extraídas de los especímenes de cada ensayo realizado.

Tabla 41.

Resultados del ensayo de contenido de humedad del Eucalipto.

Ensayos	Contenido de humedad del eucalipto CH (%)					Media	Desviación estándar
	P1	P2	P3	P4	P5		
Compresión paralela	14,58	15,4	15,94	14,95	16,01	15,365	0,6189
Compresión perpendicular	14,15	15,07	14,6	13,65	14,29	14,343	0,5304
Flexión	13,67	17,17	15,88	15,09	15,45	15,4098	1,2723
Tracción	10,23	9,76	10,32	8,57	11,59	10,0457	1,0898

Compresión paralela	42,1	43,3	42,5	42,1	41,6	36,2	35,8	35,3	36	36,3
Compresión perpendicular	41,4	40,6	39,9	40,6	41,1	35,3	34,6	34,1	35,2	35,9
Flexión	46,8	42,4	39,7	42,6	41,3	33,2	34,5	31,5	34,6	33,7
Tracción	12,4	4,6	7	11,6	6,9	11,7	4,4	6,3	10,6	6,2

La tabla 42 muestra el peso de las probetas en estado húmedo inicial y en estado anhidro (peso final), para la madera de colorado, extraídas de los especímenes de cada ensayo realizado. El peso de las probetas ensayadas a tracción puede variar, debido a la irregularidad de los especímenes de donde se extraen las muestras.

Tabla 43.

Resultados del ensayo de contenido de humedad del Colorado.

Contenido de humedad del colorado							
Ensayos	CH (%)					Media	Desviación estándar
	P1	P2	P3	P4	P5		
Compresión paralela	16,30	20,95	20,40	16,94	14,60	17,6708	2,7331
Compresión perpendicular	17,28	17,34	17,01	15,34	14,48	16,2485	1,3002
Flexión	40,96	22,90	26,03	23,12	22,55	26,3622	7,8663

Tracción

5,98 4,55 11,11 9,43 11,29 7,9713 3,0597

La tabla 43, muestra el promedio del contenido de humedad de las probetas de madera colorado para todos los ensayos realizados. Se puede observar una diferencia significativa en el contenido de humedad de la madera a tracción, debido al lugar de extracción de las probetas que varían su peso dependiendo del tamaño de la muestra.

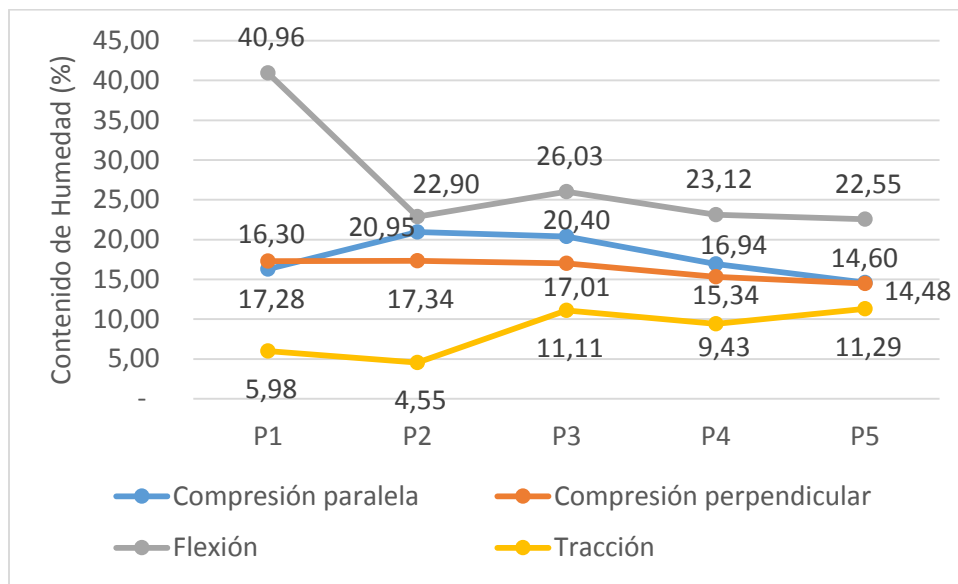


Figura 46. Grafica comparativa del contenido de humedad en los ensayos de madera Manzano Colorado.

La figura 46, muestra la diferencia de los resultados obtenidos, del contenido de humedad, para la especie de madera Manzano Colorado, para cada ensayo realizado. Un espécimen del ensayo a flexión presenta un alto CH, debido a la ubicación de donde se extrajo la probeta.

Tabla 44.

Resultados del peso de la madera anhidra de Guayacán.

Ensayos	Peso de la madera en estado inicial (Ph) para los ensayos respectivos del Guayacán (g)					Peso de la madera en estado anhidro (Ps) para los ensayos respectivos del Guayacán (g)				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
	Compresión paralela	30,9	32,5	29,3	29,4	28	28	29,3	26,4	26,6
Compresión perpendicular	27,6	27,2	27,2	25	24,8	25	24,7	24,7	22,8	22,7
Flexión	33,2	38,6	36,2	34,8	37,6	30	35	33	31,7	34,4
Tracción	4,8	6,5	5,3	5,6	4,2	4,1	6,2	4,8	5,3	4,1

La tabla 44 muestra el peso de las probetas en estado húmedo inicial y en estado anhidro (peso final), para la madera guayacán, extraídas de los especímenes de cada ensayo realizado. Se puede observar una reducción de peso en un rango de 1 a 3 gramos.

Tabla 45.

Resultados del ensayo de contenido de humedad del Guayacán.

Ensayos	Contenido de humedad del guayacán					Media	Desviación estándar
	CH (%)						
	P1	P2	P3	P4	P5		
Compresión paralela	10,36	10,92	10,98	10,53	8,95	10,3199	0,8250
Compresión perpendicular	10,40	10,12	10,12	9,65	9,25	9,9001	0,4560

Flexión	10,67	10,29	9,70	9,78	9,30	9,9348	0,5336
Tracción	17,07	4,84	10,42	5,66	2,44	6,5308	5,7991

La tabla 45, muestra el promedio del contenido de humedad de las probetas de madera guayacán para todos los ensayos realizados. Se observa que la probeta P5 del ensayo a tracción no tuvo una reducción significativa en el contenido de humedad, mientras que la probeta P1 del ensayo a tracción tiene mayor contenido de humedad con 17,07 %.

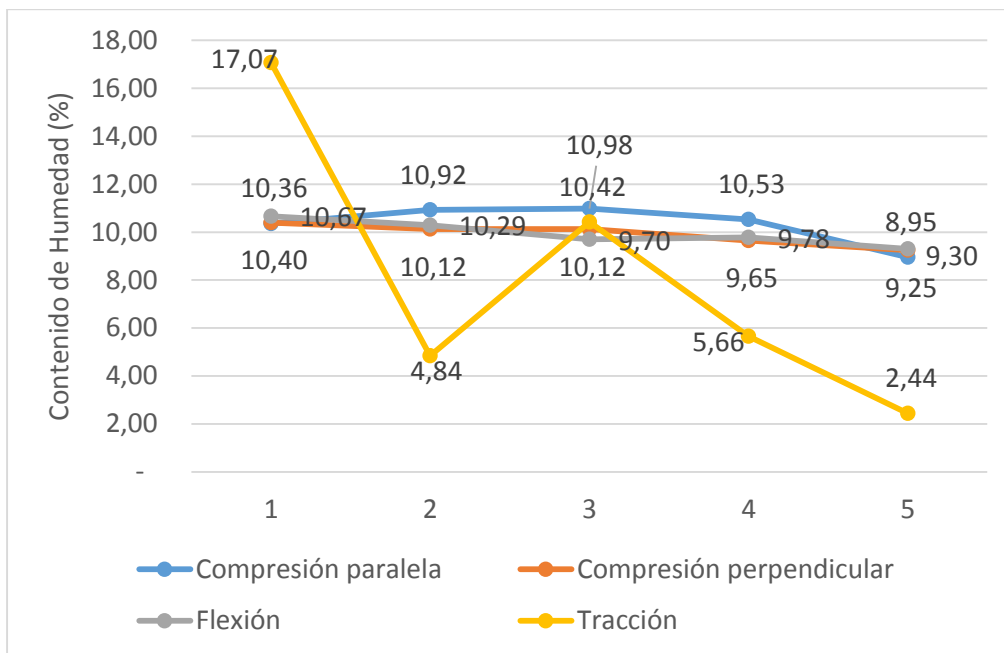


Figura 47. Grafica comparativa del contenido de humedad en los ensayos de madera Guayacán.

La figura 47, muestra la diferencia de los resultados obtenidos, del contenido de humedad, para la especie de madera Guayacán, para cada ensayo realizado. Los especímenes del ensayo a tracción presentan una variación notable del CH, debido a la diferencia de peso entre las probetas.

Conductividad térmica del Adobe.

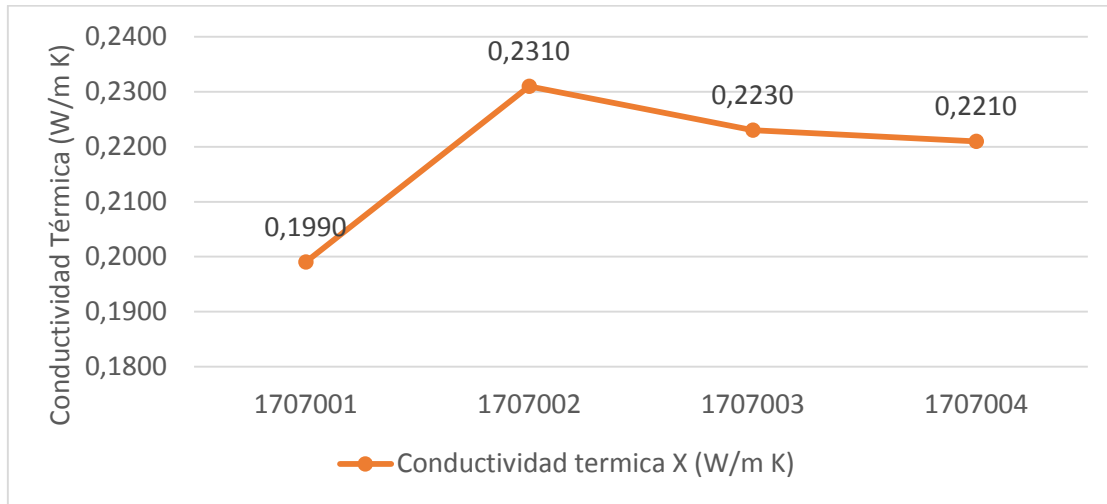


Figura 48. Grafica comparativa de la conductividad térmica en Adobe.

La figura 48, muestra la conductividad térmica de cada probeta de Adobe ensayada. La probeta 1707001 presenta mejores resultados, ya que mientras el valor sea más pequeño, mejor será su C.T.

Tabla 46.

Resultados del ensayo de conductividad térmica para el adobe.

Conductividad térmica del adobe						
Código	Área, A (m ²)	Coef de Conduct. Térmica k (W/m K)	Diferencia temp., ΔT (K)	Flujo de calor, q (W)	Conductividad térmica λ (W/m K)	Resistencia térmica R (m ² K/W)
1707001	0,0234	0,25	278,15	33,1514	0,1990	0,2470
1707002	0,0231	0,25	278,15	33,8172	0,2310	0,2060
1707003	0,0231	0,25	278,15	32,5881	0,2230	0,2220
1707004	0,0230	0,25	278,15	31,6017	0,2210	0,2290
		Media			0,2182	0,2285

Desviación Estándar

0,0137

0,0170

En la tabla 46, se muestran los valores promedios de la conductividad térmica y de la resistencia térmica en adobe con 0,2182 W/m K y 0,2285 m² K/W respectivamente. La desviación estándar muestra una pequeña variación, debido a la probeta código 1707001 que posee mayor área de contacto.

Conductividad térmica del Bloque de Concreto.

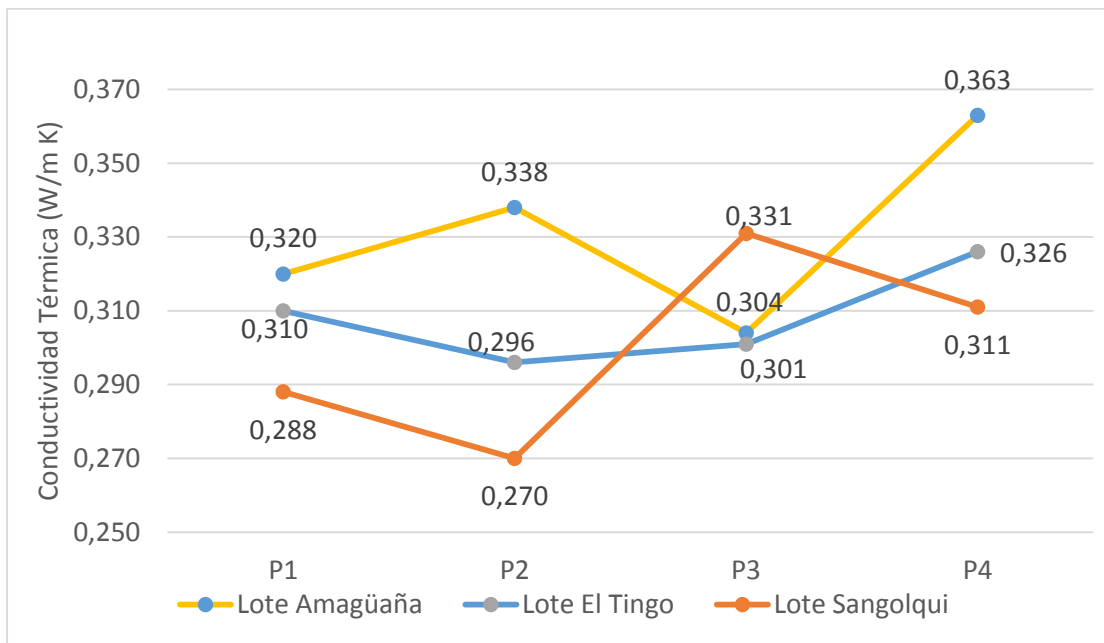


Figura 49. Gráfica comparativa de la conductividad térmica en bloques de concreto de varios sectores.

La figura 49, muestra la conductividad térmica de cada probeta para los tres lotes de bloque de concreto. Como se puede ver en la gráfica, la diferencia de C.T de los especímenes entre sectores es baja.

Tabla 47.

Resultados del ensayo de conductividad térmica para los bloques de concreto de los diferentes zonas de Pichincha.

Conductividad térmica del bloque de concreto								
	N°	Código	Área, A (m ²)	Coef de Conduct. Térmica k (W/m K)	Diferenc ia temp., AT (K)	Flujo de calor, q (W)	Conductividad térmica λ (W/m K)	Resistencia térmica R (m ² K/W)
Sangolqui	1	1707025	0,0225	0,56	278,15	149,1357	0,288	0,082
	2	1707026	0,0230	0,56	278,15	150,2141	0,270	0,088
	3	1707027	0,0225	0,56	278,15	135,3162	0,331	0,078
	4	1707028	0,0224	0,56	278,15	139,8123	0,311	0,080
			Media lote 1				0,299	0,082
Amagüaña	5	1707033	0,0228	0,56	278,15	135,5504	0,320	0,082
	6	1707034	0,0227	0,56	278,15	131,1544	0,338	0,079
	7	1707035	0,0225	0,56	278,15	140,1876	0,304	0,082
	8	1707036	0,0224	0,56	278,15	129,9002	0,363	0,074
			Media lote 2				0,331	0,079
El Tingo	9	1707037	0,0227	0,56	278,15	132,1369	0,310	0,086
	10	1707038	0,0227	0,56	278,15	133,1341	0,296	0,081
	11	1707039	0,0227	0,56	278,15	130,1865	0,301	0,079
	12	1707040	0,0227	0,56	278,15	131,1544	0,326	0,082
			Media lote 3				0,308	0,082
			Media Total				0,312	0,081
			Desviación Estándar				0,025	0,004

En la tabla 47, se muestran los resultados promedios de la conductividad térmica y de la resistencia térmica de bloques de hormigón, con 0,312 W/m K y 0,081 m² K/W respectivamente.

Los valores promedios de cada lote muestran que los bloques procedentes de Sangolqui son menores, mientras que los bloques procedentes de Amagüaña son mayores.

Conductividad térmica de la Madera dura.

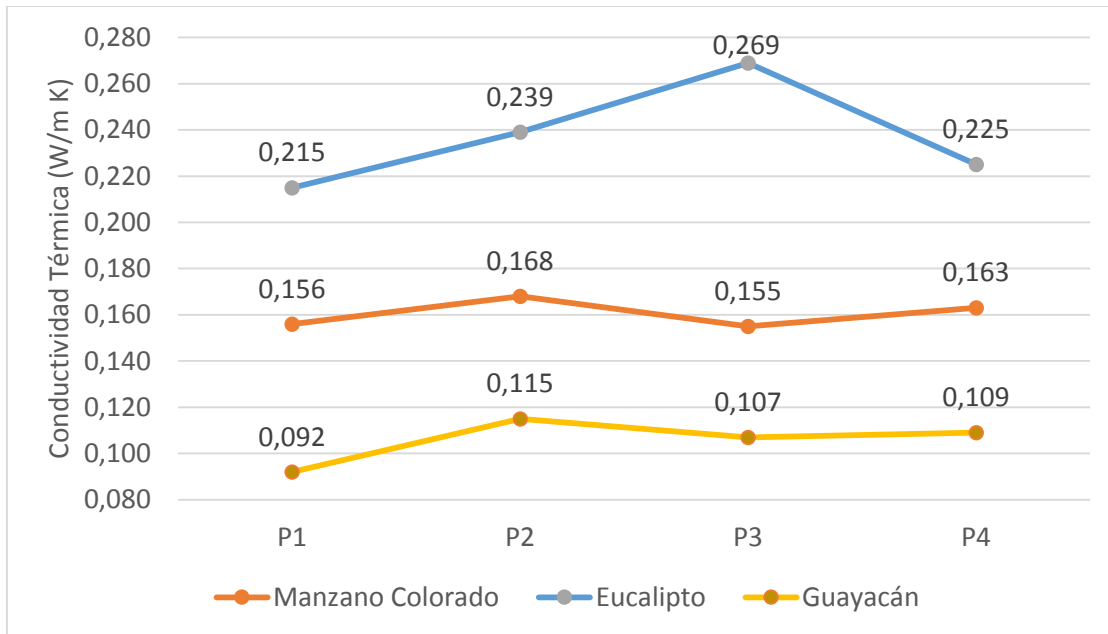


Figura 50. Gráfica comparativa de la conductividad térmica en madera dura de varias especies.

La figura 50, muestra la conductividad térmica de cada probeta para las tres diferentes especies de madera dura. Se puede observar en la gráfica, una diferencia del doble de C.T entre las maderas Eucalipto y Guayacán.

Tabla 48.

Resultados del ensayo de conductividad térmica para diferentes especies de madera, provenientes de diferentes zonas de Pichincha.

Conductividad térmica de la madera dura							
Nº	Código	Área, A (m2)	Coef de Conduct. Térmica k (W/m K)	Diferencia temp., AT (K)	Flujo de calor, q (W)	Conductividad térmica λ (W/m K)	Resistencia térmica R (m2K/W)

Amagüaña (Guayacán)	1	1707001	0,0225	0,14	278,15	43,1612	0,092	0,221
	2	1707002	0,0222	0,14	278,15	42,5857	0,115	0,177
	3	1707003	0,0225	0,14	278,15	42,9496	0,107	0,191
	4	1707004	0,0225	0,14	278,15	42,9496	0,109	0,187
						Media Lote 4	0,105	0,193
El Tingo (Colorado)	5	1707005	0,0225	0,14	278,15	42,9496	0,156	0,102
	6	1707006	0,0225	0,14	278,15	42,5326	0,168	0,118
	7	1707007	0,0225	0,14	278,15	43,1612	0,155	0,101
	8	1707008	0,0225	0,14	278,15	43,1612	0,163	0,107
						Media Lote 5	0,160	0,107
Sangolqui (Eucalipto)	9	1707009	0,0218	0,14	278,15	39,9623	0,215	0,098
	10	1707010	0,0224	0,14	278,15	42,6633	0,239	0,089
	11	1707011	0,0222	0,14	278,15	41,1662	0,269	0,078
	12	1707012	0,0221	0,14	278,15	42,0945	0,225	0,095
						Media Lote 6	0,236	0,090
						Media total	0,159	0,123
						Desviación Estándar	0,058	0,049

En la tabla 48 se muestran los resultados promedios de la conductividad térmica y de la resistencia térmica de diferentes especies de madera con valores de 0,159 W/m K y 0,123 m²K/W respectivamente. Los valores promedios de cada lote muestran que la madera guayacán presenta menores características. La desviación estándar muestra un cambio significativo debido a los valores de C.T en las maderas de colorado y guayacán, haciendo que ésta aumente.

Discusión

Compresión del adobe

El valor promedio de la resistencia a la compresión del adobe que se obtuvo, no cumple con los reglamentos establecidos en la norma (NTE E.080, 2013). Debido a la falta de material de compactación como las fibras vegetales, tales como la paja. Según la investigación de (Cotrina A., Limay W., López D., 2014) el adobe sin fibras vegetales (paja) es menos resistente e inestable. Por esta razón se debe utilizar agregados que mejoren las propiedades de los materiales, ya que se utilizaran para la construcción o mantenimiento de edificaciones.

Flexión del adobe

En base a los resultados que se obtuvieron en esta investigación, se puede decir que no cumplieron con el valor establecido según el trabajo de Ruiz, S. (2015). También se puede comparar la información de la investigación de Rivera, J. (2012), donde se muestra un mínimo de 0,41 MPa en el módulo de rotura a flexión para unidades de adobe. Mientras que los valores obtenidos en esta tesis son de 0,25 MPa. Dejando en claro que los valores no tienen mucha capacidad de resistencia a la flexión.

Contenido de Humedad del adobe

Los resultados del contenido de humedad que se obtuvieron en esta investigación están dentro del rango porcentual. Sin embargo el valor es un poco elevado si lo comparamos con el trabajo de Rivera, J. (2012), donde obtienen valores de 3,3% en el contenido de humedad de unidades de adobe. Esto se debe probablemente al tipo de probetas y muestras utilizadas para los ensayos. En el estudio experimental de Oscar B., Roberto P., Marciano M. (1981) se reportan valores de humedad del 12% y afirman que por esta razón la resistencia a compresión y tensión del bloque de adobe puede reducirse linealmente hasta ser nulas.

Compresión del boque de concreto

De los resultados que se obtuvieron en los distintos sectores no cumple la muestra de bloques del sector de Amagüaña, debido a la baja resistencia a compresión según la norma (NTE INEN 643, 2014). Como se puede apreciar en el trabajo de (Moreno, C., Cañizares, O., 2011) los resultados de la resistencia a compresión varía de acuerdo a los porcentajes del compuesto de fibra que es de plástico es este caso. Además se consideran valores aceptables cuando la resistencia a compresión supera el valor de 2 MPa, (Hidalgo A., 2015), por lo tanto los bloques de los sectores de El tingo y Sangolqui si cumplen con los establecido.

Los bloques del sector de El Tingo tienen una longitud menor a los bloques de los otros dos sectores, generando pérdidas de resistencia a la compresión.

Contenido de humedad del bloque de concreto

Los datos obtenidos del contenido de humedad están dentro de los parámetros establecidos. Los datos recopilados por (Moreno, C., Cañizares, O., 2011) muestran el porcentaje del contenido de humedad de bloques de concreto en especímenes con plástico y sin plástico, siendo aceptables en base a lo establecido en la norma (INEN 642). Existe una diferencia insignificante entre los resultados de los sectores de El Tingo y Sangolqui; mientras que el valor promedio de los bloques del sector de Amagüaña es dos veces mayor. Esto se genera cuando los bloques aun no alcanzan su punto óptimo de fraguado que es de 28 días y los venden cuando tienen apenas 4 o 5 días.

Compresión paralela a la fibra de la madera

De los resultados que se obtuvieron de las tres especies de madera analizadas, todas están dentro del rango mostrado en las (normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de madera, 2008) (tablas 2.1 y 2.2). Aquí se muestran valores desde 95 Kg/cm²

hasta 225 Kg/cm^2 para la resistencia a compresión paralela y desde 50000 Kg/cm^2 hasta 150000 Kg/cm^2 para el módulo de elasticidad en maderas de especies coníferas y latifoliadas. El trabajo de (Clavón G. & Rosero A., 2013) reporta valores del módulo de elasticidad para el manzano colorado de $107867,54 \text{ Kg/cm}^2$, los cuales concuerdan con los valores mostrados en las tablas 29 y 30 de compresión paralela de maderas eucalipto y colorado. Según datos del ministerio del ambiente (2014), la resistencia a compresión paralela de las especies conocidas de eucalipto se estima entre 232 y 470 Kg/cm^2 .

Compresión perpendicular a la fibra de la madera

Los resultados obtenidos de las tres especies de madera están en un rango de 45 a 120 Kg/cm^2 de la resistencia al límite proporcional, los cuales se asemejan a los del trabajo de (Siza J. & Martínez J., 2009). Donde se muestra un valor admisible de $60,05 \text{ Kg/cm}^2$ para la compresión perpendicular en eucalipto. El trabajo de (Clavón G. & Rosero A., 2013) también reporta valores aceptables para diversas especies de maderas, entre ellas el manzano colorado; con valores en madera seca ($\text{CH} = 12 \pm 3 \%$) de 40 a 110 Kg/cm^2 y para madera verde ($\text{CH} = 20$ al 30%) de 95 a 300 Kg/cm^2 . Los cuales concuerdan con los valores mostrados en las tablas 31, 32 y 33 de compresión perpendicular de maderas guayacán, eucalipto y colorado. Según datos del ministerio del ambiente (2014), la resistencia a compresión perpendicular de las especies conocidas de eucalipto se estima entre 58 y 80 Kg/cm^2 . Mientras que las (normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de madera, 2008) (tabla 2.1), establecen valores desde 40 Kg/cm^2 .

Flexión estática de la madera

Los resultados obtenidos de la madera que se muestran en las tablas 34 , 35 y 36 cumplen con los valores establecidos del esfuerzo unitario al límite proporcional, los mismos que están

dentro del rango de valores en base al trabajo de (Clavón G. & Rosero A., 2013). Donde se muestra un rango de valores admisibles de 30 Kg/cm^2 hasta 100 Kg/cm^2 para madera con CH de 12 %. En base a los esfuerzos admisibles en la tesis de (Siza J. & Martínez J., 2009) (Tabla 4.9), se considera que los valores de esta investigación están dentro del rango de aceptación. Además según los datos de las (normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de madera, 2008) (tabla 2.2), se establecen valores desde los 80 Kg/cm^2 para el esfuerzo al límite proporcional. Por lo que se concluye que las tres especies de madera analizadas, cumplen los requisitos para valores admisibles de resistencia a la flexión.

Tracción paralela a la fibra de la madera

Los valores del esfuerzo al límite proporcional y del módulo de elasticidad de las tres especies de madera analizadas, están dentro del rango mostrado en el trabajo de (Clavón G. & Rosero A., 2013). Aquí se muestran valores que oscilan entre 80 y 180 Kg/cm^2 para madera clasificada y para especímenes libres de defectos se tienen valores entre 320 y 575 Kg/cm^2 . También se reportan valores promedios para el módulo de elasticidad para el manzano colorado de $225786,64 \text{ Kg/cm}^2$, los cuales concuerdan con los valores mostrados en las tablas 38 y 39 de tracción paralela de maderas eucalipto y colorado.

El trabajo de (Siza J. & Martínez J., 2009) muestra que los resultados de los ensayos a tracción paralela del eucalipto tienen un promedio del módulo de elasticidad de $202506,60 \text{ Kg/cm}^2$. Tomando en cuenta estos valores se puede concluir que solamente los ensayos a tracción paralela de la madera guayacán, no cumplen con los valores mínimos admisibles.

Según datos del ministerio del ambiente (2014), la resistencia a la tracción paralela en algunas especies de maderas para construcción de las diferentes regiones de Ecuador, oscilan entre 100 Kg/cm^2 y 700 Kg/cm^2 .

Contenido de humedad de la madera

Los porcentajes promedios para el contenido de humedad en los diferentes ensayos concuerdan con datos de la investigación de (Clavón G. & Rosero A., 2013). Según los autores, al 12% de contenido de humedad las propiedades mecánicas son mayores; y la resistencia se mantiene constante para valores de 20 a 30 % de CH.

En esta investigación los resultados para la madera de eucalipto están dentro del rango porcentual que oscila entre 10 y 20 %. Tomando en cuenta las condiciones de construcción mencionadas en algunas normas de diseño, como el porcentaje de reducción de resistencias que indica una reducción dependiendo del tipo de esfuerzo. Este método consiste en aumentar la resistencia reduciendo un porcentaje del total, (Clavón G. & Rosero A., 2013).

En el trabajo de (Siza J. & Martínez J., 2009) se muestra que para condiciones reales, el contenido de humedad puede ir del 20 a 30 % aunque las propiedades mecánicas se reducen en un margen pequeño.

Conductividad térmica del adobe

El coeficiente de conductividad térmica que se eligió para el adobe fue de 0,25 W/m K, en base al artículo de (Casado D., 2011). Donde también se dan valores para el hormigón de 1,5 W/m K. Los resultados promedio obtenidos en la tabla 46, se puede comparan con los resultados del artículo de (Cuitiño G., Esteves A., Maldonado G., Rotondaro R., 2015), donde algunos autores establecen valores de 0,20 W/m K, 0,46 W/m K y 0,82 W/m K dependiendo de la densidad de la muestra.

Los adobes obtuvieron una densidad promedio de 1293,7 Kg/m³ por lo que no cumplen con los valores mencionados de 0,46 W/m K para una densidad de 1200 Kg/m³. Esto se debe

básicamente a la falta de fibras vegetales en la composición de los adobes obtenidos para esta investigación.

Conductividad térmica de bloques de hormigón

Los resultados de conductividad térmica para los bloques de hormigón fueron de 0,299 W/m K del lote de muestras de Sangolqui con densidad promedio de 1676,48 Kg/m³, 0,308 W/m K del lote de muestras de El tingo con densidad promedio de 1633,8 Kg/m³ y 0,331 W/m K del lote de muestras en Amagüaña con densidad promedio de 1688,3 Kg/m³. En el libro (Termodinámica de Cengel, 2003) (Tabla A-5) se muestran valores de conductividad térmica mayores a los resultados en esta investigación (tabla 47). Sin embargo no se registran valores de conductividad térmica para bloques de concreto de 15 cm de espesor.

Algunos autores establecen un valor de 1,63 W/m K para muestras con densidad de 2400 Kg/m³, en el trabajo de (Cuitiño G., Esteves A., Maldonado G., Rotondaro R., 2015). En las normas (ASHRAE 90.1, 2007) (Tabla A9.4E) también se puede encontrar un valor de 0,88 W/m·K para bloques de concreto con densidad de 1680 Kg/m³. En base a estos datos los bloques analizados poseen mejores características de conductividad térmica, que los analizados en los trabajos antes mencionados. Por esta razón, el valor promedio de 0,312 W/m K muestra que son materiales con mejor aislamiento térmico.

Conductividad térmica de la madera dura

Los resultados de conductividad térmica para madera dura fueron de 0,105 W/m K del lote de muestras de Amagüaña (madera guayacán) con densidad promedio de 394,55 Kg/m³, 0,160 W/m K del lote de muestras de El tingo (madera colorado) con densidad promedio de 844,5 Kg/m³ y 0,236 W/m K del lote de muestras en Sangolqui (madera eucalipto) con densidad promedio de 1218,575 Kg/m³. La norma (NBE-CT-79) (tabla 2.8) muestra un valor de

conductividad térmica para madera frondosa (dura) de 0,21 W/m K. Así como en el libro (Termodinámica de Cengel, 2003) (Tabla A-5), donde se establece el valor de 0,159 W/m K en la conductividad térmica para maderas duras, para una densidad de 721 Kg/m³. En base a los resultados mencionados, las maderas de eucalipto y colorado cumplen con los valores establecidos, con resultados de conductividad térmica muy próximos a lo establecido. Mientras que la madera de guayacán presenta mejor conductividad térmica, debido a la baja densidad que posee (tabla 48).

Conclusiones

Después de analizar los resultados y compararlos con las referencias consultadas en esta investigación, se puede notar la falta de información referente a los materiales de construcción, donde especifiquen valores admisibles especialmente para la conductividad térmica.

En el caso de los adobes, la producción ha disminuido notoriamente, y casi no se encuentran lugares donde se fabriquen. Esto se debe principalmente a la producción de nuevos materiales, como los bloques de concreto que tiene propiedades mejoradas, al añadir diferentes tipos de agregados como fibras que aumentan la resistencia a la compresión.

Considerando los resultados que se obtuvieron, y los valores de referencias consultadas de los ensayos del adobe; los valores de resistencia a compresión y resistencia a flexión, son menores significativamente en comparación a los valores mostrados, en las norma INEN 643 por lo que no son una buena opción para construcción de muros soportantes.

Sobre la conductividad térmica del adobe, se obtuvieron mejores resultados de acuerdo a la densidad de la muestra. Esto se debe a la producción actual de adobes que no contienen fibras como parte de los agregados, por lo que son más macizos y poseen mayor resistencia térmica.

Para el bloque de concreto, los resultados muestran que los bloques del sector de Amagüaña poseen menor resistencia a compresión en base a la norma INEN. Una causa probable de estos resultados es el dimensionamiento con medidas inferiores a las que se producen generalmente. En cuanto a los bloques de Sangolqui y El Tingo muestran propiedades con valores admisibles.

En los resultados de la conductividad térmica en bloques de concreto se mostraron valores menores a los de las referencias consultadas. Esto demuestra que tienen mejores características aislantes y pueden ser utilizados para la construcción de muros y paredes.

En el caso de la madera dura, todas las especies analizadas (eucalipto, manzano colorado y madero guayacán) cumplen con los valores admisibles en cuanto a la resistencia a compresión paralela, resistencia a compresión perpendicular y resistencia a flexión estática. Sin embargo los resultados para resistencia a la tracción, de las muestras de madera guayacán, no alcanzan con los valores mínimos que se establecen en las referencias investigadas.

De los ensayos de conductividad térmica realizados, los resultados de las muestras obtenidas de eucalipto y manzano colorado, están dentro de los valores registrados en la norma NBE-CT. Por otro lado las muestras de madera guayacán presentan mejor resistencia térmica, debido a la densidad inferior que posee.

Después de haber obtenido los resultados en los diferentes ensayos, se puede decir que los valores varían dependiendo del método de elaboración, como en el caso del adobe y de los bloques de concreto. Donde se utilizan moldes elaborados por las mismas productoras y no constan de una normativa que regule el dimensionamiento de las mismas.

Recomendaciones

Generar una normativa donde se establezca una metodología concreta para caracterizar materiales constructivos y donde se muestre los valores admisibles para los diferentes ensayos.

Se recomienda a las autoridades correspondientes, crear un ente que regule a las productoras de bloques de concreto, ya que los moldes que se usan producen variaciones en el dimensionamiento de los bloques.

Para los ensayos térmicos y mecánicos, verificar detalladamente las dimensiones de las probetas que se ensayarán, y que tengan los rangos de tolerancia adecuados.

Se debe comprobar que los equipos funcionen adecuadamente y que se encuentren correctamente calibrados y encerados antes de proceder con los ensayos.

Es recomendable que se continúe con la caracterización de otros tipos de madera, ya que existen varias especies de madera dura en el Ecuador y la información recopilada puede servir de referencia para crear una normativa nacional.

Se deben manipular las herramientas con el equipo de seguridad adecuado, y seguir los procedimientos de las máquinas según los manuales para el usuario.

Referencias

ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1 (2007). Energy Standard for Buildings except Low-Rise Residential Buildings, SI Edition.

Arteaga, Medina K., Medina, O., Gutiérrez, Junco O. (Agosto de 2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia.

Asamblea Nacional del Ecuador. (Octubre del 2008). Constitución del Ecuador. Montecristi, Ecuador. Obtenido de http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

ASTM D143 (2016). Standard test methods for Small Clear Specimens of Timber. Recuperado de <http://file.yizimg.com/424653/2013110715144243.pdf>

Astudillo, F. (Noviembre del 2009). Los materiales de construcción y su aporte al mejoramiento del confort térmico en viviendas periféricas de la ciudad de Loja. Universidad técnica particular de Loja.

Carrera Hidalgo A. (Junio de 2015). Análisis y desarrollo para la fabricación de bloques de hormigón como aislantes térmicos basados en la biomasa de la cascarilla de cacao apto para construcción en edificaciones. Universidad de las fuerzas armadas.

Casado, Gonzales D. (Enero de 2011). La construcción con tierra cruda: el adobe y la tapia. Obtenido de <http://www.sitiosolar.com/la-construccion-con-tierra-cruda-el-adobe-y-la-tapia/>

Cengel, Yunus A. (2003). Transferencia de calor y masa (tercera edición). McGraw-Hill.

Clavón Gualoto J., Rosero Amores F. (Julio del 2013). Análisis de las propiedades físico-mecánicas de las maderas nativas del ecuador: aliso, canelo amarillo, manzano colorado,

- roble para el diseño estructural del convento para el centro pastoral espíritu santo a ubicarse en el camal metropolitano en la ciudad de quito. Escuela Politécnica del Ejército.
- Cotrina Mendoza A., Limay Silva W., López Alejandría D. (Noviembre de 2014). Comparación de la resistencia a la compresión de unidades de adobe sin paja con unidades de adobe con paja en Cruz Blanca – Cajamarca. Universidad privada del norte.
- Cuitiño, G., Esteves, A., Maldonado, G., Rotondaro, R. (Abril de 2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. Informes de la Construcción. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.082>.
- Daza, P (Enero de 2010). Construcción sostenible de edificios: Una alternativa responsable para el desarrollo urbano civil. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/3603/T-PUCE-3613.pdf?sequence=1>
- Hernández, C. (Octubre de 2005). Construcción eficiente: el ingeniero y el ahorro energético en edificios. Obtenido de <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-1237-Construccion-eficiente--ingeniero-ahorro-energetico-edificios.aspx>
- Hess, Alina A. (Mayo de 2005). Impacto Ambiental de Componentes y Materiales de Edificios. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.
- Hoyos, Lessing. (Enero del 2016). Propiedades físicas y mecánicas de la madera. Obtenido de <http://biblio.fcet.uagrm.edu.bo/DocBV.aspx?dir=D%3a%5cuBibliotecaVirtual\Tecnología+de+la+madera+y+Estructuras+metálicas+Ing.Lessing+Hoyos>
- Incropera, F. (2006). Fundamentos de transferencia de calor (sexta edición). Jhon Willey & Sons.
- ISO 8302 (Agosto de 1991). Thermal insulation. Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Guarded hot plate apparatus.

- Jaramillo Villacís A., Guerra Sarche X. (Diciembre de 2015). Caracterización física, mecánica y térmica de materiales vernáculos de la región sierra del Ecuador. Escuela Politécnica Nacional.
- Jiménez, E. (Enero de 2008). Estrategias de diseño para brindar confort térmico en vivienda en la ciudad de Loja. Obtenido de <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1071/3/728X108.pdf>
- L. Lira Cortés, González Rodríguez, O. J., Méndez Lango, E. (22 de Octubre de 2008). Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones. México: Centro Nacional de Metrología. Recuperado de https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/S4/SM2008-S4C2-1100.pdf
- López, Campos J. (Junio del 2015). Análisis, Desarrollo y evaluación de aislantes térmicos fabricando bloques de hormigón aislantes con cascarilla de café para su aplicación en la construcción de edificaciones. Universidad de las fuerzas armadas ESPE.
- Manteca, F. (Abril del 2012). Diseño de edificios de elevada eficiencia energética en Construcción sostenible. Obtenido de http://www.eoi.es/wiki/index.php/Diseño_de_edificios_de_elevada_eficiencia_energetica_en_Construcción_sostenible
- Ministerio del ambiente (2014). Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales, Quito – Ecuador. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4407s.pdf>
- Modenese, P. (Junio del 2016). Madera aserrada: tipos y características. Obtenido de <http://www.manualdeobra.com/blog/maderamaciza>
- Moreno Cárdenas R., Cañizares Ortega F. (Julio de 2011). Agregado alternativo para fabricación de bloques y adoquines en base a polietileno tereftalato. Escuela Politécnica Nacional.

Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 (Julio de 1979), sobre Condiciones térmica en los edificios. Obtenido de

https://w3.ual.es/Depar/proyectosingenieria/descargas/Normas_Edificacion/NBE-CT-79.pdf

NORMA E.080 (2013). Diseño y Construcción con tierra reforzada.

Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de madera (Agosto de 2008). Obtenido de <http://cgsservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/744.pdf>

NTE INEN 292 (2015). Ladrillos cerámicos. Muestreo.

NTE INEN 294 (1978). Ladrillos cerámicos. Determinación de la resistencia a la compresión.

NTE INEN 295 (1977). Ladrillos cerámicos. Determinación de la resistencia a la flexión.

NTE INEN 296 (2014). Ladrillos cerámicos. Determinación de absorción de humedad.

NTE INEN 638 (2014). Bloques huecos de hormigón. Definiciones, clasificación y condiciones generales.

NTE INEN 639 (2012). Bloques huecos de hormigón. Muestreo y ensayos.

NTE INEN 643 (2014). Bloques huecos de hormigón. Requisitos.

Oscar Hernández B., Roberto Meli P., Marciano Padilla M. (Octubre de 1981). Refuerzo de vivienda rural en zonas sísmicas. Instituto de Ingeniería, UNAM. Obtenido de

<http://docshare04.docshare.tips/files/21753/217539885.pdf>

Pérez, White T. (1992). Resistencia de materiales. Universidad. Ediciones Universidad de Salamanca.

Rivera, Torres J. (Noviembre de 2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales. Obtenido de

<http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/viewFile/8763/6974>

- Ruiz, S. (Febrero del 2015). Caracterización mecánica de piezas de adobe fabricado en la región de Tuxtla Gutiérrez. Obtenido de http://www.espacioimasd.unach.mx/articulos/num7/Caracterizacion_mecanica_de_piezas_de_adobe_fabricado_en_la_region_de_Tuxtla_Gutierrez.php
- Salvador, Cárdenas M. (2010). Utilización industrial y mercado de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. Obtenido de [http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical%20report%20-%20Protocolo%20para%20la%20seleccion%20de%20muestras%20\(2010\).pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical%20report%20-%20Protocolo%20para%20la%20seleccion%20de%20muestras%20(2010).pdf)
- Siza J., Martínez J., (Marzo de 2009). Propiedades físico-mecánicas del eucalipto y aplicación al diseño estructural de una vivienda parte de una granja integral, ubicada en el IASA I. Escuela politécnica del ejército. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2050/1/T-ESPE-021896.pdf>
- Suarez, J. (Diciembre del 2016). La catedral de Quito: La joya arquitectónica de la Plaza Grande. Obtenido de <http://www.ecuavisa.com/articulo/noticias/comunidad/216941-catedral-quito-joya-arquitectonica-plaza-grande>
- Vélez, Moreno L. (Abril de 2013). Propiedades Materiales de Construcción. Obtenido de <http://propiedadesmaterialesdeconstruccion.blogspot.com/2013/04/propiedades-mecanicas-de-los-materiales.html>
- Yépez, D. (Mayo de 2012). Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador: Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable. Obtenido de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/829/1/T-SENESCYT-0372.pdf>

Anexo A

Características técnicas de la maquina electro-hidráulica universal del laboratorio de la Universidad Internacional SEK.



Modelo y nombre

WAW- 600C Computer Control Electra-hydraulic Servo-controlled Universal Testing Machine
(worm gear operated)

Parámetros técnicos principales:

1. Fuerza máxima de prueba: 600 KN
2. Rango de medición de la fuerza de prueba: 4% -100% FS (escala completa)
3. Valor de la fuerza de prueba error relativo: $\leq \pm 1\%$
4. Precisión de la medida de la deformación: $\pm 0.5\%$ FS
5. Rango de control de la tasa de estrés: 1 mp / S - 60 mp / S
6. Máximo espacio de prueba de tracción: 1000 mm
7. Espacio de prueba de compresión máxima: 900 mm
8. Espaciado de columnas: 520 mm

9. Gama redonda de sujeción del espécimen: \varnothing 13 - \varnothing 40mm
10. Diámetro de la muestra de corte: \varnothing 10 mm
11. Espesor de sujeción del espécimen plano: 70 mm
12. Tamaño de la placa de presión: \varnothing 180mm
13. Carrera del pistón: 250 mm
14. Ancho de los rodillos de soporte: 160mm
15. Ancho del rodillo de apoyo de flexión: 140mm
16. Medición de la deformación: un extensómetro, calibre estándar 50 mm, deformación máxima 10 mm
17. Software y la interfaz de usuario: software operativo WINDOWS e interfaz de conversación hombre-máquina interactiva

Anexo B

Características técnicas de la balanza digital del laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad Internacional SEK.



Modelo y nombre

Boeco BWL 61

Funciones

Pesaje en porcentaje (%), control de peso, pesaje debajo de la balanza, pesaje de animales, procedimientos GLP, unidad de medida (Newton)

Precisión básica con calibración externa y batería interna recargable con cargador de energía. Esto los hace independientes de una red de alimentación (portátil).

Especificaciones

1. Carga máxima: 6000 g
2. Legibilidad: 0,1 g
3. Rango de tara: 6000 g
4. Reproducibilidad: 0,3 g
5. Linealidad: $\pm 0,3$ g
6. Tamaño del platillo: 195 x 195 mm
7. Tiempo de estabilización: 3 seg.
8. Calibración: externa
9. Interfaz: RS 232
10. Pantalla: LCD retro-iluminada
11. Temperatura de trabajo: $+15^{\circ}\text{C}$ - $+30^{\circ}\text{C}$
12. IP rating: IP 43
13. Alimentación: 110-230 V AC, 50/60 Hz
14. Tiempo de operación con baterías: 45 horas (promedio)
15. Peso neto/ bruto: 2,8 / 4,3 kg
16. Dimensiones / Empaque: 335x210x88 / 470x380x336 mm