

Caracterización Térmica Y Mecánica De Materiales Más Usados En El Ecuador Hormigón Y  
Roble.

David Alejandro Torres Mera

Universidad Internacional SEK

Nota de Autor

David Alejandro Torres Mera, Facultad de Ingeniería Mecánica en Diseño y Materiales,  
Universidad Internacional SEK; Director Dr. Javier Martínez.

Cualquier correspondencia respecto al presente trabajo puede dirigirse a:

[davidalejandrotorresmera@gmail.com](mailto:davidalejandrotorresmera@gmail.com)

### **Declaración Juramentada**

Yo, DAVID ALEJANDRO TORRES MERA, con cédula de identidad 171669072-0, 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.

DAVID ALEJANDRO TORRES MERA

C.I.: 171669072-0

### **Dedicatoria**

A mi hijo Nicolás Sebastián Torres Torres mis padres Elena Mera del Carmen, Rubén Edison Torres y hermanos Andrea Lisbeth Torres, Rubén Andres Torres, quienes han sido mi fortaleza durante todo el camino que a pesar de todas las adversidades que he tenido en el transcurso de mi vida siempre confiaron en mi para que nunca deje de perseguir lo que más anhelaba agradezco su formación, apoyo incondicional y valores inquebrantables mi eterno agradecimiento para cada uno de ellos.

DAVID ALEJANDRO TORRES MERA

### **Agradecimientos**

A la Universidad Internacional SEK y a cada uno de los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica por brindar día a día las bases sólidas para convertirnos en profesionales exitosos y estar siempre en la vanguardia de nuevas tecnologías.

A mi director de proyecto de investigación Dr. Javier Martínez y mis lectores M.Sc Jaime Molina y M.Sc Paolo Salazar, por aportar con nuevas tendencias para fomentar el avance de proyectos de investigación en el Ecuador.

DAVID ALEJANDRO TORRES MERA

## Índice de Contenido

Declaración Juramentada.....	2
Dedicatoria.....	3
Agradecimientos.....	4
Resumen.....	12
Abstract.....	13
Introducción .....	14
Método.....	22
Ensayos Térmicos .....	27
Ensayos de Contenido de Humedad (CH).....	32
Ensayos Mecánicos.....	39
Ensayos Mecánicos-Madera.....	40
Compresión Paralela .....	41
Compresión Perpendicular .....	42
Flexión.....	44
Tracción.....	46
Ensayos Mecánicos-Hormigón.....	48
Compresión Paralela .....	50
Compresión Perpendicular .....	52
Flexión.....	54
Tracción.....	57

Resultados .....	59
Ensayos Térmicos-Madera .....	59
Ensayo Térmico del Hormigón.....	61
Ensayos de Contenido de Humedad (CH) de la madera dura roble .....	63
Ensayos de Contenido de Humedad del hormigón (CH) .....	64
Ensayos de Compresión Paralela de la madera dura roble.....	66
Ensayos de Compresión Perpendicular de la madera dura roble.....	68
Ensayo de Flexión de la madera dura roble .....	70
Ensayo de Tracción de la madera dura roble.....	71
Ensayo de Compresión Paralela del hormigón.....	73
Ensayo de compresión perpendicular del hormigón .....	75
Ensayo de Flexión del Hormigón .....	77
Ensayos de Tracción del Hormigón.....	79
Discusión .....	82
Conclusiones .....	86
Recomendaciones .....	87
Referencias.....	88
Anexo A.....	90
Anexo B .....	92

**Índice de Tablas**

Tabla 1. ....	30
Tabla 2. ....	31
Tabla 3. ....	33
Tabla 4. ....	33
Tabla 5. ....	37
Tabla 6. ....	38
Tabla 7. ....	40
Tabla 8. ....	42
Tabla 9. ....	43
Tabla 10. ....	46
Tabla 11. ....	47
Tabla 12. ....	49
Tabla 13. ....	51
Tabla 14. ....	53
Tabla 15. ....	56
Tabla 16. ....	58
Tabla 17. ....	59
Tabla 18. ....	61
Tabla 19. ....	63
Tabla 20. ....	64
Tabla 21. ....	66
Tabla 22. ....	68
Tabla 23. ....	70

Tabla 24. .... 71

Tabla 25. .... 73

Tabla 26. .... 75

Tabla 27. .... 77

Tabla 28. .... 79

**Índice de Graficas**

Gráfica 1. Comparación de Conductividad Térmica de la madera dura roble..... 60

Gráfica 2. Comparación de Conductividad Térmica laboratorio ESPOL ..... 60

Gráfica 3. Comparación de Conductividad Térmica del hormigón ..... 62

Gráfica 4. Comparación de Conductividad Térmica laboratorios ESPOL..... 62

Gráfica 5. Comparación del contenido de humedad de la madera dura roble ..... 64

Gráfica 6. Comparación del contenido de Humedad del hormigón ..... 66

Gráfica 7. Carga vs Módulo de Elasticidad de la madera dura roble de El Oro ..... 67

Gráfica 8. Comparación de los ensayos de compresión paralela de las 3 provincias del país..... 68

Gráfica 9. Comparación Carga (KN) vs Resistencia RUM (MPa) ..... 69

Gráfica 10. Comparación de Esfuerzo EMf (MPa) vs Carga de la madera dura ..... 71

Gráfica 11. Comparación carga vs Esfuerzo Máximo (MPa) de la madera dura roble Loja..... 73

Gráfica 12. Comparación Carga (KN) vs Resistencia (MPa) Hormigón-A ..... 75

Gráfica 13. Comparación de carga (KN) vs Resistencia (MPa) Hormigón-B..... 77

Gráfica 14. Comparación de la Carga (MPa) de 3 diferentes clases de cemento H-A, H-B, H-C79

Gráfica 15. Comparación carga vs rotura flexo-tracción (MPa) H-C ..... 81

**Índice de Figuras**

Figura 1. Composición del tronco y cortes. Tomado de (INEN-NEC-SE-MD26-7, 2015) .....	22
Figura 2. Horno de secado. Tomado de (Tecnimadera, 2018).....	23
Figura 3. Preparación de probetas madera dura roble. Tomado de (Tecnimadera, 2018).....	23
Figura 4. Direcciones de corte. Tomada (INEN-NEC-SE-MD26-7, 2015) .....	24
Figura 5. Preparación del hormigón .....	25
Figura 6. Preparación de probetas cilíndricas .....	25
Figura 7. Máquina $\lambda$ -Meter EP500e, Versión C. Tomado en la ESPOL.....	27
Figura 8. Toma de datos con balanza de apreciación $\pm 0.05$ mm .....	28
Figura 9. Codificación de probetas de madera dura roble provincia de El Oro.....	29
Figura 10. Codificación de probetas del hormigón cemento Holcim.....	29
Figura 11. Probeta de hormigón Holcim en Máquina $\lambda$ -Meter EP500e, Versión C. ....	30
Figura 12. Peso de la madera en su estado húmedo inicial (Ph) .....	35
Figura 13. Peso del hormigón en su estado húmedo inicial (Ph) .....	35
Figura 14. Horno de secado madera dura roble .....	36
Figura 15. Horno de secado temperatura $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .....	36
Figura 16. Peso de la madera dura roble en estado anhidro (Ps) .....	37
Figura 17. Peso del hormigón en estado anhidro (Ps) .....	37
Figura 18. Máquina de Ensayos Universales UISEK.....	40
Figura 19. Ensayo de Compresión Paralela .....	41
Figura 20. Ensayo de Compresión Perpendicular .....	43
Figura 21. Ensayo de Flexión .....	45
Figura 22. Ensayo de Tracción.....	47
Figura 23. Tipos de Fractura en cilindros de hormigón. Tomado de (INECYC, 2009).....	49

Figura 24. Ensayo de Compresión Paralela .....	50
Figura 25. Ensayo de Compresión Perpendicular .....	53
Figura 26. Ensayo de Flexión. Tomado de (ASTM, 2016) .....	55
Figura 27. Ensayo de Flexión Laboratorios UISEK.....	55
Figura 28. Ensayo de Tracción. Tomado de (ASTM496M, 2012) .....	57
Figura 29. Ensayo de Tracción Laboratorio UISEK.....	57

## Resumen

En este proyecto de investigación se evaluarán los siguientes ensayos térmicos y mecánicos de los materiales más usados en la construcción para pared y piso como el Hormigón y Roble, de la región Costa: Manabí y El Oro y Sierra: Loja. Mediante el siguiente estudio se realizarán ensayos de Conductividad Térmica, Contenido de Humedad y ensayos de fuerzas mecánicas como Resistencia a la Tracción, Resistencia a la Flexión, Resistencia a la Compresión paralela y perpendicular, aplicando normas Internacionales y Nacionales.

En el Ecuador es necesario realizar un estudio previo para introducir normativas sobre las necesidades enfocadas con habitabilidad y eficiencia energéticas, con la implementación de nuevas estrategias para perfeccionar el uso de la energía y garantizando las condiciones óptimas en el interior de la vivienda sin requerir sistemas climatizados, se realiza el estudio de los diferentes comportamientos de los materiales en diferentes regiones del país, de esta manera se puede beneficiar reduciendo consumos de energía optimizando las condiciones del entorno.

La solución ante este crecimiento en el desarrollo urbano en la demanda de la vivienda es mejorar las condiciones de habitabilidad y consumo de energía, promoviendo nuevos reglamentos y políticas que impulsen la construcción garantizando confort térmico para esto se presenta un sondeo en Normas Internacionales (ASTM), Normas Europeas (UNE), Normas (ISO), Normas Mexicanas, Normas Chilenas y Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), Institutos de Tecnologías Internacional, Trabajos de Investigación y Artículos Científicos, los mismos que tienen una analogía con este proyecto de investigación.

### **Abstract**

In this investigation (research) project we will be evaluating the thermal and mechanical tests of the most commonly used materials to built walls and floors -concrete and oak- in the Costa Region: Manabí and El Oro, and the Andes Region: Loja. Through this study, three mechanical forces tests will be carried out: Traction test, Flexion test, and Compression test; and Thermal Conductivity test, Moisture Content test (MC); applying American Society for Testing and Materials (ASTM) norms, Norms European (UNE), Norms International Standardization Organization (ISO), Norms Mexican, Norms Chilean, Norms Ecuadorian Standardization Institute (INEN).

In Ecuador it is necessary to make a preliminary study to introduce regulations focused on habitability and energy efficiency and to bring on some new strategies to improve the use of energy, guaranteeing optimal conditions inside the house without requiring air-conditioned systems. A study of the different behaviours of the materials in varied regions of the country is made. This can be very beneficial to reduce energy consumption, optimizing environmental conditions.

The solution in this growth in urban development and the demand for housing is to improve the living conditions and energy consumption, promoting new regulations and policies that impulse construction, assuring thermal comfort. With this in mind, surveys are presented in International Standards, International Institutes of Technology, research papers and scientific articles, which have an analogy with this project.

## Introducción

Tanto el diseño de construcciones de vivienda y la eficiencia energética han venido de la mano desde la antigüedad, el mejoramiento en la eficiencia energética es una meta alcanzable que mejorara las condiciones de vida creando patrones sostenibles de consumo y promoviendo prácticas que asegurarán un mejor confort (Energy, 2018).

La sociedad actual necesita, para mantener su nivel de vida y de confort, un alto consumo energético. Por tanto el reto consiste en buscar el desarrollo sostenible, mantenido en el nivel de actividad, de transformación y de progreso, pero ajustando las necesidades a los recursos existentes y evitando el desarrollo energético, (Gomez, 2006)

Uno de los mayores consumidores de energía a nivel mundial es el sector de la construcción, el cual consume alrededor del 40 % de la energía primaria y es el responsable del 40 % de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Además consume alrededor del 16 % del agua dulce y el 25 % de la madera de los bosques, (Kwan, 2015). El sector residencial representa el 25 % del consumo final de energía, porcentaje que se ha mantenido en los últimos 35 años. Este valor representa el promedio mundial, sin embargo hay una gran disparidad entre los países debido a las condiciones climáticas, accesibilidad a los recursos energéticos, infraestructura energética, estructura económica y otras condiciones específicas de cada país. En el caso de Ecuador el consumo de energía final se encuentra por debajo del consumo promedio mundial, (Efficiency, 2014).

Acorde a la clasificación ASHRAE (2013), Ecuador cuenta con los climas 1-A (muy caluroso húmedo), 1-B (muy caluroso seco), 2-A (caluroso húmedo) y 3-A (templado húmedo). Esta clasificación utiliza datos por la NASA (2008) y considera tres parámetros: precipitación media diaria mensual, grados días de calefacción y grados día de refrigeración. Esta metodología ya puede definirse como climático-habitacional, porque utiliza los conceptos de confort térmico, (Palme, 2018). En Ecuador, los objetivos del plan nacional del buen vivir también enfocan

temas relacionados con la habitabilidad y eficiencia energética de la edificación como prioritarios para el desarrollo del país, Plan Nacional del (BuenVivir, 2013-2017).

La propuesta de una vivienda eficiente, digna, confortable, accesible a todos en el respeto de la sostenibilidad territorial es seguramente uno de los logros a los que hay que apostar para un futuro próximo, estrategias para mejorar las condiciones de habitabilidad y el consumo de energías en viviendas (Palme, 2018)”. En el Ecuador la norma INEN 2506:2009 señala la necesidad de considerar criterios sobre aislación térmica, factor de forma, eficiencia en iluminación, uso de energías renovables (INEN, Eficiencia energética en edificaciones, 2506:2009). Por estas razones, la provisión de edificaciones adecuadas y accesibles se ha convertido en un importante reto en la región. El reporte del Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente indica claramente la tendencia regional por implementar políticas públicas, planes y estrategias enfocadas en fomentar la eficiencia energética en edificaciones. Los reglamentos y ordenanzas vigentes que rigen el sector de la construcción en el país incluyen parámetros urbanísticos, (INEN, 1985). El estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientales limpias y sanas, así como de energías renovables diversificadas, de bajo impacto, que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas y el derecho al agua, Plan Nacional del (BuenVivir, 2013-2017).

Con la implementación del Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE), el Ecuador cumplirá iniciativas internacionales orientadas a garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna, Naciones Unidas en el séptimo Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS7, 2018). El objetivo de duplicar el índice global de la mejora en eficiencia energética, objetivo esencial de la iniciativa Energía Sostenible para todos, (SE4ALL, 2014:2024). La preocupación sobre el medio ambiente también trasciende a organizaciones a

nivel mundial, es por ello que tanto la Organización Institucional de Normalización (ISO), el Centro Europeo de Normalización (CEN), la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) han proporcionado normas y estándares vinculados al rendimiento energético de las edificaciones. Los beneficios encontrados en las edificaciones con criterios sustentables han motivado a que varios países desarrollen sus propias normas, en la cual se establecen requisitos mínimos para construcciones eficientes tomando como referencia los estándares internacionales (Mena, 2014),

La sociedad demanda cada vez materiales sostenibles, eficaces y duraderos pero al mismo tiempo respetando al medio ambiente con la finalidad de contribuir con la eficiencia energética en las edificaciones eficientes, los materiales de construcción se fabrican a partir de recursos naturales, hoy en día se busca materiales de rápida renovación para la construcción uno de los principales objetivos es el diseño sostenible en la transformación del proceso lineal en la industria de la construcción a un proceso cíclico en que los productos y los materiales puedan ser reutilizados, recuperados y reciclados. Alguno de los materiales de rápida renovación: Cábano, Linaza, Soja, Álamo, Coco, Girasol, Corcho, Caucho, Lana, Bambú, Algodón, Agro-fibras. El cábano tiene múltiples usos por su resistencia superior a otras agro-fibras algunas aplicaciones in-situ en la construcción en la combinación de cal para enlucidos y losas de hormigón por otro lado la soja se utiliza como aislamiento térmico de espuma proyectada (poliuretano ecológico) formada por plástico reciclado y aceite de soja, (SABMag, 2011).

El presente proyecto de investigación se basa en el estudio de las propiedades térmicas y mecánicas que determinan la capacidad que tienen los materiales de resistir fuerzas externas (Karsulovic, 1982), pueden ser analizadas a través de fibras perpendiculares o paralelas midiendo la resistencia a cargas o fuerzas. La relación que existe entre los incrementos de esfuerzo o carga que se ve sometido un cuerpo y su correspondiente aumento de deformación. La línea resultante

está formada por una recta hasta el límite elástico del material, al seguir aumentando la carga se obtiene la rotura del material (Pérez, 1983).

Para determinar las siguientes propiedades mecánicas se realizaron los siguientes ensayos de Compresión: Se distingue dos tipos de fuerzas según la carga aplicada; compresión perpendicular a la fibra y compresión paralela. Donde la compresión perpendicular a la fibra ocurre cuando la fuerza solicitante actúa en dirección perpendicular a las fibras y corresponde a la resistencia que opone el material a una carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras por otro lado la compresión paralela ocurre cuando una fuerza actúa de manera paralela y corresponde a la resistencia que opone una viga a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de la fibra (Karsulovic, 1982).

El ensayo de Flexión se produce cuando el material es sometido a la aplicación de cargas transversales en su eje longitudinal teniendo como resultado la deformación del material, con la parte superior en compresión, la inferior en tracción (Karsulovic, 1982).

La Resistencia a la Tracción es la fuerza que realiza el material ante dos tensiones de sentido contrario que dan como resultado que la sección transversal disminuya y aumente la longitud. El contenido de humedad (CH) es muy importante de analizar ya que está relacionado con la cantidad de moléculas de agua presentes en el material por lo que para su determinación es importante conocer algunas de sus propiedades físico-químicas, con esto permite establecer relaciones que facilitan su medición. Para medir el CH se requiere conocer cómo se llevó a cabo la interacción agua-material. La mayoría de materiales sólidos contienen agua e interactúan dinámicamente con nuestro entorno (López, 2012).

Las propiedades térmicas determinan el comportamiento del material en conducir el calor a través de ellos, el uso de la ley de Fourier hace obligatorio el conocimiento de la conductividad térmica, proporcionando una indicación de la velocidad que se transfiere la energía mediante el

procedo de difusión, dependiendo de la estructura física de la materia molecular y atómica, relacionado con el estado de la materia (Incropera, 1999).

Para poder realizar los ensayos del Roble (*Terminalia valverdae*) de la familia de los Combretaceae una especie en peligro de extinción (Mendoza, 2012), según la dirección provincial del Ministerio del Ambiente (MAE) las principales pérdidas del bosque nativo son por el crecimiento de la ganadería, cultivos agrícolas y la tala ilegal de árboles. El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (Magap) asegura que hace 30 años no existen políticas en cuanto al mantenimiento de los bosques (Viña, 2013).

En la actualidad existen muy pocos aserraderos donde es viable conseguir el Roble adquiriendo muy pocos ejemplares ya que es un símbolo muy querido por su fuerza y duración. Mediante la adquisición se logró conseguir el material apto para hacer los ensayos térmicos y mecánicos realizando una comparación con otros proyectos de investigaciones como el de la autora (Méndez, 2005). “Evaluación de propiedades Físicas y Mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes” donde se investiga bajo la norma Chilena (NCh968.Of86, 1999); (NCh176/1, 2003),1984; NCh176/1.Of86, todas las probetas se acondicionan con un contenido de humedad (CH) 12% utilizando como patrón de comparación las propiedades físico-mecánicas del Roble, dado que sus propiedades se utilizan en carpintería, construcciones rurales, vigas, puntales.

Cabe mencionar el proyecto de investigación científico de los autores Gualoto y Amores (2013) con el tema “Análisis de las propiedades físicas y 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” proponiendo aumentar la base de datos sobre las características de la madera basándose en normas de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas COPANT y ASTM.

La Tesis Doctoral de Fernández (2009) de la Universidad Politécnica de Madrid tiene una analogía con este proyecto de investigación con el tema “Influencia de la Dosificación y Empleo de diferentes tipos de Cemento y adiciones en las propiedades Mecánicas del Hormigón Autocompactante” creando una base de datos en diferentes publicaciones sobre las principales propiedades mecánicas del hormigón para distintos tipos de adiciones y porcentajes de adición para cada dosificación, usando para su investigación todos los cementos que cumplan la UNE-EN 197-1 bajo la normativa de la Federación Europea dedicada a sistemas específicos del hormigón y productos químicos especializados para la construcción EFNARC.

Otra Tesis Doctoral de la UPC de interés es del autor Lozano donde muestra y analiza los resultados de los ensayos experimentales con el hormigón, mencionando variables de estudio y diseño de la mezcla, adición de materiales y ensayos de caracterización. Presentando los resultados obtenidos a la simulación en condiciones de invierno y verano, los resultados térmicos basando su comportamiento fresco durante las primeras horas (24,48 y 72 horas) y los resultados mecánicos correspondiente a los 7 y 28 días.

Es de vital importancia abarcar en futuros proyectos de investigación el estudio del comportamiento del hormigón a bajas temperaturas por debajo de los  $0^{\circ}\text{C}$  ya que no siempre se está de lado la fisuración o la fractura se han descrito situaciones como la fatiga térmica en presencia del enfriamiento brusco o de la humedad. Este artículo del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España del autor Calafat (1981) donde va dirigido al proyectista ofreciendo datos sobre la resistencia del hormigón, al constructor parámetros que debe controlar durante la construcción y ensayos a realizar y al científico las áreas del estudio del comportamiento del hormigón bajo efectos dinámicos y estados multiaxiales.

La normativa ISO 8302 da a conocer el aislamiento térmico determinando la resistencia térmica y propiedades relacionadas en régimen estacionario con placa caliente la obtención de

propiedades de flujo de calor en estado estable y transmisión térmica. La norma ISO 6904 proporcionando el método de cálculo de la resistencia térmica y de los componentes 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.

La norma INEN 2506:2009 donde hace referencia a datos de conductividad térmica y calor específico de materiales de construcción como el roble madera dura y el hormigón. Para mejorar una vivienda existente o influir en las decisiones de futuras construcciones no es sencillo ya que requiere mucho de la participación de los ingenieros y arquitectos que tienen que estar capacitados para introducir estos conceptos de diseño de las viviendas, la participación esencial del estado a lo largo de la cadena es esencial tanto en la capacitación y supervisión, el objetivo de transformación de nuestras viviendas a viviendas eficientemente energéticas mejorando confort de calidad, (Mendéz, 2016). Sin embargo no existe en el país un reglamento que regule la eficiencia del uso energético en edificaciones y que además exija condiciones adecuadas en confort higrotérmico, “Estrategias para mejorar las condiciones de habitabilidad y el consumo de energías en viviendas INER”.

Por lo cual este proyecto de investigación tiene como objetivo aportar al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) datos in situ mediante la caracterización térmica y mecánica de materiales más usados en la construcción como el hormigón y el roble para implementar nuevas prácticas de diseño en la construcción de edificaciones eficientes a nivel nacional.

Este proyecto de investigación se plasmara con materiales de construcción obtenidos en diferentes provincias del país, enfocado directamente para las personas naturales que realizan construcciones de manera artesanal. Para los ensayos Térmicos y Mecánicos se realizaron probetas mediante bajo normas Internacionales ASTM, Normas ISO y Normas Nacional INEN

obteniendo como resultado un análisis estadístico de esta manera el país podrá desarrollar sus propias normas , facilitando al constructor requisitos mínimos para edificaciones eficientes.

## Método

Para el siguiente proyecto de investigación se realizaron ensayos térmicos y mecánicos con probetas de madera dura roble y hormigón. Para la madera dura roble se lo obtuvo de tres diferentes provincias del Ecuador de la región Costa: Manabí, El Oro y de la Región Sierra: Loja ya que su habita se encuentra en hondonadas de bosque seco crece entre los 0-500 msnm (MAE, 2012). La madera es un material anisotrópico y ortotrópico lo cual obliga a tener presente la orientación de las fibras: paralela y perpendicular, las propiedades mecánicas y físicas se obtienen en base a normas su composición está constituida por pequeñas células en su estructura como:

Fibras: Desempeñan la función mecánica

Vasos: Su función es la conducción

Traqueida: Células alargadas en sus paredes

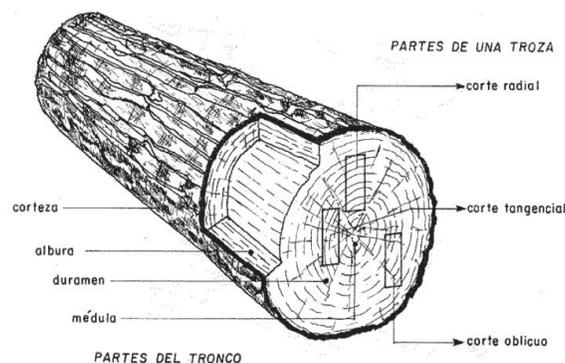


Figura 1. Composición del Tronco y Cortes. Tomado de (INEN-NEC-SE-MD26-7, 2015)

En la norma ASTM el secado es una de las exigencias tanto para mejorar sus propiedades y preservación cuando las células están vacías y las paredes se hayan de manera higroscópica la madera llega al punto de saturación de las fibras del 30% CH a partir de este porcentaje llegan a parecer defectos.

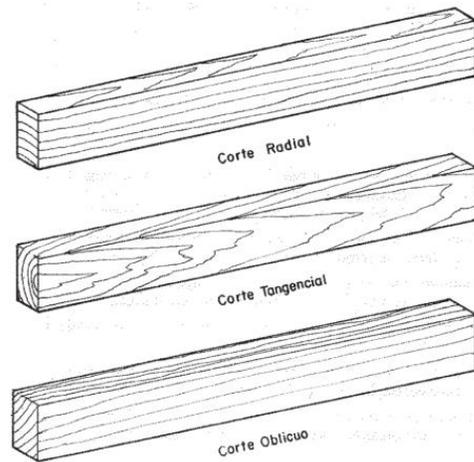


*Figura 2.* Horno de Secado. Tomado de (*Tecnimadera, 2018*)



*Figura 3.* Preparación de probetas madera dura roble. Tomado de (*Tecnimadera, 2018*)

La composición química de la madera es del 49% de carbón, 44 % de oxígeno, 6% de hidrogeno, 0,10 % de ceniza, y 0,9 % de Nitrógeno. Para las propiedades resistentes de la madera se reconocen tres direcciones de corte: corte longitudinal, corte tangencial y corte radial.



*Figura 4.* Direcciones de corte. Tomada (INEN-NEC-SE-MD26-7, 2015)

Para el método de selección de muestras se lo denomina cruciformes empleadas cuando se pretende determinar la variabilidad de las propiedades mecánicas. Para la adquisición del Roble se tuvo que hacer un sondeo en las diferentes regiones del país dando como resultado la adquisición de ejemplares en los distintos aserraderos de la región costa: El Oro, Manabí y la región sierra Loja para los ensayos térmicos se utilizaron 9 probetas: 3 probetas de El Oro, 3 probetas de Manabí y 3 probetas de Loja y para los ensayos mecánicos se necesitaron 60 probetas las cuales se dividieron para los diferentes ensayos de Compresión Paralela, Compresión Perpendicular, Flexión y Tracción.

Para poder realizar los ensayos con el hormigón se realizó un sondeo con el material predominante el cemento, para la obtención de las probetas se elaboraron con tres diferentes clases de Cemento: Cemento Holcim, Cemento Rocafuerte, Cemento Selva Alegre cumpliendo los requerimientos de la norma ASTM C78 y ASTM C31M. El hormigón es un material de construcción formado por la mezcla de cemento, agua, arena y áridos (grava o piedra). La consistencia dependerá del contenido de agua de la mezcla y su plasticidad dependerá del contenido de áridos de diámetro inferior de 0,1 mm como muestra la figura 5 y 6.



*Figura 5.* Preparación del hormigón



*Figura 6.* Preparación de probetas cilíndricas

Los cementos portland se lo define como cemento hidráulico para construcción producido por pulverización del Clinker que contiene sulfato de calcio, adiciones y 5% de piedra caliza NTE INEN 151, hay varios tipos de cemento las propiedades están asociados a la composición química que se expresa en forma de sus óxidos los cuales formaran compuestos distintos en las reacciones de hidratación, en la norma NTE INEN 2380 clasifica a los 6 tipos de cementos de acuerdo a sus propiedades: Tipo GU para construcción en general, HE alta resistencia inicial, MS moderada resistencia a los sulfatos, HS alta resistencia a los sulfatos, MH moderado calor de hidratación, LH bajo calor de hidratación.

La composición química del hormigón es de Silicato tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) 40% a 50% Silicato bicálcico ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) 20% a 30%, Aluminato tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 10% a 15% Aluminatoferrito tetracálcico ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 5% a 10%.

Cemento Holcim Ecuador producen varios tipos de cemento bajo la norma NTE 2380 que equivale a la ASTM C1157, tipo GU minimizando el impacto ambiental reduciendo hasta 35% de emisiones de  $\text{CO}_2$ .

Cemento Selva Alegre es un cemento puzolánico tipo MS, diseñado para construcciones de hormigón cumpliendo los requisitos de la norma ecuatoriana NTE INEN 2380 y ASTM C1157.

Cemento Chimborazo HE de alta resistencia inicial cumpliendo la norma NTE INEN 2380, producido con Clinker, adiciones minerales, sulfato de calcio componente dosificados obteniendo un producto de alta calidad basado en norma INEN 9001.

Para la obtención de las probetas se siguieron parámetros establecidos de Normas Internacionales y Nacionales, para los ensayos térmicos y mecánicos del Hormigón y Roble se realizaron las probetas bajo Normas International Standardization Organization (ISO) 8302:1991 para determinar el coeficiente de conductividad, para el hormigón se realizaron 15 probetas con 3 diferentes clases de cementos: 5 probetas con cemento Holcim, 5 probetas con cemento Chimborazo y 5 probetas con cemento Selva Alegre para los ensayos mecánicos se necesitaron 60 probetas las cuales se dividieron para los diferentes ensayos de Compresión Paralela, Compresión Perpendicular, Flexión y Tracción. Para poder obtener el hormigón se necesitan algunos materiales como el cemento y sus agregados los mismos que fueron adquiridos en los diferentes centros de construcciones del país.

## Ensayos Físicos-Mecánicos

### Ensayos Térmicos

Para poder medir los ensayos de conductividad térmica del hormigón y roble se utilizó la máquina térmica de placa caliente del laboratorio de ensayos térmicos y eficiencia energética de la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL),  $\lambda$ -Meter EP500e, Versión C de medición de conductividad, que se muestra en la figura 7.



Figura 7. Máquina  $\lambda$ -Meter EP500e, Versión C. Tomado en la ESPOL

La ecuación del flujo de calor se calcula con:

$$q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{d} \quad (1)$$

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

k = Condición de conductividad térmica 0,01 a 1,00 (W/m °K)

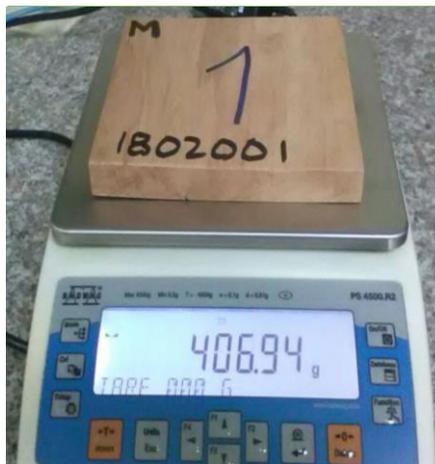
A = Área de la sección transversal ( $m^2$ )

$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas a través del espécimen (°C o °K)

d = Espesor de la muestra (m)

El ensayo para la determinación de conductividad térmica se basan bajo la norma ISO 8302 por el método de placa caliente resguardada, las muestras deben ser de composición

homogénea con un área de 150 x 150 mm<sup>2</sup>, espesores de 10 mm hasta 200 mm. Los ensayos se ejecutan a temperaturas entre -10 ° C hasta 50 ° C este procedimiento permite medir rango de conductividades de 0,002 a 2,5 W/ m ° K (ISO 8302, 1991) y (ASTM-C177, 2013). Para poder realizar los ensayos térmicos se necesitaron 9 probetas de madera dura roble y 15 probetas de hormigón, previamente se debe mantener las probetas en un cuarto con humedad y temperatura controlada de 23 ° C por un periodo de 24 horas, después de haber transcurrido el tiempo necesario de acondicionamiento se procede a tomar las medidas con balanzas de apreciación de  $\pm 0.05$  mm como muestra (figura 8).



*Figura 8.* Toma de datos con balanza de apreciación  $\pm 0.05$  mm

La codificación de las muestras es necesario para tener constancia del número de probetas a ensayar (ver figuras 9, 10).



*Figura 9.* Codificación de probetas de madera dura roble provincia de El Oro



*Figura 10.* Codificación de probetas del hormigón cemento Holcim

Se verifica con instrumentos de precisión que la muestra cumpla la normativa ISO 8302 se toma 5 medidas de la probeta para tener un promedio o media aritmética, después se cubren las probetas de la madera dura roble y el hormigón con plástico de polipropileno posteriormente se coloca encima de la muestra gel ultrasónico evitando espacios de vacío. A continuación se coloca la probeta dentro del equipo como muestra (ver figura 11).



*Figura 11.* Probeta de hormigón Holcim en Máquina  $\lambda$ -Meter EP500e, Versión C.

En la figura 5 se observa la probeta de hormigón Holcim ubicada en la posición según norma ISO 8302 en conjunto se coloca un material aislante evitando pérdidas de calor. Para después programar en el equipo con datos como: porcentajes de humedad, área, densidad, peso, espesor y temperatura de ambiente. Cuando el equipo se estabilice la máquina  $\lambda$ -Meter EP500e, Versión C se detendrá por un rango aproximado de 8 a 12 horas y se obtendrán los resultados de resistencia térmica y el coeficiente de conductividad térmica.

Tabla 1

*Obtenida del laboratorio de ensayos térmicos y eficiencia energética de la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL).*

Ubicación	Probeta	Código	Largo	Ancho	Espesor	Peso	Densidad
Provincia	Nº		(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kg/m <sup>3</sup> )
El Oro	1	1802001	149	149	19,6	406,94	933,8
	2	1802002	149	151	19,42	410,74	940,1
	3	1802003	150	149	19,55	423,89	970,1
Manabí	4	1802004	150	150	19,65	414,91	938,4
	5	1802005	148	147	19,53	403,39	949,4
	6	1802006	149	150	19,46	404,52	930,1
Loja	7	1802007	149	149	19,46	405,2	937,9
	8	1802008	151	149	19,72	405,1	913,0
	9	1802009	150	148	19,61	403,1	925,9

En la tabla 1, se muestran las medidas correspondientes a las 9 probetas de las 3 diferentes provincias del país.

## Tabla 2

*Obtenida del laboratorio de ensayos térmicos y eficiencia energética de la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL).*

<b>Procedencia + agregado</b>	<b>Probeta N°</b>	<b>Código</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Hormigón A Cemento Holcim	1	1801009	150	153	21,0	935,4	1941,8
	2	1801010	150	151	21,01	924,86	1943,5
	3	1801011	149	151	20,81	903,6	1929,9
	4	1801012	150	150	20,83	906,66	1934,5
	5	1801013	150	150	21,41	934,3	1939,5
Hormigón B Cemento Chimborazo	6	1801014	150	149	20,72	899,9	1943,2
	7	1801015	149	150	20,93	956,5	2044,7
	8	1801016	148	151	21,75	955,7	1966,2
	9	1801017	150	149	20,66	899,2	1947,4
	10	1801018	150	150	20,93	912,2	1937,0
Hormigón C Cemento Selva Alegre	11	1801019	151	150	21,1	942,2	1971,5
	12	1801020	148	150	20,74	884,3	1920,6
	13	1801021	150	149	21,65	969,2	2003,0
	14	1801022	149	150	20,69	923,2	1996,4
	15	1801023	149	149	22,29	1006,4	2033,7

En la tabla 2, se muestran las medidas correspondientes a las 15 probetas de hormigón con 3 diferentes clases de cementos del país.

### **Ensayos de Contenido de Humedad (CH)**

#### **Ensayo CH - Madera**

Para los ensayos de Contenido de Humedad de la madera dura roble se los realizo bajo la norma ASTM D4442 y (NCh176/1, 2003),1984; NCh176/1.Of86, el agua está presente en la madera de tres formas: higroscópica o fija, agua libre y agua de constitución. El contenido de humedad es el porcentaje en peso que tiene el agua libre más el agua molecular con respecto al peso de la madera seca o anhidra.

Tabla 3

*Se muestran las medidas correspondientes de la madera dura roble según norma ASTM (D4442, 2016).*

<b>Ensayo</b>	<b>Dimensiones (mm)</b>	<b>Temperatura Ambiente</b>	<b>Temperatura Horno</b>	<b>Tiempo secado</b>
CH	25,4*25,4*101,6	20 ° C ± 2 ° C	103°C ± 2 ° C	24 hrs.

La ecuación de contenido de humedad de la madera dura roble se calcula con:

$$CH = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100\% \tag{2}$$

CH= Contenido de Humedad expresado en %

Ph= Peso de la madera en su estado húmedo inicial

Ps= Peso de la madera en estado anhidro peso final

**Ensayo CH - Hormigón**

Para los ensayos del contenido de humedad del hormigón se lo realizo bajo la norma ecuatoriana (INEN0862, 2011) y norma ASTM (C566, 2004) para áridos para hormigón determinación del contenido total de humedad

Tabla 4

*Se muestran las medidas correspondientes del hormigón según norma ASTM (C566, 2004).*

<b>Tamaño máximo nominal</b>	<b>Masa mínima</b>
<b>mm(plg)</b>	<b>(Kg)</b>
4,75 (0.187)	0,5
9,5 (3/8)	1,5
12,5 (1/2)	2,0
19,0 (3/4)	3,0
25,0(1)	4,0
37,5 (1 ½)	6,0
50 (2)	8,0
63 (2½)	10,0
75 (3)	13,0
90 (3½)	16,0
100 (4)	25,0
150 (6)	50,0

La ecuación de contenido de humedad del hormigón se calcula con:

$$P = 100 \frac{W-D}{D} \quad (3)$$

P= Contenido total de humedad evaporable de la muestra, porcentaje

W= Masa de la muestra original

D= Masa de la muestra seca

Para determinar el peso de la madera y el hormigón en su estado húmedo inicial (Ph) se lo realiza con una balanza de apreciación de  $\pm 0,5$  mm marca OHAUS modelo PA 214-8033041136 como muestra la figura 12 y 13.



*Figura 12.* Peso de la madera en su estado húmedo inicial (Ph)



*Figura 13.* Peso del hormigón en su estado húmedo inicial (Ph)

Posteriormente se ingresan las probetas en el horno de secado para la madera dura a una temperatura de  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y para el hormigón una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  equipos de la Universidad Internacional SEK (UISEK) marca DAIHAN SCIENTIFIC modelo WOF 105-0409303119D006 de precisión de 0,10 mm como muestra la figura 14 y 15.



*Figura 14.* Horno de secado madera dura roble



*Figura 15.* Horno de secado temperatura  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

Para después de las 24 horas según norma (D4442, 2016) determinar el peso de la madera y del hormigón en estado anhidro peso final ( $P_s$ ) ver figura 16 y 17.



*Figura 16.* Peso de la madera dura roble en estado anhidro (Ps)



*Figura 17.* Peso del hormigón en estado anhidro (Ps)

Tabla 5

*Obtenida del laboratorio de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK (UISEK).*

<b>Ubicación</b> <b>Provincia</b>	<b>Probeta</b> <b>Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Peso</b> <b>inicial (gr)</b>
El Oro	1	220118	64,08
	2	220119	65,50
	3	220120	64,76
	4	220121	60,24
	5	220122	66,56
Manabí	6	220123	64,33
	7	220124	64,14
	8	220125	63,70
	9	220126	61,15
	10	220127	65,65
Loja	11	220128	66,25
	12	220129	65,33
	13	220130	67,63
	14	220131	67,06
	15	220132	67,05

En la tabla 5, se muestran las medidas correspondientes a las 15 probetas de hormigón con 3 diferentes clases de cementos del país.

Tabla 6

*Obtenida del laboratorio de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK (UISEK).*

<b>Procedencia + agregado</b>	<b>Probeta Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Peso inicial (gr)</b>
Hormigón A Cemento Holcim	1	220133	914,60
	2	220134	915,00
	3	220135	914,20
	4	220136	915,30
	5	220137	914,80
Hormigón B Cemento Chimborazo	6	220138	914,43
	7	220139	915,05
	8	220140	914,50
	9	220141	915,16
Hormigón C Cemento Selva Alegre	10	220142	914,97
	11	220143	914,71
	12	220144	914,10
	13	220145	915,23
	14	220146	914,98
	15	220147	914,41

### Ensayos Mecánicos

Para los ensayos mecánicos se utilizó la maquina universal electro-hidráulica de la Universidad Internacional SEK (UISEK) la cual genera una fuerza máxima de 600 KN que se muestra en la figura 18.

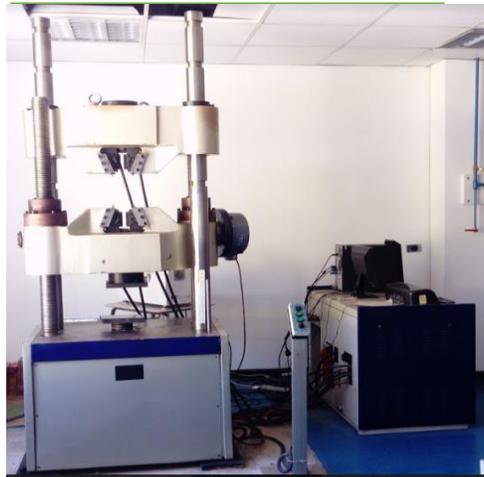


Figura 18. Máquina de Ensayos Universales UISEK

Los resultados de los ensayos de este proyecto de investigación nos da una curva esfuerzo vs deformación o carga vs desplazamiento.

### Ensayos Mecánicos-Madera

Para los ensayos mecánicos a la compresión paralela, compresión perpendicular, flexión y tracción se los realizo bajo la norma ASTM D143 y NCh968.Of86; NCh176/1,1984; NCh176/1.Of86.

Tabla 7

*Se muestran las medidas correspondientes a la norma ASTM D143.*

Ensayo	Dimensiones (mm)	Aplicación de carga v (mm/min)	CH 12%	Norma ASTM
Compresión Paralela	50x50x200	0.60	12	D143
Compresión Perpendicular	50x50x150	0.31	12	D143
Flexión	50x50x760	2.50	12	D143
Tracción	25x460 – 4,8x95	1,00	12	D143

### Compresión Paralela

La resistencia a la compresión paralela de la madera dura de roble ocurre cuando una fuerza actúa de manera paralela y corresponde a la resistencia que opone una viga de 50x50x200 a una carga aplicada de 0,60 mm/min en el mismo sentido de la dirección de la fibra como muestra la figura 19.



Figura 19. Ensayo de Compresión Paralela

La ecuación del módulo Elástico MOE se calcula con:

$$E = \frac{f_1}{\varepsilon_1} = tg \propto \quad (4)$$

E= Módulo elástico

f1= Tensión

$\varepsilon_1$ = Deformación Unitaria

La ecuación del esfuerzo último se calcula con:

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A} \quad (5)$$

$\sigma_u$  = Esfuerzo ultimo a compresión paralela (MPa)

Fu = Carga de rotura (N)

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

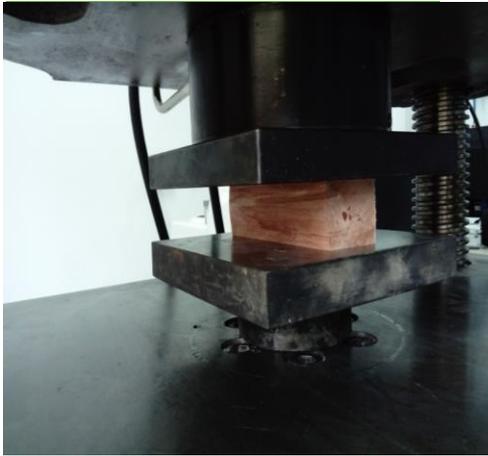
Tabla 8

*Se muestran las medidas correspondientes a las 15 probetas de madera dura roble para los ensayos las 3 diferentes provincias del país.*

Ubicación	Probeta	Código	Base	Altura	Largo	V
Provincia	Nº		(mm)	(mm)	(mm)	(mm/min)
El Oro	1	220148	50	50	150	0,31
	2	220149	50	50	150	0,31
	3	220150	50	50	150	0,31
	4	220151	50	50	150	0,31
	5	220152	50	50	150	0,31
	6	220153	50	50	150	0,31
Manabí	7	220154	50	50	150	0,31
	8	220155	50	50	150	0,31
	9	220156	50	50	150	0,31
	10	220157	50	50	150	0,31
	11	220158	50	50	150	0,31
Loja	12	220159	50	50	150	0,31
	13	220160	50	50	150	0,31
	14	220161	50	50	150	0,31
	15	220162	50	50	150	0,31

### Compresión Perpendicular

La resistencia a la compresión perpendicular a la fibra de la madera dura del roble corresponde a la resistencia que opone la viga de 50x50x150 a una carga aplicada de 0,31 mm/min en sentido perpendicular a la dirección de las fibras como muestra la figura 20.



*Figura 20. Ensayo de Compresión Perpendicular*

La ecuación de la resistencia unitaria máxima se calcula con:

$$RUM = \frac{p}{S} \quad (6)$$

RUM = Resistencia unitaria máxima (MPa)

p = Carga necesaria hasta penetración de 2.5 mm (N)

S = Área de contacto por la placa de acero sobre la superficie del espécimen ( $mm^2$ )

Tabla 9

*Se muestran las medidas correspondientes a las 15 probetas de madera dura roble para los ensayos de las 3 diferentes provincias del país.*

Ubicación	Probeta	Código	Base	Altura	Largo	V	CH
Provincia	Nº		(mm)	(mm)	(mm)	(mm/min)	12%
El Oro	1	220163	50	50	200	0,60	12
	2	220164	50	50	200	0,60	12
	3	220165	50	50	200	0,60	12
	4	220166	50	50	200	0,60	12
	5	220167	50	50	200	0,60	12
Manabí	6	220168	50	50	200	0,60	12
	7	220169	50	50	200	0,60	12
	8	220170	50	50	200	0,60	12
	9	220171	50	50	200	0,60	12
	10	220172	50	50	200	0,60	12
Loja	11	220173	50	50	200	0,60	12
	12	220174	50	50	200	0,60	12
	13	220175	50	50	200	0,60	12
	14	220176	50	50	200	0,60	12
	15	220177	50	50	200	0,60	12

### Flexión

El ensayo de Flexión se produce cuando la viga de 50x50x760 con luz de flexión de 710 mm es sometido a la aplicación de cargas transversales en su eje longitudinal a 2,50 mm/min teniendo como resultado la deformación del material, con la parte superior en compresión y la inferior en tracción como muestra la figura 21.

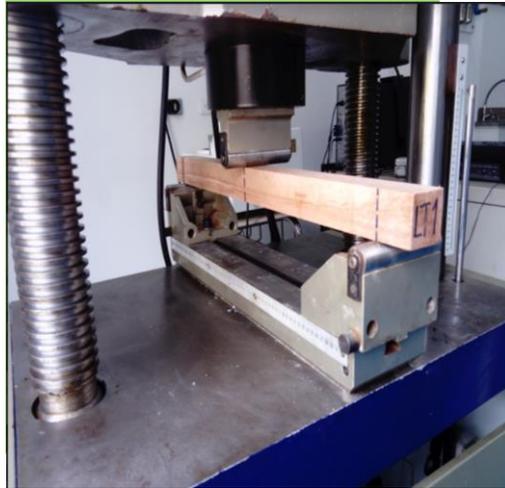


Figura 21. Ensayo de Flexión

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

$$MOEf = \frac{P_2 * L^3}{4 * d_1 * b * h^3} \quad (7)$$

MOEf = Esfuerzo unitario máximo (MPa)

$P_2$  = Carga 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 esfuerzo unitario para el límite de proporcionalidad se calcula con la ecuación:

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

ELPf = Esfuerzo unitario límite de proporcionalidad (MPa)

$P_2$  = Carga límite de proporcionalidad (N)

L = Longitud entre apoyos (mm)

b = Base de la probeta (mm)

h = Altura de la probeta (mm)

Tabla 10

*Se muestran las medidas correspondientes a las 15 probetas de madera dura roble para los ensayos de las 3 diferentes provincias del país.*

<b>Ubicación</b>	<b>Probeta</b>	<b>Código</b>	<b>Base</b>	<b>Altura</b>	<b>Largo</b>	<b>V</b>	<b>CH</b>
<b>Provincia</b>	<b>Nº</b>		<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm/min)</b>	<b>12%</b>
El Oro	1	220178	50	50	760	2,50	12
	2	220164	50	50	760	2,50	12
	3	220165	50	50	760	2,50	12
	4	220166	50	50	760	2,50	12
	5	220167	50	50	760	2,50	12
Manabí	6	220168	50	50	760	2,50	12
	7	220169	50	50	760	2,50	12
	8	220170	50	50	760	2,50	12
	9	220171	50	50	760	2,50	12
	10	220172	50	50	760	2,50	12
Loja	11	220173	50	50	760	2,50	12
	12	220174	50	50	760	2,50	12
	13	220175	50	50	760	2,50	12
	14	220176	50	50	760	2,50	12
	15	220177	50	50	760	2,50	12

### **Tracción**

El ensayo de Tracción es la fuerza que realiza la viga de 25x460 – 4,8x95 ante dos tensiones de sentido contrario que dan como resultado que la sección transversal disminuya y aumente la longitud como muestra las figura 22.



*Figura 22. Ensayo de Tracción*

La ecuación del esfuerzo unitario al límite de proporcionalidad se calcula con:

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} \quad (9)$$

$\sigma_1$  = Esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad (MPa)

$P$  = Carga límite de proporcionalidad (N)

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

La ecuación del esfuerzo unitario máximo se calcula con:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A} \quad (10)$$

$\sigma_{max}$  = Esfuerzo unitario máximo (Mpa)

$P_{max}$  = Carga máxima (N)

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

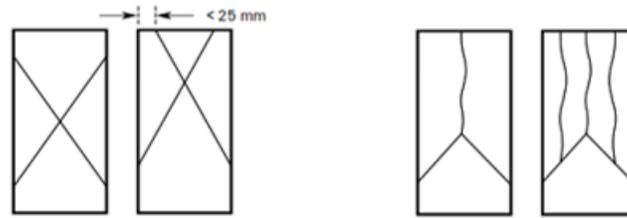
Tabla 11

*Se muestran las medidas correspondientes a las 15 probetas de madera dura roble para los ensayos de las 3 diferentes provincias del país.*

Ubicación	Probeta	Código	Base	Altura	Largo	V	CH
Provincia	N°		(mm)	(mm)	(mm)	(mm/min)	12%
El Oro	1	220178	25,4	25,4	460	1	12
	2	220164	25,4	25,4	460	1	12
	3	220165	25,4	25,4	460	1	12
	4	220166	25,4	25,4	460	1	12
	5	220167	25,4	25,4	460	1	12
	6	220168	25,4	25,4	460	1	12
Manabí	7	220169	25,4	25,4	460	1	12
	8	220170	25,4	25,4	460	1	12
	9	220171	25,4	25,4	460	1	12
	10	220172	25,4	25,4	460	1	12
	11	220173	25,4	25,4	460	1	12
	12	220174	25,4	25,4	460	1	12
Loja	13	220175	25,4	25,4	460	1	12
	14	220176	25,4	25,4	460	1	12
	15	220177	25,4	25,4	460	1	12

### Ensayos Mecánicos-Hormigón

Para los ensayos mecánicos del hormigón a la Compresión Paralela, compresión perpendicular, flexión y tracción del hormigón se los realizo bajo la norma ASTM C31M y ASTM C 78 para preparar y curar especímenes de ensayo de Hormigón en campo. Las probetas cilíndricas deben tener una esbeltez o relación altura diámetro igual a 2, hay cuatro tipos de fractura que se producen en los cilindros con esbeltez 2 se indican como muestra la figura 23.



Tipo 1. Conos en ambos extremos  
fisuras menores a 25 mm

Tipo 2. Fisuras verticales  
a través de la cabecera



Tipo 3. Fisuras vertical columnar a través  
de ambos extremos



Tipo 4. Fractura diagonal

Figura 23. Tipos de Fractura en cilindros de hormigón. Tomado de (INECYC, 2009)

Tabla 12

Se muestran las medidas y normas correspondientes utilizadas para los diferentes ensayos del hormigón.

Ensayo	Dimensiones	Aplicación de carga	Norma
		V (MPa)	ASTM
Compresión Paralela	100 $\phi$ x 200 h	0,20 - 0,30	C 31M
Compresión Perpendicular	150x150x300	0,20 - 0,30	C 31 M
Flexión	150x150x500	0,86 - 1,21	C 78
Tracción	100 $\phi$ x 200 h	0,86 -1,21	C 496 M

### Relación Agua / Cemento (A/C)

Dentro del campo de las mezclas plásticas, la resistencia a los esfuerzos mecánicos varía en razón inversa a la relación agua/cemento. Según la ley de Abrams a menor relación agua/cemento mayor resistencia y durabilidad mejorando todas las propiedades del concreto.

La ecuación de Abrams se calcula con:

$$R = \frac{k_1}{k_2 \frac{A}{C}} \quad (11)$$

R= Resistencia a los esfuerzos mecánicos (kg/cm<sup>2</sup>)

A/C= Relación agua / cemento

K1 y K2= son valores que dependerán de la calidad del cemento, sistema de curado, edad del concreto y tipo de agregados

### Compresión Paralela

Para los ensayos de resistencia a la compresión paralela del hormigón se utiliza probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura aplicando una fuerza está actúa de manera paralela y corresponde a la resistencia que opone a una carga aplicada entre 0,20-0,30 MPa/s en el mismo sentido de la dirección de la fibra como muestra la figura 24.



Figura 24. Ensayo de Compresión Paralela

La ecuación de la resistencia a la compresión se calcula con:

$$RC = \frac{P}{A} \quad (12)$$

RC= Resistencia a la compresión del cilindro (kg/cm<sup>2</sup>)

P= Carga máxima aplicada en (kg)

A= Área de la sección transversal (cm<sup>2</sup>)

La ecuación para calcular volumen de la probeta se calcula con:

$$V = s * h \quad (13)$$

V= Volumen de la probeta

S= Sección de ensayo (mm<sup>2</sup>)

A= altura promedio (mm)

Tabla 13

*Se muestran las medidas correspondientes a las 15 probetas de hormigón con 3 diferentes clases de cementos del país.*

Procedencia + agregado	Probeta N°	Código	Diámetro (mm)	Largo (mm)	Carga (MPa/s)
Hormigón A Cemento Holcim	1	220178	100	200	0,20
	2	220179	100	200	0,20
	3	220180	100	200	0,20
	4	220181	100	200	0,20
	5	220182	100	200	0,20
Hormigón B Cemento Chimborazo	6	220183	100	200	0,20
	7	220184	100	200	0,20
	8	220185	100	200	0,20
	9	220186	100	200	0,20
Hormigón C Cemento Selva Alegre	10	220187	100	200	0,20
	11	220188	100	200	0,20
	12	220189	100	200	0,20
	13	220190	100	200	0,20
	14	220191	100	200	0,20
	15	220192	100	200	0,20

### Compresión Perpendicular

La resistencia a la compresión perpendicular del hormigón corresponde a la resistencia que opone la viga de 150x150x300 a una carga aplicada de 0,20 MPa/s en sentido perpendicular a la dirección de las fibras como muestra la figura 25.



*Figura 25. Ensayo de Compresión Perpendicular*

La ecuación de la resistencia a la compresión se calcula con:

$$RC = \frac{P}{A} \quad (14)$$

RC= Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

P= Carga máxima aplicada en (kg)

A= Área de la sección transversal (cm<sup>2</sup>)

Tabla 14

*Se muestran las medidas correspondientes a las 15 probetas de hormigón con 3 diferentes clases de cementos del país.*

<b>Procedencia + agregado</b>	<b>Probeta N°</b>	<b>Código</b>	<b>Base (mm)</b>	<b>Atura (mm)</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Carga (MPa/s)</b>
Hormigón A Cemento Holcim	1	220193	150	150	300	0,20
	2	220194	150	150	300	0,20
	3	220195	150	150	300	0,20
	4	220196	150	150	300	0,20
	5	220197	150	150	300	0,20
Hormigón B Cemento Chimborazo	6	220198	150	150	300	0,20
	7	220199	150	150	300	0,20
	8	220200	150	150	300	0,20
	9	220201	150	150	300	0,20
	10	220202	150	150	300	0,20
Hormigón C Cemento Selva Alegre	11	220203	150	150	300	0,20
	12	220204	150	150	300	0,20
	13	220205	150	150	300	0,20
	14	220206	150	150	300	0,20
	15	220207	150	150	300	0,20

### Flexión

El ensayo de Flexión se produce cuando la viga de 150x150x500 es sometido a la aplicación de cargas de la máquina universal donde se distribuye en las secciones A y B iguales a  $P/2$  y se transmite como reacciones iguales en los apoyos, a lo largo de la viga se produce un momento flector que es igual  $PL/6$ , (INECYC, 2009) como muestra la figura 26 y 27.

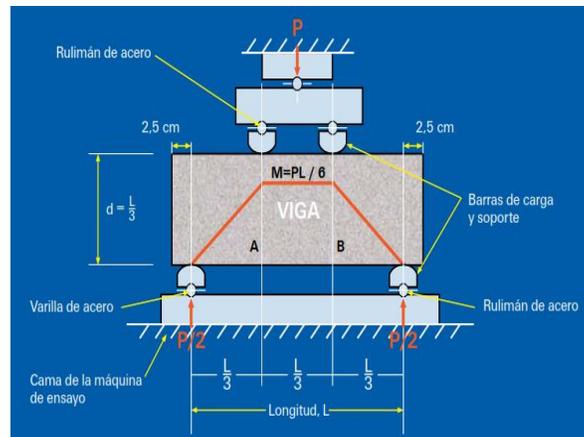


Figura 26. Ensayo de Flexión. Tomado de (ASTM, 2016)



Figura 27. Ensayo de Flexión Laboratorios UISEK

La ecuación de la resistencia a la compresión se calcula con:

$$MR = \frac{P \cdot L}{b \cdot d^2} \quad (15)$$

MR= Módulo de rotura de la viga (kg/cm<sup>2</sup>)

P= Carga máxima aplicada en (kg)

L= Distancia entre apoyos (cm)

b= Ancho de la viga en la posición de ensayo (cm)

d= Altura de la viga en la posición de ensayo (cm)

Tabla 15

*Se muestran las medidas correspondientes a las 15 probetas de hormigón con 3 diferentes clases de cementos del país.*

<b>Procedencia + agregado</b>	<b>Probeta N°</b>	<b>Código</b>	<b>Base (mm)</b>	<b>Atura (mm)</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Carga (MPa/min)</b>
Hormigón A Cemento Holcim	1	220193	150	150	500	0,86
	2	220194	150	150	500	0,86
	3	220195	150	150	500	0,86
	4	220196	150	150	500	0,86
	5	220197	150	150	500	0,86
Hormigón B Cemento Chimborazo	6	220198	150	150	500	0,86
	7	220199	150	150	500	0,86
	8	220200	150	150	500	0,86
	9	220201	150	150	500	0,86
Hormigón C Cemento Selva Alegre	10	220202	150	150	500	0,86
	11	220203	150	150	500	0,86
	12	220204	150	150	500	0,86
	13	220205	150	150	500	0,86
	14	220206	150	150	500	0,86
	15	220207	150	150	500	0,86

## Tracción

El ensayo de Tracción es la fuerza que realiza el cilindro de 100  $\phi$  x 200 h ante dos tensiones de sentido contrario que dan como resultado que la sección transversal disminuya y aumente la longitud como muestra las figura 28 y 29.

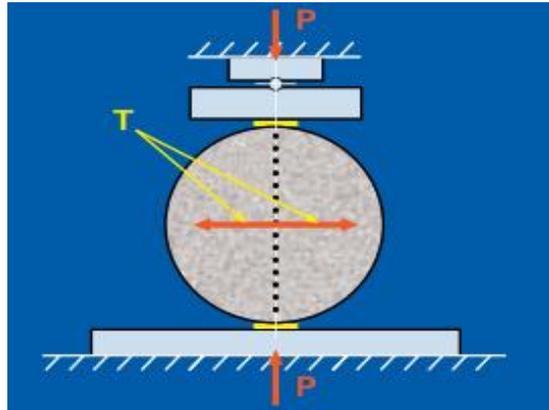


Figura 28. Ensayo de Tracción. Tomado de (ASTM496M, 2012)



Figura 29. Ensayo de Tracción Laboratorio UISEK

La ecuación de la resistencia a la tracción se calcula con:

$$f_t = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot l \cdot d} \quad (16)$$

$f_t$  = Esfuerzo de tracción (MPa)

P = Carga aplicada en (N)

l= Longitud del cilindro (mm)

d= Diámetro del cilindro (mm)

Tabla 16

*Se muestran las medidas correspondientes a las 15 probetas de hormigón con 3 diferentes clases de cementos del país.*

<b>Procedencia + agregado</b>	<b>Probeta N°</b>	<b>Código</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Carga (MPa/s)</b>
Hormigón A Cemento Holcim	1	220208	100	200	0,20
	2	220209	100	200	0,20
	3	220210	100	200	0,20
	4	220211	100	200	0,20
	5	220212	100	200	0,20
Hormigón B Cemento Chimborazo	6	220213	100	200	0,20
	7	220214	100	200	0,20
	8	220215	100	200	0,20
	9	220216	100	200	0,20
Hormigón C Cemento Selva Alegre	10	220217	100	200	0,20
	11	220218	100	200	0,20
	12	220219	100	200	0,20
	13	220220	100	200	0,20
	14	220221	100	200	0,20
	15	220222	100	200	0,20

## Resultados

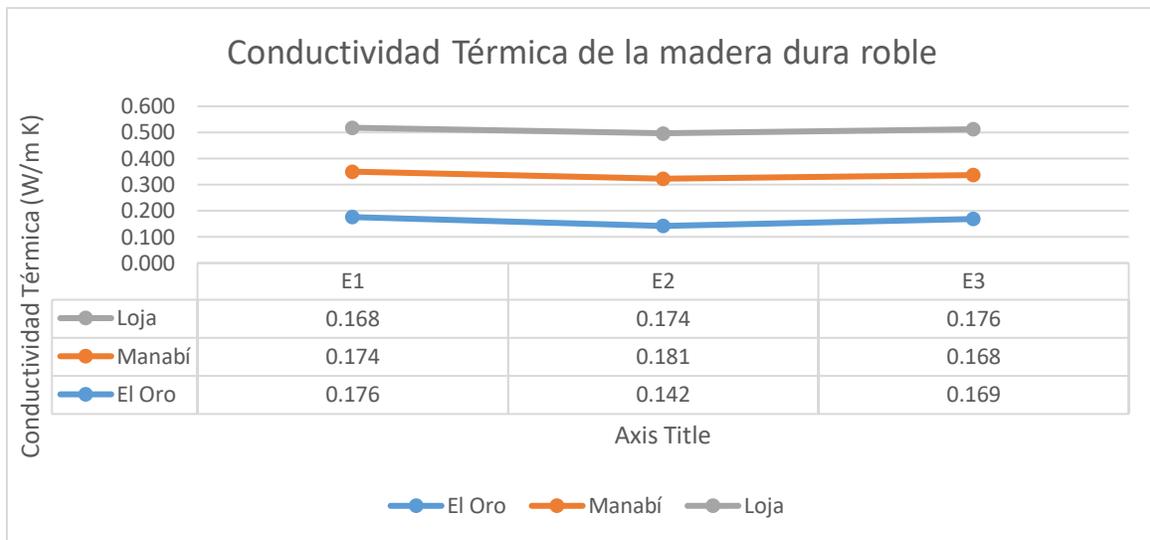
### Ensayos Térmicos-Madera

Tabla 17

*Resultados de los ensayos térmicos de la madera dura roble*

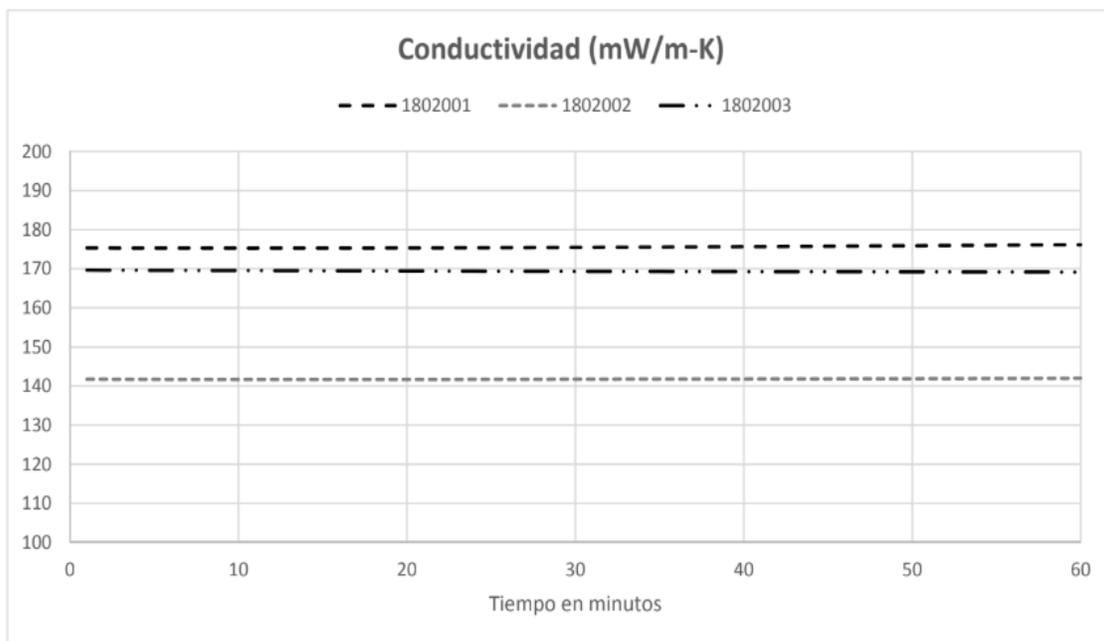
Ubicación	Probeta	Código	Conductividad	Cumple
Provincia	Nº		Térmica (W/mK)	SI/NO
El Oro	1	1802001	0,176	SI
	2	1802002	0,142	NO
	3	1802003	0,169	SI
Manabí	4	1802004	0,174	SI
	5	1802005	0,181	SI
	6	1802006	0,168	SI
Loja	7	1802007	0,168	SI
	8	1802008	0,174	SI
	9	1802009	0,176	SI

La tabla 17. Muestra los resultados del ensayo térmico de las 9 probetas de la madera dura roble, donde en el Ensayo 2 (E2) probeta 1802002 no cumple la norma la conductividad térmica es de 0,142 W/ m K y tiene que está en el rango de 0,16 y 0,19 (W/m K) por tablas A.3 pág. 833 y pág. 838 de (Incropera, 1999).



Gráfica 1. Comparación de Conductividad Térmica de la madera dura roble

La gráfica 1. Muestra la comparación de la conductividad de la madera dura roble de las tres provincias de país El Oro, Manabí y Loja.



Gráfica 2. Comparación de Conductividad Térmica laboratorio ESPOL

La gráfica 2. Muestra la comparación de la conductividad de la madera dura roble del roble del laboratorio de la ESPOL.

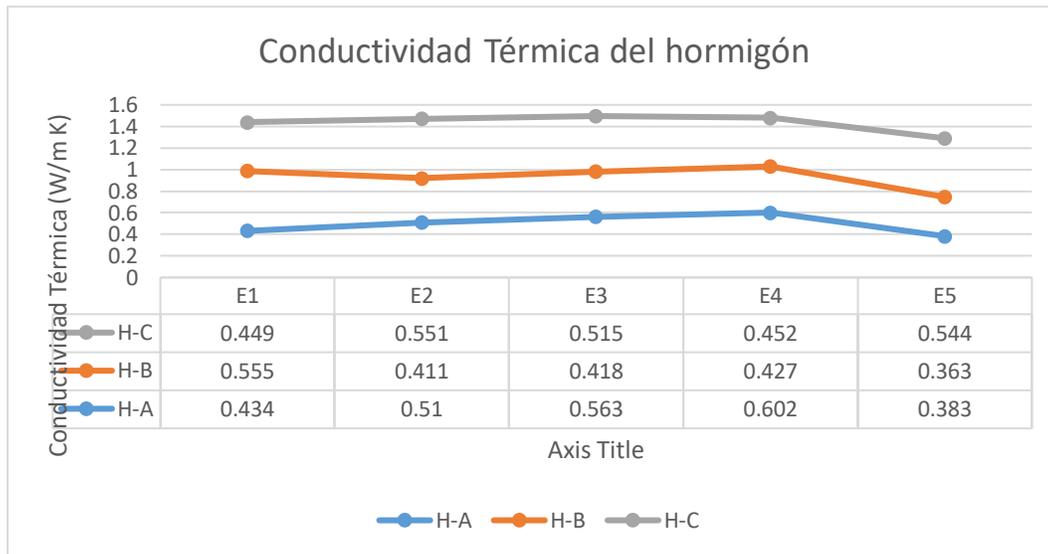
**Ensayo Térmico-Hormigón**

Tabla 18

*Resultados de los ensayos térmicos del hormigón.*

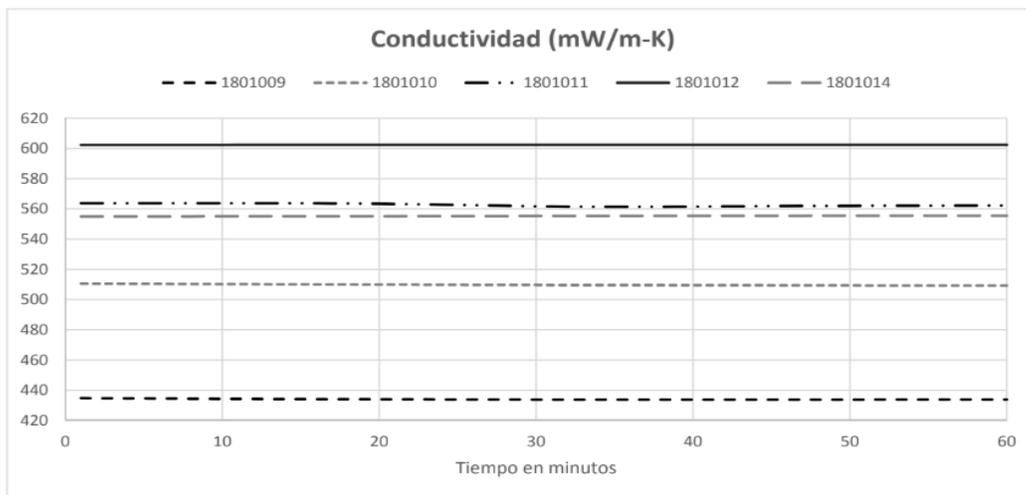
<b>Procedencia + agregado</b>	<b>Probeta Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Conductividad Térmica (W/mK)</b>	<b>Cumple SI/NO</b>
Hormigón A Cemento Holcim	1	1801009	0,434	SI
	2	1801010	0,510	SI
	3	1801011	0,563	SI
	4	1801012	0,602	SI
	5	1801013	0,383	NO
Hormigón Cemento Chimborazo	6	1801014	0,555	SI
	7	1801015	0,411	SI
	8	1801016	0,418	SI
	9	1801017	0,427	SI
	10	1801018	0,363	NO
Hormigón C Cemento Selva Alegre	11	1801019	0,449	SI
	12	1801020	0,551	SI
	13	1801021	0,515	SI
	14	1801022	0,452	SI
	15	1801023	0,544	SI

La tabla 18. Muestra los resultados del ensayo térmico de las 15 probetas del hormigón donde la conductividad térmica está entre el rango de 0,4 y 0,17 (W/m K) por tablas de (Engineering, 2018).



Gráfica 3. Comparación de Conductividad Térmica del hormigón

La gráfica 3. Muestra la comparación de las 15 probetas de hormigón con 3 diferentes clases de cementos del país.



Gráfica 4. Comparación de Conductividad Térmica laboratorios ESPOL

La gráfica 4. Muestra la comparación de la conductividad del hormigón + agregados cemento Holcim del laboratorio de la ESPOL.

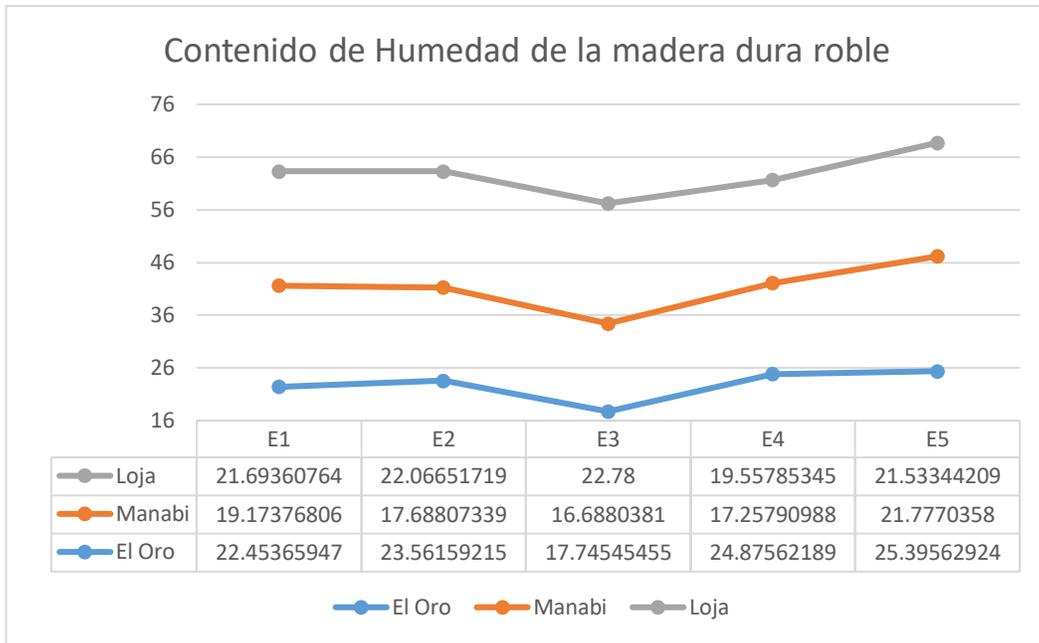
### Ensayos de Contenido de Humedad (CH) de la madera dura roble

Tabla 19

*Resultados de los ensayos de CH de la madera dura roble*

Ubicación	Probeta	Código	Peso	Peso	CH	Cumple
Provincia	Nº		inicial(gr)	final(gr)	12%	SI/NO
El Oro	1	220118	64,08	52,33	22,45	SI
	2	220119	65,50	53,01	23,56	SI
	3	220120	64,76	55,00	17,74	SI
	4	220121	60,24	48,24	24,87	SI
	5	220122	66,56	53,08	25,39	SI
Manabí	6	220123	64,33	53,98	19,17	SI
	7	220124	64,14	54,50	17,68	SI
	8	220125	63,70	54,59	16,68	SI
	9	220126	61,15	52,15	17,25	SI
	10	220127	65,65	53,91	21,77	SI
Loja	11	220128	66,25	54,44	21,69	SI
	12	220129	65,33	53,52	22,06	SI
	13	220130	67,63	55,08	22,78	SI
	14	220131	67,06	56,09	19,55	SI
	15	220132	67,05	55,17	21,53	SI

La tabla 19. Muestra los resultados del ensayo de CH de las 15 probetas de la madera dura roble donde el contenido de humedad no tiene que superar el 30 % según norma (D4442, 2016) y norma Chilena (NCh176/1, 2003).



Gráfica 5. Comparación del contenido de humedad de la madera dura roble

La gráfica 5. Muestra la comparación de la conductividad de la madera dura roble de las tres provincias de país El Oro, Manabí y Loja.

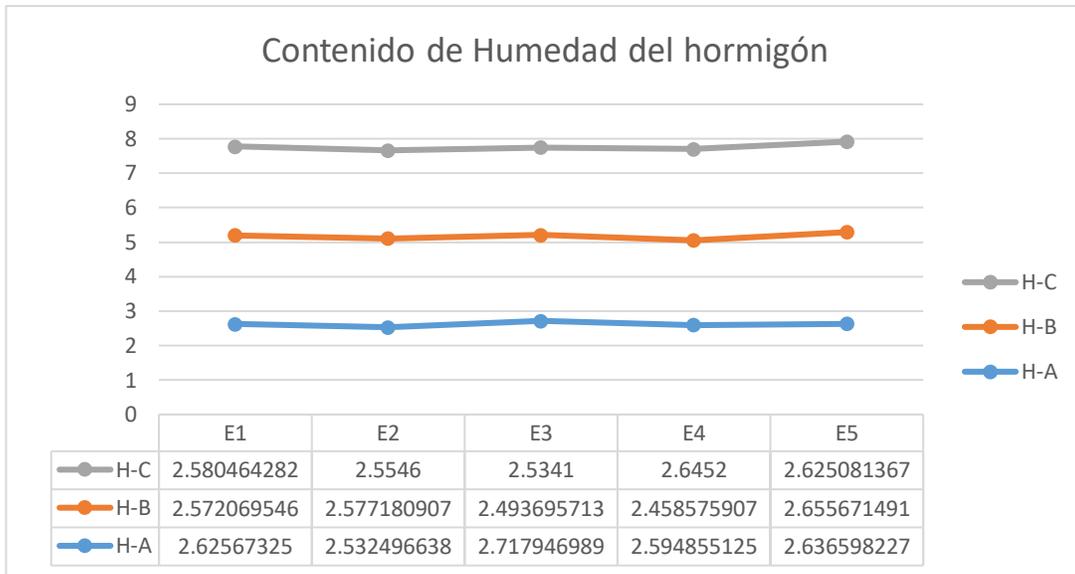
**Ensayos de Contenido de Humedad (CH) del hormigón**

Tabla 20

*Resultados de los ensayos de CH del hormigón.*

<b>Procedencia + agregado</b>	<b>Probeta N°</b>	<b>Código</b>	<b>Peso inicial (gr)</b>	<b>Peso final (gr)</b>	<b>CH</b>	<b>Cumple SI/NO</b>
Hormigón A Cemento Holcim	1	220133	914,60	891,20	2,62	SI
	2	220134	915,00	892,40	2,53	SI
	3	220135	914,20	890,01	2,71	SI
	4	220136	915,30	892,15	2,59	SI
	5	220137	914,80	891,30	2,63	SI
Hormigón B Cemento Chimborazo	6	220138	914,43	891,50	2,57	SI
	7	220139	915,05	892,06	2,58	SI
	8	220140	914,50	892,25	2,49	SI
	9	220141	915,16	893,20	2,45	SI
	10	220142	914,97	891,30	2,65	SI
Hormigón C Cemento Selva Alegre	11	220143	914,71	891,70	2,58	SI
	12	220144	914,10	891,33	2,55	SI
	13	220145	915,23	892,61	2,53	SI
	14	220146	914,98	891,14	2,64	SI
	15	220147	914,41	891,02	2,62	SI

La tabla 20. Muestra los resultados de CH de las 15 probetas del hormigón donde el contenido de humedad cumpliendo la norma ecuatoriana (INEN0862, 2011) y norma ASTM (C566, 2004) hormigones mal compactados presentan porosidades superiores al 15 %.



Gráfica 6. Comparación del contenido de Humedad del hormigón

La gráfica 6 muestra la comparación de conductividad térmica de las 15 probetas de hormigón con 3 diferentes clases de cementos del país.

**Ensayos de Compresión Paralela de la madera dura roble**

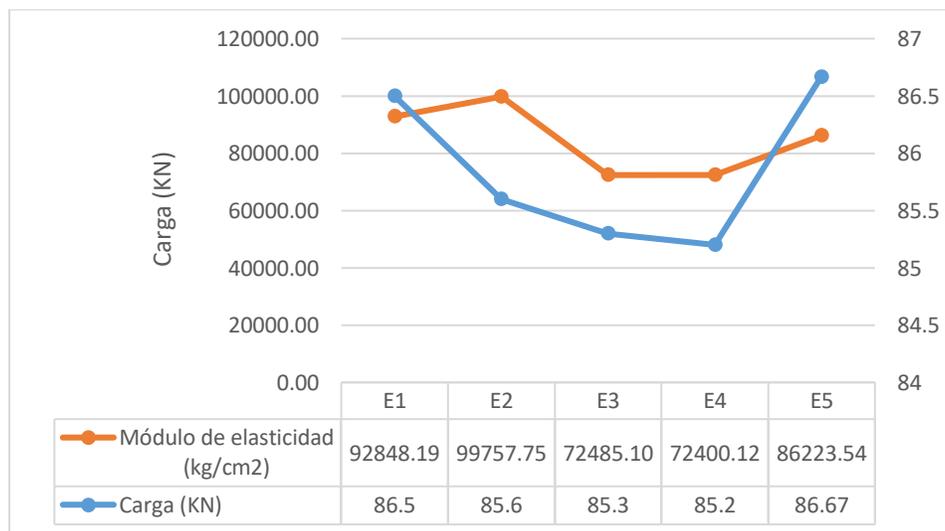
Tabla 21

*Resultados de los ensayos de compresión paralela del roble*

Ubicación	Probeta	Código	Área	Carga	Modulo Elasticidad	Cumple ASTM
Provincia	Nº		(mm <sup>2</sup> )	(KN)	(kg/cm <sup>2</sup> )	D143
El Oro	1	220148	2500	86,5	92848,19	SI
	2	220149	2500	85,6	99757.75	SI
	3	220150	2500	85,3	72485.10	NO
	4	220151	2500	85,2	72400.12	NO
	5	220152	2500	86,67	86223.54	SI
	6	220153	2500	88,5	92559,20	SI
Manabí	7	220154	2500	89,2	113698,78	SI
	8	220155	2500	90,0	118419,10	SI
	9	220156	2500	89,6	91366,91	SI
	10	220157	2500	91,6	128864,48	SI
	11	220158	2500	88,53	171953,93	SI
	12	220159	2500	90,21	193660,93	SI
Loja	13	220160	2500	89,06	151360,44	NO
	14	220161	2500	90,4	167604,89	NO
	15	220162	2500	89,31	191728,83	SI

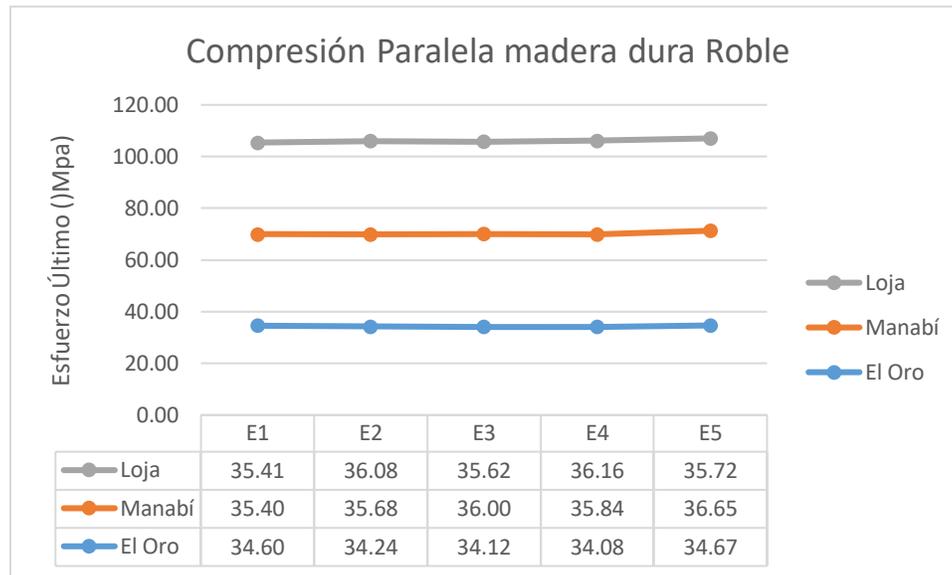
La tabla 21. Muestra los resultados del ensayo de compresión paralela de la madera dura

roble teniendo una media del módulo de elasticidad de 8241,113 Mpa y esfuerzo máximo de 350,179 kg/cm<sup>2</sup>.



Gráfica 7. Carga vs Módulo de Elasticidad de la madera dura roble de El Oro

La gráfica 7 muestra el ensayo de carga vs módulo de elasticidad de las cinco probetas de madera dura roble con cargas mínimas de 85,2 KN y máximas de 86,67 KN, teniendo como resultados que las probetas con código 220150 y 220151 no cumplen la norma ASTM D143.



Gráfica 8. Comparación de los ensayos de compresión paralela de las 3 provincias del país.

La gráfica 8 muestra la comparación de los ensayos de compresión paralela de las 3 diferentes provincias del país, teniendo como resultado a la madera de Manabí con dominante en los ensayos teniendo una media de 35,91 MPa.

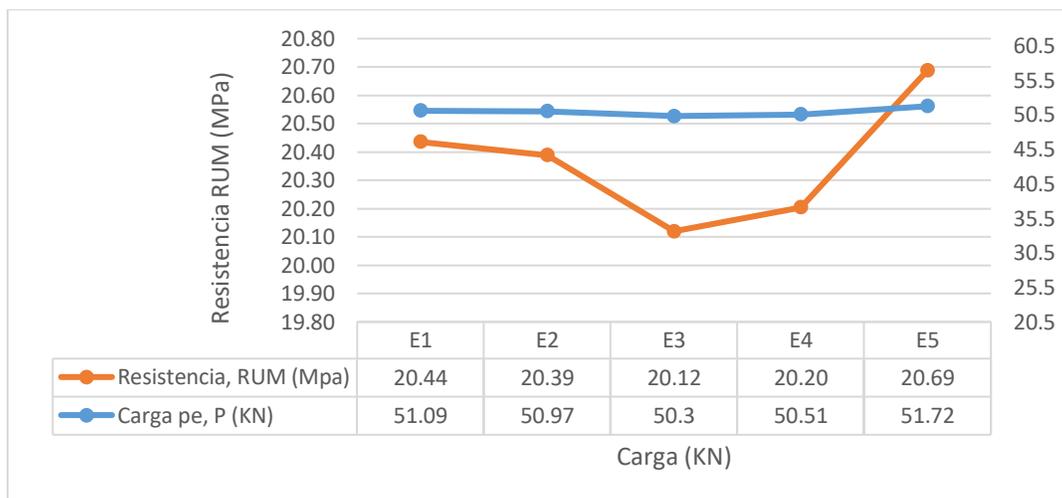
**Ensayos de Compresión Perpendicular de la madera dura roble**

Tabla 22

*Resultados de los ensayos de compresión perpendicular de la madera dura roble.*

Ubicación	Probeta	Código	Área	Carga	Resistencia	Cumple ASTM
Provincia	Nº		(mm <sup>2</sup> )	(KN)	RUM (MPa)	SI/NO
El Oro	1	220163	2500	51,23	20,49	SI
	2	220164	2500	51,15	20,46	SI
	3	220165	2500	48,35	19,34	SI
	4	220166	2500	48,07	19,23	SI
	5	220167	2500	51,56	20,62	SI
	6	220168	2500	51,09	20,44	SI
Manabí	7	220169	2500	50,97	20,39	SI
	8	220170	2500	50,30	20,12	SI
	9	220171	2500	50,51	20,20	SI
	10	220172	2500	51,72	20,69	SI
	11	220173	2500	50,51	20,20	SI
Loja	12	220174	2500	51,06	20,42	SI
	13	220175	2500	50,71	19,08	SI
	14	220176	2500	51,72	19,49	SI
	15	220177	2500	51,29	20,52	SI

En la Tabla 22 se muestran los resultados teniendo la media de la carga de 50, 267 KN y la media de la Resistencia RUM igual a 20,11 Mpa cumpliendo los ensayos la norma ASTM D143.



Gráfica 9. Comparación Carga (KN) vs Resistencia RUM (MPa)

La gráfica 9 muestra los resultados de la comparación de carga (KN) vs Resistencia RUM (MPa) de la madera dura roble de la provincia de Manabí.

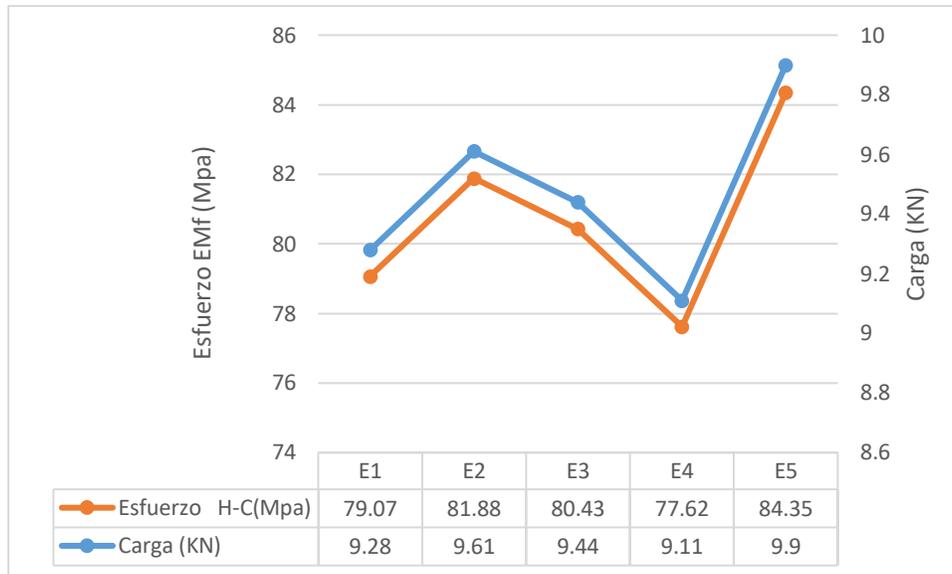
### Ensayo de Flexión de la madera dura roble

Tabla 23

*Resultados de los ensayos de Flexión de la madera dura roble*

Ubicación Provincia	Probeta N°	Código	Base (mm)	Altura (mm)	Apoyos (mm)	Carga (KN)	Esfuerzo EMf (MPa)
El Oro	1	220178	50	50	710	10,10	86,05
	2	220164	50	50	710	10,35	88,18
	3	220165	50	50	710	10,54	89,80
	4	220166	50	50	710	10,18	86,73
	5	220167	50	50	710	9,69	82,56
	6	220168	50	50	710	10,13	86,31
Manabí	7	220169	50	50	710	10,37	88,35
	8	220170	50	50	710	9,05	77,11
	9	220171	50	50	710	10,05	85,63
	10	220172	50	50	710	9,73	82,90
	11	220173	50	50	710	9,28	79,07
Loja	12	220174	50	50	710	9,61	81,88
	13	220175	50	50	710	9,44	80,43
	14	220176	50	50	710	9,11	77,62
	15	220177	50	50	710	9,90	84,35

La tabla 23 muestra los resultados de los ensayos de flexión de la madera dura roble teniendo una media del esfuerzo EM MPa igual a 83,74 MPa cumpliendo la norma ASTM D143.



Gráfica 10. Comparación de Esfuerzo EMf (MPa) vs Carga de la madera dura de la Provincia de Loja

La gráfica 10 muestra los resultados del Esfuerzo EMf (MPa) vs Carga de la madera dura roble de la provincia de Loja teniendo una media aritmética del esfuerzo EMf igual a 81,56 MPa cumpliendo los ensayos la norma ASTM D143.

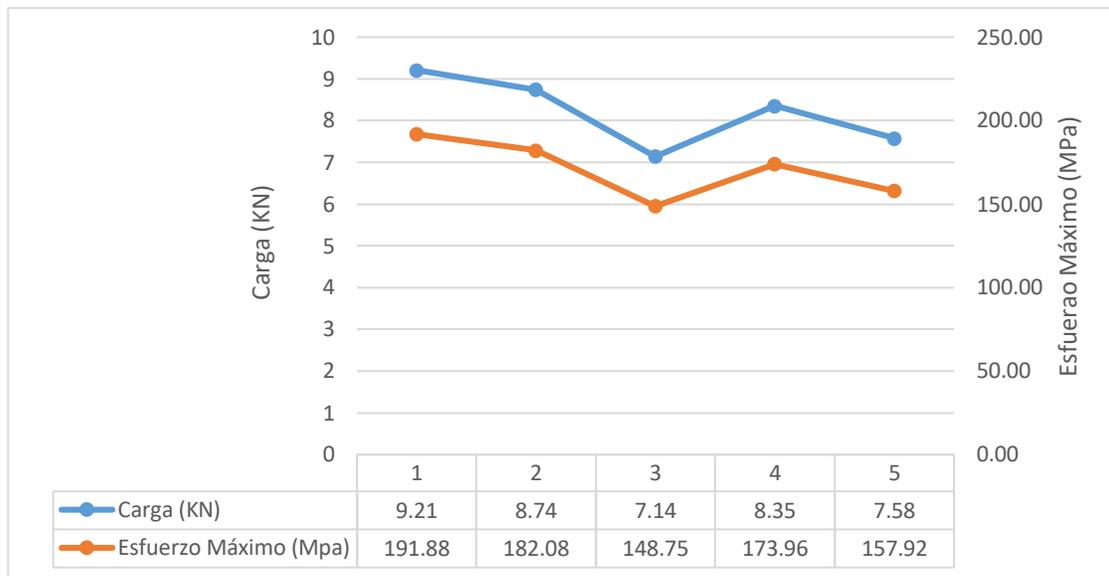
**Ensayo de Tracción de la madera dura roble**

Tabla 24

*Resultados del ensayo de Tracción de la madera dura roble.*

Ubicación	Probeta	Código	Base	Altura	V	Esfuerzo	Cumple
Provincia	Nº		(mm)	(mm)	(mm/min)	Máximo (MPa)	ASTM
El Oro	1	220178	25,4	25,4	1,00	191,25	SI
	2	220164	25,4	25,4	1,00	173,54	SI
	3	220165	25,4	25,4	1,00	177,50	SI
	4	220166	25,4	25,4	1,00	201,88	SI
	5	220167	25,4	25,4	1,00	202,92	SI
	6	220168	25,4	25,4	1,00	200,63	SI
Manabí	7	220169	25,4	25,4	1,00	192,71	SI
	8	220170	25,4	25,4	1,00	158,13	NO
	9	220171	25,4	25,4	1,00	167,08	SI
	10	220172	25,4	25,4	1,00	169,38	SI
	11	220173	25,4	25,4	1,00	171,04	SI
	12	220174	25,4	25,4	1,00	182,08	SI
Loja	13	220175	25,4	25,4	1,00	148,75	NO
	14	220176	25,4	25,4	1,00	173,96	SI
	15	220177	25,4	25,4	1,00	157,92	NO

La Tabla 24. Muestra los resultados de los ensayos de tracción donde la probeta con código 220170, 220175 y 220177 no cumple la norma ASTM D143.



Gráfica 11. Comparación carga vs Esfuerzo Máximo (MPa) de la madera dura roble Loja

La grafica 11 muestra la comparación de los ensayos de la provincia de Loja teniendo una media aritmética 17,19 MPa.

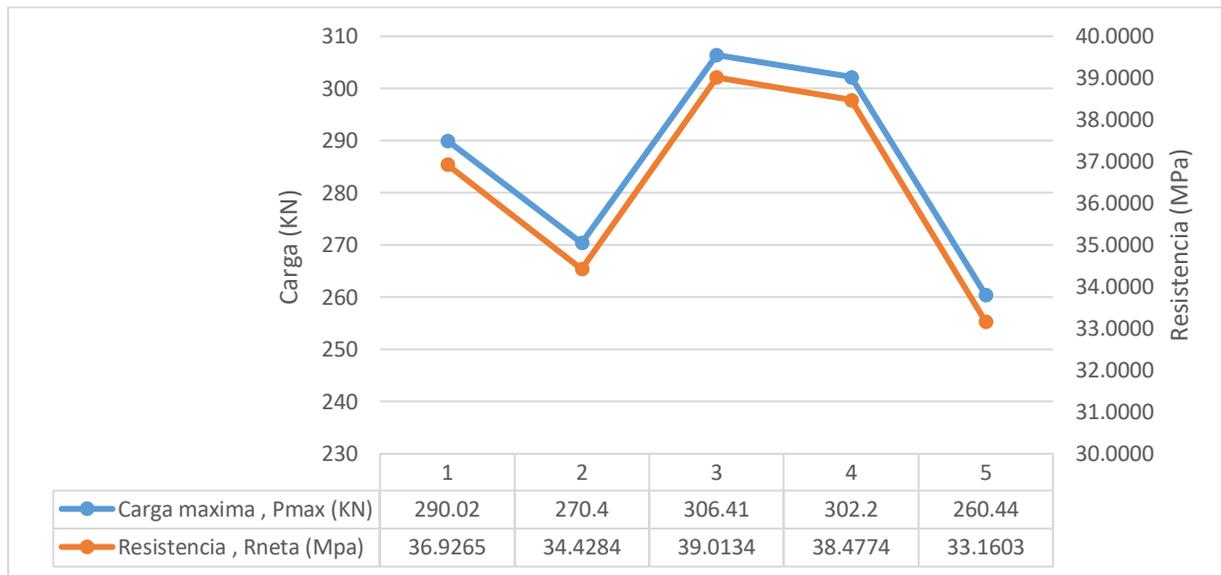
**Ensayo de Compresión Paralela del hormigón**

Tabla 25

*Resultados de los ensayos de compresión paralela del hormigón.*

<b>Procedencia + agregado</b>	<b>Probeta N°</b>	<b>Código</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>edad (días)</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Cumple ASTM SI/NO</b>
Hormigón A Cemento Holcim	1	220178	78.53	28	290,02	SI
	2	220179	78.53	28	270,40	SI
	3	220180	78.53	28	306,41	SI
	4	220181	78.53	28	302,20	SI
	5	220182	78.53	28	260,44	SI
Hormigón B Cemento Chimborazo	6	220183	78.53	28	270,63	SI
	7	220184	78.53	28	240,60	NO
	8	220185	78.53	28	240,05	NO
	9	220186	78.53	28	260,11	SI
Hormigón C Cemento Selva Alegre	10	220187	78.53	28	280,76	SI
	11	220188	78.53	28	270,52	SI
	12	220189	78.53	28	270,89	SI
	13	220190	78.53	28	260,65	SI
	14	220191	78.53	28	268,42	SI
	15	220192	100	28	270,30	SI

La Tabla 25 muestra los ensayos de compresión paralela del hormigón de las 15 probetas de hormigón con 3 diferentes clases de cementos del país con edad de prueba de 28 días, las probetas con código 220184 y 220185 no cumplen la norma ASTM C31M, INEN 1573 con un mínimo de Resistencia a la compresión de 31 MPa



*Gráfica 12. Comparación Carga (KN) vs Resistencia (MPa) Hormigón-A*

La Gráfica 12 muestra la comparación de Carga (KN) vs Resistencia (MPa) del Hormigón-A + agregado cemento Holcim.

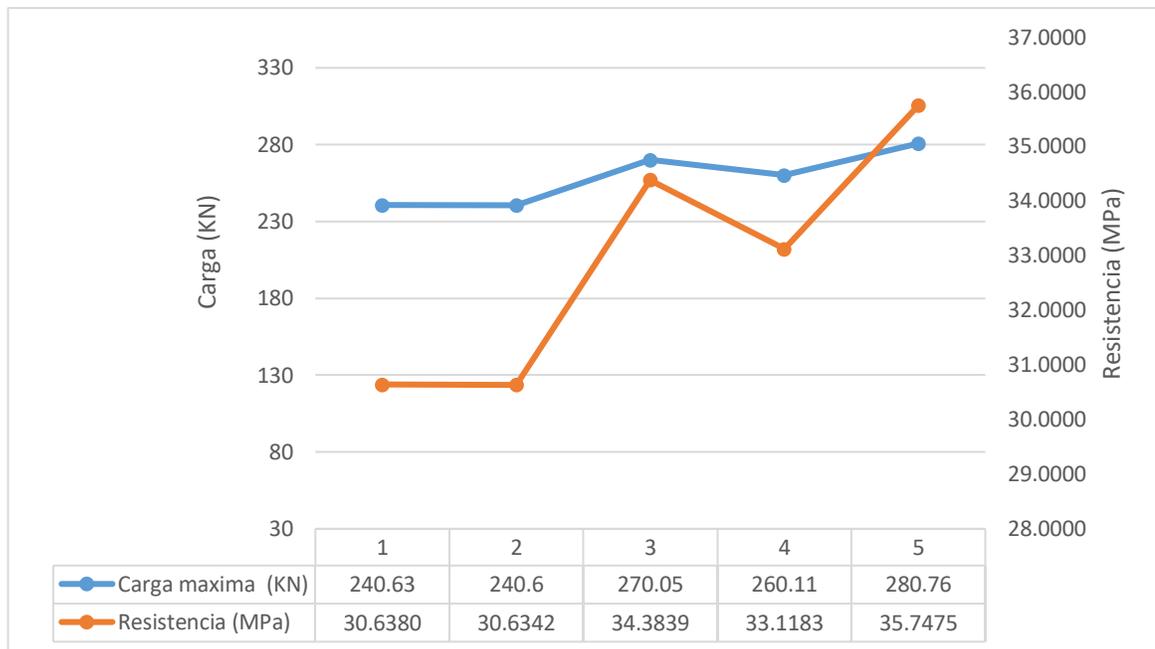
**Ensayo de Compresión Perpendicular del hormigón**

Tabla 26

*Resultados de los ensayos de compresión perpendicular del hormigón.*

<b>Procedencia + agregado</b>	<b>Probeta Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Carga (MPa/s)</b>	<b>Cumple ASTM</b>
Hormigón A Cemento Holcim	1	220193	22500	300	0,20	SI
	2	220194	22500	300	0,20	SI
	3	220195	22500	300	0,20	NO
	4	220196	22500	300	0,20	SI
	5	220197	22500	300	0,20	SI
Hormigón B Cemento Chimborazo	6	220198	22500	300	0,20	NO
	7	220199	22500	300	0,20	NO
	8	220200	22500	300	0,20	SI
	9	220201	22500	300	0,20	SI
	10	220202	22500	300	0,20	SI
Hormigón C Cemento Selva Alegre	11	220203	22500	300	0,20	SI
	12	220204	22500	300	0,20	SI
	13	220205	22500	300	0,20	SI
	14	220206	22500	300	0,20	SI
	15	220207	22500	300	0,20	SI

La tabla 26 muestra los resultados de los ensayos de compresión perpendicular edad de prueba 28 días donde las probetas con código 220195, 220198, 220199 no cumplen el mínimo de resistencia de 3,9 MPa según norma ASTM C31M.



Gráfica 13. Comparación de carga (KN) vs Resistencia (MPa) Hormigón-B

La gráfica 13 muestra la comparación de la carga (KN) vs Resistencia (MPa) del Hormigón-B + agregado cemento Holcim.

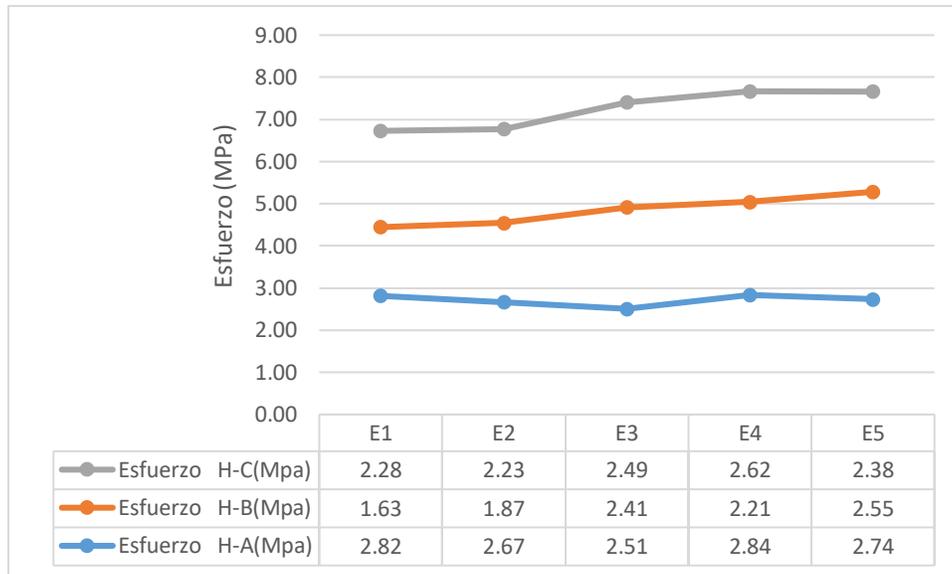
### Ensayo de Flexión del Hormigón

Tabla 27

*Resultados de los ensayos de flexión del hormigón*

Procedencia	Probeta	Código	Base	Atura	Apoyos	MR	Cumple ASTM
+ agregado	Nº		(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	SI/NO
Hormigón A Cemento Holcim	1	220193	150	150	450	2,82	SI
	2	220194	150	150	450	2,67	SI
	3	220195	150	150	450	2,51	SI
	4	220196	150	150	450	2,84	SI
	5	220197	150	150	450	2,74	SI
Hormigón B Cemento Chimborazo	6	220198	150	150	450	1,63	NO
	7	220199	150	150	450	1,87	NO
	8	220200	150	150	450	2,41	SI
	9	220201	150	150	450	2,21	SI
Hormigón C Cemento Selva Alegre	10	220202	150	150	450	2,55	SI
	11	220203	150	150	450	2,28	SI
	12	220204	150	150	450	2,23	SI
	13	220205	150	150	450	2,49	SI
	14	220206	150	150	450	2,62	SI
	15	220207	150	150	450	2,38	SI

La tabla 27 muestran los resultados de los ensayos de flexión con edad de 28 días de prueba donde las probetas con código 220198 y 220199 no cumplen la norma ASTM C78.



Gráfica 14. Comparación de la Carga (MPa) de 3 diferentes clases de cemento H-A, H-B, H-C

La grafica 14 muestra la comparación de la carga de las 3 diferentes clases de cementos del país con edad de prueba de 28 días.

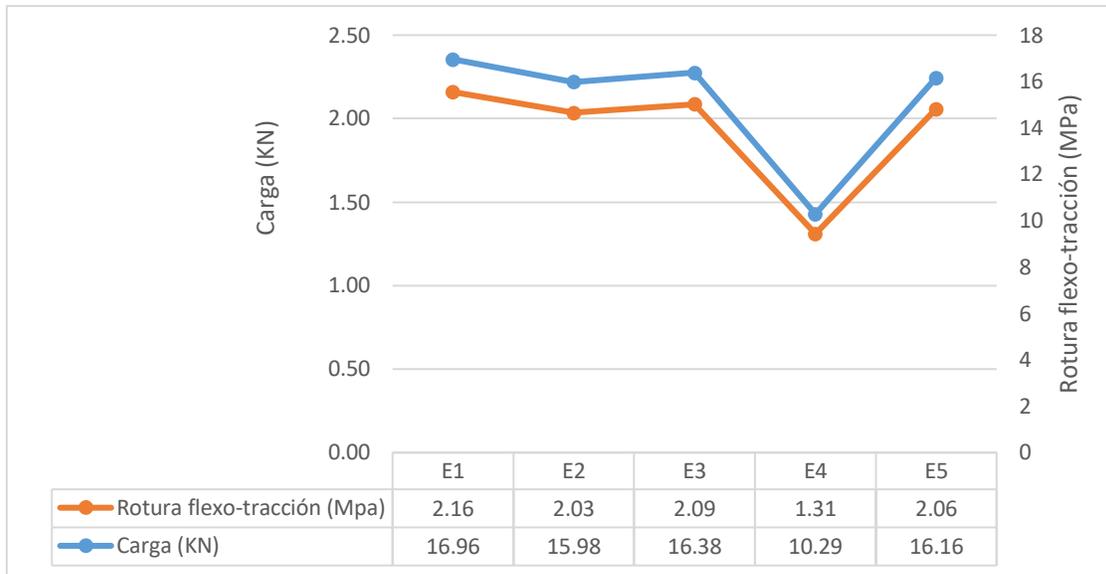
### Ensayos de Tracción del Hormigón

Tabla 28

*Resultados de los ensayos de Tracción del hormigón.*

Procedencia	Probeta	Código	Ø	Largo	Carga	Esfuerzo Tracción	Cumple	
+ agregado	Nº		(mm)	(mm)	(MPa/s)	ft(MPa)	ASTM	
Hormigón A	Cemento Holcim	1	220208	100	200	0,20	2,18	SI
		2	220209	100	200	0,20	2,06	SI
		3	220210	100	200	0,20	2,10	SI
		4	220211	100	200	0,20	2,40	SI
		5	220212	100	200	0,20	2,05	SI
Hormigón B	Cemento Chimborazo	6	220213	100	200	0,20	2,48	SI
		7	220214	100	200	0,20	2,34	SI
		8	220215	100	200	0,20	2,15	SI
		9	220216	100	200	0,20	2,22	SI
Hormigón C	Cemento S. Alegre	Z	220217	100	200	0,20	2,62	SI
		11	220218	100	200	0,20	2,16	SI
		12	220219	100	200	0,20	2,03	SI
		13	220220	100	200	0,20	2,09	SI
		14	220221	100	200	0,20	1,31	NO
15	220222	100	200	0,20	2,06	SI		

La tabla 28 muestra los resultados de los ensayos de tracción con edad de 28 días de prueba donde las probetas con código 220221 no cumplen la norma ASTM C496M con un mínimo esfuerzo de tracción de 1,39 MPa.



Gráfica 15. Comparación carga vs rotura flexo-tracción (MPa) H-C

La grafica 15 muestra la comparación de la carga vs rotura flexo-tracción del Hormigón C + agregados cemento selva alegre con edad de prueba de 28 días.

## **Discusión**

### **Ensayos Térmicos-Madera**

Los resultados del ensayo térmico de las 9 probetas de la madera dura roble muestran la conductividad térmica tiene que estar entre el rango de 0,16 y 0,19 (W/m K) por tablas A.3 pág. 833 y pág. 838 de (Incropera, 1999). La probeta 1802002 no cumple la conductividad térmica ya que las pérdidas de agua por los procesos de difusión y convección hacen que la humedad no alcance su estado estable.

### **Ensayos Térmicos-Hormigón**

Los resultados del ensayo térmico de las 15 probetas del hormigón donde la conductividad térmica está entre el rango de 0,4 y 0,17 (W/m K) por tablas de (Engineering, 2018). Las probetas con código 1801013 y 1801018 no cumplen la conductividad térmica los factores que pueden haber influido para que no cumplan la conductividad térmica son: la edad (grado de hidratación), temperatura, árido y el principal factor es la composición mineralógica de los áridos (ACI-207-1R-96, 1997).

### **Ensayos de Contenido de Humedad (CH) de la madera dura roble**

Muestra los resultados del ensayo de CH de las 15 probetas de la madera dura roble donde el contenido de humedad no tiene que superar el 30 % según norma (D4442, 2016) y norma Chilena (NCh176/1, 2003). Si una madera está completamente seca y está expuesta a un ambiente con una temperatura determinada y humedad relativa las partículas de agua penetran por los espacios en su estructura, el proceso continua hasta que se produce el equilibrio entre las partículas de agua que entran y salen de la madera llamando a este proceso sorción. Toda madera expuesta a condiciones ambientales empieza a perder humedad y se equilibra con el ambiente.

### **Ensayos de Contenido de Humedad (CH) del hormigón**

Los resultados de CH de las 15 probetas del hormigón donde el contenido de humedad cumpliendo la norma ecuatoriana (INEN0862, 2011) y norma ASTM (C566, 2004) hormigones mal compactados presentan porosidades superiores al 15 %. Es recomendable establecer un sistema de control en obra para controlar el aditamento de agua al hormigón para aumentar la trabajabilidad reducir el agua para mejorar su durabilidad.

### **Ensayos de Compresión Paralela de la madera dura roble**

Los resultados del ensayo de compresión paralela de la madera dura roble teniendo una media del módulo de elasticidad de 8241,113 Mpa y esfuerzo máximo de 350,179 kg/cm<sup>2</sup>. Las probetas con código 220150, 220151, 220160 y 220161 no cumplen la norma ASTM D143 la inestabilidad de las probetas en el que influye el módulo de elasticidad reduce en los ensayos la resistencia a la compresión

### **Ensayos de Compresión Perpendicular de la madera dura roble**

Los resultados teniendo la media de la carga de 50, 267 KN y la media de la Resistencia RUM igual a 20,11 Mpa cumpliendo los ensayos la norma ASTM D143. Este tipo de compresión perpendicular es muy inferior a la de la compresión paralela a la fibra.

Este tipo de esfuerzos donde se concentra toda la carga en pequeñas superficies las cuales transmiten la reacción sin sufrir deformaciones.

### **Ensayo de Flexión de la madera dura roble**

Los resultados de los ensayos de flexión de la madera dura roble teniendo una media del esfuerzo EM MPa igual a 83,74 MPa cumpliendo la norma ASTM D143. Siendo muy elevada y comparada con su densidad la flexión está formada por la combinación de una compresión y una tracción.

**Ensayo de Tracción de la madera dura roble**

Los resultados de los ensayos de tracción donde la probeta con código 220170, 220175 y 220177 no cumple la norma ASTM D143. Estas tensiones en las probetas que no cumplen la norma se puede producir como consecuencia del movimiento transversal evitando el conocimiento del material.

**Ensayo de Compresión Paralela del hormigón**

Los ensayos de compresión paralela del hormigón de las 15 probetas de hormigón con 3 diferentes clases de cementos del país con edad de prueba de 28 días, las probetas con código 220184 y 220185 no cumplen la norma ASTM C31M, INEN 1573 con un mínimo de Resistencia a la compresión de 31 MPa . Una vez obtenidas las probetas deben tener sitios seguros, cubierto de vibraciones tapados con plástico para evitar pérdidas de humedad, el curado debe realizarse con la norma (ASTM-C511, 2013) para que los ensayos de compresión paralela cumplan los requisitos mínimos de la norma.

**Ensayo de Compresión Perpendicular del hormigón**

Los resultados de los ensayos de compresión perpendicular edad de prueba 28 días donde las probetas con código 220195, 220198, 220199 no cumplen el mínimo de resistencia de 3,9 MPa según norma ASTM C31M. Examinar el hormigón fracturado se lo analiza para ver si presenta vacíos internos o segregación por una mala elaboración de mano de obra.

**Ensayo de Flexión del Hormigón**

Los resultados de los ensayos de flexión con edad de 28 días de prueba donde las probetas con código 220198 y 220199 no cumplen la norma ASTM C78. Se puede determinar de manera indirecta usando probetas cilíndricas que se someten a rotura por tracción indirecta mediante compresión diametral.

### **Ensayos de Tracción del Hormigón**

Los resultados de los ensayos de tracción con edad de 28 días de prueba donde las probetas con código 220221 no cumplen la norma ASTM C496M con un mínimo esfuerzo de tracción de 1,39 MPa. Registrar la temperatura ambiente y humedad relativa la norma dice que las probetas se mantendrán en el molde a una temperatura de  $20 \pm 5$  °C en climas cálidos (UNE-EN-12390-2, 2001).

## Conclusiones

Actualmente el diseño se orienta al aprovechamiento máximo de los aportes solares gratuitos gracias a superficies vidriadas de altas prestaciones dimensionales en función de la orientación y un aislamiento de cubiertas y muros. Los elementos macizos de hormigón proporcionan inercia térmica acumulando en invierno el calor del sol durante el día y restituyéndola durante la noche. La investigación de eficiencia energética va relacionada con las edificaciones y las emisiones de CO<sub>2</sub> ya que gran parte de la población vive en condiciones de habitabilidad que no son idóneas el paso de fomentar normativas para los ingenieros y los arquitectos para incorporar estos conceptos en los diseños de las edificaciones.

Incluir en el país políticas energéticas para la realización de estos estudios respecto a demanda energética, calentamiento global, lluvia ácida y contaminación del aire. Este trabajo puede servir como piloto que pretendan incluir en sus normas de Edificación nuevos reglamentos que mejoran el confort y la habitabilidad, disminuir los consumos energéticos la conservación del medio ambiente. La participación del estado a lo largo de la cadena de actividades es principal: supervisión, capacitación y evaluación son temas significativos.

El trabajo de todos los actores de manera armoniosa puede lograr no sólo la transformación de nuestras viviendas en viviendas eficientes permitirá a muchas familias mejorar su calidad de vida permanentemente.

## Recomendaciones

En Ecuador es frecuente encontrar viviendas, hospitales, oficinas, espacios educacionales que no cumplen requerimientos mínimos de habitabilidad el objetivo de implementar nuevas prácticas de diseño en la construcción de edificaciones eficientes a nivel nacional. El acondicionamiento de edificaciones mal diseñadas en principio genera pérdidas de energía sin precedentes, si las edificaciones mejoran su confort y su condición de habitabilidad sin generar consumo energético adicional usando ventanas que maximicen el flujo de aire asegurando flujo continuo de aire creando un efecto de enfriamiento psicológico.

Permitir la ventilación cruzada ubicando ventanas de suministro y extracción de aire en fachadas apuestas garantizando el flujo de aire constante dentro de la edificación, la orientación de la fachada las cuales deben ser perpendicularmente orientadas hacia las brisas predominantes.

Utilizar materiales de alta densidad para que reciban el sol durante la mañana y lo devuelvan en la noche en los climas fríos como en la región sierra es importante almacenar el calor para ser usado en la noche, materiales como el ladrillo y el adobe materiales que tienen la capacidad de almacenar en su interior y entregarlo hacia la edificación. Cubiertas y fachadas vegetales como protección solar actúan como aislamiento y como protección del impermeabilizante minimizando los flujos energéticos entre el ambiente interior y exterior.

En caso de usar chimeneas recubrir con elementos constructivos de elevada masa térmica para almacenar el calor.

## Referencias

- ACI-207-1R-96. (1997). *Reported by ACI Committee 207*. American Concrete Institute.
- ASTM. (2016). *Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto*. EE.UU: ASTM.
- ASTM496M. (2012). *Resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto*. EE.UU: ASTM.
- ASTM-C177. (2013). *Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus*. EEUU: ASTM.
- ASTM-C511. (2013). *Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes*. EEUU: ASTM.
- BuenVivir. (2013-2017). *Plan Nacional para el buen Vivir*. Retrieved from Plan Nacional para el buen Vivir: <http://www.buenvivir.gob.ec/objetivos-nacionales-para-el-buen-vivir>
- C566, A. (2004). *Contenido total de humedad por secado en agregados mediante secado*. USA.
- D4442, A. (2016). *Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials*. USA.
- Efficiency, E. (2014). *Fundamentals on Statistics*. Oecd/lea.
- Energy, S. (2018, Mayo 2-3). *The Sustainable Energy for All Forum*. Retrieved from The Sustainable Energy for All Forum: <http://www.seforallforum.org/about>
- Engineering. (2018). *The Engineering ToolBox*. Retrieved from The Engineering ToolBox: [https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html)
- Gomez, M. Y. (2006). *EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS EDIFICIOS, CERTIFICACIÓN Y AUDITORIAS ENERGÉTICAS*. Spain: Thomson.
- Incropera, 1. (1999). *Fundamentos de Transferencia de calor*. México: PRENTICE HALL HISPANOAMERICA S.A.
- INECYC. (2009). *CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN*. Quito: Noción.
- INEN. (1985). Quito: Nacional.
- INEN. (2506:2009). *Eficiencia energética en edificaciones*. Quito.
- INEN, N. (2011). *ÁRIDOS PARA HORMIGÓN, DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD*. Quito.
- INEN-NEC-SE-MD26-7. (2015). *ESTRUCTURAS DE MADERA*. Quito.
- Karsulovic, 1. (1982). *Propiedades mecánicas de la madera*. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, departamento de tecnología de la Madera.
- Kwan, A. y. (2015). *Eficiencia Energética en edificaciones residenciales*. Cuenca.
- López, 2. (2012, Octubre 8 y 9). *Importancia de la metrología en la determinación del contenido de humedad en granos*. Retrieved from CENAM: <http://www.cenam.mx/eventos/enme/docs/5%20Importancia%20metrolog%C3%ADa%20humedad%20en%20granos%20final.pdf>
- MAE. (2012). *ESPECIES FORESTALES DE LOS BOSQUES SECOS DEL ECUADOR*. Quito.
- Mena, M. C. (2014). *Energetic efficiency in residential buildings*. Cuenca.
- Méndez, 2. (2005). *Evaluación de propiedades Físicas y Mecánicas de madera Nothofagus glauca (Hualo) proveniente de la zona Cauquenes*. Talca-Chile.
- Méndez, P. (2016). *Cómo puede la eficiencia energética mejorar la vida de las mujeres? energía para el futuro*.
- Mendoza, 2. (2012). *Especies Forestales BOSQUES SECOS ECUADOR*. Quito-Ecuador: Ministerio del Ambiente de Ecuador-MAE.
- NCh176/1. (2003). *Determinación de humedad*. Santiago.
- NCh968.Of86. (1999). *Madera - Selección, obtención y acondicionamiento de muestras y probetas para la determinación de propiedades físicas y mecánicas*. Santiago.
- ODS7. (2018, ABRIL 10). *GRUPO BANCOMUNDIAL*. Retrieved from GRUPO BANCO MUNDIAL: <http://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview>

- Palmes, L. G. (2018). *ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE HABITABILIDAD Y EL CONSUMO DE ENERGÍA EN VIVIENDAS*. Quito: Colegio de Economistas de Pichincha.
- Pérez, 1. (1983). *Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas*. Santiago, Chile: Corporación Nacional Forestal.
- SABMag. (2011). Materiales de rápida renovación para la construcción. *Sabmagazine*.
- SE4ALL. (2014:2024, ABRIL 08). *Energía Sostenible para todos* . Retrieved from Energía Sostenible para todos : <https://eco.mdp.edu.ar/institucional/eco-enlaces/1085-energia-sostenible-para-todos-se4all>
- Tecnimadera. (2018, Febrero 22). Quito, Pichincha, Ecuador.
- UNE-EN-12390-2. (2001). *Ensayos de Hormigón endurecido*. Genova: AENOR.
- Viña, 2. (2013, Noviembre 06). Especies nativas de la provincia en peligro de extinción .

## Anexo A

Balanza digital del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Internacional SEK (UISEK).



### Modelo

Marca: DAIHAN SCIENTIFIC

Modelo: WOF 105- 0409303119D006

### Funciones

DAIHAN-brand® 0.1mg ~ 220g Balanza analítica estándar, "WBA-220", con protección contra corrientes de aire con pantalla LCD retro iluminada, Función de conteo, Ext-CAL, 200g Cali.

Peso, g / ct Varios modos de peso, con Certi. & Trazabilidad

### Especificaciones

1. Rango de pesaje: 0,1 mg- 220 gr
2. Plato de pesaje:  $\varnothing$  80 mm
3. Carga máxima: 6000 g
4. Legibilidad: 0,1 g
5. Rango de tara: 6000 g
6. Reproducibilidad: 0,3 g

7. Linealidad:  $\pm 0,3$  g
8. Tamaño del platillo: 195 x 195 mm
9. Tiempo de estabilización: 3 s.
10. Interfaz: RS 232
11. Pantalla: LCD retro-iluminada
12. T:  $+15^{\circ}\text{C}$  -  $+30^{\circ}\text{C}$
13. IP : IP 43
14. Alimentación: 110-230 V AC, 50/60 Hz
15. Tiempo de operación con baterías: 45 horas (promedio)
16. Peso neto/ bruto: 2,8 / 4,3 kg

## Anexo B

Máquina de ensayos universales del laboratorio de Resistencia de Materiales de la facultad de Ingeniería Mecánica SEK (UISEK) con número de serie 1206P0408005 para realizar los siguientes ensayos:

Ensayo: Compresión

Ensayo: Tracción

Ensayo: Torsión

En la computadora se trabaja con el software Win Test (versión 2.0), programa que genera gráficas de los diferentes tipos de ensayos.



### Modelo

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

### Parámetros técnicos principales:

1. Fuerza máxima: 600 KN
2. Rango de medición de la fuerza: 4% -100% FS

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:  $\phi 13 - \phi 40\text{mm}$
10. Diámetro de la muestra de corte: 10 mm
11. Espesor de sujeción del espécimen plano: 70 mm
12. Tamaño de la placa de presión:  $\phi 180\text{mm}$
13. Carrera del pistón: 250 mm
14. Ancho de los rodillos de soporte: 160 mm
15. Ancho del rodillo de apoyo de flexión: 140 mm

## Anexo C

Equipo de ensayo térmico de los laboratorios de la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL).



### Modelo

Thermal Conductivity Test Tool  $\lambda$ -Meter EP500e

### Funciones

La herramienta de prueba de conductividad térmica  $\lambda$ -Meter EP500e es una herramienta de prueba basada en una PC integrada para mediciones de valor absoluto en el método de placa calefactora protegida según ASTM C177.

### Especificaciones Técnicas

1. Modo de medición: 0.001 y 3 W/m °K.
2. Temperatura de medición: de 10 °C hasta 40 °C
3.  $\Delta T$ : 5 °K hasta 15 °K
4. Rango de medición: de  $R = 0,250 \dots 14,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
5. Espesor de la muestra: 10 hasta 120 mm
6. Dimensiones de muestra: Óptimo: 500 x 500 mm<sup>2</sup>.
7. Zona de medición: Elegible: 150 x 150 mm<sup>2</sup>, 200 x 200 mm<sup>2</sup>, 250 x 250 mm<sup>2</sup>

8. Dimensiones (L x A x Alto): 63 x 63 x 88 cm<sup>3</sup>

9. Fuente de alimentación: 230 V / 50 Hz

10. Consumo de energía: Max 450 W