

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



*ALNUS ACUMINATA O. KTZE (ILAMO),
DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS,
PARA DISEÑO DE FLEXIÓN EN MADERA ESTRUCTURAL Y SU USO COMO OTRA
ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA POPULAR*

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

JOSÉ FRANCISCO ECHEVERRÍA RAMÍREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 1,997

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

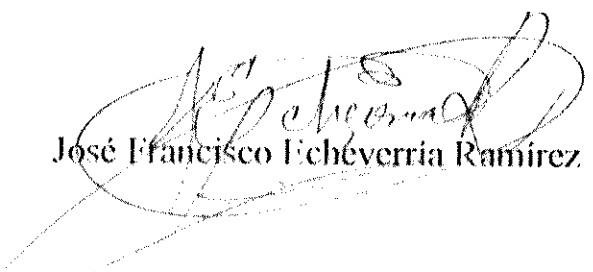
08
T(3974)
C. 4.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con las leyes y reglamentos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

***ALNUS ACUMINATA O. KTZE (ILAMO),
DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS,
PARA DISEÑO DE FLEXIÓN EN MADERA ESTRUCTURAL Y SU USO COMO OTRA
ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA POPULAR***

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería con fecha 1 de octubre de 1,996.


José Francisco Echeverría Ramírez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
VOCAL PRIMERO	ING. MIGUEL ANGEL SÁNCHEZ GUERRA
VOCAL SEGUNDO	ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLÓRZANO
VOCAL TERCERO	ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRÍA MÉNDEZ
VOCAL CUARTO	BR. VICTOR RAFAEL LOBOS ALDANA
VOCAL QUINTO	BR. WAGNER GUSTAVO LÓPEZ CACERES
SECRETARIO	ING. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO	ING. JULIO ISMAEL GONZÁLEZ PODSZUECK
EXAMINADOR	ING. JOSÉ GABRIEL ORDOÑEZ MORALES
EXAMINADOR	ING. SERGIO WALDEMAR VALDEZ BONILLA
EXAMINADOR	ING. RUBEN RODOLFO PÉREZ OLIVA
SECRETARIO	ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ

Guatemala, abril de 1,997

Ingeniero
Francisco Javier Quiñonez
Coordinador Área de Materiales
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Quiñonez:

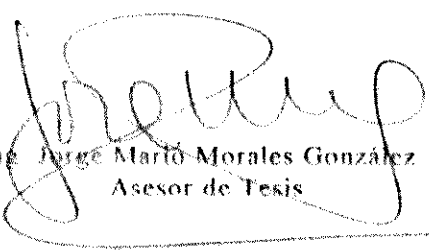
Por este medio nos es grato manifestarle, que en nuestra calidad de asesores nombrados por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, hemos procedido a la revisión final del trabajo de tesis **Alnus Acuminata O.KTZE (Hamo), determinación de sus propiedades físico-mecánicas, para diseño de flexión en madera estructural y su uso como otra alternativa para la Construcción de vivienda popular**, desarrollado por el estudiante JOSÉ FRANCISCO ECHEVERRÍA RAMÍREZ.

Asimismo, se determinó que dicho trabajo además de ser un valioso aporte a la ingeniería del país, en especial para la construcción de viviendas populares, ha sido elaborado conforme a los objetivos planteados, por lo que nos permitimos recomendar su aprobación, considerándonos corresponsables del contenido.

Sin otro particular, nos suscribimos de usted.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Jorge Mario Morales González
Asesor de Tesis


Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
Asesor de Tesis



FACULTAD DE INGENIERIA

Eseuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Guatemala, mayo de 1,997

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Ingeniero
Jack Douglas Ibarra
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

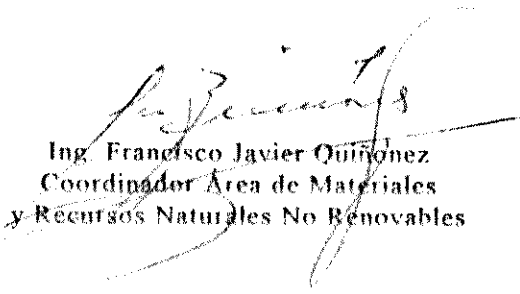
Ingeniero Ibarra:

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de tesis: **Alnus Acuminata O.KTZE (Hamo), determinación de sus propiedades físico-mecánicas, para diseño de flexión en madera estructural y su uso como otra alternativa para la Construcción de vivienda popular**, realizado por el estudiante universitario JOSÉ FRANCISCO ECHEVERRÍA RAMÍREZ, quien contó con la asesoría de los Ingenieros Jorge Mario Morales Gonzáles y José Gabriel Ordoñez Morales.

Considero que el trabajo cumple con los objetivos planteados, proponiendo valores experimentales de mucha importancia para el Uso de la Madera en la Construcción de Vivienda Popular, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Francisco Javier Quiñonez
Coordinador Área de Materiales
y Recursos Naturales No Renovables



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de los asesores Ing. Jorge Mario Morales González e Ing. José Gabriel Ordóñez Morales y del Coordinador del Area de Materiales, Ing. Francisco Javier Quiñónez, del trabajo de tesis del estudiante José Francisco Echeverría Ramírez, titulado **ALMUS ACUMINATA O.KTZE (Ileño) DETERMINACION DE SUS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS, PARA DISEÑO DE FLEXION EN MADERA ESTRUCTURAL Y SU USO COMO OTRA ALTERNATIVA PARA CONSTRUCCION DE VIVIENDA POPULAR**, da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Durré Salazar



Guatemala, mayo de 1,997.

JD/S/11-2-6.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jark Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis ALNUS ACUMINATA O.KTZE (Ilamo) DETERMINACION DE SUS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS, PARA DISEÑO DE FLEXION EN MADERA ESTRUCTURAL Y SU USO COMO OTRA ALTERNATIVA PARA CONSTRUCCION DE VIVIENDA POPULAR, del estudiante José Francisco Echeverría Ramírez, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert Rosendo Miranda Barrios

DECANO



Guatemala, mayo de 1, 1997

Abdelh.

AGRADESCO A DIOS

CREADOR DE LA NATURALEZA Y POSEEDOR DE TODA SABIDURÍA POR HABERME
PERMITIDO LLEGAR A MI META.

DEDICATORIA A:

MI PADRE	JOSE ECHEVERRÍA F.† Que mi triunfo sea una oración a Dios, por su alma.
MI MADRE	DOLORES M. RAMÍREZ P. Que mi triunfo sea una recompensa a sus esfuerzos y ayuda incondicional.
MIS HERMANOS	MIGUEL ÁNGEL, CRISTINA ELIZABETH, FEDERICO ESTUARDO, Por su constante apoyo y estímulo.
MIS SOBRINAS	Que sea un ejemplo en su vida.
MI NOVIA	ROSANNA DEL CARMEN JIMÉNEZ G. Con cariño muy especial, por su ayuda hasta la culminación de ésta tarea.
MIS AMIGOS	Que me acompañaron durante mi carrera.
USTED	En especial.

ÍNDICE

	Pág.
GLOSARIO	i
ABREVIATURAS	iii
INTRODUCCIÓN	iv
OBJETIVOS	vi
JUSTIFICACIÓN	vii
PRESENTACIÓN GRAFICA DE LA ESPECIE	viii
CAPÍTULO I	
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 ESPECIES MADERABLES	2
1.2.1 Estadísticas del Consumo de Madera	2
1.2.2 Uso de la Madera	2
1.2.2.1 Estructurales	3
1.2.2.2 Obra Falsa	4
1.2.2.3 Ebanistería	5
1.3 DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE ALTERNATIVAS	5
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE	6
2.2 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES	6
2.3 SILVICULTURA	7
2.4 RENDIMIENTO	8
2.5 USOS DE LA ESPECIE	9
2.6 PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS	10
2.6.1 Esfuerzos Admisibles en la Madera	10
2.6.2 Módulo de Ruptura	11
2.6.3 Módulo Elástico	12
2.6.4 Esfuerzos de Corte	12

	Pág.
2.6.5 Densidad de la Madera	13
2.6.6 Humedad de la Madera	14
2.7 CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS	15
2.7.1 Preclasificación de la Madera en el Aserradero	15
2.7.1.1 Diámetro del Tronco o Troza	15
2.7.1.2 Presencia de Nudos y Defectos en la Troza	15
2.7.2 Cepillado de las Probetas	18
2.7.2.1 Calibración de la Sección de la Probeta	18
2.7.2.2 Inspección de la Madera	18
2.7.2.3 Numeración de las Probetas	19
2.7.3 Secado de la Madera a Humedad Óptima	21
2.8 CALIBRACIÓN DE LA LUZ ENTRE APOYOS PARA LA APLICACIÓN DE LA CARGA	23
CAPÍTULO III	
3. RESULTADOS	24
3.1 CÁLCULO DE HUMEDAD	24
3.2 CÁLCULO DE DENSIDAD	25
3.3 CÁLCULO DE MÓDULO DE RUPTURA	25
3.4 CÁLCULO DE MÓDULO ELÁSTICO	25
3.5 CÁLCULO DE ESFUERZOS DE CORTE	27
3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
CONCLUSIONES	ix
RECOMENDACIONES	x
BIBLIOGRAFIA	xi
APÉNDICES	
NOTA DE ACLARACIÓN - OBSERVACIÓN	

ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS

CUADRO No.	N O M B R E	Pág.
1	ESTADÍSTICA DEL CONSUMO DE MADERA POR ESPECIE	2
2	TABLA DE RENDIMIENTO PARA UN ÍNDICE DE SITIO DE 18 METROS DE ALNUS ACUMINATA SIN ACLAREO, EN LA ZONA DE DISTRIBUCIÓN NATURAL DE COSTA RICA	9
3	TABLA CARGA-DEFORMACION DE LA PROBETA 14	26
4	TABLA DE LECTURA CARGA-DEFORMACIÓN	
5	TABLA DE CÁLCULOS DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL ALISO O ILAMO	
6	TABLA DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPRESADO EN Kg/cm ²	
7	TABLA DE DATOS AGRUPADOS EN INTERVALOS	

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA No.	N O M B R E	Pág.
1	TIPOS DE NUDOS	17
2	DEFECTOS DEL SECADO	20
3	DEFECTOS DEL SECADO	22
4	APLICACIÓN DE CARGA Y POSICIÓN DE LA PROBETA	23
5	CURVA DE CARGA-DEFORMACIÓN	27
6	PÉRDIDA DE HUMEDAD, PESO 1 (24 HORAS)	
7	PÉRDIDA DE HUMEDAD, PESO 2 (48 HORAS)	
8	PÉRDIDA DE HUMEDAD, PESO 3 (72 HORAS)	
9	NIVEL DE HUMEDAD	
10	DENSIDAD PESO HÚMEDO	
11	DENSIDAD PESO SECO	
12	MÓDULO DE RUPTURA	
13	ESFUERZO DE CORTE	

GLOSARIO

ACANALAMIENTO: Alabeo en la dirección transversal.

ALABEO: Curvatura de una pieza de madera por la deformación de uno de sus planos longitudinal o transversal, o de ambos.

AMENTO: Espiga articulada por su base y compuesta de flores de un mismo sexo, como la del avellano.

ARISTA: Línea formada por la intersección de la cara y el canto de una pieza.

ARQUEAMIENTO: Alabeo de las caras en dirección longitudinal.

CLASIFICACIÓN: Consiste en determinar y juzgar la magnitud y el efecto que tienen las características o defectos de la madera sobre su resistencia y apariencia.

CONTENIDO DE HUMEDAD: Es la cantidad de agua que contiene una pieza de madera, expresada como porcentaje de su peso anhidro.

CORTICAL: Relativo a la corteza o de su naturaleza.

DENSIDAD: Peso anhidro de una muestra de madera, dividido entre su volumen saturado.

ENCORVADURA: Alabeo de los cantos en sentido longitudinal.

ESFUERZO: Es la fuerza aplicada por unidad de área que soporta el material.

FENOTIPO: Características psicofísicas de un individuo, como resultado de la influencia hereditaria y de los factores propios del medio.

FUSTE: Tronco o troza del árbol

GRIETA: Es la separación de los elementos constitutivos de la madera, cuya profundidad no atraviesa una pieza aserrada.

LATIFOLIADAS: Árboles de hoja ancha que producen sus semillas dentro de frutos. Su madera está constituida por células denominadas vaso, fibras y parénquima. Comúnmente son conocidas como maderas duras.

MEDRAR: Crecer, los animales y las plantas. Aumento, mejora, progreso de una cosa.

MICELIO: Talo de los hongos, formado por células reunidas en filamentos de crecimiento apical, que se entrelazan constituyendo una trama bien perceptible. Los filamentos, llamados hifas, pueden estar reunidos flojamente o íntimamente.

MICORRIZAS: Asociación entre la raíz de una planta y las hifas de determinados hongos. En muchos árboles forestales, coníferas, etc., el micelio del hongo rodea completamente la raíz, penetrando cuando más, en el primer estrato cortical. Parece existir cierto intercambio de sustancias entre el hongo y el huésped.

NUDOS: Porciones de madera dura y compacta, pertenecientes a ramas que quedaron incluidas en el tronco.

NUDOS EN RACIMOS: Dos o más nudos agrupados por las fibras desviadas que los rodean y alteran en gran porción el hilo de toda la pieza. A todo el racimo se le considera como una unidad de nudo.

RAJADURA: Separación entre las fibras de la madera, afectando totalmente el espesor de la pieza aserrada.

RIOSTRA (O): Pieza que, puesta oblicuamente, asegura la invariabilidad de forma de una armazón.

RODAL (ES): Agrupación de plantas que se distinguen del resto por la naturaleza de las especies, formas de agruparse, etc.: un rodal de robles en un pinal.

ABREVIATURAS

AB:	Área basal
ASTM:	American Society For Testing and Materials.
CATIE:	Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza.
DAP:	Diámetro del tronco, a la altura del pecho de la persona que lo toma.
DIGEBOS:	Dirección general de bosques y vida silvestre.
ICA:	Incremento corriente anual (Crecimiento de un año).
IMA:	Incremento medio anual.
N/ha:	Número de árboles por hectárea.
PSF:	Peso saturado de la fibra.

INTRODUCCIÓN

Guatemala país de la eterna primavera, tierra privilegiada por contar con extensas áreas de bosques, que generan una gran variedad de especies de madera, que van desde las más suaves hasta las de fibra dura, y que permiten que el consumidor de maderas cuente con una amplia gama de maderas para usos diferentes.

En nuestro país la madera es uno de los recursos naturales renovables más utilizados, lo que origina desventajas para la naturaleza, porque los mismos no son renovados de manera adecuada, al realizar explotaciones madereras inapropiadas. Todo ello ha sido motivo para que organizaciones nacionales e internacionales promuevan leyes para moderar las talas excesivas, especialmente las de ciertas especies, como las preciosas o semipreciosas, las cuales están consideradas como recursos no renovables, pues su período de crecimiento es bastante lento -se asume como crecimiento lento un período entre 50 a 70 años, para tener un diámetro considerado como explotable de 30 a 50 centímetros aproximadamente-.

Los índices estadísticos del consumo de madera muestran que el comportamiento del mercado local define, que los bosques más comunes de la región del altiplano en general son ya escasos, y que por lo tanto, si continúa la depredación de los mismos, en términos de una o dos décadas el país estará completamente árido y las cuencas que alimentan los ríos tenderán a desaparecer, lo que generará una cadena de desequilibrio ecológico, que finalmente heredará un desierto como única opción para vivir.

La región del altiplano del país, específicamente los departamentos del occidente y nor-occidente, son algunos de los más afectados por la depredación de los bosques, con lo que se hace necesario buscar alternativas tanto para satisfacer necesidades básicas -vivienda, vestido y sustento diario-, como para complementar su modo de vivir, haciendo notar que en un alto porcentaje viven de la explotación maderera, haciendo uso de la misma para leña o en otros casos para construir sus viviendas. Sin embargo, construir una vivienda y no utilizar madera es casi imposible, lo que da en conclusión que la madera en nuestro medio es vital como el agua misma, razón por la que todo ello, son algunas de las causas primarias del alto grado de deforestación de nuestros bosques.

El presente estudio muestra algunas de las opciones que pueden ayudar a la población en un momento dado, para establecer o conocer técnicamente otra especie de madera trabajable o utilizable, de la cual se aproveche su potencial y sus bosques, ya que por la falta de datos técnicos no se le ha dado importancia y por ello actualmente sólo se le ha dado uso energético, como leña o carbón. Además, la especie analizada tiene un bajo costo dentro de la madera, lo que conviene especialmente para la población de escasos recursos, pues es una opción más económica de las que existen en el mercado.

Además se tuvieron algunas consideraciones como las de clasificar la madera y hacerle una inspección visual, vigilar el procedimiento de secado, que fue el método natural el utilizado, previo a realizarle los ensayos, para lo cual se hizo necesario tomar una muestra de 99 probetas, además de verificar que se cumpliera con los requisitos de las normas a utilizar, es este caso la norma ASTM D-198-84, con la cual se determina el Módulo de Ruptura, Módulo Elástico, Esfuerzo de Corte, y para la determinación de el % de Humedad y la Densidad, la norma ASTM D-2395.

Posteriormente para complementar los resultados de los ensayos con el marco teórico, hubo que consultar bibliografía que en su gran mayoría, contiene información de la especie ALNUS ACUMINTA, pero hay que hacer notar que dichos estudios han sido realizados en otros países.

OBJETIVOS

GENERALES

1. Proporcionar a la población de Guatemala nuevas alternativas para la construcción de sus viviendas, especialmente para la que cuenta con reducidas posibilidades de obtener madera que le brinde seguridad, economía y durabilidad en su construcción.
2. Contar con otras opciones de maderas a precios accesibles, de tal manera que los aserraderos produzcan madera variada en cuanto a especies, para no tener la limitante de contar sólo con las especies maderables tradicionales.
3. Estimular en los constructores del país la confianza en el uso de otras alternativas de madera estructural, proporcionándoles datos técnicos para el uso de la misma.

ESPECÍFICOS

1. Conocer las propiedades físico-mecánicas de la especie ALNUS ACUMINATA (ALISO O ILAMO), para utilizarlo como elemento estructural
2. Determinar la utilidad de la madera de esta especie.

JUSTIFICACIÓN

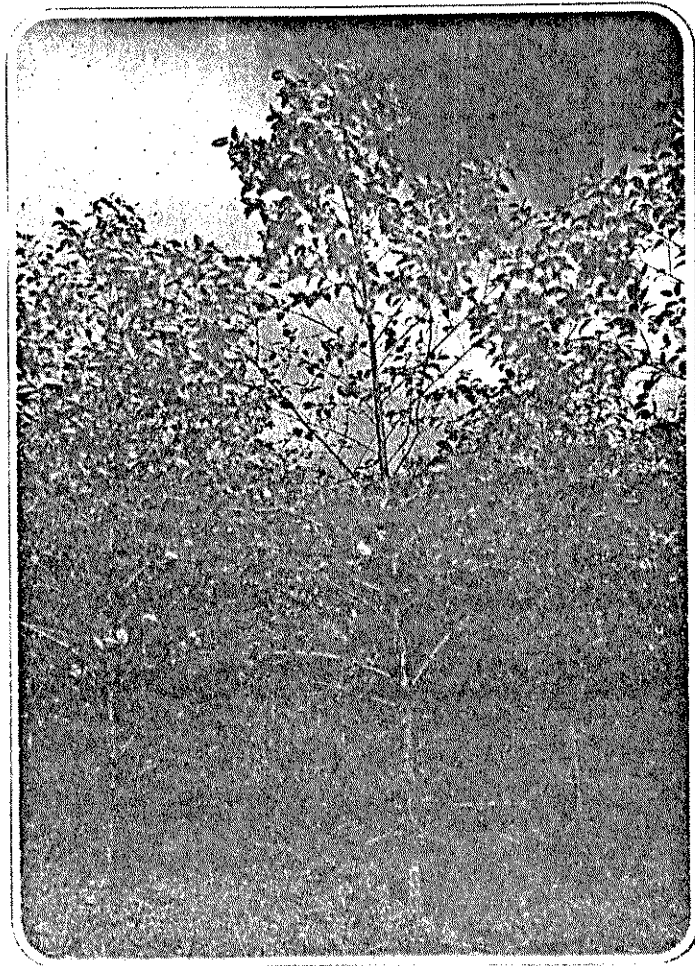
En Guatemala se han realizado estudios sobre las características físico-mecánicas de la madera de algunas especies, tanto de las coníferas como de las latifoliadas. Dichos estudios se realizaron bajo las normas ASTM, que requieren el uso de probetas libres de defectos.

En este estudio de tesis se hará uso del método que indica la norma ASTM D-198-84, con el que se determinarán las propiedades físico-mecánicas de las vigas estructurales de madera o probetas a escala natural. La especie que será utilizada en el ensayo es ALNUS ACUMINATA O. KTZE (ALISO O ILAMO), debido a las características que ofrece de rápido crecimiento, las dimensiones que alcanza en un tiempo relativamente corto y además por la abundancia de sus bosques.

Nuestro país por su posición geográfica cuenta con muchas especies maderables, de las cuales a algunas no se les conocen sus propiedades físico-mecánicas, por lo que son poco utilizadas o en otros casos sub-utilizadas. Específicamente en las zonas altas de Guatemala se encuentran los bosques que sirven de hábitat del Aliso (ALNUS ACUMINATA), dicha especie es una de las más sub-utilizadas, pues el uso principal que se le ha dado es el energético. Esto último se considera que es debido al desconocimiento que existe en nuestro país de las propiedades físico-mecánicas que posee dicha especie, para ser aprovechada en la industria de la construcción.

Los estándares requeridos en nuestro país para la utilización de madera en la construcción, establecen que debe conocerse la información técnica de la madera para hacer el mejor uso de ella, se espera que el presente estudio -el cual cuenta con el aval del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala-, sea una contribución al desarrollo del país.

ALNUS ACUMINATA O.KTZE
(ILAMO Ó ALISO)



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como consecuencia de la sobre-explotación que han sido objeto nuestros bosques, en Guatemala cada vez se hace más difícil encontrar madera limpia, de dimensiones adecuadas y libre de defectos. La mayor parte de los bosques de árboles con diámetro aceptable son aprovechados, al igual que las maderas preciosas, por las empresas que explotan la madera a gran escala. Lo que hace necesario buscar madera, que sea útil y confiable en su aspecto técnico. Esto genera la necesidad de conocer las propiedades físico-mecánicas de la especie *ALNUS ACUMINATA*, para ofrecer respaldo técnico de la especie con ensayos realizados en probetas de madera propia de nuestra región.

1.1 ANTECEDENTES

La especie *ALNUS ACUMINATA* o *ILAMO* como comúnmente se le denomina en Guatemala, es propia de las zonas húmedas altas, de rápido crecimiento, con su tronco recto, copa estrecha, de hojas simples alternas, con el borde doblemente aserrado, de color verde oscuro. Es nativa de la región comprendida entre México, Centro América y el norte de Panamá, y es cultivada como especie de explotación maderera o como elemento energético (leña o carbón) en Guatemala, Costa Rica, Colombia, Bolivia y Argentina. Además en otros países ya se ha introducido, como en el sur de Chile y en Nueva Zelanda (South Island).

De todos estos lugares se han obtenido datos técnicos bastante halagadores y prometedores sobre dicho crecimiento, pero en Guatemala no se cuenta con datos obtenidos directamente de nuestras poblaciones de Ilamo, como para ofrecer un respaldo a la producción del mismo a gran escala, dado que el altiplano de nuestro país ofrece las condiciones necesarias para su cultivo. Por lo antes expuesto, se hace necesario proporcionar datos técnicos que sirvan a la población de Guatemala, con el objeto de que haya un mejoramiento sustancial en la producción y explotación controlada de esta especie de madera.

1.2 ESPECIES MADERABLES

Dentro de las especies maderables con las que se cuenta en Guatemala, se puede mencionar algunas de las más conocidas y más usadas en el área del occidente del país, dichas especies son el Pino y el Ciprés, las cuales son explotadas a gran escala o en otros casos son sub-utilizadas como elemento energético, para leña o carbón.

1.2.1 ESTADÍSTICAS DEL CONSUMO DE MADERA

En el cuadro siguiente se muestra la estadística del consumo de madera, de las especies más usadas en el área de Chimaltenango, cuyos datos se obtuvieron de DIGEBOS Región V:

CUADRO 1
ESTADÍSTICA DEL CONSUMO DE MADERA POR ESPECIE
DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO

- Cifras en Metros Cúbicos -

No.	T	R	O	Z	A	L	E	Ñ	A	Especies Secun- darias
	Ciprés	Pino			Ilamo	Ciprés	Pino		Ilamo	
<u>Licencias Pequeñas</u>										
<u>< 100 mt Δ3</u>										
<u>AÑO 1995</u>										
46	589.05	1,950.00			1,050.60	350.67	1,250.80		16,820.00	450.66
<u>AÑO 1996</u>										
24	179.00	525.26			80.00	90.65	438.56		260.00	60.33
<u>Licencias Grandes</u>										
<u>AÑO 1996</u>										
	11,286.00	14,380.06			2,500.00	3,830.07	4,387.09		4,309.00	3,029.60

1.2.2 USO DE LA MADERA

En la clasificación de la madera catalogada como más utilizada se cuenta con las anteriormente mencionadas, pero el destino de la madera en la construcción es diverso, entre los cuales se mencionan los siguientes:

1.2.2.1 ESTRUCTURALES

En el diseño de ingeniería una consideración importante del objeto que se diseña, es la capacidad para resistir o transmitir cargas. Entre los objetos que deben soportar cargas se pueden mencionar estructuras de edificios, obra falsa, etc. Para generalizar los términos se hace referencia a tales objetos como estructuras, puesto que una estructura es un objeto que debe resistir o transmitir cargas.

Las estructuras están constituidas principalmente por VIGAS, que son el elemento horizontal que salva una luz y soporta una carga, las cuales se clasifican en:

- a) VIGAS ACOPLADAS: Las formadas por el acoplamiento de dos o más maderos.
- b) VIGAS ARMADAS: Las de madera reforzada con un tirante o tensor de hierro.
- c) VIGAS COMPUESTAS: Constituidas por el acoplamiento de varios perfiles laminados.
- d) VIGAS DE CELOSIA: Son dos cuerpos unidos por riostros formados por aspas.
- e) VIGAS LAMINADAS: Se obtienen por laminación del arco dulce.
- f) VIGAS VIERENDEEL: Formadas por dos cordones y montantes, resultando con el aspecto de una escalera de mano dispuesta horizontalmente.

También es importante mencionar que cuando una viga se carga, el eje longitudinal inicialmente recto se deforma en forma curva, a lo que se conoce más comúnmente como curva de deflexión de la viga. Existen varios métodos para formular la ecuación de la curva de deflexión y para determinar éstas, en puntos específicos a lo largo del eje de la viga. El cálculo de deflexiones es esencial para el análisis de vigas estáticamente indeterminadas, pues constantemente se calculan las deflexiones a fin de comprobar que no se exceden los valores máximos permisibles. Esta situación surge en el diseño de edificios donde

existe un límite superior para deflexiones, porque éstas son grandes se asocian con una fachada desagradable y con mucha flexibilidad en la estructura.

Además, las vigas que son continuas sobre muchos apoyos se conocen como vigas continuas y normalmente se encuentran en edificios, tuberías, puentes y varias clases de estructuras especializadas. Cuando la carga sobre una viga continua es vertical y no existen deformaciones axiales, todas las reacciones serán verticales.

En virtud de lo anterior, se puede determinar que los elementos estructurales o vigas continuas con cargas verticales sufren deformaciones a lo largo de su eje longitudinal, que es lo que se pretende en este estudio, conocer la deflexión o deformación de las vigas.

1.2.2.2 OBRA FALSA

A continuación se describen los conceptos más importantes de la Obra Falsa, con el objeto de conocer su aplicación:

- a) **ANDAMIO:** Es la armazón de tablas y vigas que se utiliza, adaptándolo a la altura del muro que se construye, para la edificación y reparación de edificios.
- b) **ENCOFRADO:** Es el molde de madera o de metal, destinado a contener el concreto hasta su endurecimiento o fraguado. También es el revestimiento de madera en pozos y galerías, destinado a impedir el derrumbamiento.

Las técnicas de encofrado se desarrollan paralelamente con la difusión de las construcciones de concreto, las cuales pueden adaptarse a cualquier molde, por ser como masa plástica. Los encofrados en sí deben ser estables y resistentes tanto a las solicitudes dinámicas que reciben en la obra como a las que se producen durante el proceso de fraguado, es decir que deben garantizar la estabilidad de los elementos de construcción hasta que el concreto tenga suficiente resistencia. Antes, se disponían de maderas de distintas formas y los operarios que se utilizaron inicialmente fueron los carpinteros, cuya profesión tomó así nuevo impulso.

Este método tradicional de encofrado tiene dos inconvenientes importantes para las exigencias actuales: las grandes pérdidas de material y los altos costos de mano de obra. Derivado de ello, para el progreso de la construcción de concreto se debían vencer dichos inconvenientes, disminuyendo los gastos y aumentando el rendimiento, razón por la que cada vez más se sustituyó el encofrado hecho a mano por encofrados prefabricados, y en algunos casos se tendió a dejar los encofrados en la obra, como elementos de construcción.

Asimismo, en los encofrados hechos a mano no estaba permitido establecer una unión directa entre los andamios de trabajo y de concreto y los elementos rigidizantes. Es por ello que los elementos metálicos rigidizantes y los apoyos de celosía usados hoy en día, se aprovechan para disponer en ellos los andamios de trabajo y de desplazamiento, lo que simplifica el proceso de trabajo.

1.2.2.3 EBANISTERÍA

El uso generalizado de las especies maderables para la ebanistería se ha convertido en una actividad que genera fuentes de trabajo. Desde tiempos remotos la utilización de la madera en la elaboración de muebles, marcos para ventanas, puertas y otros elementos de uso casero, han buscado madera trabajable y de color agradable. En el presente estudio se muestra un tipo de madera que reúne algunas de las características que se requieren para utilizarla como materia prima de uso múltiple en la ebanistería, así como de elemento para decoración de interiores, en cielos falsos, dinteles, zocalos, fachadas, etc.

1.3 DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

Una de las alternativas que ofrece esta especie es la de poder ser utilizada como madera de elemento estructural, para lo cual se establecen sus propiedades físico-mecánicas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

ALNUS ACUMINATA O.KTZE es conocida también como *ALNUS JORUNALLENSIS* H.B.K. También recibe nombres como Alder Aliso en Ecuador y Argentina; y ramram, lambran, jaul en Costa Rica. Sin embargo, en Guatemala se le conoce como Palo de Lama o Ilamo.

ALNUS ACUMINATA pertenece a la familia de las Betulaceas. Es un árbol cuya altura fluctúa entre los 15 y 30 metros de alto, pero en condiciones naturales de plantación puede alcanzar fácilmente los 40 metros. Su sistema radicular es amplio y extendido, cercano a la superficie del suelo. La corteza es de color gris claro, y a veces plateado; el tronco presenta manchas producidas por líquenes blancos, lo cual facilita su identificación, no presenta bifurcaciones, y en Costa Rica alcanza un DAP de 45 a 50 centímetros, y una altura de 25 metros, con un máximo de 100 centímetros. La copa es estrecha, de hojas simples alternas con borde doblemente aserrado y de un color verde oscuro; posee conos lignificados, redondos y con gran cantidad de semillas aladas, lo cual facilita su dispersión. Las flores tanto masculinas como femeninas se presentan en amentos.

2.2 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES

En Costa Rica, *ALNUS ACUMINATA* O.KTZE medra en vuelos puros y en mezclas con *Quercus* spp., *Vimía* y otras especies más, en regiones donde la temperatura ambiente es de 13° a 18° centígrados y la precipitación pluvial es de 1,500 a 3,000 milímetros y la misma se muestra uniformemente distribuida durante todo el año. La característica en estos sitios es la niebla frecuente, lo cual se manifiesta claramente en el altiplano de nuestro país, que es donde se desarrolla dicha especie.

El Alnus se desarrolla en valles protegidos por el viento, a lo largo de corrientes de agua, laderas erosionadas y en otros suelos en proceso de formación, los cuales tienen poca vegetación (taludes de carreteras, cortes de caminos, etc.). Evita los suelos superficiales mal drenados, así como las cumbres expuestas a los vientos. El Ilamo soporta temperaturas hasta de -10° centígrados y nevadas esporádicas.

2.3 SILVICULTURA

Alnus Acuminata es una especie marcadamente pionera y muy adecuada para la protección preliminar en laderas erosionadas y cuencas hidrográficas de tierras altas. La capacidad de fijar nitrógeno del *Alnus*, se debe a actinomicetes que forman nódulos radiculares hasta del tamaño de un puño. Además forman micorrizas con diferentes himeonomicetes.

Alnus Acuminata se planta sistemáticamente en Costa Rica en pastizales y como sombra para las plantaciones de café. Esta especie se cultiva extensivamente en plantaciones a lo largo de la cordillera central de Costa Rica, Colombia, Bolivia y Perú. Se ha introducido con éxito en la provincia de Valdivia del Sur de Chile y en Nueva Zelanda.

El Aliso nativo plantado entre los 2,000 y 3,000 metros, ha demostrado ser más eficiente en el rendimiento de aserrado, que el Ciprés (*Cupressus Lusitánica*), el Eucalipto (*Eucaliptus Globulus*) y el Pino (*Pinus Patula*).

A partir de 3 o 5 años de edad, *Alnus Acuminata* fructifica con regularidad anual. Sin embargo, a pesar de la abundante producción de semillas no se produce la regeneración natural, esto se debe a que sólo puede germinar a luz plena.

El poder germinativo es sumamente bajo y después de un mes se reduce a tan sólo entre el 5 y 7%. La germinación ocurre entre los 12 y 30 días después de la siembra.

Para plantaciones se usa material de vivero, pero también regeneración natural. El *Alnus* se reproduce bien por estacas. Por experiencia en Colombia las plantaciones se realizan con material de 4 a 6 meses de edad, cuando ha alcanzado 20 a 40 centímetros de altura; y en

Costa Rica con material de 3 a 8 meses, cuando la altura es de 40 a 100 centímetros. También se puede plantar a raíz desnuda.

En Colombia dichas plantaciones se hacen con un distanciamiento de 2.6 metros (1,500 árboles por hectárea), y después se aplican limpiezas de 6 a 8 meses y de 12 a 16 meses. También se recomiendan raleos fuertes y frecuentes.

En Costa Rica la experiencia adquirida muestra que los distanciamientos utilizados son de 1.5 y de 3 metros, aplicándose raleos entre los 2.5 a 7 años y entre los 10 a 15 años de edad. En relación al espaciamiento utilizado, el espacio de 2 por 2 metros es adecuado si el objetivo es la producción de leña y/o pulpa para papel. Si se quieren obtener también árboles para el aserrio, es más recomendable realizar la plantación de 3 por 3 metros.

2.4 RENDIMIENTO

Alnus Acuminata es una especie de rápido crecimiento, de tal manera que en 10 años puede alcanzar 25 metros de altura y un diámetro de 20 centímetros en plantación. Se reporta que en Costa Rica los árboles con 11 años de edad, comúnmente alcanzan como media 38 centímetros en diámetro y 16 metros de altura; y después de 30 años 30 metros de altura. En rotaciones de 20 años, el rendimiento anual de madera para leña y uso industrial es de 10 a 15 metros cúbicos por hectárea.

El incremento volumétrico anual corriente para rodales, en combinación con postura, es de 11.5 metros cúbicos por hectárea al año, y el incremento periódico en volumen es de 52.3 metros cúbicos por hectárea.

En el siguiente cuadro se presentan rendimientos de *ALNUS ACUMINATA*:¹¹

¹¹ Hughell, P. Camacho. Mecanismos para la Predicción de Rendimientos de Jaral (*Alnus Acuminata*) en Costa Rica, IICR/CATIE 1986. Pág. 8.

CUADRO 2

TABLA DE RENDIMIENTO PARA UN ÍNDICE DE SITIO
DE 18 METROS DE ALNUS ACUMINATA SIN ACLAREO
EN LA ZONA DE DISTRIBUCIÓN NATURAL DE COSTA RICA

EDAD (años)	N (N/ha)	DAP (cm)	Alt (m)	AB (m ² /ha)	Vol (m ³ /ha)	ICA (m ³)	IMA (m ³)
2	1,166	5.5	7.6	3.8	16.0	8.0	8.0
8	968	13.5	13.7	14.8	119.3	15.2	14.9
16	705	20.4	15.1	25.3	208.5	8.7	13.0
20	573	23.9	15.4	28.7	233.1	5.3	11.6
24	441	27.8	15.6	30.9	243.3	1.6	10.1
30	441	30.3	15.8	31.8	289.7	0.5	9.7

* Las abreviaturas del cuadro anterior se describen al inicio del presente trabajo.

2.5 USOS DE LA ESPECIE

La madera de *Alnus Acuminata* se clasifica de liviana a moderadamente liviana, su peso específico es de 0.36 gramos por centímetro cúbico.^{2/ y 3/} Sin embargo, CATIE reporta un valor de 0.5 a 0.6 gramos por centímetro cúbico.

Entre las ventajas del uso de esta madera cabe mencionar:

- a) Arde muy bien y en forma pareja, por lo que en su región nativa desde hace mucho tiempo se le utiliza para leña.
- b) La madera recién cortada es de color anaranjado pálido, pero posteriormente se oscurece con rapidez.
- c) Se puede secar y trabajar con facilidad.
- d) Se utiliza para construcciones livianas, cajas, carpintería, lápices, contrachapados, ormas y tacones para zapatos, ataúdes, palos de escoba, instrumentos musicales, fósforos y muebles de corte recto.
- f) Se obtiene pulpa de buena calidad, debido a sus fibras fuertes e impregnables.

^{2/} González Meza, R. Relación entre el Peso Específico y Algunas Propiedades Físicas y Mecánicas del *Alnus forullensis* HBK. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. 1970. Pág. 51

^{3/} Lamprecht, H. Silvicultura en los Trópicos. Los Ecosistemas en los Bosques Tropicales y sus Especies Arbóreas. - Posibilidades y Métodos para un Aprovechamiento Sostenido. Traducción Antonio Carrillo. Cooperación Técnica República Federal de Alemania (GIZ) 1990. Pág. 252.

2.6 PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS

Las propiedades físico-mecánicas de la madera son los componentes más importantes al momento de someter elementos de madera a cargas. Dichas cargas pueden ser estáticas o dinámicas. Por lo regular se dice que un trozo de madera sometido a carga estática no implica que deba soportar las mismas cargas que otro trozo de madera de las mismas condiciones, ya sean de peso, volumen, o textura, pero de diferente especie, con lo que se llega a la conclusión, que su diferencia de soporte a la carga aplicada, no se debe a las condiciones de similitud sino que a las propiedades físicas y mecánicas, las que son distintas en cada especie.

2.6.1 ESFUERZOS ADMISIBLES EN LA MADERA

Los parámetros de diseño se basan en esfuerzos, aplicados sobre elementos estructurales que están bajo cargas de servicio, que permiten establecer si el elemento soporta o no los mismos.

Si se desea evitar la falla de una estructura, las cargas que la misma puede realmente soportar deben ser mayores que las cargas que requerirá sostener cuando esté en servicio. La capacidad de una estructura para soportar cargas se denomina resistencia, por lo que se concluye en que la resistencia real de una estructura debe sobrepasar la resistencia requerida. La relación entre la resistencia real y la resistencia requerida se denomina factor de seguridad, el cual debe ser mayor que 1.0 si se desea impedir la falla del material. De acuerdo a la experiencia, se emplean factores de seguridad desde 1.0 hasta 10.

La inclusión de factores de seguridad en el diseño no es un asunto sencillo, porque la resistencia y la falla del material denotan conceptos diferentes. La falla del material significa la ruptura o el colapso completo de una estructura, o bien que las deformaciones rebasan algún valor limitante, de tal modo que la estructura se vuelve incapaz de realizar sus funciones. Esta última clase de falla puede ocurrir con cargas mucho menores que aquellas que ocasionan el colapso.

Para la determinación de un factor de seguridad se deben tomar en cuenta los

Para la determinación de un factor de seguridad se deben tomar en cuenta los conceptos de probabilidad de sobrecarga accidental de la estructura, los tipos de cargas (estática, dinámica o repetitiva) y con qué precisión se conocen, la posibilidad de falla por fatiga, inexactitudes de construcción, calidad de fabricación, variaciones en propiedades de los materiales, deterioro debido a corrosión o a otros efectos ambientales, precisión de los métodos de análisis, si la falla es gradual (con amplias señales de peligro) o súbita (sin señales de peligro), consecuencias de la falla (daño menor o catástrofe) y otras consideraciones más.

Un método común de diseño consiste en emplear un factor de seguridad respecto de la fluencia de la estructura, la cual se logra cuando algún punto de la misma alcanza su esfuerzo de fluencia. Mediante la aplicación de un factor de seguridad respecto del esfuerzo de fluencia, se obtiene un esfuerzo admisible o esfuerzo de trabajo, que no debe sobrepasarse en ninguna parte de la estructura.

Otro método de diseño es establecer el esfuerzo admisible al aplicar un factor de seguridad respecto del esfuerzo último en lugar del esfuerzo de fluencia. Este método es adecuado para materiales frágiles como el concreto y madera.

2.6.2 MÓDULO DE RUPTURA

Es el esfuerzo debido a la flexión en una viga cargada hasta su ruptura. Esta propiedad es utilizada para comparar resistencias últimas. El módulo de ruptura se calcula según norma ASTM D-198-84 de la forma siguiente:

$$M.R. = \frac{3 * P * a}{b * h^2}$$

Donde:

M.R. = Módulo de ruptura en Kg/cm².

P = Carga máxima en kilogramos.

a = Distancia desde la reacción al punto de carga más próximo en centímetros.

b = Ancho de la viga en centímetros.

h = Profundidad o peralte de la viga en centímetros.

2.6.3 MÓDULO ELÁSTICO

Es la relación entre el esfuerzo y la deformación al aplicar una carga. Indica la deformación que sufre un material por el esfuerzo que hace al resistir una carga. El módulo elástico se calcula según norma ASTM D-198-84 de la forma siguiente:

$$E = \frac{P' \cdot a}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta} \cdot [(3 \cdot L^2) - (4 \cdot a^2)]$$

Donde:

- E = Módulo de elasticidad en Kg/cm²
- P' = Cualquier carga dentro del intervalo proporcionado en kilogramos.
- a = Distancia desde la reacción al punto de carga más próximo en centímetros.
- b = Ancho de la viga en centímetros.
- h = Profundidad o peralte de la viga en centímetros.
- L = Luz o distancia entre reacciones en centímetros.
- Δ = Deflexión en centímetros, provocada por la carga P', (Delta).

2.6.4 ESFUERZO DE CORTE

Es un estado de esfuerzos cuando ocurre un desplazamiento relativo de planos adyacentes en un miembro estructural, provocado por las cargas aplicadas. Los esfuerzos de corte se calculan según norma ASTM D-198-84 de la forma siguiente:

$$E.C. = \frac{3}{4} \cdot \frac{P}{(b \cdot h)}$$

Donde:

- E.C. = Esfuerzo de Corte en Kg/cm²

- P = Carga máxima en Kilogramos.
- b = Ancho de la viga en centímetros.
- h = Profundidad o peralte de la viga en centímetros.

2.6.5 DENSIDAD DE LA MADERA

De las propiedades físicas de la madera, la que mejor permite predecir su calidad es la densidad, y ésta se define como el peso contenido en un volumen determinado, expresada generalmente en gramos sobre centímetro cúbico. Para determinar la densidad se utiliza el método G de la norma ASTM D-2395, cuyo procedimiento está designado especialmente para determinar la densidad en pedazos de madera, con un peso húmedo y volumen verde, y con un peso seco, anhidrido y volumen verde.

La densidad con un Peso Húmedo y Volumen Verde representa la densidad de la madera al momento del ensayo y a un determinado contenido de humedad.

La densidad con un Peso Seco, Anhidrido y Volumen Verde representa la densidad de la madera a un contenido de humedad 0%.

La fórmula para el cálculo de la densidad es la siguiente:

$$D = \frac{K * P}{V}$$

Donde:

- D = Densidad en g/cm³
- P = Peso Húmedo o Peso Seco en gramos, según el caso.
- V = Volumen Verde en cm³.
- K = 1 cuando el peso está en gramos y el volumen en cm³.

2.6.6 HUMEDAD DE LA MADERA

La humedad en la madera es la cantidad de agua contenida en la misma, expresada como un porcentaje de su peso. La humedad puede determinarse de dos formas:

- a) Por la medición directa en el momento del ensayo, por medio de un aparato que requiere de la penetración de dos electrodos para su funcionamiento, los cuales envían señales eléctricas a una pantalla que proporciona el valor de la humedad en porcentaje, método B de ASTM D-2016.

- b) Llevar al horno una porción de madera con determinado volumen y peso inicial, según método G de ASTM D-2395. La porción es colocada en el horno a una temperatura de 105° centígrados, hasta que el peso de la madera no sufra variaciones, es decir, permanezca constante; para lo cual se toman lecturas cada 24 horas, y la que no muestre ninguna variación se deberá tomar como peso final.

Según este método, la humedad se calcula con la siguiente fórmula:

$$C.H = \frac{(P_o - P_f) * 100}{P_f}$$

Donde:

C.H = Contenido de humedad en porcentaje.

P_o = Peso inicial de la muestra en gramos.

P_f = Peso Final de la muestra en gramos.

2.7 CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

Para la realización de los ensayos se tomaron consideraciones, que por razones técnicas se establecen como normas, para tener como válidas las pruebas. En este caso resultaron algunas limitantes, las cuales serán discutidas posteriormente.

Asimismo, como elemento básico del presente estudio se tiene el ensayo de flexión, que no es más que el método que se utiliza para la determinación de propiedades físico-mecánicas de Flexión en Madera, el cual está regido por la norma ASTM D-198-84. Es importante mencionar que en este ensayo es posible determinar también las propiedades físico-mecánicas de madera laminada y madera compuesta.

2.7.1 PRECLASIFICACIÓN DE LA MADERA EN EL ASERRADERO

Algunas de las características que ofrece la madera, aún en su estado natural, difieren en algunos aspectos cuando se tiene en el lugar de aserrado, por lo que es indispensable darle un pequeño recorrido visualmente a toda la troza, para verificar que su tronco realmente esté recto, que no tenga defectos provocados por pájaros, que perforan el tronco del árbol para hacer su nido, o insectos como abejas, hormigas, etc. que se alimentan de la sabia del mismo.

2.7.1.1 DIÁMETRO DEL TRONCO O TROZA

Los diámetros que se tomaron como base para decidir sobre cuál troza utilizar, fueron entre 40 y 60 cm, considerando que es un árbol de madera apta para ser aserrada.

2.7.1.2 PRESENCIA DE NUDOS Y DEFECTOS EN LA TROZA

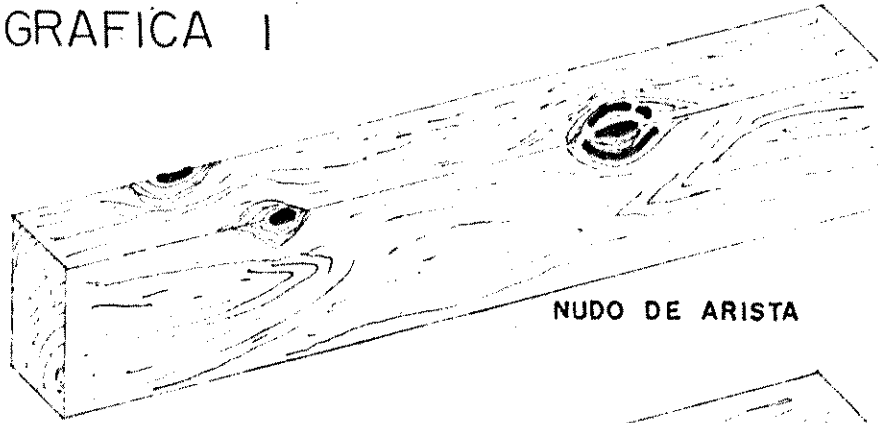
Los nudos son defectos que se originan en el tronco como consecuencia del surgimiento de ramas, y en un elemento de madera, reducen su resistencia a la flexión, principalmente afectando en menor escala la resistencia al corte y a la compresión. Su efecto

es perjudicial porque reduce el área efectiva que resiste la carga y además en sus alrededores, se presentan distorsiones en la fibra, que es la que al final soporta la carga.

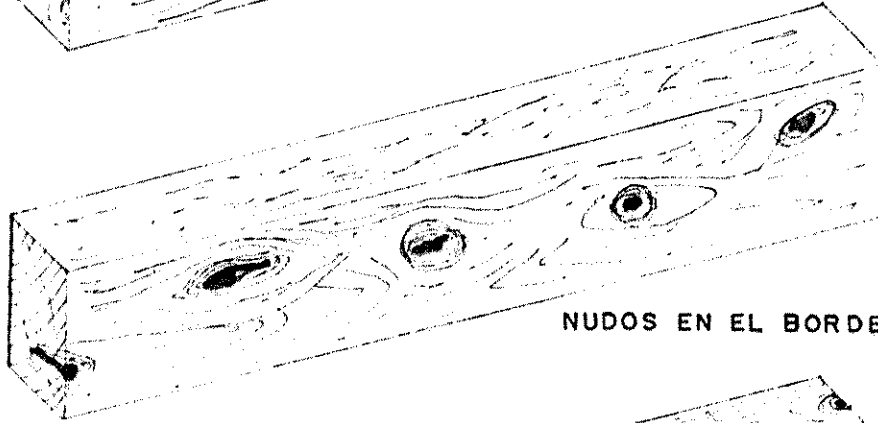
Los nudos en sí, por su consistencia pueden clasificarse en vivos y muertos. Los primeros son los que forman la parte integral de las ramas, que al momento de ser cortados quedan sobre la corteza, y en el proceso de secado no se aflojan y mantienen su consistencia. Los nudos muertos son los que quedan cuando una rama del árbol muere y cae por sí sola, deteniéndose el crecimiento en diámetro a lo largo de toda su longitud.

Los nudos según su aserrado pueden aparecer en una pieza final en la arista, en el borde, en el canto o combinando las posiciones anteriores, como se aprecia en las gráficas de la página siguiente.

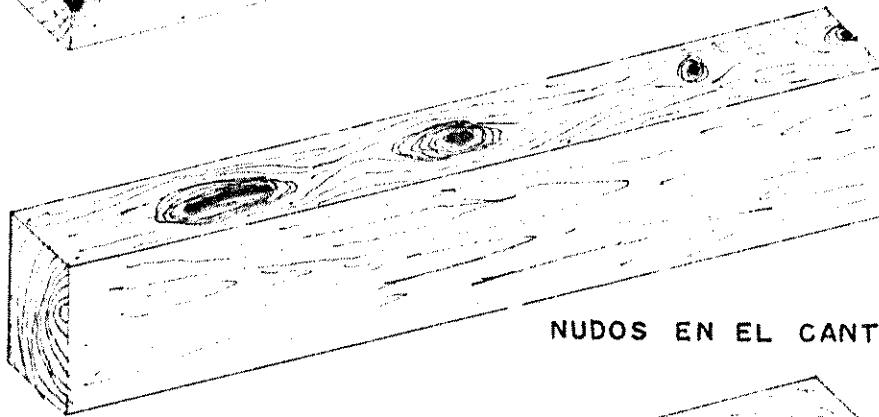
GRAFICA 1



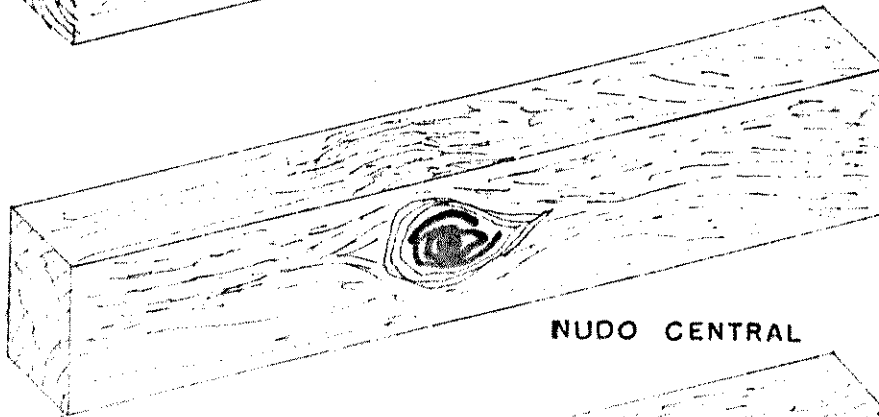
NUDO DE ARISTA



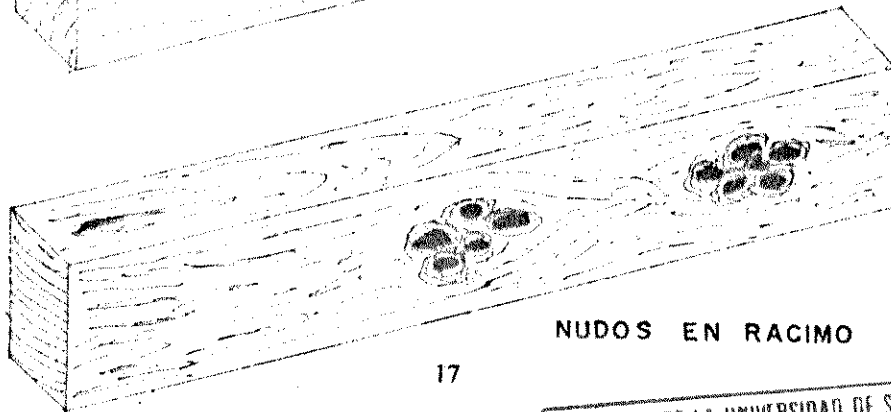
NUDOS EN EL BORDE



NUDOS EN EL CANTO



NUDO CENTRAL



NUDOS EN RACIMO

2.7.2 CEPILLADO DE LAS PROBETAS

Uno de los procesos más importantes de la transformación de la madera es el cepillado, el cual consiste en una operación que genera una superficie plana, y además se elimina un exceso de madera aserrada, por medio de la producción de viruta. Dicha viruta se forma por la acción intermitente de las cuchillas -que están colocadas en un cabezal- en conjunto con el movimiento de la pieza en proceso. La máquina de corte (cepillo) realiza el corte de la madera en las cuatro superficies de la pieza. El objeto principal de este proceso es eliminar las imperfecciones que tenga la madera del proceso de cortado, para darle una superficie más lisa que la del aserrado.

2.7.2.1 CALIBRACIÓN DE LAS PROBETAS

Para la calibración de las probetas no se tiene un tamaño establecido, debido a que las dimensiones de las secciones transversales son muy variadas y éstas son definidas de acuerdo a los tamaños comerciales, por lo que la probeta debe tener las medidas de acuerdo a la información requerida por el usuario.

2.7.2.2 INSPECCIÓN DE LAS PROBETAS

La inspección de las probetas es un control bastante estricto, que se realiza para verificar el estado de las probetas. Dicho control implica que cada probeta deberá llenar ciertos requisitos -como ausencia de nudos, rajaduras, etc.- para definir su estado.

En estudios como en el presente, se debe tomar en cuenta si las probetas tienen defectos naturales o defectos originados por causas externas -pérdida de humedad excesiva, pandeo, ataque de hongos, insectos, etc.-, para definir qué tipo de falla puede producirse en la probeta.

2.7.2.3 NUMERACIÓN DE LAS PROBETAS

La numeración de las probetas permite establecer un orden en los datos a obtener en los ensayos, teniendo así datos por probeta, que permitirán realizar estadísticas claras, que den como resultado la información técnica necesaria para avalar la especie maderable estudiada. Todo ello con el fin principal de mantener la información clasificada de manera adecuada.

2.7.3 SECADO DE LA MADERA A HUMEDAD ÓPTIMA

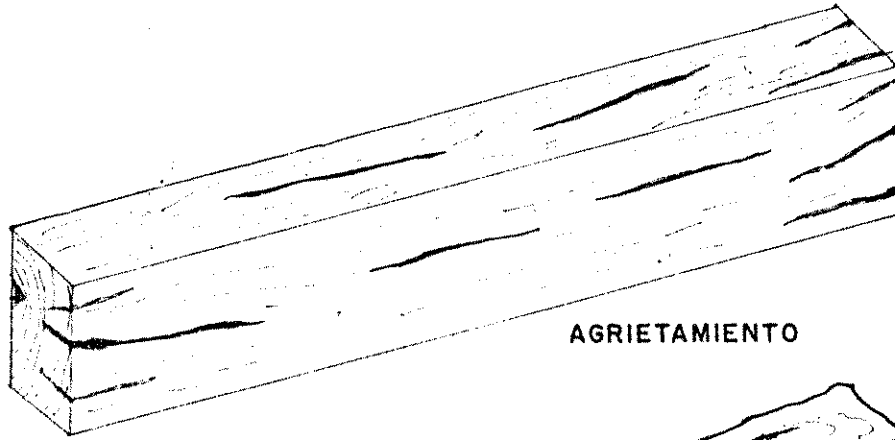
En los procesos de transformación de la madera, para mejor preservación de la misma, se tiene el secado. La madera es una de las materias primas más versátiles, su comportamiento en servicio está enteramente determinado por el porcentaje de humedad.

Para la mayoría de los usos finales de la madera es de vital importancia reducir su contenido de humedad a un nivel apropiado, de acuerdo al lugar donde se utilizará, con el fin de obtener un producto estable que se desempeñe satisfactoriamente en servicio. Si la madera no está sometida a un adecuado proceso de secado antes de llegar a su uso final, se secará cuando esté en servicio, provocando cambios indeseables que a la postre producirán elevar su costo por mantenimiento o reemplazo.

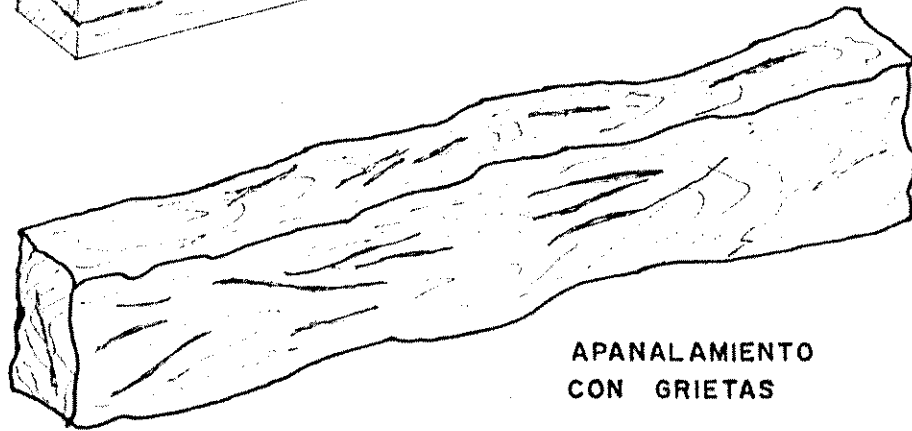
La reducción de humedad en la madera presenta algunas ventajas como las siguientes:

- a) **REDUCCIÓN DE PESO:** al realizar el secado se elimina gran parte del peso, que no es más que agua en la madera, y que en términos generales varía desde un 25% hasta un 50% respecto de su peso total.
- b) **ESTABILIDAD DIMENSIONAL:** cuando en la madera seca se da un equilibrio volumétrico, o sea que no habrá ni contracciones ni hinchamientos.
- c) **RESISTENCIA MECÁNICA:** conforme el nivel de humedad de la madera disminuye, sus propiedades mecánicas permanecen casi constantes, hasta el punto que el agua libre haya sido eliminada. Bajo este punto (llamado PUNTO DE SATURACION DE LA FIBRA) la

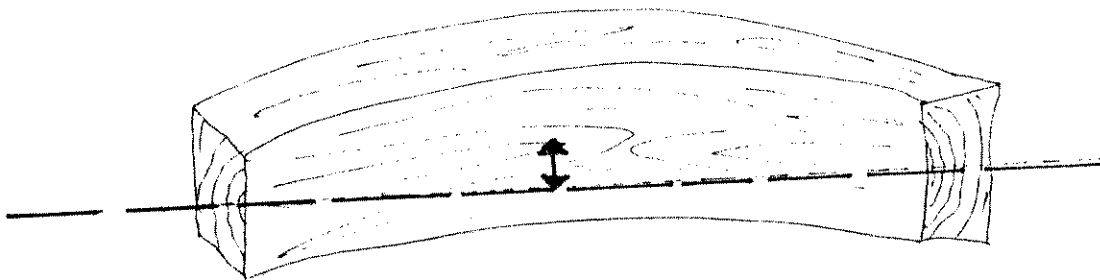
GRAFICA 2



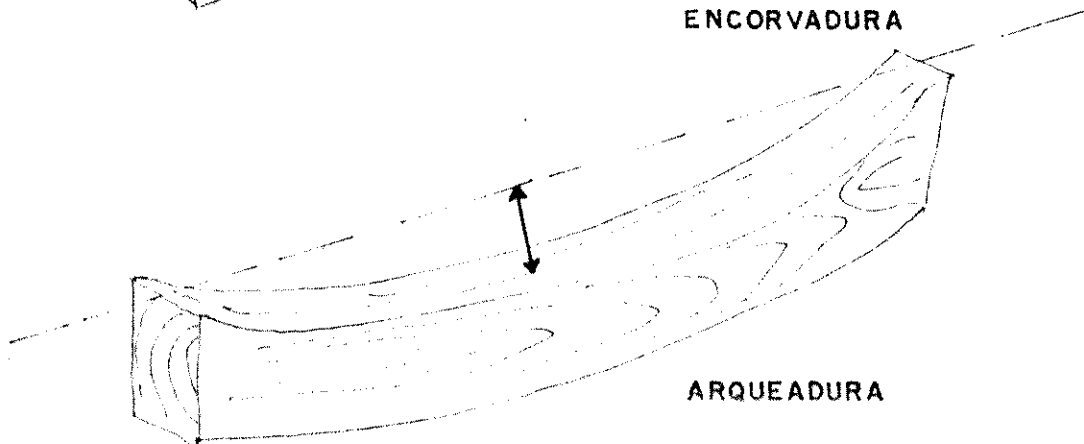
AGRIETAMIENTO



APANALAMIENTO
CON GRIETAS



ENCORVADURA



ARQUEADURA

resistencia mecánica de la madera aumenta progresiva y significativamente hasta un 33% más resistente que la madera verde o saturada.

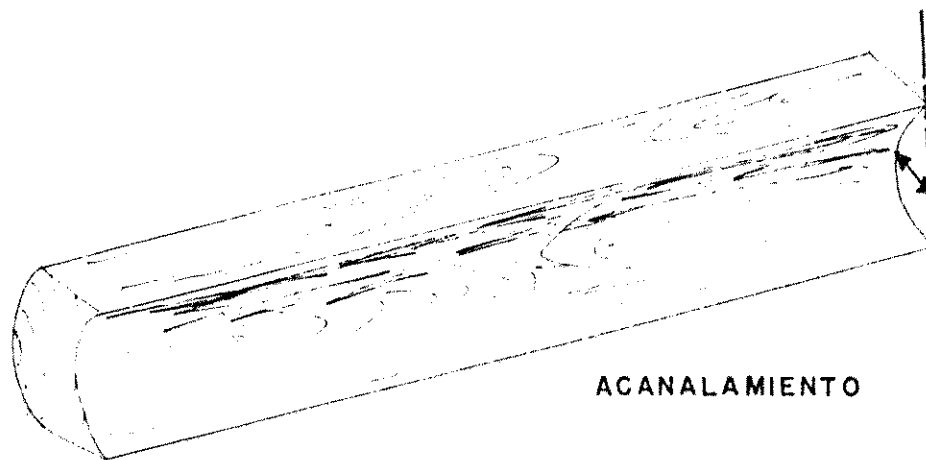
Para llevar a cabo el secado, en nuestro medio hay dos métodos: el Artificial y el Natural. El tipo de proceso a utilizar será de acuerdo a las necesidades y capacidad económica de la que se disponga.

El secado natural o secado al aire libre es el menos sofisticado, pero sí el más cuidadoso de los procesos de secado, y consiste en exponer la madera a las condiciones ambientales prevalecientes en relación a la temperatura, humedad relativa y velocidad de circulación del aire disponible. El tiempo de secado puede variar desde 2 o 3 meses hasta 1 o 2 años, dependiendo del tipo de especie de madera que se esté trabajando, además del contenido de humedad final requerido, que deberá ser muy próximo al contenido de humedad de equilibrio.

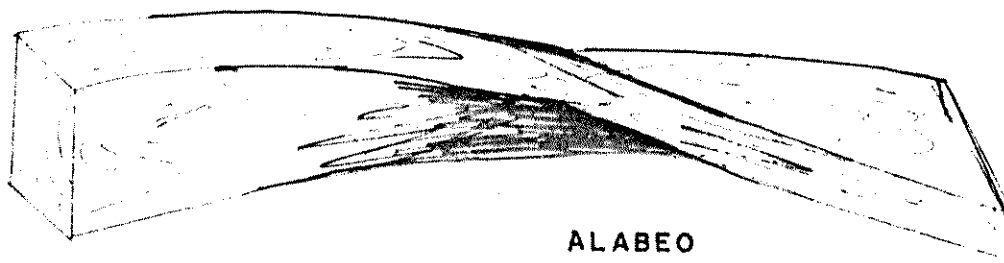
El secado artificial se realiza bajo condiciones controladas de temperatura, humedad relativa y velocidad de circulación del aire. Permite obtener madera con bajos contenidos de humedad entre 6% y 15 %, en un tiempo relativamente corto. Por lo general, la madera sometida a este proceso es de mejor calidad que la obtenida en secado al aire libre.

Algunos de los defectos que se dan posteriormente al secado son atribuidos a tres causas: contracciones, hongos y sustancias químicas. Las más comunes son las grietas, apanamiento con rajaduras, acanalamiento, encorvadura, arqueadura, alabeo, cambio de la sección transversal rectángulo a rombo, etc., de acuerdo a las gráficas siguientes:

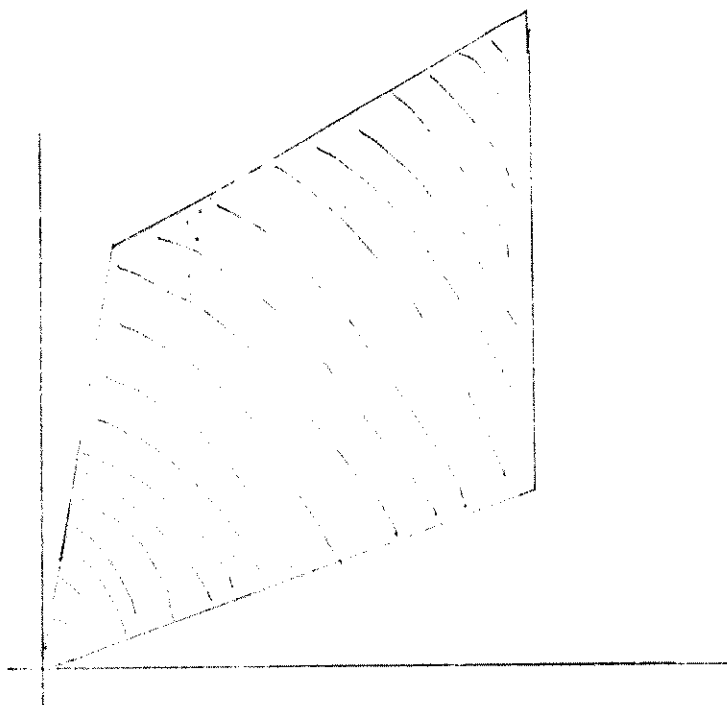
GRAFICA 3



ACANALAMIENTO



ALABEO



SECCION TRANSVERSAL, ROMBOIDE

2.8 CALIBRACIÓN DE LUZ ENTRE APOYOS PARA LA APLICACIÓN DE CARGA

Para determinar la luz entre apoyos a la cual se aplicará la carga, la longitud o tramo será igual al rango que va desde 17 hasta 21 veces la profundidad o peralte de la viga, según las normas ASTM D198-84 y D1990-91.

$$H = 3.5 \text{ pulg.}$$

$$L = (17 \text{ ó } 21) * H \quad L = 21 * 3.5$$

$$L = 73.5 \text{ pulg} \quad L = 73.5 \div 12 = 6.125 \sim 6 \text{ p}$$

$$L = 6 \text{ pies (longitud efectiva)}$$

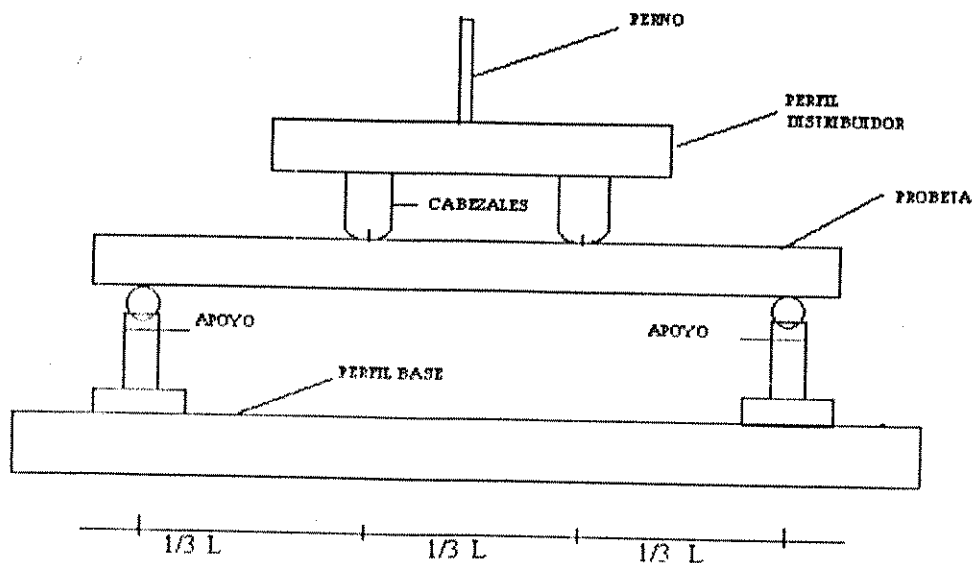
Para realizar este procedimiento se utiliza el sistema métrico, que en este caso particular da:

$$L = 6' * 2.54 \text{ cm.} = 182.88 \text{ cm.}$$

L será la longitud con la cual se calculará finalmente la luz entre apoyos.

$$L \div 3 = 182.88 \div 3 = 60.96 \text{ cm.} \sim 61 \text{ cm.}$$

Con L establecida se procede a calibrar el puente que se utilizará en la aplicación de la carga.



CAPÍTULO III

El objetivo de investigar la especie *ALNUS ACUMINATA* ó *ILAMO* permitió realizar paso a paso el procedimiento que se planteó desde la concepción del proyecto, que consistió en: la escogencia de trozas que se consideraron adecuadas en su diámetro, luego verificar el aserrado y cepillado de las mismas, al punto de tener las probetas a la medida que indica la norma, posteriormente se apiló la madera para la evacuación de agua hasta alcanzar la humedad óptima; luego se marcaron las probetas, numerándolas, chequeándole sus defectos, tales como nudos, picaduras de insectos, pandeo etc., por último se llevó a cabo el ensayo de las probetas, que permitió así obtener las lecturas que serían necesarias para la tabulación de los datos.

3. RESULTADOS

La Tabla General de Cálculos de Propiedades Físicas y Mecánicas del Aliso (ver páginas 32 y 33) muestra los resultados que se obtuvieron de los ensayos de laboratorio, con los que se concluye sobre la calidad y usos para la madera en estudio. A efecto de llegar al análisis de los resultados, se verificaron todas las tablas de carga-deformación que se obtuvieron directamente del laboratorio, así como datos complementarios que sirvieron de base para el presente estudio.

Para realizar los cálculos correspondientes, se tomó al azar una probeta y se obtuvieron los siguientes resultados:

PROBETA EN ESTUDIO No. 14

Carga Máxima	850 Kg
Peso 1 (Húmedo)	83.1 g
Peso 2 (Intermedio)	76.2 g
Peso 3 (Seco)	73.8 g

3.1 CÁLCULO DE HUMEDAD

$$C.H = \frac{(P_o - P_f) * 100}{P_f}$$

$$C.H = \frac{(83.1 - 73.8) * 100}{73.8}$$

$$C.H = 12.5 \%$$

3.2 CÁLCULO DE DENSIDAD

$$D = \frac{D * P}{V}$$

$$D = \frac{1 * 83.1}{165.5}$$

$$D = 0.50 \text{ g/cm}^3$$

3.3 CÁLCULO DE MÓDULO DE RUPTURA

$$M.R. = \frac{3 * p * a}{b * h^2}$$

$$M.R. = \frac{3 * 850 * 8.89}{3.81 * 8.89^2}$$

$$M.R. = 516.2 \text{ Kg/cm}^2$$

3.4 CÁLCULO DE MÓDULO ELÁSTICO

$$E = \frac{P * a}{4 * b * h^3 * \Delta}$$

$$* [(3 * L^2) - (4 * a^2)]$$

$$E = \frac{P' * 60.96}{4 * 3.81 * 8.89^3 * \Delta} * [(3 * 182.88^2) - (4 * 60.96^2)]$$

$$E = 486.6 * (P' / A) \text{ Kg/cm}^2$$

Para obtener los valores promedio del módulo elástico se tomaron 3 valores de aplicación de carga: 100, 150 y 300 Kg, con deformaciones de 6, 9 y 18 mm respectivamente, con el objeto de llegar al promedio de dicho módulo, quedando éste de la forma que se muestra a continuación:

Carga-Deformación

Probeta #	Carga (Kg)	Deformación (mm.)
14	25	2
	50	4
	75	5
	100	6
	125	7
	150	9
	175	10
	200	11
	225	14
	250	15
	275	16
	300	18
	325	19
	350	20
	375	21
	400	23
	425	24
	450	25
	475	27
	500	28
525	30	
550	31	
575	33	
600	34	
625	35	
650	37	
675	39	
700	41	
725	43	
700	41	
725	43	

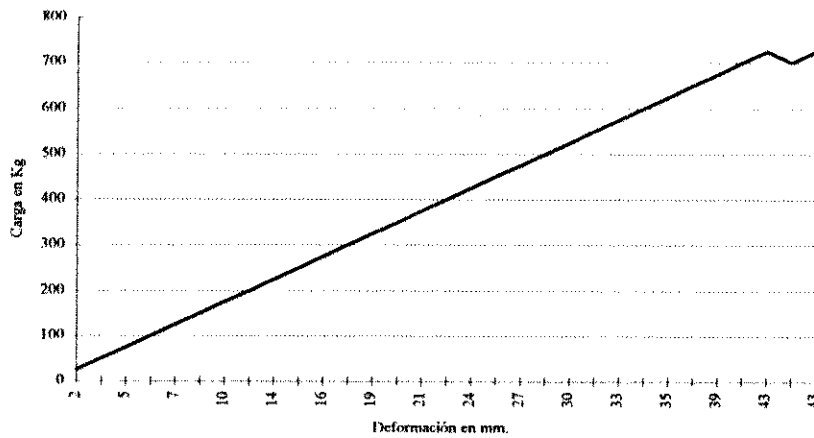
Los resultados del módulo elástico finalmente quedan así:

$$E(100) = 486.6 * 100 / 0.6 = 81100.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E(150) = 486.6 * 150 / 0.9 = 81100.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E(300) = 486.6 * 300 / 1.8 = 81100.0 \text{ Kg/cm}^2$$

GRÁFICA 5
CURVA DE CARGA-DEFORMACIÓN
PROBETA No.14



3.5 CÁLCULO DE ESFUERZOS DE CORTE

$$E.C. = \frac{3}{4} * \frac{850}{(3.81 * 8.89)}$$

$$E.C. = 18.8 \text{ Kg/cm}^2$$

3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de los resultados obtenidos de la tabla general de datos son los siguientes: Para el peso 1 con una media de 83.1 (g), con valores extremos de 60 y 108 (g), con un coeficiente de agudez de 0.017, lo que muestra una distribución aguda, además un coeficiente de asimetría de -0.011, con un sesgo hacia los valores inferiores respecto de la media; por otro lado el peso 3 muestra una media de 73.798 (g), con valores extremos de 53.5 y 96.2 (g), con un coeficiente de agudez de 0.012, lo que indica que la distribución es ligeramente aguda, y un coeficiente de asimetría de 0.046, con un sesgo hacia los valores superiores respecto de la media observada.

El análisis de humedad dió un contenido de la madera en general y la media que se obtuvo fue de 12.6%, lo cual se derivó de que la temperatura ambiente osciló entre 27° y 32° centígrados, la que prevaleció en las instalaciones del laboratorio durante el tiempo que la madera permaneció apilada en las mismas, y además tuvo mayor pérdida de humedad que la requerida para los ensayos. Asimismo, se obtuvo una desviación estándar de 1.113 y un coeficiente de agudez de -0.494, lo que indica que la distribución es ligeramente aplanada, además un coeficiente de asimetría de -0.135, que da un sesgo hacia los valores inferiores respecto de la media.

Para obtener los datos de densidad se trabajó con una densidad de peso seco y una densidad de peso húmedo. La densidad de peso húmedo dió una media de 0.49, mientras que la densidad de peso seco fué de 0.438, ambas con valores extremos mínimos de 0.31 y 0.28 (g), con valores extremos máximos de 0.72 y 0.65 (g), y coeficientes de agudez de 0.016 y 0.069, lo que muestra que tanto la primera distribución como la segunda son ligeramente agudas. Los coeficientes de asimetría son 0.411 y 0.426, con un sesgo hacia los valores superiores respecto de las medias.

Además, se analizaron los datos obtenidos de la probeta 14, la cual se tomó al azar. El porcentaje de humedad dió un 12.5%, lo que indica que la humedad está por debajo del rango del 15 al 19% que requiere la norma del ASTM D-2395, para que los resultados sean homogéneos en el estudio.

La densidad obtenida en la Probeta 14 es de 0.50 g/cm^3 , de lo que se deduce que dicha densidad está por el orden del 50% de la densidad normal. Asimismo, se estableció que la densidad promedio del peso húmedo fue de 0.49 g/cm^3 y la del peso seco o anhidro fue de 0.43 g/cm^3 , lo que confirma que ambas están abajo del 50% de la normal. Es importante hacer la observación que la madera que dió mayor densidad fué la de color café oscuro, y la de menor densidad es la de color más claro.

Otros datos importantes de comentar son el módulo de ruptura y el esfuerzo de corte establecidos de la probeta 14. El módulo de ruptura es de 516.2 kg/cm^2 , lo cual se considera aceptable si la madera en estudio se usa solamente para estructuras livianas. Y el esfuerzo de corte dió un valor de 18.8 kg/cm^2 , que en términos numéricos es mayor que el promedio general de resultados, que fue de 9.7 kg/cm^2 .

También es importante mencionar que de los resultados obtenidos, en un alto porcentaje del número de probetas el módulo de ruptura y el esfuerzo de corte se encuentran arriba del 50%, pero debido a que hay valores extremos y en este caso valores muy bajos, a consecuencia de ello se dispara una línea descendente en los datos finales.

Para el módulo de ruptura se obtuvo una media de 268.1 kg/cm^2 con una desviación estándar de 95.7, un coeficiente de agudez de 0.001 que muestra una distribución ligeramente normal y un coeficiente de asimetría de 0.271 que indica que hay un sesgo hacia los valores superiores respecto de la media; además el módulo de ruptura da valores extremos de 45.5 para el mínimo y 516.2 para el valor máximo.

Finalmente, para el esfuerzo de corte y el módulo de elasticidad -que son los valores más afectados por los valores extremos- se tienen los datos siguientes: una media del esfuerzo de corte de 9.7 kg/cm^2 y de 64785.7 kg/cm^2 para el módulo de elasticidad, un coeficiente de agudez de 0.899 y 0.001 para el esfuerzo de corte, una distribución aguda para el módulo de elasticidad y una distribución ligeramente normal para el esfuerzo de corte, pues el mismo se aproxima a cero. Ambas propiedades dan un coeficiente de asimetría de 0.271 para el esfuerzo de corte y de 0.808 para el módulo de elasticidad, lo que plantea un sesgo hacia los valores superiores respecto de las medias obtenidas.

CONCLUSIONES

1. Las propiedades fisico-mecánicas del ILAMO, resultan ser menores comparativamente a las propiedades del pino, según estudio realizado a dicha madera, cuya especie sirvió de base.
2. Los parámetros importantes del diseño como la Módulo de Ruptura, Esfuerzos de Corte y Módulo Elástico, resultan críticos si se les reducen a esfuerzos de trabajo, lo cual da como resultado obtener secciones transversales muy grandes en los elementos estructurales, sin embargo para uso en estructuras livianas, o temporales, resulta admisible el uso de los mismos.
3. Las probetas que se ensayaron en el laboratorio fueron secadas por el método natural, y se determinó que tiene el inconveniente de que requiere un control riguroso de supervisión, pues la etapa más crítica es en los primeros días de secado -después del aserrado-, porque debido a la pérdida de agua, la madera se hace muy sensible al ataque de hongos e insectos.
4. La humedad de la madera influye en la resistencia de la misma, a mayor humedad menor resistencia.
5. Se observó que los nudos en la madera, influyen en el comportamiento mecánico de la misma, pues según su posición, encima o por debajo del eje neutro de la sección transversal del elemento, disminuyen considerablemente la resistencia de la misma.
6. Al obtener los resultados de las probetas en estudio, la Densidad da un mayor valor en las probetas de color más oscuro que en las probetas de color más claro.

RECOMENDACIONES

1. A la Población del Altiplano del país, específicamente a la de los departamentos de Chimaltengo, Sololá, Quiché, Quetzaltenango, Huehuetenango y Totonicapán, para que cultiven la especie *ALNUS ACUMINATA* o ILAMO, con el objeto de que aprovechen su rápido crecimiento.
2. A la Dirección General de Bosques y Vida Silvestre, o Instituto Nacional de Bosques como se denominará posteriormente, para que brinden a los productores de madera capacitación y tecnificación sobre el manejo adecuado de los bosques naturales existentes de ILAMO, y para que trabajen en el cultivo de nuevos bosques, con el objeto de promover el uso de la madera, según resultados obtenidos de la presente tesis.
3. A los constructores de vivienda popular, para que utilicen correctamente esta madera, que los elementos estructurales o vigas de carga, en cubiertas de techo livianos o inaccesibles, sean usados como tal y no sobrecargarlos, pues sus propiedades físico-mecánicas son bajas, por lo tanto no resisten cargas excesivas.
4. A los productores de madera, para que utilicen el método natural de secado, por su bajo costo y tecnología simple, que no requiere de mano de obra calificada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarez Noves, H.; Gutiérrez Oliva, A.; Jiménez Peris, F. S.f. Tecnología de la Madera; Anatomía, Propiedades Físicas y Mecánicas. Agencia de Cooperación Española. Guatemala. 139 Páginas.
2. Alvarez Valle, H. Estudio Forestal del "Jaul" (Alnus Jorullensis H.B.K.) en Costa Rica. Tesis Mag. Agr. Turrialba, Costa Rica. 1,956. 95 Páginas.
3. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standars. Section 4, Construction. Volumen 04.09 Wood. Printed in Easton, MD. United States. 1,989.
4. American Society for Testing and Materials. Norma ASTM D-1990-91. Printed in Easton, MD. United States. 1,991.
5. Brown, H.P.; Pashin, A.J.; FORSAITH, C. Texbook of Wood Technology. Volumen 8. 1,952. 783 Páginas.
6. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Jaul; Alnus Acuminata Spp Arguta (Schlecht. Farlow). Un Árbol de Uso Múltiple. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Colección de Materiales de Extensión. 1,994. 3 Páginas.
7. Centro Técnico de Evaluación Forestal. Estudio de las Propiedades Físico-Mecánicas y Estructura Anatómica de 7 Especies de Pino de Guatemala. Guatemala, 1,972. 79 Páginas.
8. Centro de Investigaciones de Ingeniería. Determinación de Esfuerzos Permisibles de Trabajo para Maderas Nacionales. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 1,972. 68 Páginas.
9. Forest Service and U.S. Department of Agriculture. Forest Products Laboratory. Dry Kiln. United States 1,988.
10. Gonzalez Meza, R. Relación entre el Peso Especifico y Algunas Propiedades Físicas y Mecánicas del Alnus Jorullensis HBK. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica 1,970. 95 Páginas.
11. Hodrige, I.R., F. Bruce, Lamb. Los Bosques. Insituto Interamericano de Ciencias Agrícolas e Instituto de Fomento de la Producción de Guatemala. Turrialba, Costa Rica 1,950.

12. Hughell, P. Camacho. Mecanismos para la Predicción del Rendimiento de Jaul (Alnus Acuminata) en Costa Rica. ITCR/CATIE. 1,986. Páginas 8-23.
13. Jones Junior, S.B. Sistemática Vegetal. Traducción María Lourdes Huesca. Segunda Edición. Editorial Mcgraw Hill. México 1,987. 534 Páginas.
14. Kollman, F. Tecnología de la Madera y sus Aplicaciones. Tomo 1. Editorial Gráficas Reunidas, S.A. España 1,960.
15. Lamprecht, H. Silvicultura en los Trópicos. Los Ecosistemas en los Bosques Tropicales y sus Especies Arboreas -Posibilidades y Métodos para un Aprovechamiento Sostenido-. Traducción Antonio Carrillo. Cooperación Técnica. República Federal de Alemania (GTZ). 1,990. Páginas 252-254.
16. Martinez, H. El Componente Forestal en los Sistemas de Finca de Pequeños Agricultores. Boletín Técnico No.19. CATIE. Turrialba, Costa Rica 1,989. 77 Páginas.
17. Navarro, C.; Godinez, S. S.f. Manejo del Bosque Natural de Alnus Acuminata del Caserío Jerusalen, municipio de Esquipulas, Palo Gordo, departamento de San Marcos. S.N. Guatemala. 4 Páginas.
18. Ortiz Malavassi, G. S.f. Crecimiento Inicial del "Jaul"(Alnus Acuminata -HBK- O. Kuntze, Plantado a Tres Distancias de Siembra (2 * 2, 2.5 * 2.5 y 3 * 3 metros). Tesis Mag. Sc. ITCR. Costa Rica. 12 Páginas.
19. Ordoñez Morales, J.G. Determinación de Esfuerzos Reales y Valores de Diseño de Flexión con Madera de Pino Aserrada; Clasificada Visualmente en Grados Estructurales. Tesis de graduación de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala 1,993. 114 Páginas.
20. Pashin, A.J.; Zeeuw, C. Texbook of Wood Technology. Volumen 6. Tercera Edición. 1,970. 705 Páginas.
21. Southern Pine Inspection Bureau. Reglas de Clasificación Visual de Madera de Construcción para Dos Pulgadas de Dimensión. Pensacola, Florida, Estados Unidos 1,989.
22. Tuset, R.; Duran, F. S.f. Manual de Maderas Comerciales y Procesos de Utilización. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay 1,972. 9 Páginas.
23. Vita Alonzo, A. Los Tratamientos Silviculturales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Chile 1,978. 233 Páginas.

APÉNDICES

NOTA DE ACLARACIÓN:

Luego de haber analizado los resultados obtenidos del presente estudio se llegó a la conclusión -que no era necesario calcular los esfuerzos de trabajo- pues los mismos después de calculados eran bastante críticos, por lo tanto solamente se hizo mención de los esfuerzos últimos.

OBSERVACIÓN:

Si alguna persona desea obtener los esfuerzos de trabajo, solo deberá calcularlos, los datos necesarios para hacerlo se proporcionan en el presente trabajo.

TABLA DE LECTURA CARGA-DEFORMACIÓN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)	Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)	Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)	Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)	Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)
1	25	2	2	25	2	3	25	3	4	25	1	5	25	2
	50	4		50	5		50	5		50	2		50	4
	75	5		75	7		75	7		75	4		75	6
	100	6		100	9		100	8		100	6		100	8
	125	7		125	11		125	10		125	8		125	10
	150	9		150	13		150	13		150	10		150	11
	175	10		175	15		175	14		175	12		175	13
	200	11		200	16		200	16		200	14		200	15
	225	13		225	19		225	18		225	16		225	16
	250	15		250	21		250	20		250	18		250	17
	275	16		275	24		275	21		275	20			
	300	18					300	23		300	22			
	325	20					325	25		325	24			
	375	23					375	29		375	28			
	400	25					400	31		400	30			
	425	27					425	33		425	32			
	450	29					450	35		450	34			
	475	31					475	37						

Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)	Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)	Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)	Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)	Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)
6	25	2	7	25	2	8	25	2	9	25	4	10	25	2
	50	4		50	5		50	5		50	7		50	4
	75	6		75	8		75	8		75	9		75	7
	100	7		100	10		100	10		100	10		100	9
	125	8		125	12		125	11		125	12		125	11
	150	10		150	15		150	13		150	14		150	12
	175	11		175	16		175	16		175	15		175	13
	200	13		200	20		200	18		200	17		200	15
	225	15					225	20		225	19		225	16
	250	16					250	22		250	20		250	18
	275	17					275	24		275	22		275	22
	300	19					300	27		300	24		300	26
	325	20					325	29		325	26		325	29
	350	21					350	30		350	27			
	375	22					375	32		375	30			
	400	26					400	34		400	32			
	425	27					425	39		425	34			
	450	28					450	41		450	35			
	475	30					475	45		475	38			
	500	31					500	48						
	525	32					525	50						
	550	34					550	53						
	575	35												
	600	37												
	625	39												
	650	40												
	675	42												
	700	44												
	725	46												

Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)	Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)	Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)	Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)	Probeta #	Carga (Kgs)	Deformación (mm)
11	25	2	12	25	3	13	25	2	14	25	2	15	25	2
	50	4		50	4		50	4		50	4		50	4
	75	5		75	6		75	5		75	5		75	5
	100	6		100	7		100	8		100	6		100	6
	125	8		125	9		125	9		125	7		125	7
	150	9		150	11		150	11		150	9		150	8
	175	10		175	13		175	13		175	10		175	9
	200	11		200	14		200	14		200	11		200	10
	225	13		225	16		225	16		225	14		225	13
	250	14		250	18		250	18		250	15		250	12
	275	16		275	20		275	20		275	16		275	13
	300	17		300	22		300	21		300	18		300	15
	325	18		325	23		325	23		325	19		325	17
	350	20		350	25		350	25		350	20		350	18
	375	22		375	27		375	27		375	21		375	19
	400	24		400	30		400	29		400	23		400	20
				425	31		425	31		425	24		425	21
				450	34		450	33		450	25		450	22
				475	35					475	27		475	25
				500	36					500	28		500	26
										525	30		525	29
										550	31		550	30
										575	33			
										600	34			
										625	35			
										650	37			
										675	39			
										700	41			
										725	43			
										700	41			
										725	43			

TABLA DE CÁLCULOS DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ALISO

Probeta	Carga Máxima	Peralte (h)	Base (b)	Volumen	Peso 1 (24 hrs.)	Peso 2 (48 hrs.)	Peso 3 (72 hrs.)	% Humedad	Densidad Peso Húmedo	Densidad Peso Seco	Módulo de Ruptura	Esfuerzo de Corte
1	525	8.9	3.8	180.5	91.5	81.6	81.0	12.9	0.5	0.4	318.9	11.6
2	300	8.9	3.8	154.8	85.9	76.2	76.0	13.1	0.6	0.5	182.2	6.6
3	525	8.9	3.8	188.8	81.9	74.0	73.4	11.5	0.4	0.4	318.9	11.6
4	470	8.9	3.8	185.1	87.3	78.2	77.2	13.0	0.5	0.4	285.5	10.4
5	280	8.9	3.8	146.2	82.8	77.6	74.3	11.4	0.6	0.5	170.1	6.2
6	800	8.9	3.8	178.5	90.7	87.2	82.4	10.1	0.5	0.5	485.9	17.7
7	225	8.9	3.8	154.9	85.3	77.5	77.1	10.6	0.6	0.5	136.7	5.0
8	580	8.9	3.8	197.3	84.0	74.1	74.0	13.5	0.4	0.4	352.3	12.8
9	500	8.9	3.8	188.8	84.9	77.4	76.1	11.6	0.4	0.4	303.7	11.1
10	400	8.9	3.8	193.6	92.4	82.3	81.2	13.8	0.5	0.4	242.9	8.9
11	425	8.9	3.8	169.4	87.0	77.9	77.0	13.0	0.5	0.5	258.1	9.4
12	525	8.9	3.8	144.0	79.7	76.2	70.4	13.2	0.6	0.5	318.9	11.6
13	500	8.9	3.8	190.9	81.6	72.7	73.2	11.5	0.4	0.4	303.7	11.1
14	850	8.9	3.8	165.6	83.1	76.3	73.8	12.6	0.5	0.4	516.2	18.8
15	650	8.9	3.8	173.9	88.8	78.7	77.3	14.9	0.5	0.4	394.8	14.4
16	700	8.9	3.8	216.0	85.6	76.9	76.5	11.9	0.4	0.4	425.1	15.5
17	390	8.9	3.8	183.7	77.7	70.3	69.0	12.6	0.4	0.4	236.9	8.6
18	375	8.9	3.8	214.7	89.4	80.0	79.2	12.8	0.4	0.4	227.8	8.3
19	300	8.9	3.8	153.0	93.5	84.3	84.1	11.2	0.6	0.5	182.2	6.6
20	290	8.9	3.8	212.3	95.7	86.1	86.0	11.3	0.5	0.4	176.1	6.4
21	575	8.9	3.8	189.4	79.5	70.5	70.4	12.8	0.4	0.4	349.2	12.7
22	280	8.9	3.8	160.9	67.2	59.7	59.6	12.8	0.4	0.4	170.1	6.2
23	365	8.9	3.8	162.5	81.1	71.5	71.2	13.9	0.5	0.4	221.7	8.1
24	540	8.9	3.8	132.0	82.8	76.6	74.3	11.5	0.6	0.6	328.0	12.0
25	500	8.9	3.8	142.4	91.3	81.8	81.6	11.9	0.6	0.6	303.7	11.1
26	415	8.9	3.8	214.7	100.1	92.1	90.0	11.2	0.5	0.4	252.0	9.2
27	550	8.9	3.8	161.5	87.1	78.2	76.0	14.6	0.5	0.5	334.0	12.2
28	475	8.9	3.8	211.6	106.0	94.1	94.9	11.8	0.5	0.4	288.5	10.5
29	425	8.9	3.8	166.3	101.0	89.4	90.2	12.0	0.6	0.5	258.1	9.4
30	325	8.9	3.8	186.0	86.0	76.5	77.3	11.3	0.5	0.4	197.4	7.2
31	610	8.9	3.8	174.9	86.2	76.7	76.0	13.4	0.5	0.4	370.5	13.5
32	190	8.9	3.8	165.6	78.2	73.6	71.0	10.2	0.5	0.4	115.4	4.2
33	565	8.9	3.8	135.5	60.2	53.6	53.5	12.5	0.4	0.4	343.2	12.5
34	775	8.9	3.8	162.7	92.6	83.3	81.2	14.0	0.6	0.5	470.7	17.2
35	475	8.9	3.8	201.6	85.8	76.2	76.2	12.6	0.4	0.4	288.5	10.5
36	325	8.9	3.8	218.2	80.4	72.3	71.2	12.9	0.4	0.3	197.4	7.2
37	400	8.9	3.8	145.2	105.6	96.5	94.5	11.7	0.7	0.7	242.9	8.9
38	450	8.9	3.8	210.6	100.1	90.1	89.7	11.6	0.5	0.4	273.3	10.0
39	250	8.9	3.8	188.8	93.4	84.2	83.9	11.3	0.5	0.4	151.8	5.5
40	600	8.9	3.8	154.8	94.6	85.8	85.7	10.3	0.6	0.6	364.4	13.3
41	740	8.9	3.8	158.3	79.4	70.7	70.6	12.4	0.5	0.4	449.4	16.4
42	225	8.9	3.8	187.3	83.9	74.0	73.8	13.7	0.4	0.4	136.7	5.0
43	680	8.9	3.8	186.3	78.9	73.6	69.6	13.4	0.4	0.4	413.0	15.1
44	515	8.9	3.8	160.2	75.5	67.0	66.9	13.0	0.5	0.4	312.8	11.4
45	420	8.9	3.8	165.6	89.5	79.6	79.4	12.7	0.5	0.5	255.1	9.3
46	380	8.9	3.8	170.2	63.4	56.3	56.1	13.1	0.4	0.3	230.8	8.4
47	570	8.9	3.8	209.2	84.3	76.4	75.3	11.9	0.4	0.4	346.2	12.6
48	200	8.9	3.8	191.0	77.5	68.0	67.9	14.2	0.4	0.4	121.5	4.4
49	350	8.9	3.8	188.8	99.0	89.5	88.0	12.5	0.5	0.5	212.6	7.8
50	475	8.9	3.8	160.9	89.9	79.2	79.0	13.7	0.6	0.5	288.5	10.5
51	400	8.9	3.8	162.5	80.4	72.1	71.3	12.8	0.5	0.4	242.9	8.9
52	730	8.9	3.8	132.0	78.7	75.6	70.3	12.0	0.6	0.5	443.4	16.2
53	135	8.9	3.8	142.4	91.2	81.6	81.2	12.3	0.6	0.6	82.0	3.0
54	310	8.9	3.8	214.7	84.2	77.6	73.7	14.3	0.4	0.3	188.3	6.9
55	500	8.9	3.8	158.4	88.9	77.3	77.3	14.9	0.6	0.5	303.7	11.1
56	620	8.9	3.8	211.6	86.5	76.0	75.9	14.0	0.4	0.4	376.6	13.7
57	430	8.9	3.8	168.6	94.6	82.9	82.8	14.2	0.6	0.5	261.2	9.5
58	540	8.9	3.8	186.0	74.5	65.9	65.1	14.5	0.4	0.3	328.0	12.0
59	515	8.9	3.8	174.9	80.0	72.1	71.3	12.3	0.5	0.4	312.8	11.4
60	630	8.9	3.8	162.9	84.2	74.1	74.1	13.7	0.5	0.5	382.6	14.0
61	340	8.9	3.8	160.9	62.8	59.4	56.5	11.1	0.4	0.4	206.5	7.5
62	475	8.9	3.8	162.5	68.4	60.8	60.6	12.9	0.4	0.4	288.5	10.5
63	725	8.9	3.8	132.0	75.6	66.9	66.9	13.0	0.6	0.5	440.3	16.1

TABLA DE CÁLCULOS DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ALISO

Probeta	Carga Máxima	Peralte (h)	Base (b)	Volumen	Peso 1 (24 hrs.)	Peso 2 (48 hrs.)	Peso 3 (72 hrs.)	% Humedad	Densidad Peso Húmedo	Densidad Peso Seco	Módulo de Ruptura	Esfuerzo de Corte
64	475	8.9	3.8	142.4	63.4	62.2	56.2	12.8	0.4	0.4	288.5	10.5
65	525	8.9	3.8	214.7	97.5	87.8	87.4	11.6	0.5	0.4	318.9	11.6
66	475	8.9	3.8	168.2	80.3	74.7	72.5	10.7	0.5	0.4	288.5	10.5
67	165	8.9	3.8	211.6	67.5	60.2	60.2	12.1	0.3	0.3	100.2	3.7
68	385	8.9	3.8	168.6	73.3	65.2	65.0	12.9	0.4	0.4	233.8	8.5
69	240	8.9	3.8	186.0	78.2	69.4	69.2	13.0	0.4	0.4	145.8	5.3
70	380	8.9	3.8	174.9	94.0	84.4	84.1	11.8	0.5	0.5	230.8	8.4
71	500	8.9	3.8	160.9	85.3	78.3	74.3	14.7	0.5	0.5	303.7	11.1
72	300	8.9	3.8	162.5	97.9	90.8	87.5	11.9	0.6	0.5	182.2	6.6
73	175	8.9	3.8	132.0	83.9	74.6	74.2	13.1	0.6	0.6	106.3	3.9
74	315	8.9	3.8	142.4	86.5	77.8	76.2	13.5	0.6	0.5	191.3	7.0
75	460	8.9	3.8	162.9	83.3	78.6	75.2	10.7	0.5	0.5	279.4	10.2
76	525	8.9	3.8	160.9	85.5	76.2	76.0	12.5	0.5	0.5	318.9	11.6
77	525	8.9	3.8	162.5	93.9	87.6	83.3	12.8	0.6	0.5	318.9	11.6
78	400	8.9	3.8	186.0	84.3	76.2	73.5	14.7	0.5	0.4	242.9	8.9
79	355	8.9	3.8	171.9	79.3	70.8	70.2	13.0	0.5	0.4	215.6	7.9
80	500	8.9	3.8	177.5	108.4	98.2	96.2	12.6	0.6	0.5	303.7	11.1
81	155	8.9	3.8	186.0	74.4	71.0	65.2	14.1	0.4	0.4	94.1	3.4
82	485	8.9	3.8	142.4	74.8	66.2	65.5	14.2	0.5	0.5	294.6	10.7
83	300	8.9	3.8	160.9	87.4	78.5	77.9	12.2	0.5	0.5	182.2	6.6
84	335	8.9	3.8	162.5	71.8	68.3	63.2	13.6	0.4	0.4	203.5	7.4
85	300	8.9	3.8	132.0	64.4	58.3	56.5	14.0	0.5	0.4	182.2	6.6
86	245	8.9	3.8	142.4	75.4	70.4	66.5	13.3	0.5	0.5	148.8	5.4
87	400	8.9	3.8	160.9	82.4	75.2	72.4	13.8	0.5	0.4	242.9	8.9
88	400	8.9	3.8	162.5	72.3	68.6	64.4	12.3	0.4	0.4	242.9	8.9
89	380	8.9	3.8	132.0	88.4	83.3	77.7	13.8	0.7	0.6	230.8	8.4
90	480	8.9	3.8	142.4	71.9	67.2	64.1	12.1	0.5	0.5	291.5	10.6
91	375	8.9	3.8	186.0	79.3	72.3	70.3	12.9	0.4	0.4	227.8	8.3
92	325	8.9	3.8	165.3	75.0	67.6	66.6	12.7	0.5	0.4	197.4	7.2
93	400	8.9	3.8	186.0	76.0	70.6	67.2	13.1	0.4	0.4	242.9	8.9
94	475	8.9	3.8	158.4	81.4	73.4	72.9	11.7	0.5	0.5	288.5	10.5
95	375	8.9	3.8	160.9	68.4	63.3	60.2	13.5	0.4	0.4	227.8	8.3
96	700	8.9	3.8	162.5	83.2	76.3	74.6	11.5	0.5	0.5	425.1	15.5
97	775	8.9	3.8	132.0	70.9	68.3	63.2	12.2	0.5	0.5	470.7	17.2
98	75	8.9	3.8	142.4	68.9	62.3	60.5	13.9	0.5	0.4	45.6	1.7
99	420	8.9	3.8	186.0	61.6	56.6	54.2	13.6	0.3	0.3	255.1	9.3

valores Promed 441.465 83.635 75.748 74.251 12.638 0.493 0.438 268.123 9.775

MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPRESADO EN kg/cm² CON DIFERENTES RANGOS DE CARGA DENTRO DEL INTERVALO PROPORCIONAL

Probeta	P=100 KG	P=150 KG	P=250 KG	P=300 KG	PROMEDIO
1	81100.1	81100.1	81100.1	81100.1	81100.1
2	54066.7	56146.2	57928.6		56047.2
3	60825.0	56146.2	60825.0	63469.6	60316.5
4	81100.1	72990.1	67583.4	66354.6	72007.0
5	60825.0	66354.6	71558.9		66246.2
6	69514.3	72990.1	76031.3	81100.1	74908.9
7	48660.0	48660.0			48660.0
8	48660.0	56146.2	55295.5	54066.7	53542.1
9	48660.0	52135.8	60825.0	60825.0	55611.5
10	54066.7	60825.0	67583.4	56146.2	59655.3
11	81100.1	81100.1	86892.9	85870.7	83740.9
12	69514.3	66354.6	67583.4	66354.6	67451.7
13	60825.0	66354.6	67583.4	69514.3	66069.3
14	81100.1	81100.1	81100.1	81100.1	81100.1
15	81100.1	91237.6	101375.1	97320.1	92758.2
16	81100.1	91237.6	86892.9	91237.6	87617.0
17	48660.0	56146.2	52891.3	54066.7	52941.1
18	81100.1	81100.1	81100.1	81100.1	81100.1
19	40550.0	45618.8	46788.5		44319.1
20	60825.0	72990.1	81100.1		71638.4
21	60825.0	72990.1	76031.3	76831.6	71669.5
22	48660.0	52135.8	55295.5		52030.4
23	60825.0	60825.0	60825.0	60825.0	60825.0
24	44236.4	52135.8	57928.6	60825.0	53781.5
25	69514.3	72990.1	76031.3	91237.6	77443.3
26	97320.1	91237.6	93577.0	97320.1	94863.7
27	69514.3	81100.1	93577.0	97320.1	85377.9
28	54066.7	56146.2	60825.0	60825.0	57965.8
29	54066.7	56146.2	57928.6	58392.0	56633.4
30	60825.0	60825.0	64026.4	63469.6	62286.5
31	69514.3	72990.1	81100.1	81100.1	76176.1
32	69514.3	60825.0			65169.7
33	60825.0	66354.6	67583.4	66354.6	65279.4
34	60825.0	66354.6	64026.4	63469.6	63668.9
35	60825.0	66354.6	64026.4	63469.6	63668.9
36	44236.4	45618.8	39242.0		43032.4
37	48660.0	48660.0	50687.5	50338.0	49586.4
38	60825.0	66354.6	67583.4	69514.3	66069.3
39	54066.7	60825.0			57445.9
40	97320.1	91237.6	86892.9	91237.6	91672.0
41	69514.3	81100.1	86892.9	85870.7	80844.5
42	44236.4	42935.3			43585.9
43	69514.3	72990.1	67583.4	72990.1	70769.5
44	48660.0	56146.2	64026.4	66354.6	58796.8
45	60825.0	60825.0	67583.4	69514.3	64687.0
46	60825.0	66354.6	67583.4	66354.6	65279.4
47	60825.0	66354.6	67583.4	69514.3	66069.3
48	48660.0	48660.0			48660.0
49	44236.4	52135.8	55295.5	58392.0	52514.9
50	60825.0	72990.1	76031.3	72990.1	70709.1
51	54066.7	56146.2	60825.0	63469.6	58626.9
52	60825.0	66354.6	76031.3	81100.1	71077.8
53	60825.0				60825.0
54	54066.7	66354.6	60825.0	58392.0	59909.6
55	48660.0	56146.2	55295.5	56146.2	54062.0
56	97320.1	104271.5	101375.1	83417.2	96596.0
57	97320.1	104271.5	86892.9	81100.1	92396.1
58	97320.1	81100.1	86892.9	81100.1	86603.3
59	81100.1	72990.1	76031.3	72990.1	75777.9
60	69514.3	72990.1	71558.9	72990.1	71763.3
61	60825.0	66354.6	60825.0	72990.1	65248.7
62	54066.7	60825.0	50687.5	50338.0	53979.3
63	60825.0	72990.1	71558.9	69514.3	68722.1
64	81100.1	72990.1	81100.1	81100.1	79072.6
65	69514.3	72990.1	76031.3	72990.1	72881.4
66	60825.0	66354.6	67583.4	69514.3	66069.3

MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPRESADO EN kg/cm² CON DIFERENTES RANGOS DE CARGA DENTRO DEL INTERVALO PROPORCIONAL

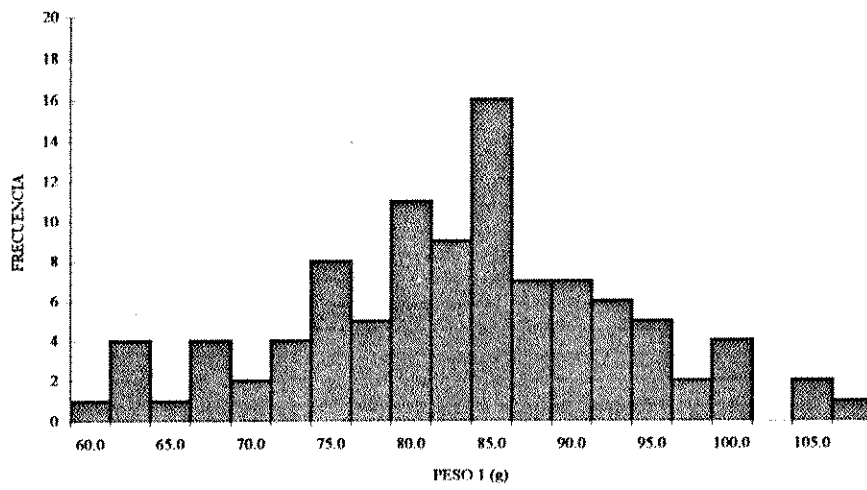
67	28623.6				28623.6
68	60825.0	60825.0	48660.0	45618.8	53982.2
69	44236.4	45618.8			44927.6
70	69514.3	66354.6	60825.0	63469.6	65040.9
71	69514.3	81100.1	81100.1	81100.1	78203.6
72	60825.0	72990.1	76031.3		69948.8
73	69514.3	66354.6			67934.5
74	81100.1	72990.1	76031.3	72990.1	75777.9
75	60825.0	72990.1	60825.0	47090.4	60432.6
76	81100.1	81100.1	86892.9	85870.7	83740.9
77	81100.1	81100.1	81100.1	76831.6	80033.0
78	54066.7	60825.0	60825.0	58392.0	58527.2
79	60825.0	60825.0	60825.0	52135.8	58652.7
80	60825.0	60825.0	64026.4	60825.0	61625.4
81	60825.0	72990.1			66907.6
82	121650.1	91237.6	76031.3	69514.3	89608.3
83	54066.7	60825.0	57928.6		57606.8
84	97320.1	81100.1	76031.3	69514.3	80991.5
85	97320.1	81100.1	81100.1		86506.7
86	54066.7	66354.6			60210.7
87	60825.0	60825.0	60825.0	66354.6	62207.4
88	48660.0	56146.2	57928.6	50338.0	53268.2
89	48660.0	52135.8	55295.5	47090.4	50795.4
90	69514.3	72990.1	76031.3	72990.1	72881.4
91	44236.4	45618.8	46788.5	45618.8	45565.6
92	37430.8	42935.3	39242.0		39869.4
93	60825.0	66354.6	71558.9	60825.0	64890.9
94	97320.1	81100.1	60825.0	52135.8	72845.2
95	69514.3	72990.1	71558.9	54066.7	67032.5
96	60825.0	56146.2	43446.5	40550.0	50241.9
97	81100.1	72990.1	76031.3	72990.1	75777.9
98	81100.1				81100.1
99	69514.3	81100.1	86892.9	76831.6	78584.7
PROMEDIO DEL INTERVALO PROPORCIONAL	64785.7	67409.4	68965.3	68758.9	66377.3

TABLA DE DATOS AGRUPADOS EN INTERVALOS

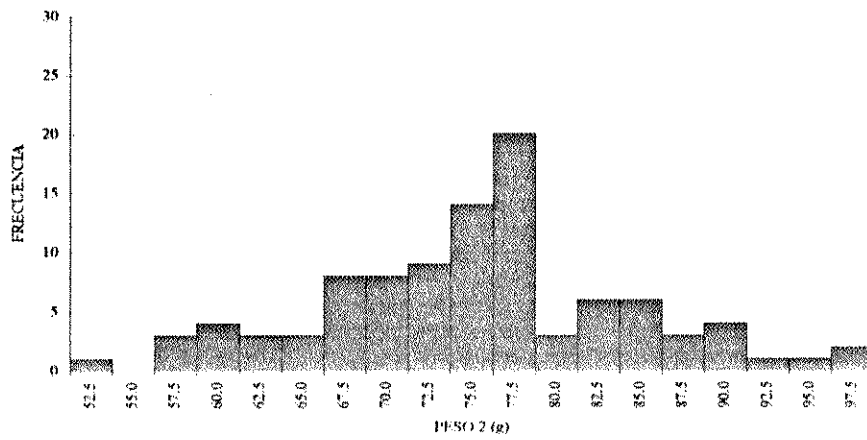
PESO 1 (g)	Frecuencia	PESO 2 (g)	Frecuencia	PESO 3 (g)	Frecuencia	% Humedad	Frecuencia
60.0	1	52.5	1	52.5	1	10.00	1
62.5	4	55.0	0	55.0	1	10.25	2
65.0	1	57.5	3	57.5	2	10.50	0
67.5	4	60.0	4	60.0	5	10.75	3
70.0	2	62.5	3	62.5	2	11.00	1
72.5	4	65.0	3	65.0	6	11.25	5
75.0	8	67.5	8	67.5	6	11.50	8
77.5	5	70.0	8	70.0	12	11.75	4
80.0	11	72.5	9	72.5	9	12.00	7
82.5	9	75.0	14	75.0	19	12.25	6
85.0	16	77.5	20	77.5	9	12.50	7
87.5	7	80.0	3	80.0	7	12.75	9
90.0	7	82.5	6	82.5	4	13.00	14
92.5	6	85.0	6	85.0	5	13.25	4
95.0	5	87.5	3	87.5	3	13.50	5
97.5	2	90.0	4	90.0	3	13.75	7
100.0	4	92.5	1	92.5	0	14.00	6
102.5	0	95.0	1	95.0	3	14.25	4
105.0	2	97.5	2	0.0	0	14.50	1
107.5	1		0		0	14.75	3
SUMA	99	SUMA	99	SUMA	99	15.00	2
						SUMA	99

Densidad Peso Húmedo (g/cm ³)	Frecuencia	Densidad Peso Seco (g/cm ³)	Frecuencia	Módulo de Ruptura (kg/cm ²)	Frecuencia	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Frecuencia
0.325	2	0.275	1	50.00	1	2	1
0.350	0	0.300	1	75.00	1	3	2
0.375	2	0.325	2	100.00	3	4	4
0.400	9	0.350	9	125.00	4	5	4
0.425	14	0.375	13	150.00	3	6	4
0.450	13	0.400	13	175.00	8	7	11
0.475	8	0.425	11	200.00	7	8	10
0.500	15	0.450	18	225.00	11	9	14
0.525	10	0.475	8	250.00	13	10	4
0.550	9	0.500	10	275.00	3	11	17
0.575	4	0.525	2	300.00	15	12	9
0.600	7	0.550	6	325.00	11	13	5
0.625	2	0.575	3	350.00	4	14	4
0.650	2	0.600	1	375.00	4	15	1
0.675	1	0.625	0	400.00	1	16	5
0.700	0	0.650	1	425.00	3	17	2
0.725	1	SUMA	99	450.00	3	18	1
SUMA	99			475.00	3	19	1
				500.00	0	SUMA	99
				525.00	1		
				SUMA	99		

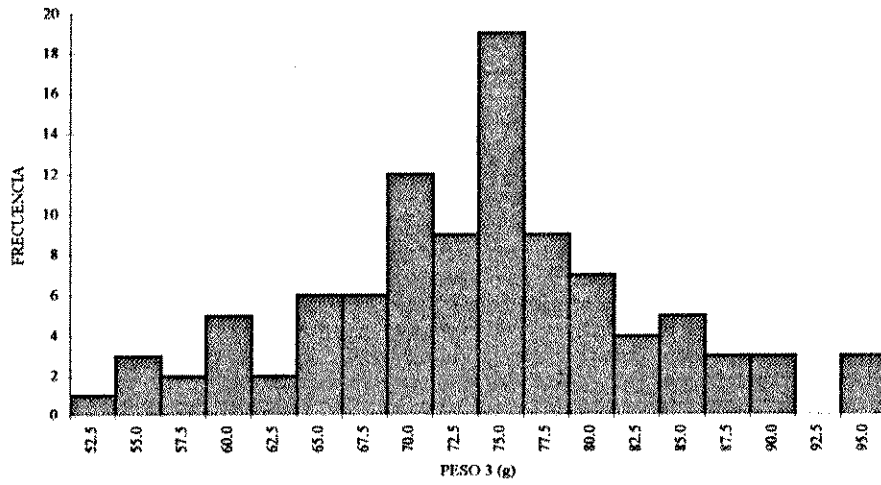
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL ALISO



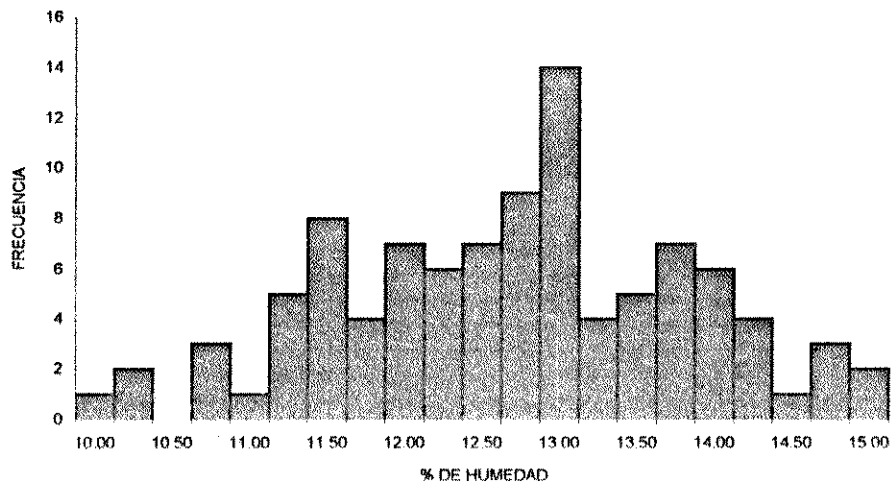
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL ALISO



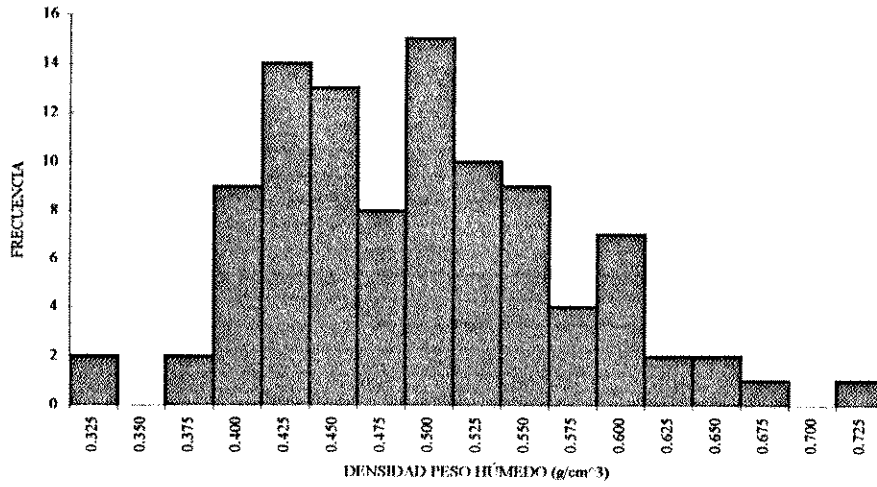
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL ALISO



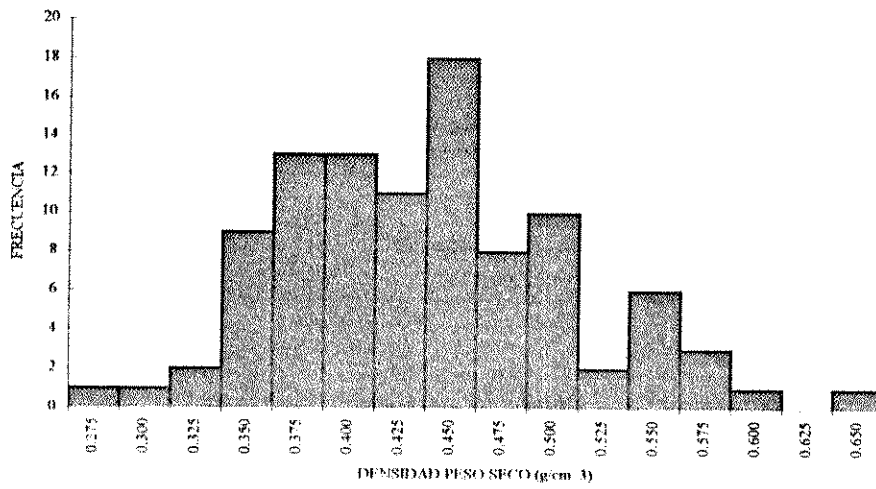
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL ALISO



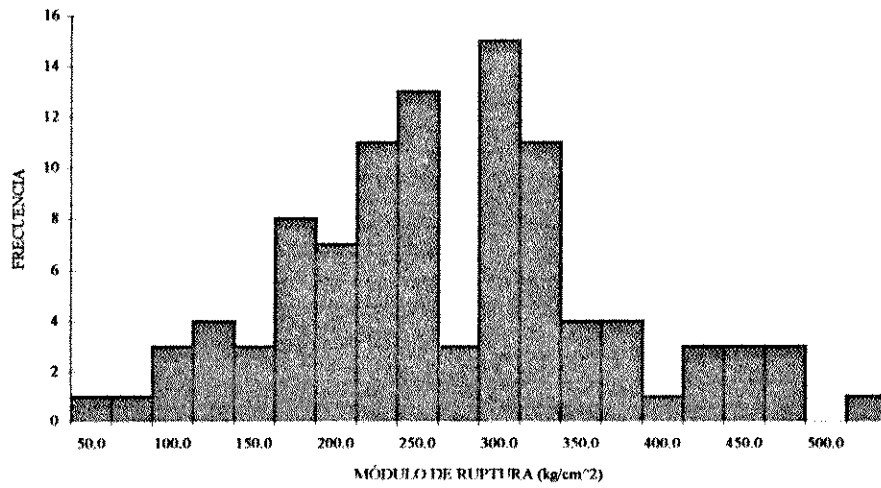
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL ALISO



PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL ALISO



PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL ALISO



PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL ALISO

