

Resistance to bending of solid beams and laminated beams for two types of woods, in the city of Cajamarca

Christian Alexander Guarniz Linares, Ing.¹; Orlando Aguilar Aliaga, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú. N00024080@upn.edu.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú. Orlando.aguilar@upn.edu.pe

Abstract - This research evaluated the flexural strength of solid beams and laminated beams for two types of wood, in the city of Cajamarca, due to the need to know the capacity of these two types of wood: Eucalyptus and Pine; since both types of wood are easily available in the city of Cajamarca, as well as being inexpensive in the local market. The tests were carried out in the laboratories of the Faculty of Engineering of the Universidad Privada del Norte, Cajamarca headquarters. Protocols were used for the execution of tests, whose results were processed in Excel spreadsheets, then they were analyzed and interpreted for each type of specimen: solid beams and laminated beams (wooden sheets joined together, with synthetic glue based on polyacetate vinyl). To obtain the flexural strength of the wooden beams, a maximum load was applied on the universal testing machine, considering the dimensions and the distance of the support. In the execution of the investigation, we first proceeded with the recognition of the material, its cuts and the production of the solid and laminated wooden beams, considering the dimensions of the wooden beams, based on the tests, to determine up to how much load can stand. Subsequently, the information obtained was processed and it was determined that the performance of the Eucalyptus solid beams had better performance than the Eucalyptus laminated beams, in the case of the Pine solid beams and the Pine laminated beams, these had similar behavior.

Keywords: Bending, Laminated Beams, Solid Beams.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.140>

ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

Resistencia a flexión de vigas macizas y vigas laminadas para dos tipos de maderas, en la ciudad de Cajamarca

Christian Alexander Guarniz Linares, Ing.¹; Orlando Aguilar Aliaga, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú. N00024080@upn.edu.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú. Orlando.aguilar@upn.edu.pe

Resumen - La presente investigación evaluó la resistencia a flexión de vigas macizas y vigas laminadas para dos tipos de maderas, en la ciudad de Cajamarca, por la necesidad de conocer la capacidad que presentan estos dos tipos de maderas: Eucalipto y Pino; pues ambos tipos de madera se pueden conseguir fácilmente en la ciudad de Cajamarca, así como son también económicas en el mercado local. Los ensayos se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte, sede Cajamarca. Se utilizaron protocolos para la ejecución de ensayos, cuyos resultados se procesaron en hojas de cálculo Excel, luego fueron analizados e interpretados para cada tipo de especímenes: vigas macizas y vigas laminadas (láminas de madera unidas entre sí, con cola sintética en base a poliacetato de vinilo). Para obtener la resistencia a la flexión de las vigas de madera, se aplicó una carga máxima en la máquina de ensayos universal, considerando las dimensiones y la distancia del apoyo. En la ejecución de la investigación, primero se procedió con el reconocimiento del material, sus cortes y la producción de las vigas de madera macizas y laminadas, considerando las dimensiones de las vigas de madera, en base a los ensayos, para determinar hasta cuánta carga puede soportar. Posteriormente se procesó la información obtenida y se determinó que el rendimiento de las vigas macizas de Eucalipto tuvo mejor comportamiento que las vigas laminadas de Eucalipto, en el caso de las vigas macizas de Pino y las vigas laminadas de Pino estas tuvieron comportamiento similar.

Palabras clave: Flexión, Vigas Laminadas, Vigas Macizas.

I. INTRODUCCIÓN

La madera es la materia prima más explotada por el hombre, es un material biológico de origen vegetal, por lo que todas sus funciones describen que su naturaleza se caracteriza por su porosidad y su elevada resistencia en relación con su peso, esto lo hace discrepante con otros materiales de construcción. El empleo de este material se prioriza por su principal característica de ser un elemento estructural que trabaja adecuadamente para ser utilizado en edificaciones que hasta la fecha siguen contemplando, sea en elementos como: columnas, balcones, vigas, etc. [1]

En cierta medida el tiempo es la pieza más desfavorable y puede ocasionar cambios en la estructura interna de la madera, de la misma forma de que pasa por un proceso transformativo, que inicia desde su corte hasta hacerla llegar a un punto de utilización manejable por el hombre, la hace ser un elemento estructural, no solo de fácil manejo sino de

agradable presentación y colorido, además de ser un recurso renovable que si es bien explotado ayuda enormemente a la ecología de las regiones donde se le halle. [11]

Por lo que los países deben aprovechar sus recursos forestales, ya que en algunas partes del mundo la madera es muy utilizada por ser un material estético y económico e incluso es un buen aislante térmico; y si se da el mantenimiento adecuado, es muy duradero ante insectos y otros agentes negativos, de igual manera otorga un entorno agradable. Por el hecho de que la madera es un material ecológico, con propiedades bioclimáticas y que posee bajos emisores contaminantes en su procesamiento.

En Cajamarca se debe fomentar y apoyar el desarrollo de la industria de transformación de la madera en función de las necesidades del mercado local, regional y nacional; buscando alternativas de aprovechamiento de los recursos maderables de los bosques existentes, propiciando la cadena productiva en las plantaciones forestales de la región. Por ejemplo, en el caso de la construcción, mejorando el uso de la madera y el aporte de ésta a solicitudes estructurales.

El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) mediante una investigación realizada en el 2010 obtuvo que Cajamarca es una de las principales productoras de madera aserrada, gracias a sus extensas tierras de cultivos, pero ésta no puede ser superada por sectores de la selva. [8]

Si bien es cierto que a Cajamarca no le faltan recursos maderables, éstos se pueden aprovechar y emplearse para mejorar la calidad de vida, en el caso de la vivienda de las personas. Por esto la presente investigación tiene como propósito plantear y dar a entender que la madera puede ser un elemento provechoso, que actúa de una manera muy beneficiosa, eficiente, trabaja oportunamente y posee una gran resistencia a cargas externas. Un ejemplo de su uso es en forma de viga; por este motivo es necesario hacer ensayos que permitan obtener un análisis más consistente para verificar su autenticidad y el rendimiento que puede lograrse. Para esta investigación la solicitud estructural fue la resistencia a flexión que puede tener las vigas de madera (vigas macizas y vigas laminadas), para así demostrar hasta

que nivel pueden resistir y de este modo recomendar su uso como material en la construcción.

El estudio del comportamiento mecánico (flexión) en vigas de madera reutilizada unidas con pino radiata (*pinus radiata*) para uso estructural, donde evaluó el comportamiento mecánico a flexión de dichas vigas de madera, utilizando el adhesivo Melamina Urea Formaldehído del sistema de madera laminada pegada estructuralmente, el cual pretendió abordar la reutilización de diferentes tipos de madera de salvamento, que se puede encontrar en las edificaciones que se demuelen o que se construyen, como parte fundamental de nuevos elementos estructurales (vigas), los cuales están unidos con pino radiata (*pinus radiata*) y unidos por medio del uso del adhesivo Melamina Urea Formaldehído del sistema de laminado pegado estructuralmente; analizado por medio del ensayo normalizado a flexión (ASTM D198 – NTC 5279), las cuales se realizaron pruebas en los prototipos a escala 1:1, de 3 metros de longitud, comprobando el comportamiento estructural de los ensambles propuestos y los requisitos de máxima deformación admisible de la norma sismo resistente colombiana, obtuvieron valores que están cercanos a los que encontramos en el nivel ES3 de la tabla de maderas estructurales de la NSR-10, avalando el posible uso de estos elementos en sistemas constructivos, ampliando las opciones para los arquitectos y constructores en la selección de los materiales y sistemas principales para las estructura de las edificaciones, además de contribuir en continuar el ciclo de vida de estos materiales naturales para que hagan parte importante en la cadena de valor de la industria, el medio ambiente y la sociedad; de este modo, se apreció en todos los elementos que la falla principal fue por la ruptura de las fibras del patín inferior de Pino Radiata, debido al esfuerzo de tracción inducido por la carga y por la resistencia del adhesivo, las fallas fueron frágiles y fueron focalizadas tanto en el centro de la luz, como en los tercios inferiores de la viga y en todos los casos se indujo un cortante transversal que afectó a los elementos de unión, infiriendo que la disposición de las fibras de estos elementos no fue la más indicada ya que fueron ubicados solo pensando en el proceso industrial del armado y no en soportar alguna carga o reacción del ensayo. En algunos casos hubo un desprendimiento por la línea de cola en donde el adhesivo no fue aplicado uniformemente o de la manera indicada, por esto se debe prestar atención al maquinado y control de calidad del proceso de aplicación, ya que esto reduce la resistencia en conjuntos del elemento, principalmente por que las piezas internas de las vigas no transmiten ningún esfuerzo y se observa un desplazamiento que induce un esfuerzo de corte en la línea de cola y en las láminas de pino radiata. [6]

El refuerzo y reparación con polímeros reforzados con fibra (FRP) de vigas de madera aserradas sometidas a flexión en la ciudad de Madrid, estudió las propiedades de la madera

y su comparación con la normativa reguladora para su correcta caracterización, conociendo y comparando el comportamiento de las vigas de madera sometidas a flexión, reforzadas y reparadas con fibra de carbono y el comportamiento de las vigas de maderas reforzadas con diferentes sistemas de FRP; para realizar esta investigación, se ha dividido la fase experimental en dos programas diferenciados, adaptando los ensayos y los materiales a las condiciones de partida para la obtención de los resultados, para el estudio de las reparaciones y los refuerzos con polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP), se ensayaron vigas a flexión sin esfuerzo para la caracterización mecánica del lote, posteriormente se repararon y se volvieron a ensayar, para la comparación de los resultados, se realizaron los mismos ensayos en vigas reforzadas sin haber sido colapsadas previamente, la comparación de los diferentes sistemas de refuerzo de FRP se llevó a cabo con ensayos de flexión de vigas de madera con diferentes configuraciones de refuerzo utilizando todas las fibras disponibles: basalto, vidrio, carbono, carbono de alto módulo elástico y metálica; en general estas investigaciones son semejantes por ejecutar ensayos de vigas a flexión para posteriormente hacer comparaciones de los diferentes tipos de maderas con los diferentes tipos de vigas. [5]

En el Estudio del comportamiento mecánico de una viga en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual, se dio a conocer que la madera de pino pátula es apta para elaborar madera laminada encolada debido a que sus propiedades físico mecánicas cumplen con las recomendaciones dadas por la Norma Chilena NCh 2148 de 2013 de requisitos e inspección y el esfuerzo a flexión de las vigas en arco de madera laminada encolada es mayor en un 67.74%, que el esfuerzo a flexión de las vigas rectas de madera laminada encolada y las deformaciones promedio en límite de rotura producidas en las vigas en arco de madera laminada encolada, son mayores en un 30.97%, que las deformaciones en las vigas laminadas encoladas rectas, en el cual el tipo de falla en las vigas en arco de madera laminada fue dúctil, mientras que en las vigas rectas de madera laminada fue de tipo frágil. [9]

En la Universidad Nacional Agraria La Molina, se da a conocer que en la Evaluación de la calidad de adhesión en la madera laminada encolada (MLE) de tres especies forestales para la fabricación de vigas de madera, en la cual se evaluó la calidad de adhesión de madera laminada encolada de pino, tornillo y eucalipto; para la fabricación de vigas (crucetas) de madera, de dos secciones, utilizando como cola un copolímero a base de melamina urea formaldehído; donde se fabricaron diez vigas laminadas de dos secciones (90 mm x 115 mm x 127 mm) y de 1.5 metros de longitud por especie, con los parámetros de laminación recomendados en la literatura consultada y en la ficha técnica del adhesivo empleado; de hecho después de los ensayos, Parra dio a

conocer que las especies de pino y eucalipto cumplen con los requisitos señalados en la norma UNE-EN 14080 para el ensayo de esfuerzo cortante, por lo que esto es una buena señal para esta investigación de adhesión. [12]

Según el estudio Comparación de las propiedades físicas y mecánicas del Eucalyptus Globulus extraído de Huambocancha y El Triunfo – Cajamarca, 2018, se realizó la carga sobre las bases del prisma, es decir sobre una de las caras transversales de la probeta, la carga se aplicó en forma continua durante todo el ensayo y se registró durante el ensayo, las cargas progresivas aplicadas en la probeta con las respectivas deformaciones que se fue produciendo en la misma. Las cargas producidas se tomaron en intervalos de 500 Kg; en el cual concluye que la madera extraída de Huambocancha presenta mejores propiedades y se obtuvo esfuerzo al límite proporcional de 318.13 Kg/cm², resistencia máxima de 437.21 Kg/cm² y módulo de elasticidad de 51691.44 Kg/cm²; y para la madera extraída de El Triunfo se obtuvo esfuerzo al límite proporcional de 231.59 Kg/cm², resistencia máxima de 317.47 Kg/cm² y módulo de elasticidad de 47384.56 Kg/cm²; la madera extraída de Huambocancha presenta resistencias superiores. [3]

Madera

Es materia prima que se obtiene de la parte debajo de la corteza de los árboles con tallo leñoso. La madera y la piedra son y han sido los materiales más empleados para la construcción de estructuras de todo tipo. La piedra, inerte, como soporte para la más elemental orografía. La madera, viva como soporte especializado para algunos de los seres vivos más antiguos de la tierra. Ambos, desde lo más antiguo de la prehistoria, llegan hasta nuestros días y se revelan en la actualidad como los materiales más empleados en las estructuras más evolucionadas. [4]

Eucalipto

El eucalyptus globulus es un árbol magnífico, espectacular y de elevada talla, llega a alcanzar los 70 metros de altura y 2 metros de diámetro, aunque normalmente supera los 50 metros de altura y los 1.50 metros de diámetro medido a 1.30 metros de altura sobre el suelo, la característica más llamativa es su “heterofilia”; hojas jóvenes opuestas, dentadas y acorazonadas y las adultas alternas, pecioladas, falciformes y acuminadas. [2]

Pino

Es un árbol de talla media a elevada, de aproximadamente 45 metros de altura, puede alcanzar un diámetro de tronco de más de 50 centímetros en 20 años. El pino radiata, conocido también como pino insigne, pino de Monterrey, tiene buen crecimiento, con una precocidad que alcanza volúmenes de producción altos con madera de calidad aceptada para diversos usos en corto tiempo. Esta situación, ha propiciado su utilización en regiones de la zona

templada de todo el mundo. Varios países del hemisferio Sur adoptaron al pino en sus programas de forestación y reforestación. Nueva Zelanda fue el pionero, comenzando entre 1920 a 1930. A partir de los años 1960 renace nuevamente el interés por esta especie y se relanza repoblaciones que se prolonga hasta hoy, convirtiendo a Nueva Zelanda en principal productor de madera de esta especie. [7]

Vigas de madera

Es un buen material desde el punto de vista estructural, aporta resistencias elevadas, es aislante, se adapta a geometrías complejas, permite salvar grandes luces y disponer de piezas con radios de curvatura.

Vigas macizas

Las vigas macizas son aquellas vigas estructurales de madera que no han sufrido casi modificaciones respecto a la materia prima. Es decir, es la madera del tronco aserrada, cortada y secada, a la que se le puede añadir algún tipo de tratamiento.

Vigas laminadas

Las vigas laminadas se componen de láminas de madera que, a su vez, se obtienen encolando dos o más láminas de madera paralelas al eje de las láminas.

Agrupamiento de maderas en grupos estructurales

La presente investigación considera los datos establecidos por la Norma E 0.10 para el agrupamiento que está basado en los valores de la densidad básica y de la resistencia mecánica. [10]

Los valores de la densidad básica, módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles para los grupos A, B y C serán los indicados:

TABLA 1
AGRUPAMIENTO DE MADERA SEGÚN LA DENSIDAD BÁSICA

Grupo	Densidad Básica (gr/cm ³)
A	> 0.71
B	0.56 a 0.70
C	0.40 a 0.55

Es la relación entre la masa y el volumen. Es uno de los parámetros de más frecuente utilización en la cuantificación de las plantaciones y la caracterización de sus propiedades.

TABLA 2
AGRUPAMIENTO DE MADERA SEGÚN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Grupo	Módulo de Elasticidad (E) MPa (kg/cm ²)	
	E mínimo	E promedio
A	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)

Es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza, de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores.

TABLA 3
AGRUPAMIENTO DE MADERA SEGÚN LOS ESFUERZOS ADMISIBLES

Grupo	Esfuerzos Admisibles MPa (kg/cm ²)				
	Flexión	Tracción Paralela ft	Compresión paralela fc'//	Compresión perpendicular fc'	Corte paralelo fv
A	20.6 (210)	14.2 (145)	14.2 (145)	3.9 (40)	1.5 (15)
B	14.7 (150)	10.3 (105)	10.8 (110)	2.7 (28)	1.2 (12)
C	9.8 (100)	7.3 (75)	7.8 (80)	1.5 (15)	0.8 (8)

En la tabla 3, se ve parámetros de los esfuerzos de flexión, tensión, compresión paralela, compresión perpendicular, corte y módulo de elasticidad longitudinal, que resisten los elementos de madera.

La incorporación de especies a los grupos establecidos se hará en función de la densidad básica, se deberá ensayar un mínimo de 30 vigas provenientes por lo menos de 5 árboles por especie.

La presente investigación analizará la resistencia a flexión de vigas macizas y vigas laminadas para dos tipos de madera, en la ciudad de Cajamarca. Por otra parte, identificará el contenido de humedad y densidad básica del Eucalipto y Pino; a la vez analiza y compara que tipo de viga (macizas o laminadas) resisten mejor a flexión; y analiza y compara que tipo de madera (Eucalipto o Pino) desempeña un destacado comportamiento a los ensayos a realizarse.

Esta investigación es pionera en promover el uso combinado de madera, incluso de diversos tipos, constituyendo así elementos estructurales de mejores características físicas.

Con la elaboración de esta investigación pretendo señalar que estos dos tipos de madera logran una alta

resistencia a flexión siempre y cuando se trabaje de forma laminada, ya que este tiene una gran ventaja en su amplia gama de longitudes y espesores, y que se adaptaría para la construcción de elementos estructurales de madera. Por otra parte, ayudaría posteriormente como fundamento para otras investigaciones sobre la madera.

Posibilitará tener mejores criterios al momento de aplicar este tipo de material y se tendrá algunos parámetros de diseño de estos elementos estructurales en cualquier modelo de edificación. También, estos dos tipos de madera o cualquier otra especie se puede utilizar como material estructural si se conocen sus propiedades mecánicas, pero en la práctica, es donde se observa sus verdaderos valores, ya sea en el Perú u otros países, como también el clima, siendo la realización de la presente investigación más específicamente en la ciudad de Cajamarca.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los instrumentos que se utilizaron fueron:

- Máquina de ensayos universales (equipo de flexión).
- Deformímetro.
- Nivel
- Estufa
- Vernier
- Balanza
- Recipiente graduado

Para la recolección de datos se utilizaron protocolos establecidos según las Normas Técnicas Peruanas de Madera. Los datos obtenidos se llevaron a hojas de cálculo Excel para que sean procesados y analizados posteriormente. Los protocolos que se emplearon fueron para determinar los valores de Contenido de humedad, Densidad básica y Ensayos a flexión.

Para la fabricación de las vigas se tomaron en cuenta los siguientes pasos:

Adquisición de la madera de un aserradero o maderera, por conveniencia, se ha elegido a la maderera: Maderas Cajamarca S.A.C.

Por consiguiente, se solicitó hacer los cortes de la madera para disponer las vigas adecuadamente, en este proceso se consideró los cortes adecuados para las vigas macizas posteriormente los cortes de las vigas laminadas de madera que como lo dice el nombre, serán láminas de madera para que se adhieran entre ellas y tuvieran las mismas dimensiones que las vigas macizas; también se solicitó la producción de algunas probetas de madera para hacer ensayos de contenido de humedad y densidad básica.

Las dimensiones estimadas fueron:

- Probetas de madera para contenido de humedad: 5cm x 5cm x 5cm
- Probetas de madera para densidad básica: 3cm x 3cm x 10cm
- Vigas macizas de madera: 3" x 3" x 75cm
- Vigas laminadas de madera: 1" x 3" x 75cm

Para la elaboración de las vigas laminadas, se encolaron las láminas de madera. En primer lugar, para que tenga mejor adherencia se realizaron pequeñas hendiduras levemente usando martillo, así las láminas de madera con una superficie más rugosa y con la cola sintética generó mejor agarre y luego se emplearon prensas para mejor la unión y adherencia entre láminas. En el laboratorio se hicieron las pruebas de las vigas, teniendo presente que las vigas macizas son las más factibles para hacer previamente las pruebas, puesto que son las que necesitan menos procesos de fabricación que las vigas laminadas (solamente cortes). Se hicieron las pruebas a flexión de las vigas macizas. Posteriormente, se procedió a las pruebas de las vigas laminadas, tal como se procedió para las pruebas anteriores con las vigas macizas, teniendo un orden por codificación.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conforme a la Norma E 0.10, se debe ensayar un mínimo de 30 vigas por madera, por lo que se ensayó un total de 120 vigas, porque se tiene dos tipos de vigas y dos tipos de maderas; y para ensayos de contenido de humedad y densidad básica también se consideró este mínimo de muestra; luego el número de especímenes se distribuyó de la siguiente manera: [9]

- 60 especímenes para contenido de humedad (30 de eucalipto y 30 de Pino).
- 60 especímenes para densidad básica (30 de eucalipto y 30 de Pino).
- 60 especímenes para vigas macizas (30 de eucalipto y 30 de Pino).
- 60 especímenes para vigas laminadas (30 de eucalipto y 30 de Pino).

En las siguientes tablas se muestra el promedio de los resultados, según los ensayos realizados.

TABLA 4
ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD PARA EUCALIPTO

	Peso Húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Contenido de humedad (%)
Promedio	140.62	108.36	30.93
Desv. Est.	3.33	10.33	13.06

TABLA 5
ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD PARA PINO

	Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Contenido de humedad (%)
Promedio	72.67	64.12	13.48
Desv. Est.	11.46	9.81	6.58

TABLA 6
ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA PARA EUCALIPTO

	Peso seco (gr)	V. Sat. (cm ³)	DB (gr/cm ³)
Promedio	61.88	97.04	0.64
Desv. Est.	5.28	1.49	0.06

TABLA 7
ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA PARA PINO

	Peso seco (gr)	V. Sat. (cm ³)	DB (gr/cm ³)
Promedio	45.07	87.43	0.52
Desv. Est.	8.52	0.98	0.10

TABLA 8
ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA VIGAS MACIZAS DE EUCALIPTO

	Promedio	Desv. Est.
L (cm)	74.82	0.13
A (cm)	7.28	0.15
H (cm)	7.26	0.15
Área (cm²)	52.92	2.12
Lo (cm)	45.00	0.00
Carga Máxima (kg)	7020.67	1208.58
Esf. a Flexión (kg/cm²)	1229.27	182.08
P/Δ	404.87	72.74
M. de Elasticidad (Mpa)	322.75	49.47

TABLA 9
ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA VIGAS MACIZAS DE PINO

	Promedio	Desv. Est.
L (cm)	74.75	0.12
A (cm)	7.33	0.11
H (cm)	7.30	0.13
Área (cm²)	53.52	1.68
Lo (cm)	45.00	0.00
Carga Máxima (kg)	3083.87	968.39
Esf. a Flexión (kg/cm²)	530.35	158.50
P/Δ	273.71	70.09
M. de Elasticidad (Mpa)	214.67	56.51

TABLA 10.
ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA VIGAS
LAMINADAS DE EUCALIPTO

	Promedio	Desv. Est.
L (cm)	74.85	0.14
A (cm)	7.29	0.02
H (cm)	7.32	0.02
Área (cm ²)	53.32	0.26
Lo (cm)	45.00	0.00
Carga Máxima (kg)	3847.63	465.04
Esf. a Flexión (kg/cm ²)	665.18	77.99
P/Δ	202.96	38.45
M. de Elasticidad (Mpa)	158.80	30.46

TABLA 11
ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA VIGAS
LAMINADAS DE PINO

	Promedio	Desv. Est.
L (cm)	74.84	0.16
A (cm)	7.28	0.06
H (cm)	7.33	0.10
Área (cm ²)	53.36	0.81
Lo (cm)	45.00	0.00
Carga Máxima (kg)	3119.23	709.29
Esf. a Flexión (kg/cm ²)	539.26	126.88
P/Δ	213.92	33.70
M. de Elasticidad (Mpa)	166.91	26.65

La comparación de resultados, según el tipo de madera ensayadas, se presenta en las figuras siguientes:

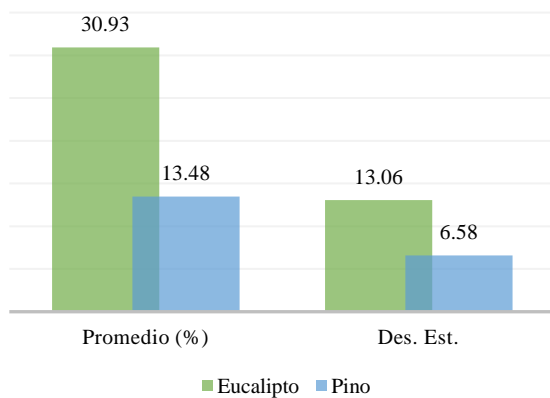


FIGURA 1
CONTENIDO DE HUMEDAD

Según la figura 1, el eucalipto tiene 30.93% de contenido de humedad, mientras que el pino tiene 13.48%, lo que implica que el eucalipto debe tener un mayor tiempo de secado.

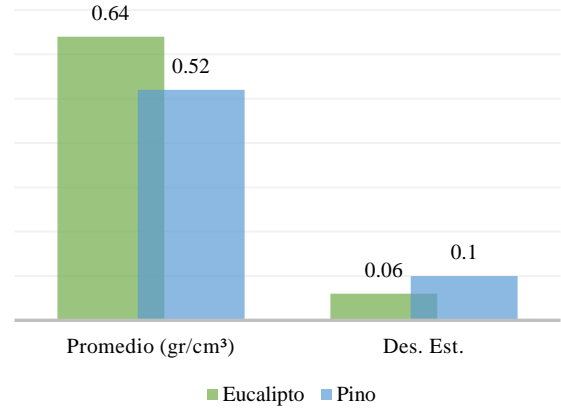


FIGURA 2
COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA

En la figura 2 el eucalipto alcanzó 0.64 gr/cm³ como promedio en su densidad seca, mientras que el pino obtuvo 0.52 gr/cm³; en base a la norma E 0.10, estos resultados indican que son maderas que pertenecen al grupo B y C respectivamente; se evidencia que el eucalipto es más pesado que el pino.

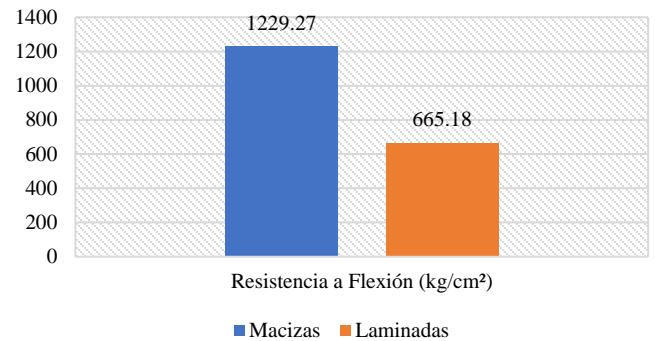


FIGURA 3
RESISTENCIA A FLEXIÓN VIGAS DE EUCALIPTO

La figura 3 muestra que 1229.27 kg/cm² es la flexión alcanzada para vigas macizas de eucalipto y 665.18 kg/cm² para vigas laminadas de eucalipto; notándose la diferencia de casi el doble en caso de las vigas laminadas respecto de las macizas.

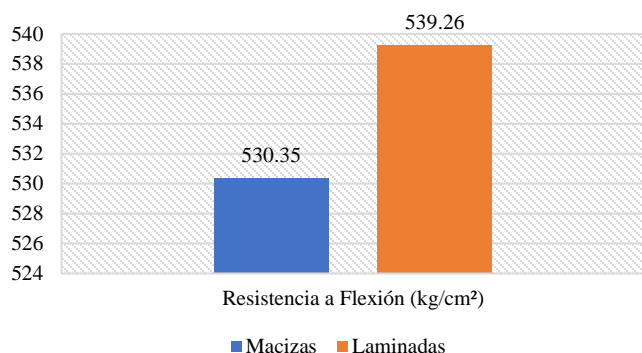


FIGURA 4
RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE PINO

Según la figura 4, el promedio de esfuerzo a flexión en las vigas macizas es 530.35 kg/cm² y en las vigas laminadas 539.26 kg/cm².

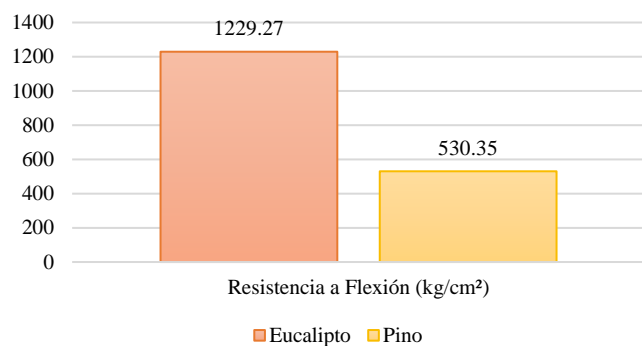


FIGURA 5
RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS MACIZAS

En la figura 5 se evidencia que el promedio de esfuerzos a flexión en vigas macizas de eucalipto es 1229.27 kg/cm² y en el pino es 530.35 kg/cm².

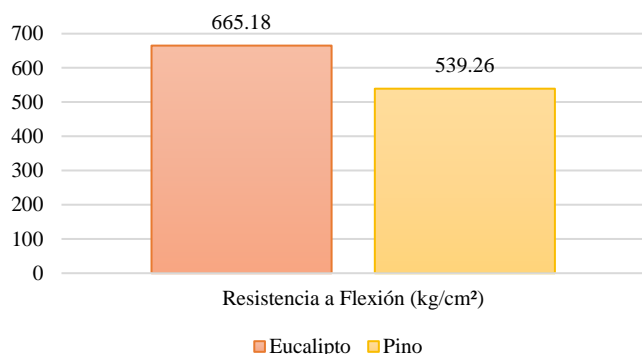


FIGURA 6
RESISTENCIA A FLEXIÓN VIGAS LAMINADAS

En la figura 6, las vigas laminadas de eucalipto obtienen un promedio de resistencia a la flexión de 665.18 kg/cm² y las vigas laminadas de pino alcanzan un promedio de resistencia a flexión de 539.26 kg/cm².

IV. CONCLUSIONES

1. La madera de pino ensayada tiene un contenido de humedad de 13.48% y la madera de eucalipto ensayada tiene 30.93% de contenido de humedad, para esta investigación.
2. La madera de eucalipto ensayada tiene 0.64 gr/cm³ de densidad básica y la madera de pino ensayada tiene 0.52 gr/cm³; lo cual evidencia que el eucalipto es más pesado y el pino es más ligero.
3. Las vigas de la madera de eucalipto ensayada dieron como resultado 1229.27 kg/cm² para la resistencia a la flexión en vigas macizas y para las vigas laminadas dieron como resultado 665.18 kg/cm² de resistencia a flexión.
4. Las vigas de la madera de pino ensayada dieron como resultado 530.35 kg/cm² para la resistencia a la flexión en vigas macizas y para las vigas laminadas dieron como resultado 539.26 kg/cm² de resistencia a flexión.
5. Según los resultados obtenidos, se concluye que las vigas macizas y laminadas de madera de eucalipto resisten a la flexión más que las vigas macizas y laminadas de madera de pino.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme las bendiciones que recibo de él cada día de mi vida, fortalecer mi corazón, iluminar mi mente y haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi apoyo y compañía durante toda mi etapa universitaria.

A mis queridos padres: Meyler y Yuli, por brindarme siempre el apoyo para salir adelante, progresar personalmente, y destinar tiempo para brindarme aportes invaluable que me servirán para toda mi vida, mostrándome su amor y comprensión en cada instante de mi existencia.

A mi asesor, por los consejos, apoyo y amistad que me permitieron aprender que Ingeniería Civil siempre debe contribuir a mejorar la calidad de vida de la población, y brindar seguridad y respeto al ambiente.

A mis docentes, por las enseñanzas y los valores impartidos, dedicar tiempo para aclarar cualquier tipo de duda que me surgiera, asimismo haber desarrollado con excelencia y paciencia su labor.

REFERENCIAS

- [1] J. Aguilar & E. Guzowski. "Materiales y Materias Primas". Recuperado de <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/madera.pdf>
- [2] Balmell, G. (1995). Ensayos de Orígenes de Eucaliptus Globulus. Serie técnica N° 68 Programa Forestal, INIA, Tacuarembó. s.e.
- [3] E. Cabanillas, "Comparación de las propiedades físicas y mecánicas del Eucalyptus Globulus extraído de Huambocancha y El Triunfo – Cajamarca 2018", Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, 2019.
- [4] M. Esteban, "Determinación de la capacidad resistente de la madera estructural de gran escuadría y su aplicación en estructuras existentes de madera de conífera", Dpto. de Construcción y Vías Rurales, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2003.
- [5] E. Gómez, "Refuerzo y reparación con FRP de vigas de madera aserradas sometidas a flexión", Dpto. de Tecnología de la Edificación, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2017.
- [6] A. Guzmán, A. "Estudio del comportamiento mecánico (flexión) en vigas de madera reutilizada unidas con pino radiata (pinus radiata) para uso estructural", Tesis de maestría, Facultad de Artes, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2017.
- [7] J. Melo, "Dendrocronología de la especie Pinus Radiata de plantaciones de Granja Porcón Cajamarca", Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2010.
- [8] Ministerios de Agricultura (2012). Estadística forestal del Perú 2000 – 2010. [Presentación de PowerPoint]. Disponible en: <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/estadistica-2000-2010-.pdf>
- [9] Narvaez, D. (2018). Estudio del comportamiento mecánico de una viga en arco de madera laminada encolada sometida a carga puntual (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- [10] NORMA E 0.10. MADERA. (2014). Lima – Perú: El Peruano.
- [11] Ortiz, L. (2008). Vigas de madera horizontales, para proyectos habitacionales, en arquitectura (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- [12] Parra, O. (2019). Evaluación de la calidad de adhesión en la madera laminada encolada (MLE) de tres especies forestales para la fabricación de vigas de madera (tesis de pregrado) Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.