



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



## TESIS

---

---

**ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL  
CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN  
ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN  
USANDO MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS DE LA  
PROVINCIA DE ACOMAYO.**

---

---

**Presentado por los bachilleres:**

Junior López Carrasco

Jhordan Elvis Rozas Farfán

***Para optar el título profesional  
de Ingeniero Civil***

***Asesor:***

MGT. ING. VÍCTOR CHACÓN SÁNCHEZ

**CUSCO – PERÚ**

**2016**



## **DEDICATORIA**

### ***A mis queridos Padres:***

*A quienes agradezco tanto por haberme apoyado, aconsejado en todo momento de mi vida, a ellos por ser mi razón de ser, mi fuente de motivación e inspiración, el ejemplo para mí y que gracias a ellos puedo ser lo que soy ahora, y sobre todo por tener hacia mí el más puro amor que pueda recibir un hijo de sus padres. A ellos que me hicieron entender que es Dios quien siempre está a mi lado y es solo el que por su infinita gracia me permite obtener lo que hasta ahora tengo y tendré. Queridos padres los amo mucho y siempre están y estarán conmigo.*

### ***A mis docentes:***

*Por los aportes, enseñanzas, conocimientos brindados y su paciencia para mi formación universitaria y profesional.*

### ***A mis familiares y amigos:***

*Que creyeron en mí me apoyaron en todo momento y me brindaron su amistad incondicional.*

**JUNIOR LOPEZ CARRASCO**



## AGRADECIMIENTO

*Es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para expresar mis agradecimientos.*

*En primer lugar, mi agradecimiento infinito a Dios nuestro Divino Creador por permitirme disfrutar de toda esta maravilla que es el Universo, a Jesucristo nuestro Señor por su maravillosa obra de amor en la cruz y que hizo todo conforme a su voluntad, para llegar hasta donde he llegado y porque hizo realidad este sueño que tanto tiempo anhele, por la salud y fuerza que me brindó para poder concluir este importante trabajo.*

*A mi querida Universidad Andina del Cusco, y a la Facultad de Ingeniería, a mis profesores e Ingenieros de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil, por formarme en el campo profesional a través de la cátedra universitaria transfiriendo y compartiendo sus conocimientos teóricos y prácticos, gracias por todos sus consejos y sugerencias.*

*A todos mis compañeros de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil que gracias a las diferentes experiencias vividas durante la vida universitaria aprendí y aprendimos nuevos valores, nuevos conocimientos, nuevas formas de convivir en grupos enfocados en cumplir las metas y objetivos trazados. A todos ellos muchas gracias.*

**JUNIOR LOPEZ CARRASCO**



## DEDICATORIA

*Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar, cuando a punto de caer he estado, pues su vara y su cayado me infunden aliento para seguir adelante cada día, por ello, con toda la gratitud y humildad de mi corazón, dedico primeramente este trabajo a Dios.*

*Con todo mi amor y respeto a quienes apuestan y confían en mí en todo momento para mis padres, Hortencia Farfán Berrío y Ángel Rozas Cerrillo quienes son la guía y el camino para poder llegar a este punto importante de mi vida. Pues su ejemplo, dedicación y trabajo me inspiran anhelos y sueños muy grandes, sus palabras de aliento me impulsan y motivan, a pesar de las adversidades nunca bajan los brazos para que yo tampoco lo haga. A lo largo de mi vida velan por mi bienestar siendo mi mayor apoyo en todo momento, depositando en mí su entera confianza, en cada reto que me presenta la vida sin dudar ni un solo momento en yo que puedo lograrlo.*

*Para mi hermana Anabel Rozas Farfán con mucho amor quien me brinda todo su apoyo y sus consejos haciendo muchas veces la labor de madre.*

*Con cariño para mis tíos Susana Rozas y Ángel Núñez, porque son personas excepcionales, siempre me brindan su apoyo incondicional y comparten conmigo su experiencia y sabios consejos.*

*A la memoria de mis seres queridos:*

*A mi tía Nérida, quien fue un ejemplo digno de superación y entrega, una mujer luchadora con un corazón inmenso lleno de ternura y amor.*

*A mis abuelitos Aurelia, Antonio Y Demetrio con quienes pasé momentos inolvidables y de ellos pude aprender las cosas lindas de la vida.*

*Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.*

JHORDAN ROZAS FARFAN



## AGRADECIMIENTOS

*Quiero expresar mi infinito agradecimiento a Dios, pues nada de esto hubiera podido lograr sin su mano milagrosa, porque él nunca olvida todo lo que le pido, porque él me conoce mejor que nadie y a su tiempo me da lo que es mejor y todos mis anhelos tienen su color, tienen el latido de su corazón y todo es maravilloso bajo su dirección. Por eso todos mis anhelos son de ti señor, tienen tu cadencia y tienen tu pasión, no me importa nada solo tu favor, tu amor es sublime y perfecto, tu poder lo llena todas gracias REY DE REYES.*

*Mi agradecimiento para los seres más importantes de mi vida mis padres y mi hermana gracias por enseñarme el compromiso absoluto con lo que uno hace, gracias por estar presente en cada etapa de mi vida, ayudándome a encontrar lo mejor para mí. Todos estos años son simplemente únicos porque mi felicidad son ustedes.*

*A mis familiares a todos y cada uno de ustedes, que han destinado tiempo para enseñarme y brindarme aportes invaluableles que me hicieron una mejor persona.*

*Al asesor de tesis Mgt. Ing. Víctor Chacón Sánchez es cierto no ha sido fácil, ni mucho menos, pero gracias a su ayuda esto ha parecido un tanto menos complicado.*

*Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.*

*Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos.*

**JHORDAN ROZAS FARFAN**



## RESUMEN

El presente trabajo de tesis “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO”, da a conocer las características físico-mecánicas y la resistencia de la madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo con contenidos diferentes de humedad, así mismo entender y verificar el comportamiento de la madera de Eucalipto Globulus con la variación de las humedades.

Considerando que la provincia de Acomayo es una zona con abundante madera de Eucalipto Globulus, y que el uso de esta madera se ha ido incrementando en grandes proporciones en la rama de la construcción, por ende, este tema de investigación es de suma importancia.



## ABSTRACT

This thesis " ANALYSIS OF RESISTANCE IN RELATION TO THE CONTENT OF MOISTURE FOR APPLICATION ELEMENTS UNDER BENDING STRESS USING WOOD EUCALYPTUS GLOBULUS PROVINCE ACOMAYO " discloses the physico- mechanical properties and resistance Globulus Eucalyptus wood in the province of Acomayo with different moisture contents, also understand and verify the behavior of Eucalyptus Globulus wood with varying humidities.

Whereas the province of Acomayo is an area with abundant wood Eucalyptus Globulus, and that the use of this wood has increased in large proportions in the field of construction, therefore this research topic is of utmost importance.



## INTRODUCCIÓN

El trabajo de tesis intitulado: “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO”, tiene como propósito generar mayor conocimiento sobre las principales características de la madera de Eucalipto Globulus y enfocarse en la aplicación de elementos sometidos a flexión.

La investigación es relevante para los objetivos que nos hemos planteado ya que permite determinar el contenido de humedad de la madera de Eucalipto Globulus y su influencia en la aplicación de elementos sometidos a flexión, así mismo busca ser una fuente de conocimiento para todas aquellas personas involucradas en la construcción.

Gran parte del trabajo de investigación se basa en la Norma Técnica Peruana de Madera E-010 y el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino; ya que permite vislumbrar un enfoque técnico acerca del mejor uso de la madera de Eucalipto Globulus y su aporte en la construcción.

Este estudio surge por la necesidad de darle la debida importancia al uso de la madera de Eucalipto Globulus, en especial porque en estos tiempos se ve limitado a su uso en puntales, encofrados, leña y otros usos domésticos, por lo que el proyecto busca descubrir la calidad y resistencia de la misma y otorgarle valor agregado así mismo un uso sustentado técnicamente para su aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión.





Cabe mencionar que el proyecto de investigación que en esta oportunidad presentamos está estructurada y sustentada en diferentes ensayos realizados tales como: Ensayos de Flexión Estática, Ensayos de Tracción Paralela al Grano y Ensayos de Dureza Brinell; que se desarrollan a detalle en el contenido de la presente investigación.



## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA I</b> .....	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTOS I</b> .....	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA II</b> .....	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>VII</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....	1
1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA .....	2
1.1.2.1. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL.....	2
1.1.2.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA .....	3
1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL .....	4
1.2.2.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL APLICATIVA .....	4
1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD.....	6
1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA .....	6
1.3 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
1.3.1. LIMITACIONES DE LUGAR: .....	7
1.3.2. LIMITACIONES DE MATERIALES: .....	7
1.3.3. LIMITACIONES DE ENSAYOS: .....	7
1.3.4. LIMITACIONES DE INFORMACIÓN: .....	7
1.4 OBJETIVOS .....	8
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
1.5 HIPÓTESIS .....	9
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	9



1.5.2. SUB HIPÓTESIS .....9

1.6 VARIABLES E INDICADORES .....10

1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES .....10

1.6.1.1. INDICADORES DE VARIABLES INDEPENDIENTES .....10

1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES .....10

1.6.3. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....12

**CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....13**

2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS.....13

2.1.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS A NIVEL NACIONAL .....13

2.1.2. ANTECEDENTES DE LA TESIS A NIVEL INTERNACIONAL.....14

2.2. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES .....18

2.2.1. GENERALIDADES DE LA MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS....18

2.2.1.1. MADERA EUCALIPTO GLOBULUS .....18

2.2.1.2. ORIGEN DEL EUCALIPTO GLOBULUS .....18

2.2.1.2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES.....18

2.2.1.2.1.1. CLASIFICACIÓN SISTEMÁTICA:.....18

2.2.1.2.1.2. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS .....19

2.2.1.2.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS BOSQUES EN LAS REGIONES  
NATURALES DEL PERÚ.....20

2.2.1.3. ANTECEDENTES DEL EUCALIPTO GLOBULUS.....22

2.2.1.4. USOS DEL EUCALIPTO .....22

2.2.1.5. VARIEDADES DE EUCALIPTO GLOBULUS:.....23

2.2.1.6. ACLIMATACIÓN DEL EUCALIPTO GLOBULUS EN LA REGIÓN DEL  
CUSCO .....24

2.2.1.7. RECURSO FORESTAL .....25

2.2.2. LA MADERA.....27

2.2.2.1. ESTRUCTURA DE LA MADERA .....28

2.2.2.2. ESTRUCTURA ANATÓMICA.....29

2.2.2.3. ESTRUCTURA MACROSCÓPICA .....31

2.2.2.4. ESTRUCTURA MICROSCÓPICA.....32

2.2.2.5. NOMENCLATURA Y DIVISIÓN DE LA ESPECIES .....33

2.2.2.6. ESTRUCTURA SUBMICROSCÓPICA .....34

2.2.2.7. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA.....36



2.2.3. FACTORES DE DEGRADACIÓN DE LA MADERA.....	36
2.2.3.1. FACTORES ABIÓTICOS .....	36
2.2.3.1.1. AGUA:.....	36
2.2.3.1.2. RADIACIÓN SOLAR: .....	37
2.2.3.1.3. FUEGO: .....	37
2.2.3.1.4. ESFUERZOS MECÁNICOS:.....	37
2.2.3.2. DEFECTOS PROPIOS: .....	38
2.2.3.2.1. NUDOS SUELTOS: .....	38
2.2.3.2.2. RAJADURAS .....	39
2.2.3.2.3. GRIETAS .....	39
2.2.3.2.4. FIBRA INCLINADA .....	39
2.2.3.2.5. PERFORACIÓN.....	40
2.2.3.2.6. PUDRICIÓN.....	40
2.2.3.2.7. BOLSILLO DE CORTEZA.....	40
2.2.3.2.8. BOLSILLO DE RESINA .....	40
2.2.3.2.9. ACEBOLLADURAS.....	41
2.2.3.2.10. ALABEOS .....	41
2.2.3.2.11. COLAPSO.....	41
2.2.3.2.12. MÉDULA.....	42
2.2.3.2.13. CANTO MUERTO.....	42
2.2.3.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA .....	43
2.2.3.3.1. CONTENIDO DE HUMEDAD:.....	43
2.2.3.3.2. CAMBIOS DIMENSIONALES .....	45
2.2.3.3.3. CONTRACCIÓN DE LA MADERA.....	46
2.2.3.3.4. DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICO.....	47
2.2.3.3.5. DUREZA: .....	48
2.2.3.3.6. HENDIBILIDAD .....	48
2.2.3.3.7. HIGROSCOPICIDAD .....	48
2.2.3.3.8. HINCHAZÓN O MERMA DE LA MADERA .....	49
2.2.4. SECADO DE LA MADERA.....	50
2.2.4.1. TIPOS DE SECADO .....	50
2.2.4.1.1. SECADO NATURAL .....	50
2.2.4.1.2. SECADO ARTIFICIAL.....	52



2.2.5. ARTÍCULO 10: AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS MADERAS SEGÚN LA NORMA TÉCNICA PERUANA (NTP).....53

2.2.5.1. AGRUPAMIENTO SEGÚN SU DENSIDAD BÁSICA: .....53

2.2.5.2. AGRUPAMIENTO SEGÚN SU MÓDULO DE ELASTICIDAD:.....54

2.2.5.3. AGRUPAMIENTO SEGÚN LOS ESFUERZOS ADMISIBLES: .....55

2.2.6. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON MADERA .....56

2.2.6.1. ARTÍCULO 1: REQUISITOS GENERALES .....56

2.2.6.1.1. ALCANCES.....56

2.2.6.1.2. CONSIDERACIONES .....56

2.2.6.1.3. MADERA ROLLIZA DE USO ESTRUCTURAL:.....56

2.2.7. PLANOS O EJES DE LA MADERA:.....57

2.2.8. PROPIEDADES RESISTENTES DE LA MADERA .....59

2.2.9. VARIABILIDAD EN RESISTENCIA .....63

2.2.10. PROPIEDADES ELÁSTICAS DE MADERA.....64

2.2.10.1. MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE).....65

2.2.10.2. MÓDULO DE CORTE O RIGIDEZ .....66

2.2.10.3. MÓDULO DE POISSON: .....67

2.2.10.4. LEY DE HOOKE.....67

2.2.11. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS.....68

2.2.11.1. ENSAYOS MECÁNICOS .....68

2.2.11.1.1. ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA .....68

2.2.11.1.2. ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO.....71

2.2.11.1.3. ENSAYO DE DUREZA BRINELL.....76

**CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....80**

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....80

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....80

3.1.1.1. TIPO SEGÚN SU FINALIDAD.....80

3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN: .....80

3.1.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....80

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....81

3.2.1. DISEÑO METODOLÓGICO .....81

3.2.2. DISEÑO DE INGENIERÍA .....82



- 3.2.3. POBLACIÓN .....83
  - 3.2.3.1. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN .....83
  - 3.2.3.2. CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN .....83
- 3.2.4. MUESTRA Y MÉTODO DE MUESTREO.....83
  - 3.2.4.1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA.....83
  - 3.2.4.2. CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA .....84
  - 3.2.4.3. MÉTODO DE MUESTREO .....84
  - 3.2.4.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA MUESTRA .....84
    - 3.2.4.4.1. PROBETAS:.....90
      - 3.2.4.4.1.1. PROBETAS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA:.....90
      - 3.2.4.4.1.2. PROBETAS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO: .....91
      - 3.2.4.4.1.3. PROBETAS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL: .....93
- 3.2.5. CRITERIOS DE INCLUSIÓN .....94
- 3.3. INSTRUMENTOS.....94
  - 3.3.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....94
    - 3.3.1.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD .....94
    - 3.3.1.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA.....98
    - 3.3.1.3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA AL GRANO: .....102
    - 3.3.1.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL:.....106
  - 3.3.2. INSTRUMENTOS DE INGENIERIA .....110
- 3.4. EVALUACIÓN DEL RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS .....111
  - 3.4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DE LAS PROBETAS.....111
    - 3.4.1.1. SELECCIÓN DE ELEMENTOS MUESTRALES SEGÚN NORMA (NTP 251.008 - 251.009) .....111
      - 3.4.1.1.1. OBJETIVOS .....111
      - 3.4.1.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES.....111
      - 3.4.1.1.3. PROCEDIMIENTOS .....111
    - 3.4.1.2. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ELEMENTOS MUESTRALES SEGÚN NORMA (NTP 251.010).....114



3.4.1.2.1. OBJETIVOS: ..... 114

3.4.1.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES: ..... 114

3.4.1.2.3. PROCEDIMIENTO: ..... 114

3.4.1.3. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ESTÁTICA ..... 118

3.4.1.3.1. OBJETIVO DEL ENSAYO. .... 118

3.4.1.3.2. EQUIPOS, MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDIDA: ..... 119

3.4.1.3.3. PROCEDIMIENTO: ..... 119

3.4.1.4. ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO ..... 125

3.4.1.4.1. OBJETIVOS: ..... 125

3.4.1.4.2. EQUIPOS, MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDIDA: ..... 126

3.4.1.4.3. PROCEDIMIENTO: ..... 126

3.4.1.5. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DUREZA BRINELL ..... 131

3.4.1.5.1. OBJETIVOS: ..... 131

3.4.1.5.2. EQUIPOS, MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDIDA: ..... 131

3.4.1.5.3. PROCEDIMIENTO: ..... 132

3.5. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS ..... 137

3.5.1. ANÁLISIS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA: ..... 137

3.5.1.1. ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ELEMENTOS MUESTRALES DE MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA: ..... 137

3.5.2. ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DE LAS PROBETAS DE MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA: ..... 140

3.5.3. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LOS ELEMENTOS MUESTRALES DE MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS. .... 142

3.5.4. ANÁLISIS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO: .. 147

3.5.4.1. ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ELEMENTOS MUESTRALES DE MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO: ..... 147

3.5.4.2. ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS INICIALES Y FINALES DE LAS PROBETAS DE MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS PARA DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN: ..... 149



3.5.4.3. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LAS  
PROBETAS DE MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS: .....152

3.5.5. ANÁLISIS DEL ENSAYO DE DUREZA BRINELL: .....154

3.5.5.1. ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ELEMENTOS  
MUESTRALES DE MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS PARA EL  
ENSAYO DE DUREZA BRINELL: ..... 154

3.5.5.2. ANÁLISIS DE LA FUERZA APLICADA EN LOS ELEMENTOS  
MUESTRALES DE MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS PARA EL  
ENSAYO DE DUREZA BRINELL .....156

3.5.5.3. ANÁLISIS DE LA DUREZA BRINELL DE LOS ELEMENTOS  
MUESTRALES DE MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS: .....158

**CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....161**

4.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICO MECÁNICOS .....161

4.1.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA161

4.1.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN  
PARALELA ..... 164

4.1.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA BRINELL .167

4.1.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA RELACIÓN ENTRE LA  
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y LA DUREZA BRINELL. .... 171

4.1.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA RELACIÓN ENTRE LA  
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN173

4.1.6. RESUMEN DE LOS ANÁLISIS DE RESULTADOS ..... 175

**CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....177**

DISCUSIÓN .....177

GLOSARIO .....182

GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS..... 182

CONCLUSIONES .....188

RECOMENDACIONES .....194

REFERENCIAS.....197

PAGINAS WEB .....200

ANEXOS .....202





**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla Nº 01: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....12

Tabla Nº 02: CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA IDEAL .....23

Tabla Nº 03: CLASIFICACIÓN DE LOS BOSQUES EXISTENTES EN EL PERÚ.....26

Tabla Nº 04: PRODUCCIÓN DE ESPECIES POR DEPARTAMENTOS .....27

Tabla Nº 05: ESTRUCTURA MICROSCÓPICA DE LA MADERA .....34

Tabla Nº 06: DENSIDAD BÁSICA .....54

Tabla Nº 07: MÓDULO DE ELASTICIDAD .....54

Tabla Nº 08: ESFUERZOS ADMISIBLES .....55

Tabla Nº 09: ELEMENTOS MUESTRALES PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA .....91

Tabla Nº 10: ELEMENTOS MUESTRALES PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO .....92

Tabla Nº 11: ELEMENTOS MUESTRALES PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL .....93

Tabla Nº 12: RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL .....95

Tabla Nº 13: RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECOS .....96

Tabla Nº 14: RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CON CONTENIDO DE HUMEDAD MOJADOS –SECOS.....97

Tabla Nº 15: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA .....98

Tabla Nº 16: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (C.H.NATURAL) .....99

Tabla Nº 17: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (C.H. SECOS) .....100

Tabla Nº 18: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (C.H. MOJADOS - SECOS) .....101

Tabla Nº 19: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO .....102

Tabla Nº 20: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO (C.H. NATURAL) .....103

Tabla Nº 21: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO (C.H.SECOS) .....104

Tabla Nº 22: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO (C.H. MOJADOS -SECOS) .....105

Tabla Nº 23: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL .....106

Tabla Nº 24: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL (C.H. NATURAL) .....107



Tabla N° 25: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL (C.H. SECOS) .....108

Tabla N° 26: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL (C.H. MOJADOS - SECOS) .....109

Tabla N° 27: CODIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS MUESTRALES .....115

Tabla N° 28: CONTENIDO DE HUMEDAD DE PROBETAS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA .....138

Tabla N° 29: CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS MADERAS DE EUCALIPTO GLOBULUS SOMETIDAS AL ENSAYO DE FLEXIÓN.....140

Tabla N° 30: FUERZA APLICADA A LA PROBETA DE FLEXIÓN .....142

Tabla N° 31: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN .....145

Tabla N° 32: CONTENIDO DE HUMEDAD DE PROBETAS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO.....147

Tabla N° 33: ELONGACIÓN Y VARIACIÓN DE DIMENSIONES EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO .....150

Tabla N° 34: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.....152

Tabla N° 35: CONTENIDO DE HUMEDAD DE PROBETAS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL .....154

Tabla N° 36: FUERZA DEL ENSAYO DE DUREZA BRINELL.....156

Tabla N° 37: DUREZA BRINELL.....159

Tabla N° 38: RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE CADA PROBETA DE EUCALIPTO GLOBULUS A DIFERENTES HUMEDADES. ....161

Tabla N° 39: RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE CADA PROBETA DE EUCALIPTO GLOBULUS A DIFERENTES HUMEDADES. ....164

Tabla N° 40: RESULTADOS DE LA DUREZA BRINELL DE CADA PROBETA DE EUCALIPTO GLOBULUS A DIFERENTES HUMEDADES. ....167

Tabla N° 41: RESULTADOS DE LA RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y LA DUREZA BRINELL, DE CADA PROBETA DE EUCALIPTO GLOBULUS A DIFERENTES HUMEDADES .171

Tabla N° 42: RESULTADOS DE LA RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE CADA PROBETA DE EUCALIPTO GLOBULUS A DIFERENTES HUMEDADES.....173

Tabla N° 43: RESULTADOS FINALES DE LOS ENSAYOS PRACTICADOS A CADA PROBETA DE EUCALIPTO GLOBULUS A DIFERENTES HUMEDADES.....175

Tabla N° 44: MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA CADA PROBETA CON DIFERENTE CONTENIDO DE HUMEDAD .....179

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura N° 01: DISTRIBUCIÓN DE LOS BOSQUES NATURALES EN LAS GRANDES REGIONES DEL PERÚ .....	21
Figura N° 02: PARTES DEL TRONCO .....	30
Figura N° 03: ESTRUCTURA ANATÓMICA DE LAS MADERAS .....	32
Figura N° 04: CORTE A-A TRANSVERSAL DE LA FIBRA .....	35
Figura N° 05: CORTE B-B DE LA FIBRA .....	36
Figura N° 06: MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DEL NUDO .....	38
Figura N° 07: MEDICIÓN DE GRIETAS. ....	39
Figura N° 08: MEDICIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LA FIBRA.....	39
Figura N° 09: MEDICIÓN DE BOLSILLO DE CORTEZA Y/O RESINA EN LA ZONA CENTRAL DE LA PIEZA. ....	40
Figura N° 10: FORMA Y MEDICIÓN DE UNA ACEBOLLADURA. ....	41
Figura N° 11: ACANALADURA, ALABEO DE LAS CARAS EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSAL. SE CONOCE TAMBIÉN COMO “ABARQUILLADO” (EN LA IMAGEN SE MUESTRA LA MEDICIÓN DE LA ACANALADURA).....	41
Figura N° 12: MEDICIÓN DE MÉDULA. ....	42
Figura N° 13: MEDICIÓN DE LA ARISTA FALTANTE O CANTO MUERTO. ....	42
Figura N° 14: PUNTO DE SATURACIÓN DE LA FIBRA .....	45
Figura N° 15: CAMBIOS DIMENSIONALES POR EL CONTENIDO DE HUMEDAD .....	46
Figura N° 16: CURVAS DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO DE LA MADERA .....	49
Figura N° 17: SECADO NATURAL DE LA MADERA .....	51
Figura N° 18: SECCIONES DE UNA PIEZA DE MADERA.....	58
Figura N° 19: EJE TANGENCIAL EN UNA PIEZA DE MADERA. ....	58
Figura N° 20: EJE RADIAL EN UNA PIEZA DE MADERA. ....	59
Figura N° 21: EJE LONGITUDINAL EN UNA PIEZA DE MADERA. ....	59
Figura N° 22: CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN PARA MADERAS FATIGADAS .....	61
Figura N° 23: CURVA TÍPICA CARGA – DEFLEXIÓN PARA FLEXIÓN .....	62
Figura N° 24: DIFERENCIAS DE RESISTENCIA ENTRE LA MADERA VERDE Y LA MADERA SECA SEGÚN SU PESO ESPECÍFICO. ....	64
Figura N° 25: MÓDULO DE CORTE .....	66
Figura N° 26: LA LEY DE HOOKE .....	67
Figura N° 27: ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA EN PROBETA NORMALIZADA .....	69
Figura N° 28: ENSAYO DE FLEXIÓN A TRES PUNTOS .....	69



Figura N° 29: ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO  
EN PROBETA NORMALIZADA .....71

Figura N° 30: DIAGRAMA DE TENSIÓN-DEFORMACIÓN .....72

Figura N° 31: CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN .....75

Figura N° 32: SUPERFICIE - IDENTACIÓN .....76

Figura N° 33: IMPRESIÓN DEL CASQUETE .....77

Figura N° 34: CARACTERIZACIÓN - DEPRESIÓN .....78

Figura N° 35: PROBETA NORMALIZADA – ENSAYO FLEXIÓN  
ESTÁTICA .....90

Figura N° 36: PROBETA NORMALIZADA –ENSAYO TRACCIÓN  
PARALELA AL GRANO .....92

Figura N° 37: PROBETA NORMALIZADA –ENSAYO DE DUREZA  
BRINELL.....93

Figura N° 38: ESPÉCIMEN O TROZA DE MADERA DE  
EUCALIPTO GLOBULUS .....112

Figura N° 39: DIÁMETROS DE LA PROBETA .....113

Figura N° 40: TAMAÑOS ESPECÍFICOS DE LAS PROBETAS .....113

Figura N° 41: PROCESO DE SATURACIÓN DE LAS PROBETAS  
DE MADERA .....117

Figura N° 42: MEDICIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD .....118

Figura N° 43: PROBETAS NORMALIZADAS PARA EL ENSAYO  
DE FLEXIÓN ESTÁTICA .....120

Figura N° 44: PROBETAS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN  
ESTÁTICA EN PROCESO DE SATURACIÓN .....120

Figura N° 45: PROBETAS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN  
SECAS AL HORNO .....121

Figura N° 46: REGISTRO DEL PESO DE LA PROBETA .....121

Figura N° 47: DETERMINACIÓN ELECTRÓNICA DEL CONTENIDO  
NATURAL DE HUMEDAD DE LA PROBETA .....122

Figura N° 48: EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA .....123

Figura N° 49: APLICACIÓN DE LA FUERZA CONSTANTE .....124

Figura N° 50: DEFLEXIÓN PRODUCIDA EN LA PROBETA.....124

Figura N° 51: PROBETAS EN ESTADO ANHIDRO .....125

Figura N° 52: PROBETAS NORMALIZADAS PARA EL ENSAYO  
DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO .....126

Figura N° 53: COMPROBACIÓN DE LAS MEDIADAS DE LAS  
PROBETAS NORMALIZADAS PARA EL ENSAYO  
DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO .....127

Figura N° 54: PROBETAS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN EN  
PROCESO DE SATURACIÓN .....127

Figura N° 55: CONSERVACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD  
DE LAS PROBETAS DE MADERA DE EUCALIPTO  
GLOBULUS .....128



Figura N° 56: DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD MEDIANTE EL HIGRÓMETRO .....128

Figura N° 57: EQUIPO DE ENSAYO UNIVERSAL – ENSAYO DE TRACCIÓN .....129

Figura N° 58: ROTURA DE LA PROBETA AL ALCANZAR LA CARGA MÁXIMA .....130

Figura N° 59: MEDICIÓN DE LA ELONGACIÓN DE LA PROBETA. ....130

Figura N° 60: PROBETAS NORMALIZADAS DE MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL .....132

Figura N° 61: PROBETAS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL EN PROCESO DE SATURACIÓN .....133

Figura N° 62: MEDICIÓN ELECTRÓNICA DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD .....134

Figura N° 63: ENSAYO DE DUREZA BRINELL .....134

Figura N° 64: EQUIPO DE DUREZA BRINELL EN FUNCIONAMIENTO .....135

Figura N° 65: LA PROFUNDIDAD - H DEL CASQUETE IMPRESO. ....136

Figura N° 66: LECTURA DE LA IDENTACIÓN MEDIANTE EL MICROSCOPIO .....136

Figura N° 67: PROBETAS ENSAYADAS SECADAS EN EL HORNO ELÉCTRICO .....137

Figura N° 68: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (MPa) Y CONTENIDO DE HUMEDAD (%W) .....163

Figura N° 69: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y CONTENIDO DE HUMEDAD .....166

Figura N° 70: DUREZA BRINELL Y CONTENIDO DE HUMEDAD .....169

Figura N° 71: DUREZA BRINELL .....170

Figura N° 72: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y DUREZA BRINELL .....172

Figura N° 73: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y RESISTENCIA A LA FLEXIÓN .....174

Figura N° 74: RESULTADOS DE CADA ENSAYO PRACTICADO A CADA PROBETA DE EUCALIPTO GLOBULUS A DIFERENTES HUMEDADES. ....176

Figura N° 75: CURVA DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA DE LA MADERA VS CONTENIDO DE HUMEDAD. ....188

Figura N° 76: CURVA DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LA MADERA VS CONTENIDO DE HUMEDAD 189

Figura N° 77: CURVA DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LA MADERA VS CONTENIDO DE HUMEDAD.....190

Figura N° 78: CURVA DE RESULTADOS DE DUREZA BRINELL DE LA MADERA VS CONTENIDO DE HUMEDAD. ....191



Figura N° 79: CURVA DE RESULTADOS DE DUREZA BRINELL VS  
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LA MADERA .....192

Figura N° 80: CURVA DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA  
FLEXIÓN DE LA MADERA VS RESISTENCIA A LA  
TRACCIÓN .....193



## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

##### **1.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

El árbol de Eucalipto Globulus es un material existente en la zona. En la actualidad se encuentran distribuidos por gran parte de la Región del Cusco. Por lo que es indispensable poder conocer las características Físico - Mecánicas de este material.

En el Perú existen variadas especies maderables, pero se carece de conocimiento técnico en cuanto a sus propiedades mecánicas, por ello se desconocen las fortalezas y debilidades que puedan poseer, lo cual limita su aplicación en los diferentes usos que se le pueda conceder en la rama de la construcción.

Por otro lado, en la región de Cusco existe demanda en el mercado de la industria de la construcción es así que la madera de Eucalipto Globulus se viene utilizando de diferentes formas tales como: en el uso de puntales en mineras, pies derechos, rollizos para encofrados, postes de alumbrado y en la construcción de viviendas de adobe, etc. Para lo cual se plantea el siguiente proyecto de tesis, concerniente a investigar las propiedades físico-mecánicas de la madera de Eucalipto Globulus, de la provincia de Acomayo.



## **1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA**

### **1.1.2.1. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la relación que guarda la resistencia de la madera con el contenido de humedad para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión usando madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo?

### **1.1.2.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

Problema Específico N°1: ¿Cuál es la relación resultante entre el contenido de humedad de la madera y la resistencia a la flexión para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión usando madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo?

Problema Específico N°2: ¿Cuál es la relación resultante entre el contenido de humedad de la madera y la resistencia a la tracción para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión usando madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo?

Problema Específico N°3: ¿Cuál es la relación resultante entre el contenido de humedad de la madera y la dureza Brinell para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión usando madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo?

Problema Específico N° 4- ¿Cuál es la relación que exista entre la dureza Brinell y la Resistencia a la Flexión de la madera para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión usando madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo?

Problema Específico N° 5: ¿Cuál es la relación que exista entre la Resistencia a la Tracción y la Resistencia a la Flexión de la madera para la aplicación en





elementos sometidos a esfuerzos de flexión usando madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo?

## **1.2 Justificación e Importancia de la investigación**

### **1.2.1. Justificación Técnica**

Teniendo en cuenta la demanda de construcción en zonas rurales de la Región del Cusco, se puede evidenciar que existen fallas debido a la falta de control en el proceso de construcción donde priman los errores por falta de conocimiento técnico, propios del sistema de construcción espontánea.

La construcción en adobe se establece como un conjunto de circunstancias que además de ser técnico, constituye esencialmente un problema social (abarca casi la totalidad de las construcciones rurales y buena parte de las construcciones urbanas) por lo tanto merece toda la consideración de parte de los profesionales relacionados en la construcción de viviendas.

Pues bien, luego de diferentes análisis y estudios realizados se puede deducir que una de las partes fundamentales en la construcción de viviendas de adobe son “los elementos sometidos a esfuerzos de flexión”, primordiales para cualquier construcción, ya que los principales elementos estructurales están sometidos a estos esfuerzos.

A lo largo de la historia, existen diversos elementos sometidos a esfuerzos de flexión que se han realizado de diversos materiales; el más idóneo de los materiales tradicionales ha sido la madera, puesto que puede soportar grandes esfuerzos de tracción, lo que no sucede con otros materiales tradicionales pétreos y cerámicos, como el ladrillo.



### 1.2.2. Justificación Social

En medida que la las propiedades y características de resistencia, de la madera de Eucalipto Globulus sean más conocidas, como beneficiarios primarios sería la población en general, quienes contarán con una guía de estudio e investigación sobre una de las especies maderables más abundantes de la Región del Cusco; por otro lado también serán beneficiarios de ésta tesis, los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del Cusco, los cuales tendrán la oportunidad de conocer acerca de los estudios realizados, en el Análisis de la resistencia en relación con los contenidos de humedad de la madera de Eucalipto Globulus.

#### 1.2.2.1. Justificación Social Aplicativa

- a. Las vigas de madera son elementos estructurales sometidos a flexión, guardan una separación grande entre sí y no las une una cubierta, para distribuir la carga; y así mismo las viguetas de madera también son elementos sometidos a flexión, con separaciones cortas entre si y que comparten la carga trabajando como un diafragma. Estos elementos deben cumplir las solicitudes requeridas por la edificación siguiendo normativas establecidas.

Las estructuras de madera, deben diseñarse para soportar la real aplicación de las cargas provenientes de:

- Peso propio y otras cargas permanentes o cargas muertas, considerando un estimado apropiado de la densidad del material e incluyendo las cargas provenientes de otros componentes de la edificación, estructural o no.
- Sobrecargas de Servicio o cargas vivas, es decir, todas aquellas cargas que no forman parte del peso propio de la edificación pero que la estructura está destinada a resistir.



- Sobrecargas de sismos, vientos nieve y temperatura, estas deben considerarse de acuerdo a los reglamentos y códigos vigentes en la zona de ubicación de la construcción.
- b. Por carencia de conocimiento y exceso de confianza; se realizan construcciones de edificaciones, con elementos estructurales de madera como vigas y viguetas, con contenidos de humedad elevados (no recomendables), los cuales presentan comportamientos atípicos de flexión estática, así también se harán presente las deformaciones ya que la madera es susceptible a los cambios dimensionales por diferentes factores como contenido de humedad y temperatura.

La alteración de las propiedades de las maderas tanto físicas como mecánicas, están intrínsecamente ligadas con los porcentajes contenido de humedad de la madera.

- Peso de la madera: al realizar el secado de la madera, se elimina gran parte de su humedad y por lo tanto se reduce su peso. Esta reducción, en términos generales, varía desde un 25 hasta un 50% con respecto a su peso inicial.
- Estabilidad dimensional: siempre y cuando se seque la madera a un contenido de humedad igual o muy próxima al que obtendría en servicio (contenido de humedad de equilibrio), esta no sufrirá cambios apreciables en su forma y dimensiones.
- Resistencia mecánica: a medida que la humedad de la madera es removida, sus propiedades mecánicas permanecen prácticamente constantes hasta tanto el agua libre haya sido eliminada.

El contenido de humedad de equilibrio (CHE), es el estado en el cual la humedad de la madera se equilibra con las condiciones ambientales, y que está influenciado por los cambios de humedad relativa (HR) y temperatura (T) del aire circundante.



El valor del contenido de humedad seco (CHS) es generalmente el 12% considerado como el valor óptimo que define la madera seca al aire. La madera con un contenido de humedad del 12% o menor, se volverá aproximadamente un 33% más resistente que la madera verde.

Sin embargo, para ser utilizada como material de construcción, y específicamente con fines estructurales, el contenido de humedad debe ser inferior al 15%.

El punto de saturación de la fibra (PSF) se puede considerar igual al 30% de contenido de humedad. Bajo este punto la resistencia mecánica de la madera aumenta progresiva y significativamente.

### **1.2.3. Justificación por Viabilidad**

El árbol de Eucalipto es muy abundante en la zona del Cusco, ésta es utilizada en su gran mayoría por la gente como material de combustión (leña).

Teniendo una gran cantidad de estos árboles, lo que se propone en esta tesis es utilizar la madera de Eucalipto como un elemento estructural en vigas para la construcción de viviendas de adobe. Ayudando así a disminuir el costo que puede significar comprar otro tipo de madera, así también dar a conocer a las personas ligadas a la construcción, que la madera de Eucalipto tiene un buen uso estructural.

### **1.2.4. Justificación por Relevancia**

El estudio de esta tesis se basa en analizar la resistencia en relación al contenido de humedad para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión usando madera Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo.



Al finalizar el estudio de esta tesis se llegará a una recomendación adecuada y segura, así como poder despejar dudas y contrastar nuestras hipótesis y sub hipótesis planteadas en un inicio.

Se conocerá los esfuerzos máximos y mínimos que resistirá la madera Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo a diferentes contenidos de humedad y así poder darle el uso estructural deseado.

### **1.3 Limitaciones de la Investigación**

#### **1.3.1. Limitaciones de Lugar:**

Los resultados obtenidos en esta investigación son aplicables en la Región del Cusco, debido a que la madera en estudio, es de la Provincia de Acomayo.

#### **1.3.2. Limitaciones de Materiales:**

Las probetas estudiadas tendrán porcentajes de humedad natural, así también porcentajes de humedad obtenidas mediante convección forzada.

#### **1.3.3. Limitaciones de Ensayos:**

Esta tesis se limita al estudio del contenido de humedad de la madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo respecto a los ensayos de flexión estática, tracción paralela al grano y dureza Brinell.

#### **1.3.4. Limitaciones de Información:**

Existen pocos estudios realizados en madera de Eucalipto en nuestro país.



## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la relación que guarda la resistencia de la madera con el contenido de humedad para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión usando madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo.

### 1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo Específico N° 1: Analizar la relación resultante entre el contenido de humedad de la madera y la resistencia a la flexión para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión usando madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo.

Objetivo Específico N° 2: Analizar la relación resultante entre el contenido de humedad de la madera y la resistencia a la tracción para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión usando madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo.

Objetivo Específico N° 3: Analizar la relación resultante entre el contenido de humedad de la madera y la dureza Brinell para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión usando madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo

Objetivo Específico N° 4- Evaluar la relación que exista entre la dureza Brinell y la Resistencia a la Flexión de la madera para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión usando madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo.

Objetivo Específico N° 5: Evaluar la relación que exista entre la Resistencia a la Tracción y la Resistencia a la Flexión de la madera para la



aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión usando madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo.

## **1.5 HIPÓTESIS**

### **1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo, cuanto menor contenido de humedad presente, tendrá una mejor resistencia para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión.

### **1.5.2. SUB HIPÓTESIS**

SH1- La madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo, cuanto menor sea el contenido de humedad, tendrá una mayor resistencia a la flexión para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión.

SH2- La madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo, cuanto menor sea el contenido de humedad tendrá una mayor resistencia a la tracción para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión.

SH3- La madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo cuanto menor sea el contenido de humedad, tendrá una mayor dureza Brinell para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión.

SH4- La dureza Brinell de la madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo, tendrá relación directa con la Resistencia a la Flexión para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión.

SH5- La Resistencia a la Tracción de la madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo, guardara una relación inversa con la Resistencia a la



Flexión de la misma para la aplicación en elementos sometidos a esfuerzos de flexión.

## **1.6 VARIABLES E INDICADORES**

### **1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES**

X1. Contenido de Humedad Madera de Eucalipto Globulus: Cantidad de agua que contiene la madera de Eucalipto, expresada como porcentaje del peso anhidro de la pieza de madera.

#### **1.6.1.1. INDICADORES DE VARIABLES INDEPENDIENTES**

(Para X1): Porcentaje de humedad de la madera de Eucalipto Globulus

### **1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES**

Y1: Resistencia a la Flexión de la madera de Eucalipto Globulus: Medida de la resistencia de un elemento o miembro estructural a las fuerzas flectoras.

Y2: Resistencia a la Tracción de la madera de Eucalipto Globulus : Máximo esfuerzo de tracción que un cuerpo puede soportar antes de romperse

Y3: Dureza Brinell de la madera de Eucalipto Globulus: Es una característica que depende de la cohesión de las fibras y de su estructura celular interna, propiedad de resistencia que presenta la a ser penetrada por otro cuerpo.

#### **INDICADORES DE VARIABLES DEPENDIENTES**

(Para Y1): Fuerza y área resistente a la Flexión





(Para Y2): Fuerza y área resistente a la Tracción

Para Y3): Fuerza y área resistente a la Dureza Brinell



## 1.6.3. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TABLA N° 01: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

DENOMINACIÓN DE INDICADORES	DEFINICIÓN DE LA VARIABLE	VARIABLES	NIVEL	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
Humedad de la madera de Eucalipto Globulus	Madera que tiene la superficie o el interior ligeramente impregnado de agua u otro liquido	Contenido de humedad	Saturado Natural Seco	Porcentaje de Humedad	Porcentaje (%CH)	Fichas de observación para contenido de humedad
Resistencia de la madera de Eucalipto Globulus	Se refiere a la capacidad de resistencia que tiene la madera de Eucalipto Globulus	Resistencia a la Flexión	Saturado Natural Seco	Fuerza y área resistente a la Flexión	Kilogramo/centímetro cuadrado (kg/cm <sup>2</sup> )	Fichas de observación para resistencia a la flexión
		Resistencia a la Tracción	Saturado Natural Seco	Fuerza y área resistente a la Tracción	Kilogramo/centímetro cuadrado (kg/cm <sup>2</sup> )	Fichas de observación para resistencia a la tracción
Dureza de la madera de Eucalipto Globulus	Es una característica que depende de la cohesión de las fibras y de su estructura celular interna	Dureza Brinell	Saturado Natural Seco	Fuerza y área resistente a la Dureza Brinell	Newton/milímetro cuadrado (N/mm <sup>2</sup> )	Fichas de observación para dureza Brinell

Fuente: Propia



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS

#### 2.1.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS A NIVEL NACIONAL

- Autores** : Vicente Tacuchi, Raúl Evaristo.
- Institución** : Universidad Nacional de Ingeniería (Lima) Facultad de Ingeniería Civil
- Nivel** : Pre-grado
- Año** : 2007
- Título** : “Estudio de la madera eucalipto Saligna para uso estructural y su influencia a nivel local y regional”
- Resumen** : Los objetivos de la presente tesis son: determinar las propiedades estructurales de la especie maderable Eucalipto Saligna, para su incorporación como madera de uso estructural, incentivar la alternativa de construcción con madera de tipo estructural que se produce en las diversas regiones de nuestro país, evaluar los beneficios que se pueden obtener tanto en el orden económico, como los beneficios sociales, que se deriven del uso de esta madera y de sus plantaciones de ampliar los conocimientos sobre las similitudes y diferencias que puedan existir entre distintos tipos de ensayos. Nos centraremos en analizar la relación entre ensayos de dureza a penetración constante y ensayos de dureza a fuerza constante. También se analizará la influencia de la densidad sobre el valor de dureza, y su variación entre los diferentes grupos taxonómicos.
- Conclusión** : Esta investigación se basa en el estudio estructural de la madera de Eucalipto Saligna y otros grupos taxonómicos mediante ensayos de dureza.

**2.1.2. ANTECEDENTES DE LA TESIS A NIVEL INTERNACIONAL**

Autores : Calle Grande, José Carlos de la

Institución : Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias

Nivel : Post-grado

Año : 2013

Título : “Análisis comparativo de diferentes métodos para la determinación de dureza en maderas”

Resumen : Dentro de las numerosas propiedades físico-mecánicas de la madera, la dureza ha sido una de las que ha sido objeto de un menor número de estudios. Los valores de dureza que se pueden consultar en diferentes bibliografías presentan grandes diferencias entre sí. Esto se debe por una parte a la heterogeneidad de la madera como material, pero por otro lado a la diferencia existente entre los distintos tipos de ensayos y su baja fiabilidad a la hora de comparar valores correspondientes a distintos rangos de magnitudes.

Conclusión : Este estudio analiza los diferentes valores de dureza para un determinado tipo de madera. Analiza la dureza Brinell, Dureza Vickers y Rockwell.

Autores : Montoya Arango, Jorge Augusto; González B.

Héctor Álvaro; Bedoya Sánchez, José Rubiel

Institución : Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Básicas.

Nivel : Artículo de Revista

Año : 2007



- Título : “Dureza Brinell y la influencia de la humedad relativa del ambiente, de la edad y la altura a lo largo del tramo en la especie de bambú”
- Resumen : En esta publicación se presentan las pruebas de Dureza Brinell con fines investigativos, para muestras experimentales de la especie “Guadua angustifolia”; siguiendo la Norma Internacional DIN EN 1534 (2004). La información se presenta aplicando el programa estadístico SPSS - 10. La Dureza Brinell varía con la humedad del ambiente y su contenido de humedad. A menor humedad relativa (65%/20°C), el contenido de humedad del material también es menor ~10% y la Dureza Brinell mayor, este valor se encuentra entre 40,0 a 45,0 N/mm<sup>2</sup> para la cara exterior del diámetro.
- Conclusión : En la investigación se estudia la dureza Brinell del Bambú a una humedad relativa y de diferentes edades, así como dimensiones.
- Autores : Hermoso Prieto, Eva
- Institución : E.T.S.I. Montes (UPM), Ingeniería Forestal
- Nivel : Tesis doctoral
- Año : 2001
- Título : “Caracterización mecánica de la madera estructural de Pinus Sylvestris L”
- Resumen : En el presente trabajo se recoge el proceso de caracterización mecánica para la madera aserrada de pino silvestre de tamaño estructural de distintas procedencias y varias dimensiones.



Conclusión : la investigación presenta las características mecánicas de la madera Pino variando las dimensiones de esta y verifica la influencia que se obtendrán.

Autores : *Piter, Juan Carlos Jesús*

Institución : Universidad nacional de la plata Facultad de Ingeniería  
Departamento de Construcciones

Nivel : Tesis doctoral

Año : 2003

Título : “Clasificación por resistencia de la madera aserrada como material estructural. desarrollo de un método para el Eucalyptus Grandis de Argentina”

Resumen : Esta tesis persigue dos objetivos principales:

1) diseñar un método de clasificación visual por resistencia para la madera aserrada de Eucalyptus Grandis cultivado en Argentina, y proponer su inserción en el sistema internacional de clases resistentes establecido en las normas europeas,

2) desarrollar modelos para una clasificación mecánica por resistencia de la madera considerada, en el marco del sistema internacional citado precedentemente. Para alcanzar estos objetivos, se diseñó una investigación empírica sobre cuatro muestras de vigas y una de tablas sometidas a flexión, una muestra de tablas ensayada a tracción paralela a las fibras y una con cuerpos de prueba sometidos a compresión.

Conclusión : La investigación analiza el comportamiento resistente de la madera de Eucalipto Grandis en el uso estructural en vigas mediante ensayos de flexión y tracción paralela.



- Autores : Martínez Escobar Jorge E.; Siza Simbaña Juan Carlos
- Institución : Universidad de Salamanca España, Ingeniería Civil
- Nivel : Pre-grado
- Año : 2009
- Título : “Propiedades físico-mecánicas del eucalipto y aplicación al diseño estructural de una vivienda parte de una granja integral, ubicada en el IASA”
- Resumen : En la actualidad, la construcción de obras civiles ha tomado nuevas vías en lo referente a procesos constructivos y materiales a ser utilizados, por el alza de los costos en los materiales de construcción convencional. Uno de estos caminos ha sido la construcción de estructuras con madera por su facilidad de construcción y rapidez de ejecución. En nuestro país se ha podido observar este fenómeno hace muchos años, especialmente en zonas rurales, aunque ahora se extiende además a las zonas urbanas. Por esto y por otras razones el presente proyecto coloca al Eucalipto Globulus como una alternativa para elementos estructurales, por sus características físicas y mecánicas que serán detalladas con mayor amplitud. (Arias Santillán , Martínez Escobar, & Siza Simbaña, Propiedades físico-mecánicas del Eucalipto Globulus y aplicación al diseño estructural de una vivienda parte de una granja integral, ubicada en el IASA 1.
- Conclusión : La tesis se basa en el estudio de las características físicas y mecánicas de la madera de eucalipto y la aplica en una estructura de una cercha de madera para una granja.



## **2.2. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES**

Según (PAD-REFORT, 1980):

### **2.2.1. GENERALIDADES DE LA MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS**

#### **2.2.1.1. MADERA EUCALIPTO GLOBULUS**

Árbol de elevada talla, llega a alcanzar los 70 m de altura y los 2 m de diámetro en nuestro país, aunque normalmente supera los 50 m de altura y los 1,50 m de diámetro medido a 1,30 m de altura sobre el suelo (denominada "altura normal" o "altura del pecho"). Estas enormes dimensiones se alcanzan en árboles de avanzada edad, aislados o en alineaciones, pero nunca en cultivos forestales, pues en éstos se cortan para su aprovechamiento maderero cuando aún tienen dimensiones bastantes menores.

Se caracteriza y reconoce fácilmente por su corteza, que se desprende en tiras que, tras permanecer colgado del árbol durante cierto tiempo, acaban por caer al suelo tras las ventoleras, dejando ver al exterior una nueva corteza de color blanco-plateado o azulado-pruinoso.

#### **2.2.1.2. ORIGEN DEL EUCALIPTO GLOBULUS**

##### **2.2.1.2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES**

###### **2.2.1.2.1.1. CLASIFICACIÓN SISTEMÁTICA:**

El género *Eucalyptus*, que agrupa en torno a las 600 especies, pertenece a la familia Myrtaceae, subfamilia Leptospermoidae.

El *Eucalyptus Globulus* de la Provincia de Acomayo, es la especie que se estudia en esta investigación. En la Región del Cusco se cuenta con esta especie, por su espectacular adaptación a las circunstancias ambientales de este territorio pronto se convirtió en un cultivo forestal de gran éxito y utilidad.





#### **2.2.1.2.1.2. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS**

Cada eucalipto glóbulos de nuestra Región del Cusco se distingue por sus características generales y dimensiones.

##### **A. PORTE**

El porte del Eucalipto Globulus de la Región del Cusco es muy variable, existiendo Eucalipto Globulus de porte arbóreo y otros de porte arbustivo. El tronco de los Eucalipto Globulus arbóreos puede ser recto o flexuoso, alcanzando diámetros diferentes de acuerdo a su edad. El sistema radical es fuerte y bien desarrollado, con predominio de la red superficial. Muchas especies presentan una cepa fuertemente engrosada, formando un tubérculo leñoso de gran importancia en la regeneración y como reserva de nutrientes.

La corteza del tronco adulto, es un elemento importante de identificación. Puede ser persistente o caduca, y de diverso color, textura, grosor y constitución. La forma de la copa depende de las condiciones ambientales en que se encuentren los ejemplares, aunque, en general, es poco densa, con predominio de las ramas erectas.

##### **B. HOJAS**

Las hojas de los árboles en nuestra Región son opuestas, más o menos pares y sentadas, con más frecuencia pecioladas, incluso abrazadoras o trabadas, y con el limbo perpendicular al plano definido por el tallo y su nervio medio. Su coloración suele diferenciarse de las hojas adultas debido a recubrimientos glauco-céreos o distinta coloración. Su consistencia es más tenue.

Las hojas adultas presentan gran variabilidad, aunque generalmente son alternas, pecioladas, falciformes, de bordes enteros, péndulas, con limbos en planos verticales, sin diferenciación entre el haz y el envés, más o menos coriáceas y de recubrimiento y coloración muy variable. Las hojas suelen contener gran cantidad de cámaras con aceites característicos.



### **C. FLORES**

El género *Eucalyptus Globulus* de nuestra zona de estudio, se caracteriza por la falta de diferenciación de cáliz y corola, estando sus piezas soldadas y formando un receptáculo con opérculo caedizo en la floración. A la protección que el opérculo presta a las piezas sexuales hace alusión el nombre del género, que significa "bien cubierto". La caída del opérculo permite la expansión de los estambres que, inicialmente, se encuentran doblados hacia adentro. Las flores aparecen generalmente en racimos o cimas umbeliformes axilares, rara vez aisladas o en pequeños grupos.

### **D. FRUTO**

El fruto, por fin, es también muy variable tanto en forma y tamaño de la cápsula, como en la forma de abrirse, posición de las valvas y del disco circundante, etc...

La producción de semillas es abundante, tanto fértiles como abortadas. Las primeras suelen ser poliédricas, más gruesas y de diferente coloración, aunque a veces adquieren formas redondeadas o aladas. Suelen ser de tamaño pequeño.

#### **2.2.1.2.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS BOSQUES EN LAS REGIONES NATURALES DEL PERÚ**

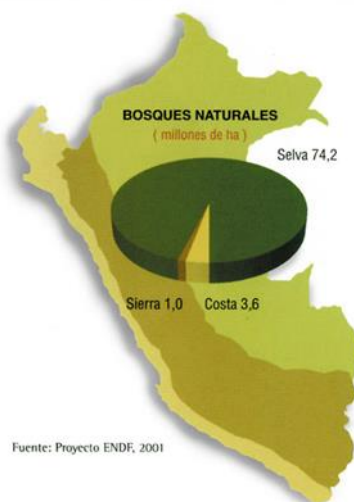
Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en el 2004 el Perú poseía 78.8 millones de ha de bosques naturales, de los cuales 74.2 millones se encuentran en la región de la selva, 3.6 millones en la costa y 1.0 millón en la sierra. Además, el área susceptible de aprovechamiento con fines productivos es de 28.3 millones de ha ; sin embargo, hasta el momento se afirma que ya se han perdido más de ocho millones de hectáreas de bosques, principalmente debido a la actividad agropecuaria (contrariamente a lo que creen muchas personas), la cual es la extracción de la madera, con el consiguiente grave perjuicio a la integridad de

los ecosistemas y la irreparable pérdida de especies de flora y fauna, muchas de ellas endémicas (la más perjudicada es la zona de la Amazonía).

El Perú cuenta en la actualidad con 536,530 hectáreas de Eucalipto Globulus, pero no están distribuidas para su explotación bosque – fábrica. Se estima que existe actualmente 150,000 ha de estas plantaciones que están en edad de explotación, de las cuales 51,000 ha se encuentran ubicadas en Cusco, en comparación con otros departamentos como Apurímac y Junín, que tienen 28 y 27 mil hectáreas, respectivamente según: (FAO) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)

La distribución de las plantaciones de Eucalipto Globulus en nuestro país, se puede apreciar tanto en la sierra y selva central donde se ubica la mayor concentración, es favorable para el proyecto. La figura N°1 muestra esta distribución, el cual está compuesto aproximadamente de 90% por Eucalyptus Globulus y lo restante por Eucalyptus Camaldulensis y Eucalyptus Viminalis.

FIGURA N° 01: DISTRIBUCIÓN DE LOS BOSQUES NATURALES EN LAS GRANDES REGIONES DEL PERÚ



Fuente: Proyecto ENDF (2001)



En la figura N° 01 podemos observar la distribución de los Bosques Naturales en las tres regiones naturales de nuestro país: Costa, Sierra y Selva. Con estas superficies de bosques el Perú, se ubica en el segundo en extensión de bosques naturales a nivel de Sudamérica y en el noveno lugar a nivel mundial.

### **2.2.1.3. ANTECEDENTES DEL EUCALIPTO GLOBULUS**

En el Perú, el Eucalipto Globulus (*Eucalyptus glóbulos*) se introdujo aproximadamente en 1860. Es en este año que se hicieron los primeros esfuerzos para establecer plantaciones con criterio planificado por parte del Estado, el cual otorgó asistencia técnica y crediticia a las comunidades campesinas de la región de la sierra; tal es así se encontraron las primeras plantaciones en los departamentos de Junín, Cusco, Cajamarca y Ancash.

Además, se estima que se cuenta con 150 000 hectáreas de plantaciones de Eucalipto Globulus.

### **2.2.1.4. USOS DEL EUCALIPTO**

El eucalipto tiene diversos usos. En el Perú, los más frecuentes son:

- En la industria del aserrío, principalmente en los departamentos antes mencionados.
- En la fabricación de carbón vegetal.
- Puntales.
- La producción de tablillas para la fabricación de cajones de frutas.
- La producción de postes.
- La producción de leña como combustible.
- Estructural:
  - Cubiertas planas: Son cubiertas de una o más aguas formadas por faldones o planos estas cubiertas pueden tener diversas formas estructurales.
  - Entrepisos: Cerramiento intermedio, que separa locales en diferentes niveles



- Conformados: (cerchas) Parte portante de una estructura que puede ser plano o curva

En el curso de los últimos 15 años, Perú ha emprendido un vigoroso programa de plantaciones de Eucalipto (*Globulus*, *Saligna*, *Camaldulensis* y *Viminalis*). En 1975, la superficie total plantada era de 92 882 ha. La finalidad de las plantaciones es producir madera industrial, además para las numerosas minas del Perú, para fines de construcción rural, leña, postes, etc.

Los suelos empleados para cultivos forestales son los más apropiados para este fin en la planificación nacional. Tienden a ser rocosos y ligeramente ácidos, deficientes en nitrógeno y en materia orgánica, con un bajo contenido de fósforo asimilable, pero un elevado contenido de potasio.

**2.2.1.5. VARIEDADES DE EUCALIPTO GLOBULUS:**

- *Eucalyptus* glóbulos subsp. *bicostata* (Maiden (1974).
- *Eucalyptus* *globulus* subsp. *Globulus*
- *Eucalyptus* *globulus* subsp. *maidenii* (F. Muell.) J.B. Kirkp. (1974).
- *Eucalyptus* *globulus* subsp. *pseudoglobulus* (Naudin ex Maiden) J.B. Kirkp. (1974).

Los requisitos de una buena planta de Eucalipto *Globulus* se describen en el cuadro adjunto.

**TABLA N° 2: CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA IDEAL**

Características de la planta ideal
El tamaño de la planta ideal, debe oscilar entre dimensiones óptimas establecidas, que es 15 a 20 cm de altura. No obstante, una planta puede ser apta si cumple los requisitos mencionados a continuación (según autor).
Las raíces no deben presentar enrollamientos ni deformaciones especialmente en la base del cepellón. El sistema radicular del cepellón no debe ser excesivamente denso, ni amarillento (indicaría un tiempo excesivo de permanencia en contenedor).



La disposición de las hojas en el tallo o la distancia internudos no debe ser menor de unos 2 cm. La presencia de muchos pares de hojas rojizo/marrón y muy juntos unos de otros, es síntoma de planta muy envejecida y excesivamente dura.

La planta debe presentar una sola guía principal no muy tierna ya que sería más sensible a daños tanto físicos (en transporte y manipulación) como de tipo fitosanitario.

El estado fitosanitario de la planta ha de ser controlado de forma rigurosa desechándose toda planta con daños en tallo, raíces o inserciones de las hojas al tallo bien sea por hongos o cualquier otro tipo de agente patógeno. En cualquier caso, ha de salir del vivero revisada y tratada preventivamente.

Fuente: Libro "El Eucalipto", Montoya Oliver J. Miguel

Según (Montoya Arango , González B. , & Bedoya Sánchez , 2007):

#### **2.2.1.6. ACLIMATACIÓN DEL EUCALIPTO GLOBULUS EN LA REGIÓN DEL CUSCO**

Prefiere los climas húmedos y sin heladas. Se ha implantado, erróneamente, en zonas de menores precipitaciones, en los que sufre fuertes ataques de *Phoracantha* cuando aparecen años de veranos muy secos.

Se presentan frecuentemente daños por heladas por debajo de unos  $-3^{\circ}\text{C}$  (especialmente si las heladas se producen cuando el árbol está brotando) y siempre si las temperaturas descienden de  $-5^{\circ}\text{C}$ . Si bajan de  $-6^{\circ}\text{C}$  a  $-8^{\circ}\text{C}$  es posible que el arbolado llegue incluso a morir, especialmente si son prolongados (no suele soportar más de 10 días de heladas por año). Si se producen en tiempo de sequía o en periodo de actividad vegetativa (heladas primaverales tardías). Son muy sensibles a las heladas las plantas más jóvenes. La resistencia a las heladas aumenta al alcanzar los dos o tres años de edad.



Puede soportar máximas estivales de hasta 40°C. Sus limitaciones térmicas estivales le obligan a una distribución más bien costera, en la que además disfruta de mejor humedad relativa en el aire.

#### **2.2.1.7. RECURSO FORESTAL**

Los bosques son el recurso natural renovable más importante del país tanto por su extensión como por su importancia económica. Con una superficie boscosa de cerca de 73 millones de ha (57% del territorio nacional) el país ocupa el 2° lugar en América del Sur.

Los bosques existentes en el país se pueden clasificar de varias maneras:

TABLA N° 3: CLASIFICACIÓN DE LOS BOSQUES EXISTENTES EN EL PERÚ

<b>POR SU ORIGEN</b>		
BOSQUES NATURALES	De origen natural. Cubren (72.8 millones de ha)	
BOSQUES CULTIVADOS	Sembrados o reforestados. Cubren unas (300.000 ha)	
<b>POR REGIONES NATURALES</b>		
COSTA	BOSQUES NATURALES	(1.87 millones de ha)
	BOSQUES CULTIVADOS	(12 mil ha)
SIERRA	BOSQUES NATURALES	(0.7 millones de ha)
	BOSQUES CULTIVADOS	(270 mil ha)
SELVA	BOSQUES NATURALES	(70.2 millones de ha)
	BOSQUES CULTIVADOS	(18 mil ha)
<b>POR LA COMPOSICIÓN DE ESPECIES</b>		
HETEROGÉNEOS	Con alta diversidad de especies por hectárea. Cubren 65.5 millones de ha. Son los bosques amazónicos en su mayor parte.	
HOMOGÉNEOS	Con una composición bastante uniforme de pocas especies. Cubren un total de 7.3 millones de ha. Pertenecen a este grupo los manglares (5000 ha), los bosques secos (1.1 millones de ha), quinales y quiswares. (30.000 ha), los bosques de romedillo (700.000 ha), y los aguajales (5.5 millones de ha)	
<b>POR SU APTITUD</b>		
APTOS	Aptos para la extracción de la madera, o sea, cuyas condiciones posibilitan las actividades forestales maderables cubren 39.3 millones de ha. No operables, o sea, donde las condiciones de pendiente y otras no favorecen las actividades forestales maderables. Cubren 26.2 millones de hectáreas. Estos bosques se ubican donde las actividades humanas (agricultura, ganadería, forestales) deben ser evitadas para no destruir otros recursos (cuencas, aguas, suelos)	

Fuente: OSINFOR – PERÚ



En la TABLA N° 4 que se muestra a continuación, podemos observar que, en el territorio peruano, existen diferentes variedades de tipos de maderas, las cuales tienen un gran potencial y excepcional adaptación a nuestros suelos.

TABLA N° 4: PRODUCCIÓN DE ESPECIES POR DEPARTAMENTOS

DEPARTAMENTO	TIPO DE MADERA
UCAYALI	Tornillo, Lupuma, Catahua, Cumala, Cedro, Caoba
SAN MARTIN	Tornillo, Higuera, Caoba, Sphingo
CUSCO	Tornillo, Cedro, Eucalipto, Yatapalo y Lupuma
AMAZONAS	Cedro Y Tornillo
ANCASH	Eucalipto Tornillo Y Pino
APURÍMAC	Eucalipto Y Pino
AYACUCHO	Tornillo, Diablo Fuerte Y Roble
CAJAMARCA	Eucalipto Y Pino
JUNÍN	Tornillo, Roble Corriente, Eucalipto Y Cedro

Fuente: OSINFOR – PERÚ

### 2.2.2. LA MADERA

La madera es notable por su belleza, posibilidades de uso, resistencia y durabilidad; posee alta relación resistencia-peso conserva sus ventajas aun a bajas temperaturas, tiene mínima conductibilidad eléctrica y térmica, tolera la acción de algunos productos químicos y, en relación a otros materiales, cuesta bastante menos por unidad de peso.

La madera se define como la sustancia vegetal más o menos dura, compacta y fibrosa que se extrae del tronco, ramas y raíces de las plantas leñosas. Es una agrupación de células de formas muy variadas de diferentes tamaños y características. Por lo tanto, la madera no es un material homogéneo, no tiene una estructura uniforme y debe cumplir en el árbol o vegetal vivo tres funciones: la conducción de la savia, el agua y sustancias disueltas, la transformación y almacenamiento de sustancias de reserva y el sostenimiento o resistencia mecánica del vegetal.



Los términos de suaves o blandas y duras no se aplican a la efectiva dureza de las mismas, ya que algunas maderas blandas como por ejemplo el Pino es más duro y denso que una madera dura como el Balso.

Las células que forman la madera son en su mayoría cilíndricas o prismáticas y alargadas en la dirección del eje del árbol y están constituidas por una pared celular que encierra una cavidad llamada lumen. (MEJIA , 2007)

*Según NORMA TÉCNICA PERUANA E. 010*

### 2.2.2.1. ESTRUCTURA DE LA MADERA

La madera es un material orgánico, natural y de estructura celular compleja que forma tronco, a las raíces y a las ramas de los árboles. Si se corta transversalmente un tronco se podrán observar inmediatamente debajo de la corteza, a los anillos anuales de crecimiento.

El tronco en un árbol maduro, la sección transversal del tronco presenta las siguientes partes:

- a) **Corteza exterior:** Qué es la cubierta que protege al árbol de los agentes atmosféricos, en especial de la insolación; está formada por un tejido floema que cuando muere forma esta capa.
- b) **Corteza interior:** Que es la capa que tiene por finalidad conducir que tiene por finalidad conducir el alimento elaborado en las hojas hacia las ramas, tronco y raíces, está constituido por el tejido flemático vivo, llamado también líber.
- c) **Cambium:** Que es el tejido que se encuentra entre la corteza interior y la madera. Las células del Cambium tienen la capacidad de dividirse y



conservan esa facultad hasta cuando el árbol muere. El cambium forma células de madera hacia el interior y floema o líber hacia el exterior.

- d) **La madera o Xilema:** Es la parte maderable o leñosa del tronco, se puede distinguir en ella la albura, el duramen y la médula.
  
- e) **La albura:** Es la parte exterior del xilema cuya función principal es la de conducir el agua y las sales minerales de las raíces a las hojas; es de color claro y de espesor variable según las especies. La albura es la parte activa del xilema.
  
- f) **El duramen:** Es la parte inactiva tiene como función proporcionar la resistencia para el soporte del árbol. Se forma cómo se describe a continuación. Con el tiempo la albura pierde agua y sustancias alimenticias almacenadas y se infiltra de sustancias orgánicas distintas, tales como aceites, resinas, gomas, taninos, sustancias aromáticas y colorantes. La infiltración de las sustancias modifica la consistencia de la madera que toma un color más oscuro y adquiere un mejor comportamiento frente al ataque de hongos e insectos, esto último distingue particularmente al duramen de la albura.
  
- g) **Médula:** Es la parte central de la sección del tronco y está constituida por tejido parenquimático.

#### 2.2.2.2. ESTRUCTURA ANATÓMICA

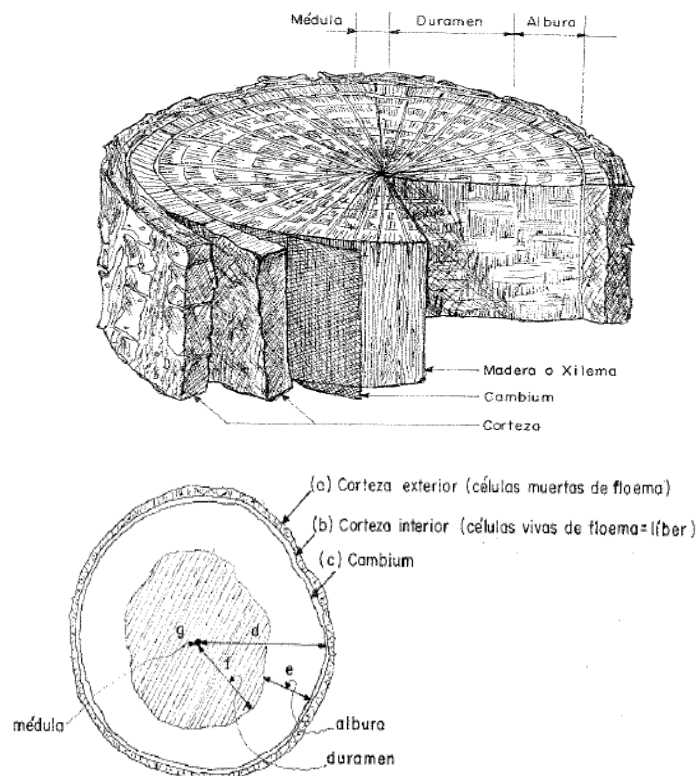
La parte maderable del árbol tiene tres funciones básicas que son las siguientes: conducción de agua, almacenamiento de sustancias de reserva y resistencia mecánica. Para cumplir con estas funciones en la madera se distinguen tres tipos de tejidos: Tejido vascular (de conducción), tejido parenquimático (de almacenamiento) y tejido fibroso (de resistencia). Se llaman

elementos prosenquimáticos todas aquellas células alargadas y de paredes engrosadas, principalmente relacionadas con la conducción y la resistencia mecánica; en cambio, se llaman elementos parenquimáticos aquellas células cortas y de paredes relativamente delgadas que tienen la función del almacenamiento y distribución de las sustancias de reserva.

Existen dos grandes sistemas de elementos xilemáticos. El sistema longitudinal, formado por elementos prosenquimáticos (elementos vasculares, fibras o traqueidas) y elementos parenquimáticos; y el sistema transversal, constituido principalmente por elementos parenquimáticos.

Según el grado de apreciación visual de los tejidos, podemos diferenciar el estudio de la estructura anatómica en tres niveles: macroscópico, microscópico y submicroscópico.

FIGURA N° 2: PARTES DEL TRONCO



Fuente: Junta del Acuerdo de Cartagena PADT REFORT



### 2.2.2.3. ESTRUCTURA MACROSCÓPICA

Es observada a simple vista o con la ayuda de una lupa de 10 aumentos, se observan las siguientes características:

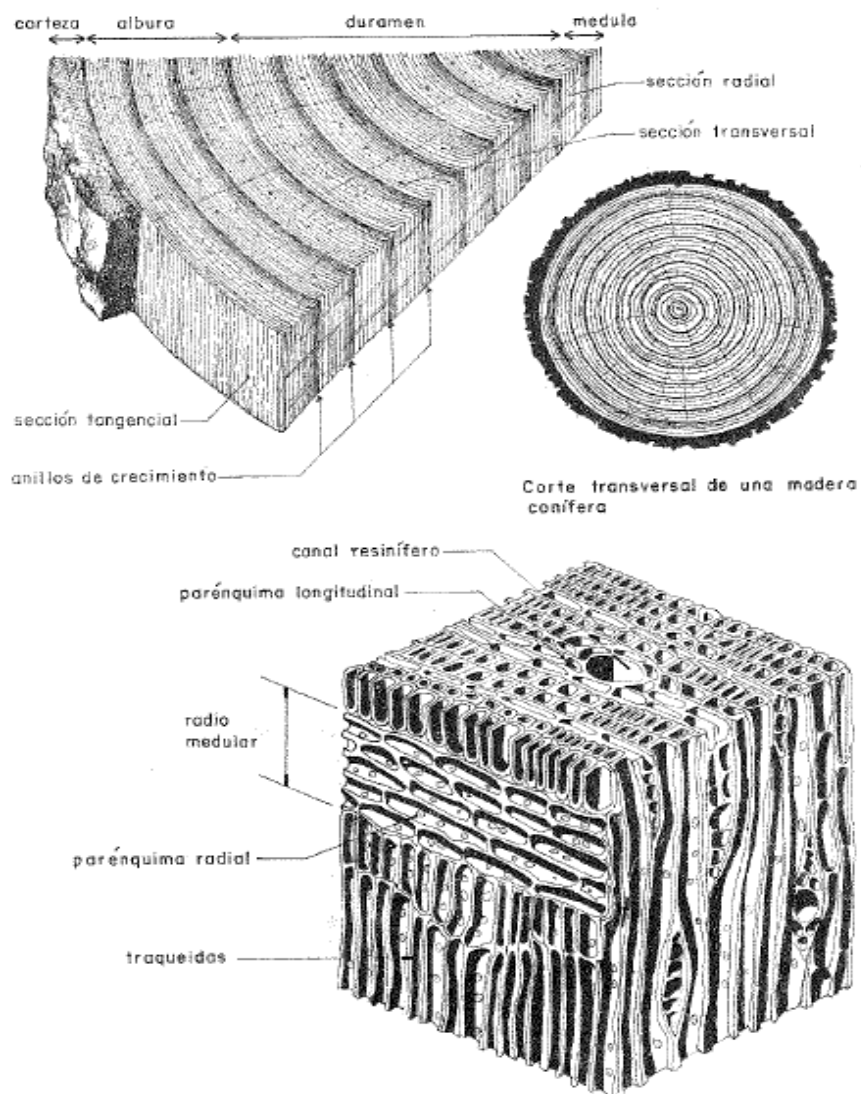
- **Anillos de crecimiento:** son capas de crecimiento que tienen la forma de una circunferencia, el último anillo siempre se extiende desde el extremo inferior del árbol hasta la copa. En las zonas templadas, en las cuales las estaciones bien marcadas, todos los arboles tienen anillos bien definidos. En la primavera cuando empieza el crecimiento el cambium produce células largas con paredes delgadas y lumen amplio para la conducción del agua. En el otoño, la conducción del agua disminuye por lo que el cambium produce células pequeñas, de paredes engrosadas y lumen pequeño. Debido a la diferencia de células producidas, además de su color, se pueden ver fácilmente los anillos de crecimiento. En las zonas tropicales, en donde las estaciones no son muy marcadas, los anillos de crecimiento no siempre se distinguen claramente debido al crecimiento casi continuo del árbol.
- **Radios medulares:** Los radios son líneas que van desde el interior hacia el exterior del árbol, siguiendo la dirección de los radios del círculo definido por el tronco, formando el sistema transversal del tronco. Los radios están constituidos por células parenquimáticas, es por ello que son líneas débiles de la madera y durante el secado se producen grietas a lo largo de ellos. El ancho de los radios varía según la especie con una lupa de 10 x se los puede identificar claramente.
- **Parénquima longitudinal:** Formado por el tejido parenquimático constituye parte del sistema longitudinal del tronco, su disposición tiene importancia en la identificación de la especie. El parénquima longitudinal tiene un color más claro que el tejido fibroso. Las maderas con mayor porcentaje de tejido parenquimático son maderas de baja resistencia mecánica y más susceptibles al ataque de hongos e insectos

#### 2.2.2.4. ESTRUCTURA MICROSCÓPICA

En La estructura macroscópica se consideraron las características de los diferentes tejidos de la madera. En cambio, la estructura microscópica trata de los diferentes tipos y características de las células que forman estos tejidos.

Según la estructura celular, las especies maderables se dividen en dos grandes grupos: Las Maderas latifoliadas y Las Maderas coníferas.

FIGURA N° 3: ESTRUCTURA ANATÓMICA DE LAS MADERAS



Fuente: Junta del Acuerdo de Cartagena PADT REFORT



#### 2.2.2.5. NOMENCLATURA Y DIVISIÓN DE LA ESPECIES

Al tipo particular árbol del cual proviene la madera se le da el nombre de especie, en otras palabras: se denomina así al conjunto de árboles que forma un grupo más o menos homogéneo, por tener uno varios caracteres comunes.

Generalmente, las maderas utilizadas en la edificación o en la industria, también llamadas *maderas comerciales*, se dividen en dos grandes grupos:

- a) **Maderas leñosas, frondosas y latifoliadas:** (o de madera dura) En esta familia se observa mayor capacidad para soportar cargas de compresión respecto de las anteriores pero su deformación es excesiva ante esfuerzos de flexión; en consecuencia, se imponen cargas máximas por deformación y no por rotura.

La madera tiene una estructura anatómica heterogénea, constituida por diferentes células leñosas, tales como: los vasos o poros que tienen la función de la conducción del agua y sales minerales. Estas células forman del 6 al 50% del volumen total de la madera, siendo este porcentaje mayor en las maderas blandas y porosas. También existen fibras que son células adaptadas a la función mecánica y forman el 50% o más del volumen de la madera, a mayor porcentaje de fibras mayor densidad y por tanto mayor resistencia mecánica. Asimismo, se observan células de parénquima que tienen la función de almacenamiento de sustancias de reserva y forman un tejido leñoso blando en muchas especies tropicales superan el 50% del volumen total.

- b) **Maderas coníferas:** (o de madera blanda) Son las más utilizadas habitualmente, sobre todo en construcción y carpintería. La mayoría pertenecen a la subdivisión de Maderas Blandas. Son las más antiguas, del final de la era primaria. Existen en las zonas frías y templadas,

proporcionan las mejores calidades de madera de construcción, en cuanto se refiere a características de trabajo y resistencias mecánicas. Presentan un elevado contenido en resinas, es la madera de carpintería y construcción por excelencia: algo rojiza, de grano fino y fácil de trabajar. Es muy adecuada en construcción.

La madera tiene una estructura anatómica homogénea y está constituida por elementos leñosos llamados traqueidas; éstas forman del 80 al 90% del volumen total de la madera y tiene la función de resistencia y conducción. Asimismo, presenta células de parénquima en menor proporción.

TABLA N° 5: ESTRUCTURA MICROSCÓPICA DE LA MADERA

SISTEMA	ELEMENTOS	LATIFOLIADAS	CONÍFERAS
LONGITUDINAL	Prosenquimáticos	Vasos Fibras	Traqueidas
	Parenquimáticos	Parénquima Longitudinal	Parénquima Longitudinal
TRANSVERSAL	Prosenquimáticos	No Tiene	Traqueidas
	Parenquimáticos	Parénquima Radial	Parénquima Radial

Fuente: Junta del Acuerdo de Cartagena PADT REFORT

#### 2.2.2.6. ESTRUCTURA SUBMICROSCÓPICA

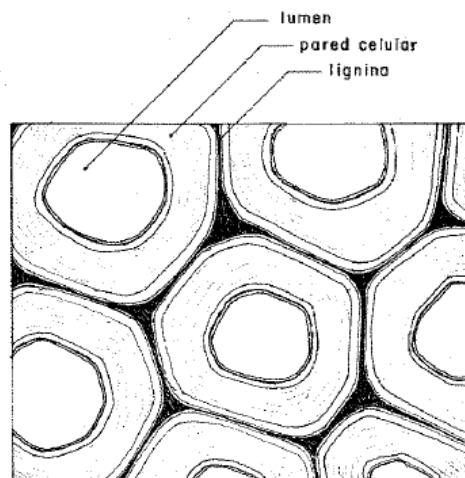
Se puede observar la estructura de la fibra o célula leñosa. Una cavidad central denominada lumen, delimitada por la pared celular propiamente dicha. La pared presenta tres capas:

- **Lámina media:** Llamada capa intercelular porque une células adyacentes y está compuesta principalmente de lignina (60 a 90% de la pared celular) y pectina.



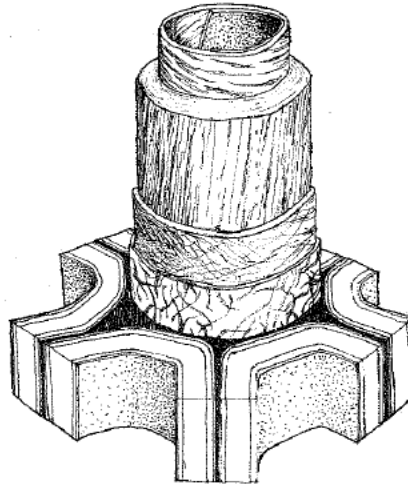
- **Pared primaria:** Es la capa exterior de la célula compuesta principalmente de lignina y pectina distinguiéndose de la lámina media por la presencia de un 5% de celulosa en forma de fibrillas.
- **Pared secundaria:** Compuesta principalmente por celulosa o fibrillas, llegando a alcanzar el 94%. Está formada por tres capas que se distinguen por la orientación de las fibrillas. La capa central es la de mayor espesor y sus fibrillas se orientan casi paralelamente al eje de la célula (entre 10° y 30° de desfase). Consecuentemente esta orientación es fundamental en la resistencia de la fibra. Las fibrillas están formadas por la unión de microfibrillas. Las microfibrillas están compuestas de micelas o cristalinicos, las mismas que están constituidas por cadenas moleculares de celulosa.

FIGURA N° 4: CORTE A-A TRANSVERSAL DE LA FIBRA



Fuente: Junta del Acuerdo de Cartagena PADT REFORT

FIGURA N° 5: CORTE B-B DE LA FIBRA



Fuente: Junta del Acuerdo de Cartagena PADT REFORT

#### **2.2.2.7. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA**

La madera está constituida por los siguientes elementos: Carbono(c) 49%, Hidrógeno (H) 6%, Oxígeno (O) 44% Nitrógeno (N) 1% las combinaciones de estos elementos forman los siguientes componentes de la madera: Celulosa (40 - 60%), Hemicelulosa (5 - 25%) y la lignina (20 - 40%).

(PAD-REFORT, 1980)

#### **2.2.3. FACTORES DE DEGRADACIÓN DE LA MADERA**

##### **2.2.3.1. Factores Abióticos**

##### **2.2.3.1.1. Agua:**

Una de las principales causas del deterioro superficial de la madera se debe a los cambios rápidos del contenido de humedad en la capa externa. El agua de lluvia que moja la superficie de la madera sin protección es absorbida rápidamente por capilaridad por la capa superficial de la madera seguida por la adsorción de las paredes de las células. El vapor de agua es recogido directamente por adsorción por las paredes de las células. La diferencia de



humedad entre el interior y la capa superficial que tenderá a hinchar, provoca un estado de tensiones en la pieza, que si no está equilibrado origina la arqueaduras o encorvadura.

#### **2.2.3.1.2. Radiación Solar:**

La madera expuesta a la luz solar sufre un cambio de la coloración que inicialmente tiende al oscurecimiento en tono marrón. Posteriormente, toma un color grisáceo.

La radiación ultravioleta del espectro de la luz solar, degrada los componentes de la madera comenzando por la lignina. Esto se traduce en un oscurecimiento superficial.

Si incide el agua de lluvia, los productos resultado de la degradación son eliminado por el agua y queda la celulosa, meno sensible a las radiaciones, adquiriendo la superficie un color blanquecino.

Las células externas pueden recubrirse lentamente de mohos, que viven de la humedad de la madera y de los productos de la fotodegradación, dando a la superficie una coloración grisácea o negruzca.

En la práctica, el agua y el sol, actúan de forma combinada y se potencian entre si multiplicando los efectos.

#### **2.2.3.1.3. Fuego:**

Cuando la madera se ve expuesta a un incendio en fase de pleno desarrollo también tiene una respuesta buena. La capa más superficial se carboniza rápidamente creando una capa de madera carbonizada que aumenta en 6 veces su capacidad aislante; éste hecho provoca que las zonas interiores se mantengan muy protegidas. Cuando sucede esto la madera interna mantiene constantes sus características mecánicas, lo que perjudica su capacidad portante es la pérdida de sección de la zona carbonizada.

#### **2.2.3.1.4. Esfuerzos mecánicos:**

Los esfuerzos mecánicos también pueden ser motivo de la degradación de la madera, pueden provocar fatiga y pérdida de resistencia en la madera. El continuo uso y rozamiento pueden provocar deformaciones y desgaste en las estructuras.

### 2.2.3.2. DEFECTOS PROPIOS:

Los defectos propios que más inciden sobre las propiedades de resistencia y durabilidad son:

#### 2.2.3.2.1. Nudos sueltos:

Abertura de sección relativamente circular, originada por el desprendimiento de un nudo. Si no interesa su posición en la pieza, la norma establece que se debe calcular el diámetro medio, midiendo su diámetro mayor y menor, en milímetros, y calculando el promedio. Los agujeros y/o nudos sueltos se pueden ubicar en la arista, en el borde de la cara, en el canto o en la zona central de la cara.

La posición de este defecto es determinante en la magnitud de la alteración que causará en las propiedades resistentes. Así, un agujero, dentro o cerca de un canto, afecta fuertemente la resistencia de tracción o compresión de una pieza solicitada por flexión. En cambio, un agujero en el centro de la cara alterará más su resistencia de cizalle, cuando se aplica a ella el mismo esfuerzo de flexión.

FIGURA N° 06: MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DEL NUDO



Fuente: CORMA – Corporación Chilena de la Madera

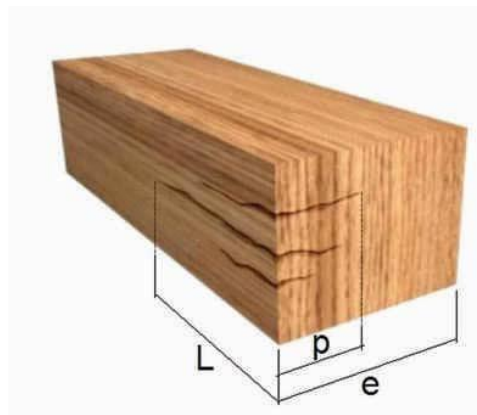
#### 2.2.3.2.2. Rajaduras

Separación de fibras en la madera que afecta dos superficies opuestas o adyacentes de una pieza.

#### 2.2.3.2.3. Grietas

Separación de elementos constitutivos de la madera, cuyo desarrollo no alcanza a afectar dos superficies opuestas o adyacentes de una pieza.

FIGURA N° 07: MEDICIÓN DE GRIETAS.

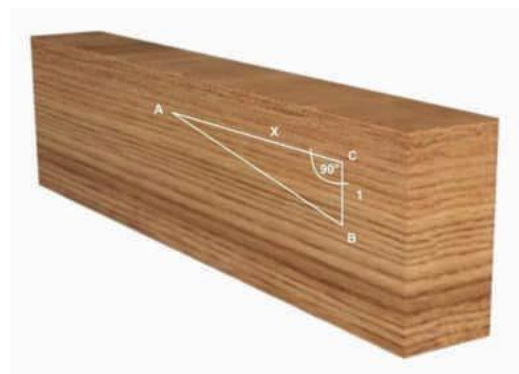


Fuente: CORMA – Corporación Chilena de la Madera

#### 2.2.3.2.4. Fibra inclinada

Desviación angular que presentan los elementos longitudinales de la madera, con respecto al eje longitudinal de la pieza.

FIGURA N° 08: MEDICIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LA FIBRA.



Fuente: CORMA – Corporación Chilena de la Madera

#### 2.2.3.2.5. Perforación

Galería u otro tipo de orificio producido por la presencia de insectos taladradores. En cualquier caso, la madera con este defecto debe ser desechada.

#### 2.2.3.2.6. Pudrición

Degradación, descomposición y destrucción de madera por presencia de hongos xilófagos y ambiente húmedo. La presencia parcial de putrefacción implica una creciente reducción de la resistencia. No se debe utilizar como material de construcción. Otros defectos que inciden en la resistencia, pero en menor grado, son:

#### 2.2.3.2.7. Bolsillo de corteza

Presencia de masa de corteza total o parcial comprendida en la pieza. Se conoce también como “corteza incluida”.

#### 2.2.3.2.8. Bolsillo de resina

Presencia de una cavidad bien delimitada que contiene resina o tanino. Se conoce también como “bolsa o lacra”. Los efectos que tiene el bolsillo de corteza y/o resina sobre la resistencia son los mismos descritos para el agujero y/o nudo suelto. La medición dependerá de la ubicación que tiene el bolsillo en la pieza, el cual se puede ubicar en la arista, borde de la cara, en el canto o en la zona central.

FIGURA N° 09: MEDICIÓN DE BOLSILLO DE CORTEZA Y/O RESINA EN LA ZONA CENTRAL DE LA PIEZA.



Fuente: CORMA – Corporación Chilena de la Madera

#### 2.2.3.2.9. Acebolladuras

Separación de la pieza entre dos anillos consecutivos. Cuando aparece en las caras o cantos, se mide su longitud y separación máxima (mm).

FIGURA N° 10: FORMA Y MEDICIÓN DE UNA ACEBOLLADURA.

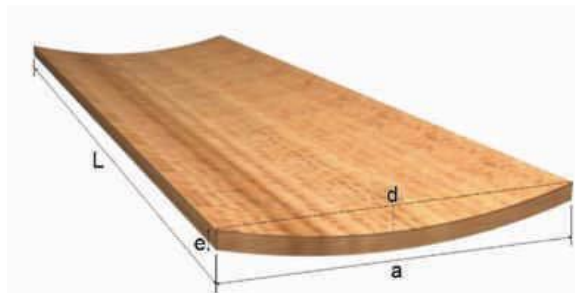


Fuente: CORMA – Corporación Chilena de la Madera

#### 2.2.3.2.10. Alabeos

Deformación que puede experimentar una pieza de madera en la dirección de sus ejes, longitudinal y transversal o ambos a la vez, pudiendo tener diferentes formas: acanaladura, arqueadura, encorvadura y torcedura. Estos son defectos típicos por secado inadecuado, tema que se trata más adelante.

FIGURA N° 11: ACANALADURA, ALABEO DE LAS CARAS EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSAL. SE CONOCE TAMBIÉN COMO “ABARQUILLADO” (EN LA IMAGEN SE MUESTRA LA MEDICIÓN DE LA ACANALADURA).



Fuente: CORMA – Corporación Chilena de la Madera

#### 2.2.3.2.11. Colapso

Reducción de las dimensiones de la madera durante el proceso de secado, sobre el punto de saturación de las fibras, y se debe al aplastamiento de sus cavidades celulares.

Este defecto no es admisible en la madera, puede afectar la resistencia y además su presencia.

#### 2.2.3.2.12. Médula

Corresponde al tejido parenquimatoso y blando de la zona central del tronco. Afecta la clasificación por aspecto de superficies que quedan a la vista.

FIGURA N° 12: MEDICIÓN DE MÉDULA.

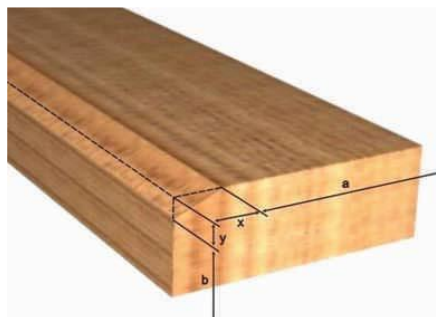


Fuente: CORMA – Corporación Chilena de la Madera

#### 2.2.3.2.13. Canto muerto

Se conoce por canto muerto o arista faltante a la falta de madera en una o más aristas de una pieza. Se mide en la arista, su largo o suma de largos en mm, mayor dimensión en el canto ( $x$ ) y mayor dimensión en la cara ( $y$ ).

FIGURA N° 13: MEDICIÓN DE LA ARISTA FALTANTE O CANTO MUERTO.



Fuente: CORMA – Corporación Chilena de la Madera





### 2.2.3.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

#### 2.2.3.3.1. Contenido de Humedad:

La madera es un material higroscópico que siempre contiene agua, de hecho, en el árbol en pie la madera tiene como función el transporte de agua de la raíz hasta las hojas, lo que permite el proceso de crecimiento.

La madera contiene agua bajo tres formas:

- **Agua libre.** - Se encuentra ocupando las cavidades celulares.
- **Agua higroscópica.** - Es el agua que se encuentra contenida dentro de las paredes celulares se llama agua higroscópica o agua límite.
- **Agua de constitución.** - Se encuentra formando parte integrante de la estructura molecular.

Cuando se expone la madera al medio ambiente, empieza a perder agua iniciándose el proceso de secado. En el transcurso del secado se pierde primero el agua libre y después el agua higroscópica, el agua de constitución no se pierde sino por combustión de la madera. En función de la cantidad de agua que contenga la madera pueden presentarse tres estados:

- **Verde.** - cuando ha perdido parte del agua libre.
- **Seco.** - cuando ha perdido la totalidad del agua libre y parte del agua Higroscópica.
- **Anhidro.** - cuando ha perdido toda el agua libre y toda el agua higroscópica.



El contenido de humedad (CH) es el porcentaje en peso, que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra. Para una muestra de madera el CH será:

$$CH\% = \frac{\text{Pesohúmedo} - \text{Pesoanhidro}}{\text{Pesoanhidro}} \times 100$$

El peso anhidro es conseguido mediante el uso de un horno a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , también se llama peso seco al horno.

Existen dos valores de CH que son particularmente importantes, al primero se le llama Punto de Saturación de las Fibras (PSF) y es el CH que tiene la madera cuando ha perdido la totalidad del agua libre y comienza a perder el agua higroscópica. Al segundo CH se le llama Contenido de Humedad de Equilibrio (CHE) cuando la madera expuesta al aire pierde parte del agua higroscópica hasta alcanzar un CH en equilibrio con la humedad relativa del aire. El PSF varía de 25 a 35%. Cuando el CH es menor que el PSF la madera sufre cambios dimensionales, también varían sus propiedades mecánicas.

- Sobre el (PSF) todas las propiedades mecánicas de la madera son independientes del contenido de humedad y no sufren variaciones.
- Bajo el (PSF) hay una dependencia casi total de las propiedades mecánicas, como contracción, peso específico, propiedades eléctricas, térmicas y acústicas.

FIGURA N° 14: PUNTO DE SATURACIÓN DE LA FIBRA



Fuente: UNAMAD - Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios

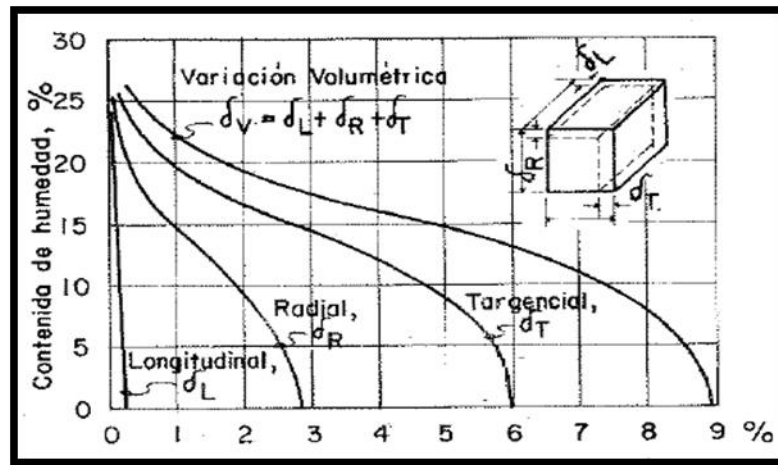
### 2.2.3.3.2. Cambios dimensionales

Las variaciones en el CH producen cambios dimensionales en la madera, estos cambios se deben principalmente a la pérdida o ganancia del agua higroscópica en la pared celular.

La contracción y la expansión presentan valores diferentes en las tres direcciones de la madera. La contracción longitudinal (CL) es del orden del 0.1 por ciento. La contracción tangencial (CT) y la contracción radial (CR) son las principales responsables del cambio volumétrico.

En la figura, podemos observar los diferentes cambios dimensionales que experimenta la madera en función del contenido de humedad.

FIGURA N° 15: CAMBIOS DIMENSIONALES POR EL CONTENIDO DE HUMEDAD



Fuente: Junta del Acuerdo de Cartagena PADT REFORT

La contracción (expansión) es para efectos prácticos una función lineal del CH. Considerando que la contracción (expansión) es igual a 0 por ciento cuando CH es mayor o igual a PSF, e igual a K cuando el CH ha descendido a 0 por ciento, se tiene que, para una variación a un CH cualquiera, la contracción (expansión) será igual a:

$$EoC\% = \frac{CH_f - CH_i}{PSF} \times K$$

### 2.2.3.3.3. Contracción de la Madera

La madera posee la propiedad de contraerse o hincharse según pierde o gane humedad. Al secar la madera verde hasta un contenido de humedad en equilibrio con las condiciones atmosférica se produce una considerable disminución de las dimensiones originales y aun cuando una determinada pieza de madera sea adecuadamente secada antes de ser puesta en obra se encogerá o hinchará de acuerdo a las variaciones del medio ambiente.

La contracción se origina al perderse el agua límite, o sea, que empieza cuando la madera alcanza el P.S.F. y como todo cuerpo las variaciones se realizan en las tres dimensiones: longitudinal, radial y tangencial.

Las variaciones en el sentido longitudinal son prácticamente despreciables en usos comunes, la contracción tangencial es 1.5 a 2 veces mayor que la radial. Este fenómeno da lugar a deformaciones tales como alabeos, torceduras, rajaduras, grieta y colapsos.

Las maderas más duras presentan mayores valores de contracción que las maderas menos densas; la contracción se expresa en % de la, dimensión original.

#### 2.2.3.3.4. Densidad y Peso específico

La relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo se llama densidad. Por costumbre cuando se usa el sistema métrico se toma la masa como el peso del cuerpo. El peso de la madera es la suma del peso de la parte sólida más el peso del agua. El volumen de la madera es constante cuando se está en el estado verde, el volumen disminuye cuando el CH es menor que el PSF y vuelve a ser constante cuando alcanzado el estado anhidro o seco al horno. Se pueden distinguir cuatro densidades para una misma muestra de madera:

- **La densidad verde (DV):** La relación que existe entre el peso verde (PV) y el volumen verde (VV).
- **La densidad seca al aire (DSA):** La relación que existe entre el peso seco al aire (PSA) y el volumen seco al aire.
- **La densidad anhidra (DA):** La relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen seco al horno (VSH).



- **La densidad básica (DB):** La relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen verde (VV). Es la menor de la cuatro.

La densidad básica se usa con ventaja por las condiciones en las que se basa (peso seco al horno y volumen verde) son estables en una especie determinada. La densidad de la parte sólida de la madera es de 1.56 g/cm<sup>3</sup> con variaciones insignificantes entre especies.

El peso específico (Pe) es la relación entre el peso de la madera, a un determinado contenido de humedad, y el peso del volumen de agua desplazado por el volumen de la madera. Considerando que el agua tiene densidad igual a 1 puede decidirse que las relaciones entre la densidad de la madera dividida entre la densidad del agua igualan a su peso específico.

Entre el sistema métrico la densidad y el peso específico con la diferencia de que este último no tiene unidades. La gravedad específica es equivalente al peso específico.

#### **2.2.3.3.5. Dureza:**

Es la resistencia que opone la madera a la penetración de otros cuerpos y ésta depende de la abundancia de fibra y de la escasez de vasos y disminuye rápidamente al aumentar la humedad.

#### **2.2.3.3.6. Hendibilidad**

Es la facilidad que tiene una madera de partirse en el sentido de las fibras y es una característica muy importante en el momento de fabricar determinados objetos de madera.

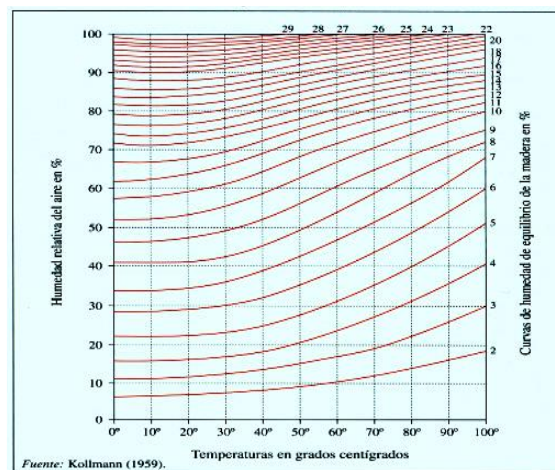
#### **2.2.3.3.7. Higroscopicidad**

La madera es un material higroscópico que tiende a absorber o perder agua según las condiciones del ambiente (humedad relativa y temperatura del aire).

De esta forma a cada estado ambiental corresponde un grado de humedad de la madera, llamado humedad de equilibrio higroscópico (HEH).

El equilibrio higroscópico es el grado de humedad que tiene la madera en equilibrio con condiciones determinadas de temperatura y humedad del aire. El tipo de madera tiene poca influencia sobre los valores de equilibrio higroscópico. Cuando una madera ha logrado este equilibrio en el lugar geográfico en que ha sido secado al aire, se dice que es madera estacionada. Por ejemplo, en la Provincia de Acomayo, en el mes de junio, la madera en equilibrio tendrá un contenido de humedad diferente, al contenido de humedad en el mes de diciembre.

FIGURA N° 16: CURVAS DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO DE LA MADERA



Fuente: Kollmann(1959)

#### 2.2.3.3.8. Hinchazón o merma de la madera

El proceso de hinchamiento y contracción de la madera es consecuencia de la transferencia de agua con el medio ambiente (se produce cuando la pieza de madera absorbe humedad), tendiente a buscar una condición de equilibrio higroscópico.



## 2.2.4. SECADO DE LA MADERA

El objetivo de secar la madera, con el menor costo y degradación posibles, es conseguir un contenido de humedad que quede en equilibrio con la atmósfera en la cual será empleada. El proceso de secado puede ser lento, como en el caso de un cuidadoso curado al aire, o puede acelerarse con la aplicación de calor en un horno.

### 2.2.4.1. TIPOS DE SECADO

#### 2.2.4.1.1. SECADO NATURAL

Secado natural o Estacionamiento: “Es la pérdida natural de la humedad, mediante la evaporación del agua, merced a la temperatura, humedad y circulación del aire del medio ambiente.”

Presenta, comparado con el secado artificial, las siguientes ventajas e inconvenientes:

- Reducido monto de inversión
- Escasos gastos de mantenimiento y funcionamiento.
- No requiere personal capacitado.
- Plazos de secado prolongados
- Mayores costos financieros por capital inmovilizado.
- No se puede secar madera por debajo del equilibrio higroscópico correspondiente al lugar.
- No se pueden corregir defectos que aparecen durante el secado.



### **Factores climáticos que influyen en el secado al aire.**

En el secado a la intemperie, el aire es el agente secante. Su temperatura, su humedad y su velocidad son los elementos determinantes del proceso de secado, actuando de la siguiente forma:

**La temperatura.** -Es un factor de aceleración de la evaporación. Cuanto más elevada es la temperatura más intensa será la evaporación, puesto que el aire podrá suministrar más calor y absorber más humedad.

**La humedad relativa.** - El medio en donde se está secando la madera debe ser capaz de recibir la humedad proveniente del espécimen. Cuanto menor es la humedad relativa del aire mayor capacidad de absorción de vapor tendrá, favoreciendo de este modo la velocidad de evaporación.

**La velocidad.** -La velocidad del aire en la superficie de la madera tiene una gran influencia en la primera etapa del secado, cuando se trata de eliminar el agua libre. Se comprende que si no hay movimiento de aire alrededor de la madera se creará una capa de aire saturado que la aislará.

FIGURA N° 17: SECADO NATURAL DE LA MADERA



*Fuente: Fuente: Caracterización Físico-Mecánica de Madera*

#### 2.2.4.1.2. SECADO ARTIFICIAL

Todo secado artificial consta de tres etapas:

- PREPARACIÓN DE PROCESO.
- 1º SECADO EFECTIVO.
- 2º SECADO EFECTIVO.
- FASE DE EQUILIBRIO.

**PREPARACIÓN DE PROCESO:** Se busca homogenizar la temperatura y humedad en toda la masa de madera y por consiguiente todo su entorno (rieles, vagonetas ventiladores, cañerías, etc.). Es muy importante tener en cuenta, que el sistema debe permitir programar en forma automática o manual los distintos períodos de secado, seleccionando la especie a secar con un determinado tiempo de ejecución temperatura y humedad.

**1º y 2º ETAPA DE SECADO EFECTIVO:** Al poder controlar perfectamente las condiciones de temperatura, humedad y las variables de las mismas durante la 1º y 2º etapa de secado de todo el proceso permite lograr un producto final óptimo, libre de acebolladuras, abarquillamientos, revirados, colapsos internos y rajaduras.

**FASE DE EQUILIBRIO:** El equilibrio final se logra deteniendo el proceso de secado, abriendo y cerrando las válvulas de compensación (modulantes) hasta que la temperatura y humedad interior se encuentre en equilibrio con lo exterior, evitando así, un choque atmosférico contraproducente para el producto final.

#### **Ventajas y desventajas del secado natural y artificial de la madera**

Las ventajas del secado de la madera son las siguientes:

- a) Disminuye el peligro de la aparición de grietas y rajaduras.



- b) Impide el ataque de ciertos insectos xilófagos.
- c) Disminuye el ataque de hongos.
- d) Disminuye el peso de las maderas.
- e) Aumenta los valores de resistencia mecánica.
- f) Facilita muchos procesos en la industrialización de la madera.
- g) Favorece la aplicación de pinturas, colas, lustres, etc.

Las desventajas del secado son las siguientes:

- a) Mayor fragilidad.
- b) Ataque de otros tipos de xilófagos.
- c) Mayor inflamabilidad.

#### **2.2.5. ARTÍCULO 10: AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS MADERAS**

Según La Norma Técnica Peruana (NTP)

El agrupamiento está basado en los valores de la densidad básica y de la resistencia mecánica.

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

##### **2.2.5.1. AGRUPAMIENTO SEGÚN SU DENSIDAD BÁSICA:**

El agrupamiento obedece solamente a un ordenamiento a base de la resistencia y no implica ventaja relativa de un grupo con respecto al otro, un grupo no es superior o inferior a otro sino de características diferentes.

En algunos casos las especies agrupadas podrían no corresponder estrictamente a estos límites. En uno futuro podrá definirse un grupo de especies con densidades básicas por debajo de 0,4 g/cm<sup>3</sup>.

TABLA N° 6: DENSIDAD BÁSICA

Grupo Densidad	Básica g/cm <sup>3</sup>
A	≥ 0,71
B	0,56 a 0,70
C	0,40 a 0,55

Fuente: Norma Técnica Peruana E. 010

### 2.2.5.2. AGRUPAMIENTO SEGÚN SU MÓDULO DE ELASTICIDAD:

Los módulos de elasticidad mínimos y promedio fueron obtenidos en base a ensayos de flexión en probetas pequeñas libres de defectos, realizados en 104 especies del Grupo Andino, incluyendo 20 especies peruanas.

Adicionalmente se realizaron ensayos de vigas a escala natural de algunas de las especies estudiadas. Estos módulos pueden ser utilizados conservadoramente en tracción o compresión en la dirección paralela a las fibras.

TABLA N° 07: MÓDULO DE ELASTICIDAD

Grupo	Módulo de Elasticidad (E) MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	
	E <sub>mínimo</sub>	E <sub>promedio</sub>
A	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
C	5 394 (55 000)	8 826 (90 000)

Fuente: Norma Técnica Peruana E. 010

Los módulos de elasticidad que deberán usarse en el diseño de elementos de madera para cada grupo estructural son los que se consignan en la Norma Técnica de Edificación E.010 Agrupamiento de Madera para Uso Estructural.

En general deberán usarse los módulos indicados como “ $E_{\text{mínimo}}$ ”. El valor “ $E_{\text{promedio}}$ ” podrá utilizarse solo cuando exista una acción de conjunto garantizada, como en el caso de muros entramados, viguetas y entablados.

### 2.2.5.3. AGRUPAMIENTO SEGÚN LOS ESFUERZOS ADMISIBLES:

Los esfuerzos admisibles son los que se consignan en la Norma Técnica de Edificación E.010 Agrupamiento de Madera para Uso Estructural.

Para aquellos elementos en que la acción de las cargas se reparte entre varios de elementos los esfuerzos admisibles podrán incrementarse en 10%.

TABLA N° 08: ESFUERZOS ADMISIBLES

ESFUERZOS ADMISIBLES MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )					
GRUPO	FLEXIÓN	TRACCIÓN PARALELA	COMPRESIÓN PARALELA	COMPRESIÓN PERPEND.	CORTE
<b>A</b>	20,6 (210)	14,2 (145)	14,2 (145)	3,9 (40)	1,5 (15)
<b>B</b>	14,7 (150)	10,3 (105)	10,8 (110)	2,7 (28)	1,2 (12)
<b>C</b>	9,8 (100)	7,3 (75)	7,8 (80)	1,5 (15)	0,8 (8)

Fuente: Norma Técnica Peruana E. 010

A diferencia del diseño en concreto armado y en acero donde se usan métodos de resistencia última, las estructuras de madera en la práctica mundialmente establecida se diseñan por métodos de esfuerzos admisibles, reduciendo la resistencia en vez incrementar las cargas.



## **2.2.6. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON MADERA**

### **2.2.6.1. Artículo 1: Requisitos Generales**

#### **2.2.6.1.1. Alcances**

La Norma NTP establece los requisitos mínimos para los materiales, análisis, diseño, construcción y mantenimiento de edificaciones de madera de carácter permanente.

La Norma se aplica tanto a edificaciones cuya estructura sea íntegramente de madera como a las construcciones mixtas, cuyos componentes de madera se combinen con otros materiales.

Excepcionalmente podrá utilizarse materiales, métodos de diseño o criterios constructivos no contemplados en esta Norma, bajo la responsabilidad del proyectista o constructor.

#### **2.2.6.1.2. Consideraciones**

En cualquier proceso de secado de la madera empleada, se evitará la aparición de defectos, para que no altere las propiedades mecánicas.

Las maderas estructurales de densidad alta y muy alta pueden ser trabajadas en estado verde para facilitar su clavado y labrado.

La madera si no es durable o si siendo durable posee parte de albura debe ser tratada con preservante.

#### **2.2.6.1.3. Madera Rolliza de uso estructural:**

Se denomina madera rolliza a la madera utilizada en forma cilíndrica con o sin corteza.



La madera deberá corresponder a alguno de los grupos especificados en la Norma Técnica de Edificación E.010 Agrupamiento de Madera para Uso Estructural.

Para los elementos de madera rolliza podrán utilizarse los procedimientos de diseño y los esfuerzos admisibles indicados en la presente Norma. El diámetro considerado en el diseño, corresponderá al diámetro mínimo de los elementos en obra.

### **2.2.7. PLANOS O EJES DE LA MADERA:**

Para una mejor comprensión de los elementos xilemáticos, es necesario tener una idea de los distintos planos o secciones. Se entiende por sección transversal, el corte practicado perpendicularmente al eje principal del tronco. Cuando el corte se efectúa en forma paralela a dicho eje, se obtendrá una sección longitudinal. La sección radial es perpendicular a los anillos y se extiende de la médula a la corteza. Se sobreentienden que en cualquiera de esas secciones o planos podrán verse todos los elementos celulares que forman la madera, pero la importancia de las mismas reside en el hecho que presentan aspectos diferentes según el corte considerado.

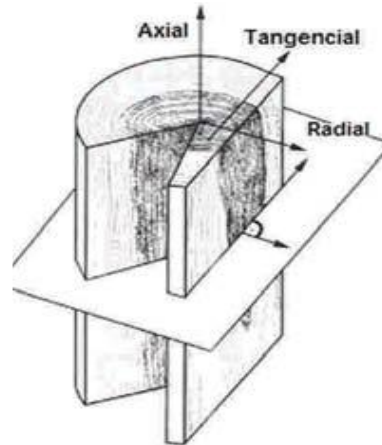
La madera es un material anisotrópico. Según sea el plano o dirección que se considere respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento, el comportamiento tanto físico como mecánico del material, presenta resultados dispares y diferenciados. Para tener una idea de cómo se comporta, la madera resiste entre 20 y 200 veces más en el sentido del eje del árbol, que en el sentido transversal.

Debido a este comportamiento estructural tan desigual, se ha hecho necesario establecer:

- Eje tangencial
- Eje radial y
- Eje axial o longitudinal

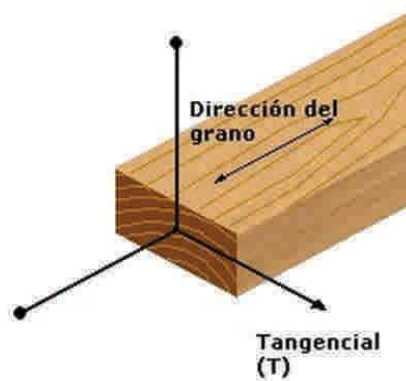
El eje tangencial, como su nombre lo indica, es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje longitudinal de la pieza.

FIGURA N° 18: SECCIONES DE UNA PIEZA DE MADERA



Fuente: CORMA – Corporación Chilena de la Madera

FIGURA N° 19: EJE TANGENCIAL EN UNA PIEZA DE MADERA.

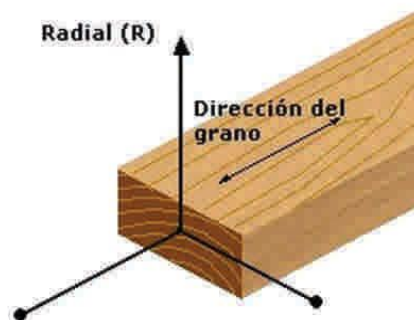


Fuente: CORMA – Corporación Chilena de la Madera

El eje radial es perpendicular a los anillos de crecimiento y al eje longitudinal.



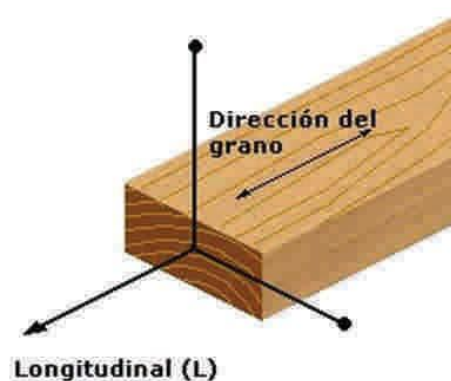
FIGURA N° 20: EJE RADIAL EN UNA PIEZA DE MADERA.



Fuente: CORMA – Corporación Chilena de la Madera

El eje longitudinal es paralelo a la dirección de las fibras y por ende, al eje longitudinal del tronco. Forma una perpendicular respecto al plano formado por los ejes tangencial y radial.

FIGURA N° 21: EJE LONGITUDINAL EN UNA PIEZA DE MADERA.



Fuente: CORMA – Corporación Chilena de la Madera

### 2.2.8. PROPIEDADES RESISTENTES DE LA MADERA

Las principales propiedades resistentes de la madera son: resistencia a la compresión paralela al grano, tracción, la flexión y corte paralelo al grano. Los esfuerzos básicos para cada una de estas propiedades resistentes son



obtenidos de probetas pequeñas libres de defectos y ensayados según las normas ASTM D-143 y NTP 251.017.

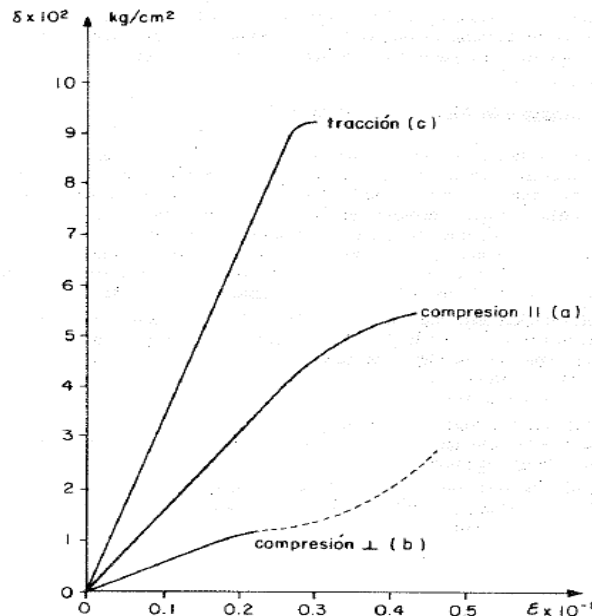
a) Resistencia a la compresión paralela al grano:

La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras. Esta proviene del hecho que las fibras están orientadas con su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide, y está muy cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular. Esta es la capa de mayor espesor de las fibras. La capacidad está limitada por el pandeo de las fibras más que por su propia resistencia al aplastamiento.

b) Resistencia a la tracción:

La resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela. En la Figura N° 22, se puede observar el comportamiento lineal y elástico de la curva esfuerzo-deformación, se observa también la naturaleza explosiva y violenta con lo que se produce la falla. El valor típico que caracteriza este ensayo es el esfuerzo de rotura que varía en 500 y 1500 kg/cm<sup>2</sup>. La influencia de otros defectos característicos de la madera hace que la resistencia de elementos a escala real pueda ser tan baja como un 15 por ciento del esfuerzo de rotura en tracción en probetas.

FIGURA N° 22: CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN PARA MADERAS FATIGADAS



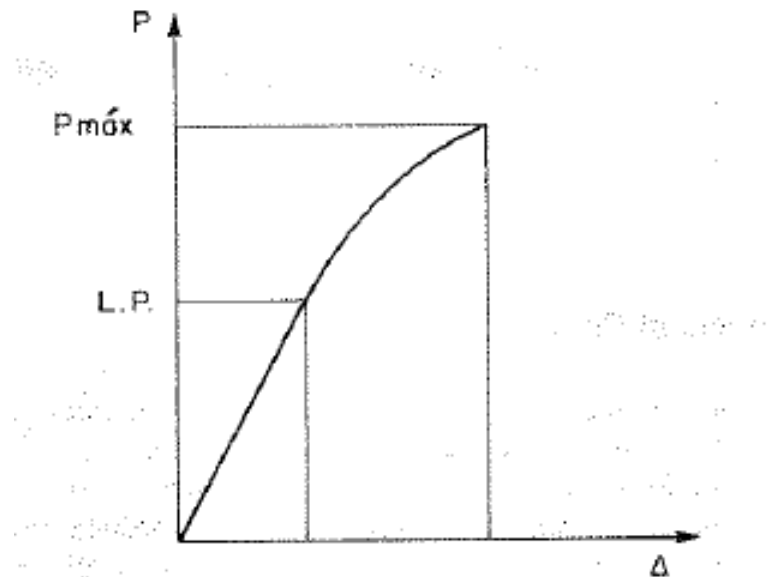
Fuente: Junta del Acuerdo de Cartagena PADT REFORT

## c) Resistencia a la flexión.

La diferencia entre la resistencia a la tracción y a la compresión paralela resulta un comportamiento característico de las vigas de madera en flexión. Como la resistencia a la compresión es menor a la tracción, la madera falla primero en la zona de compresión. Con ello se incrementan las deformaciones en la zona comprimida, el eje neutro se desplaza hacia la zona de tracción, lo que a su vez hace aumentar rápidamente las deformaciones totales; finalmente la pieza se rompe por tracción. En vigas secas, sin embargo, no se presenta primeramente una falla visible de la zona comprimida si no que ocurre directamente la falla por tracción.

En los ensayos de probetas pequeñas libres de defectos los valores promedios de la resistencia a la flexión varían entre 200 y 1700 kg/cm<sup>2</sup> dependiendo de la densidad de la especie y del contenido de humedad.

FIGURA N° 23: CURVA TÍPICA CARGA – DEFLEXIÓN PARA FLEXIÓN



Fuente: Junta del Acuerdo de Cartagena PADT REFORT

Los esfuerzos de compresión o de tracción producidos por flexión, no deben exceder el esfuerzo admisible para flexión " $m f$ ", para el grupo de madera estructural especificado.

Los esfuerzos admisibles en flexión pueden incrementarse en un 10% al diseñar viguetas o entablados, sólo cuando haya una acción de conjunto garantizada.

Los elementos estructurales deben diseñarse para que los esfuerzos aplicados, producidos por las cargas de servicio y modificados por los coeficientes aplicables en cada caso, sean iguales o menores que los esfuerzos admisibles del material.

d) Resistencia al corte:

En elementos constructivos el esfuerzo por corte o cizallamiento se presenta cuando las piezas están sometidas a flexión (corte por flexión).



Los análisis teóricos de esfuerzos indican que en un punto dado los esfuerzos de corte son iguales tanto a largo como perpendicularmente al eje del elemento. Como la madera no es homogénea, sino que sus fibras se orientan por lo general con el eje longitudinal de la pieza, presenta distinta resistencia al corte en estas dos direcciones. La menor es aquella paralela a las fibras y que proviene de la capacidad del “cementante” de las fibras -la lignina- a este esfuerzo. Perpendicularmente a las fibras la resistencia es de 3 a 4 veces mayor que en la dirección paralela.

### **2.2.9. VARIABILIDAD EN RESISTENCIA**

Por supuesto que la resistencia de las maderas está íntimamente ligada con la densidad del material, si consideráramos al peso volumétrico como un parámetro directamente ligado con la densidad del material. También debe ser evidente que la estructura interna de la madera influye drásticamente en la capacidad de carga, ya que éste material acepta esfuerzos máximos en el sentido longitudinal y mínimos en el sentido transversal. Por esta razón a la madera se le clasifica como un material anisótropo, el comportamiento anisótropo aumenta conforme su densidad disminuye.

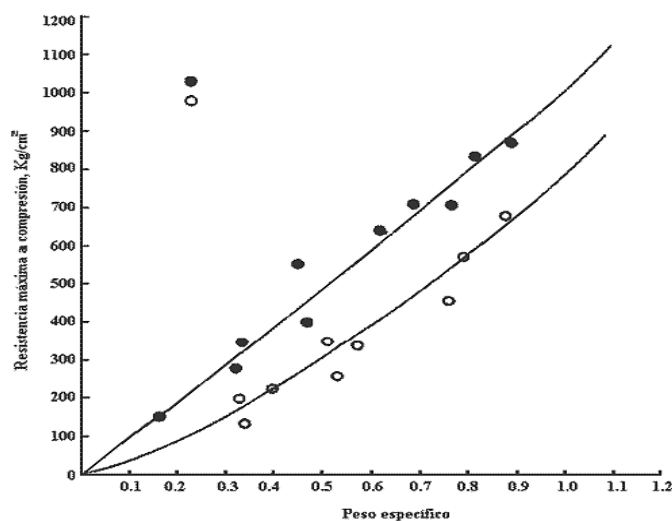
Para diversas condiciones de humedad relativa y temperatura ambientales, existe un contenido específico de humedad llamado de equilibrio, para el cual la madera no absorbe ni pierde humedad. En una madera verde secada al aire libre, el punto de equilibrio se puede alcanzar en meses o años, en cambio en un secado artificial esto se puede lograr en días o meses dependiendo del tipo de madera.

De lo anterior se puede concluir que la madera ofrece un mejor comportamiento estructural cuando está seca, pero es necesario conservarla en esas condiciones para evitar inconsistencia en la capacidad de carga que puede ofrecer, técnicamente esto se puede lograr tratando a la madera con

productos especiales para hacerla impermeable y evitar que absorba agua inclusive de la atmósfera.

La resistencia de la madera también depende de la madurez del árbol. Las maderas verdes poseen menor capacidad de carga y son más susceptibles a las deformaciones, por estas razones es conveniente someter a la madera a un proceso de secado. Por otro lado, e independientemente del tipo de árbol del cual se extrae la madera, un incremento en el peso específico relativo repercute en una mejor resistencia, pero este incremento es aún mayor si la madera está seca y no verde, la Figura N°24 muestra estos hechos.

FIGURA N° 24: DIFERENCIAS DE RESISTENCIA ENTRE LA MADERA VERDE Y LA MADERA SECA SEGÚN SU PESO ESPECÍFICO.



Fuente: (Anónimo, Constructor Civil)

#### 2.2.10. PROPIEDADES ELÁSTICAS DE MADERA

El módulo de elasticidad, el módulo de corte y el módulo de Poisson representan las características elásticas de un material. La madera como material ortotrópico tiene tres módulos de elasticidad, tres módulos de corte y seis módulos de Poisson, orientados y definidos según los tres ejes

ortogonales. Desde el punto de vista ingenieril puede suponerse que el material es homogéneo lo que permite considerar solo tres.

### 2.2.10.1. Módulo de Elasticidad (MOE)

El módulo de elasticidad de la madera puede ser obtenido directamente de una curva esfuerzo – deformación. Puede ser hallado también por métodos indirectos como los ensayos de flexión. Según los resultados obtenidos en maderas tropicales el MOE en compresión paralela es mayor que el MOE en flexión estática.

Es la relación entre el esfuerzo por unidad de superficie sobre la deformación por unidad de longitud, constituyendo una medida de rigidez o flexibilidad de la madera. Cuanto más alto sea su valor mayor será su rigidez. Es el valor numérico de la relación constante del esfuerzo unitario a la deformación unitaria dentro del campo de las deformaciones elásticas. Mide el valor de la deformación.

#### Cálculo del módulo de elasticidad (MOE):

$$\text{MOE} = \frac{P'L^3}{4ae^3} Y \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

P' = carga al límite proporcional en kg.

L = distancia entre los soportes, luz de la probeta (cm).

a = ancho de la probeta (cm).

e = espesor de la probeta (cm).

Y = deflexión en el centro de la luz al límite proporcional en cm.

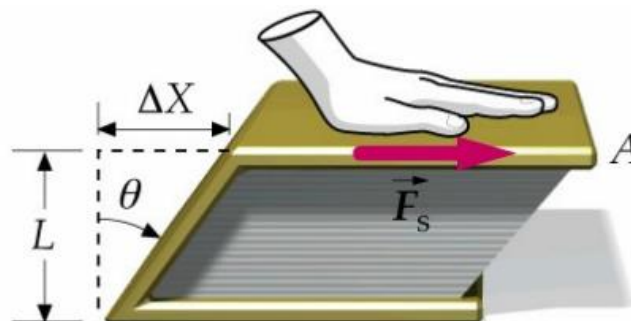
### 2.2.10.2. Módulo de Corte o Rigidez

Hasta ahora solo hemos tenido en cuenta fuerzas normales a las superficies que dan lugar a esfuerzos normales y a deformaciones de volumen. Supongamos ahora que las fuerzas  $F$  que se aplican son tangenciales a una superficie  $A$ , el cambio que se produce en el cuerpo es solo un cambio de forma ya que el volumen permanece constante. El esfuerzo cortante o tangencial, es la fuerza de corte o tangencial por unidad de área:

$$\tau = \frac{F_s}{A}$$

Esfuerzo cortante = fuerza de corte / área de corte

FIGURA N° 25: MÓDULO DE CORTE



Fuente: Módulo de Corte

El esfuerzo cortante tiene las mismas dimensiones que la presión, pero tiene la dirección de la fuerza tangencial.

Las unidades del esfuerzo cortante son las mismas que la de la presión  $N / m^2$  en el S.I. Cuando actúan esfuerzos cortantes el material se deforma como si el material (p.e. un cubo) estuviera formado por láminas paralelas y se deformaran como lo haría el libro de la figura anterior; a esta deformación que



supone un deslizamiento según el esfuerzo cortante o de cizalladura se denomina deformación cortante, angular o de cizalladura.

### 2.2.10.3. Módulo de Poisson:

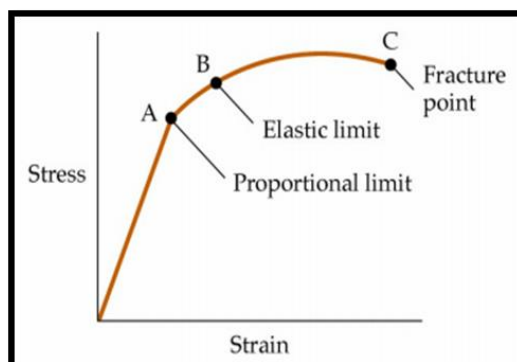
Se conoce como módulo de Poisson a la relación que existe entre la deformación lateral y deformación longitudinal. Para el caso de la madera existen en general 6 módulos de Poisson ya que se relacionan las deformaciones en las direcciones longitudinal, radial y tangencial. La madera presenta diferentes valores según las direcciones que se consideren, se han reportado para maderas de coníferas valores del orden 0.325 a 0.40 para densidades de 0.5 gr/cm<sup>3</sup>.

### 2.2.10.4. Ley de Hooke

Cuando estiramos (o comprimimos) un muelle, la fuerza recuperadora es directamente proporcional a la deformación  $x$  (al cambio de longitud  $x$  respecto de la posición de equilibrio) y de signo contraria a ésta.  $F = -k x$ , Siendo  $k$  una constante de proporcionalidad, denominada constante elástica del muelle. El signo menos en la ecuación anterior se debe a que la fuerza recuperadora es opuesta a la deformación.

La ley de Hooke es solo aplicable a deformaciones unitarias pequeñas, hasta que se alcanza el límite de proporcionalidad (ver figura).

FIGURA N° 26: LA LEY DE HOOKE



Fuente: Caracterización Físico-Mecánica de Madera



## **2.2.11. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS**

### **2.2.11.1. ENSAYOS MECÁNICOS**

#### **2.2.11.1.1. ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA**

Se determinan los esfuerzos de flexión, en el límite de proporcionalidad, en el punto de capacidad máxima y módulos de elasticidad en el límite de proporcionalidad. Este ensayo es complementario al ensayo de tracción. Consiste en someter las probetas, apoyadas libremente por los extremos, a un esfuerzo aplicado en el centro o dos iguales aplicados a la misma distancia de los apoyos.

No se hace siempre. Se hacen en piezas y materiales que van a estar sometidas a flexión. Se realiza igual sobre piezas cilíndricas, cuadradas y rectangulares.

El ensayo se realiza colocando dos rodillos con la separación  $L=20d$ , siendo “d” el diámetro de la probeta.

Es un ensayo habitualmente empleado en materiales frágiles (cerámicos y vidrios), aunque aplicable a materiales maderables y metálicos. La carga se aplica verticalmente, en un punto o dos, dando lugar a ensayos de flexión en 3 o en 4 puntos.

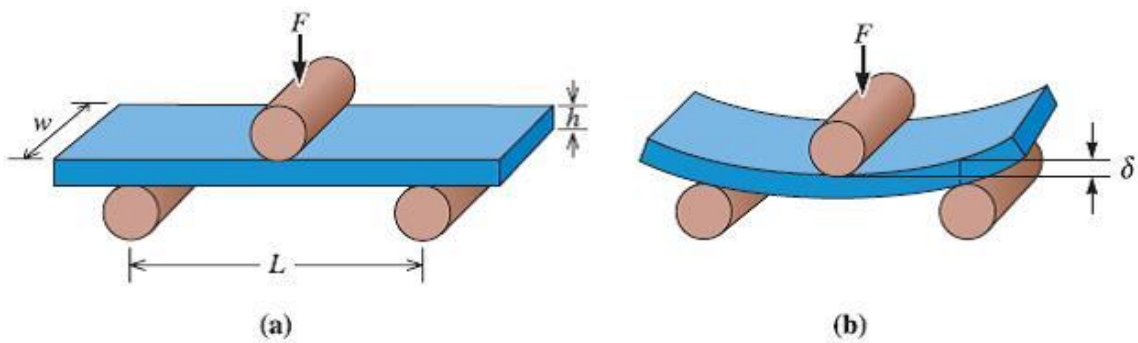
Los esfuerzos longitudinales en las probetas de flexión son a tracción en las caras inferiores de apoyo y a compresión en las caras superiores de aplicación de la carga.

FIGURA N° 27: ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA EN PROBETA NORMALIZADA



Fuente:(Manual de Prácticas EDIBON)

FIGURA N° 28: ENSAYO DE FLEXIÓN A TRES PUNTOS



Fuente:(Manual de Prácticas EDIBON)

En la figura anterior se muestra (a) un ensayo de flexión a tres puntos y (b) la deflexión  $\delta$  obtenida por flexión.

**Cálculo del esfuerzo de la fibra al límite proporcional:** El esfuerzo de la fibra al límite proporcional se calcula con la siguiente formula:

$$ELP = \frac{3P'L}{2 a e^2} \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

P' = carga al límite proporcional en kg.

L = distancia entre los soportes, luz de la probeta (cm).

a = ancho de la probeta (cm).

e = espesor de la probeta (cm).

**Cálculo del módulo de ruptura (MOR):**

$$MOR = \frac{3 P L}{2 a e^2} \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

P' = carga máxima en kg.

L = distancia entre los soportes, luz de la probeta (cm).

a = ancho de la probeta (cm).

e = espesor de la probeta (cm).

### 2.2.11.1.2. ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO

La resistencia de la madera, su límite de elasticidad, límite de proporcionalidad, punto de deformación superior, punto de deformación inferior y resistencia a la tracción se determinan mediante el ensayo de tensión (o tracción). Se actúa sobre la probeta con tensiones de carga monoaxial en aumento que causan la formación de elongaciones lineales y, finalmente, la rotura.

FIGURA N° 29: ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO EN PROBETA NORMALIZADA

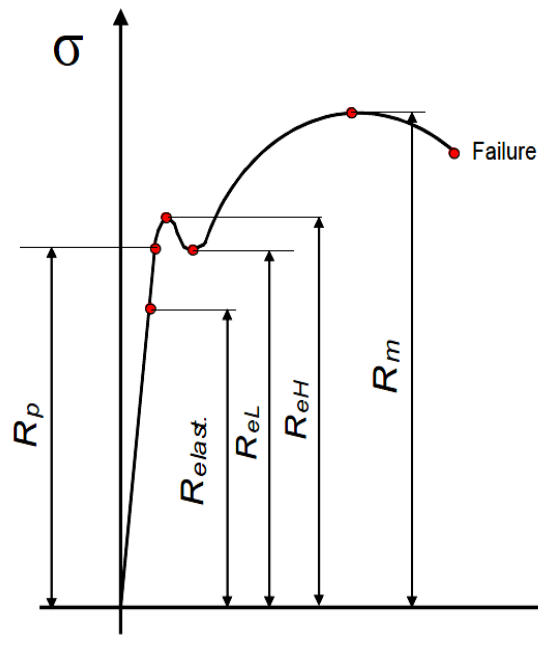


Fuente:(Manual de Prácticas EDIBON)

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un ensayo de tensión suelen ser muy pequeñas ( $\epsilon = 10^{-4}$  a  $10^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

La resistencia a la tracción del material es la mayor carga soportada por el material que se está ensayando antes de romperse. Se calcula dividiendo la carga mayor  $F_m$  por la sección transversal inicial de la probeta  $A_0$ .

FIGURA N° 30: DIAGRAMA DE TENSIÓN-DEFORMACIÓN



Fuente: Investigación e Ingeniería de la Madera

$R_m$ : Resistencia a la tracción (N/mm<sup>2</sup>)

$R_{eH}$ : Punto de deformación superior (N/mm<sup>2</sup>)

$R_{eL}$ : Punto de deformación inferior (N/mm<sup>2</sup>)

$R_p$ : Límite de proporcionalidad (N/mm<sup>2</sup>)

$R_{elast}$ : Límite de elasticidad (N/mm<sup>2</sup>)

La elongación se mide en la parte central de la probeta, la cual corresponde a la longitud inicial de la probeta,  $l_0$ .

**Cálculo de la elongación de una barra bajo una fuerza determinada es:**

$$\Delta l = (l_U - l_0) \quad (mm)$$

Donde:

$l_U$ : longitud en el momento de la rotura (mm)

$l_0$ : longitud inicial de la probeta (mm)

**Elongación A:**

$$A = (\Delta l / l_0) \cdot 100 \quad \%$$

Donde:

$l_0$ : longitud inicial de la probeta.

En un ensayo de tracción pueden determinarse diversas características de los materiales elásticos:

- Módulo de elasticidad o Módulo de Young, que cuantifica la proporcionalidad anterior.
- Coeficiente de Poisson, que cuantifica la razón entre el alargamiento longitudinal y el acortamiento de las longitudes transversales a la dirección de la fuerza.
- Límite de proporcionalidad: valor de la tensión por debajo del cual el alargamiento es proporcional a la carga aplicada.



- Límite de fluencia o límite elástico aparente: valor de la tensión que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de cedencia o fluencia. Este fenómeno tiene lugar en la zona de transición entre las deformaciones elásticas y plásticas y se caracteriza por un incremento rápido de la deformación sin aumento apreciable de la carga aplicada.
- Límite elástico (límite elástico convencional o práctico): valor de la tensión al que se produce un alargamiento prefijado de antemano (0,2%, 0,1%, etc.) en función del extensómetro empleado.
- Carga de rotura o resistencia a tracción: carga máxima resistida por la probeta dividida por la sección inicial de la probeta.
- Alargamiento de rotura: incremento de longitud que ha sufrido la probeta. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.
- Estricción: es la reducción de la sección que se produce en la zona de la rotura.

Normalmente, el límite de proporcionalidad no suele determinarse ya que carece de interés para los cálculos.

- a. Curva tensión-deformación:** En el ensayo se mide la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos de la misma a medida que se incrementa la carga aplicada. Ésta se representa gráficamente en función de la tensión (carga aplicada dividida por la sección de la probeta). En general, la curva tensión-deformación así obtenida presenta cuatro zonas diferenciadas:



FIGURA N° 31: CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN



Fuente: Investigación e Ingeniería de la Madera

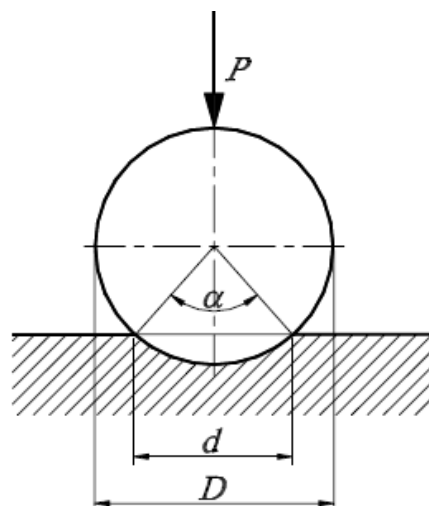
- b. Deformaciones elásticas.** Las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta, son de pequeña magnitud y, si se retirara la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial. El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina módulo de elasticidad o de Young y es característico del material en este caso de la madera de Eucalipto Globulus. La tensión más elevada que se alcanza en esta región se denomina límite de fluencia y es el que marca la aparición de este fenómeno. Pueden existir dos zonas de deformación elástica, la primera recta y la segunda curva, siendo el límite de proporcionalidad el valor de la tensión que marca la transición entre ambas.
- c. Deformaciones plásticas.** Si se retira la carga aplicada en dicha zona, la probeta recupera sólo parcialmente su forma, quedando deformada permanentemente. Las deformaciones en esta región son más acusadas que en la zona elástica.
- d. Estricción.** Llegado un punto del ensayo, las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta apreciándose una acusada reducción de la sección de la misma, momento a partir del cual las deformaciones continuarán acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona. La

estricción es la responsable del descenso de la curva tensión-deformación; realmente las tensiones no disminuyen hasta la rotura, sucede que lo que se representa es el cociente de la fuerza aplicada (creciente hasta el comienzo de la estricción) entre la sección inicial: cuando se produce la estricción la sección disminuye (y, por tanto, también la fuerza necesaria), disminución de sección que no se tiene en cuenta en la representación gráfica. Los materiales frágiles no sufren estricción ni deformaciones plásticas significativas, rompiéndose la probeta de forma brusca. Terminado el ensayo se determina la carga de rotura, carga última o resistencia a la tracción: la máxima resistida por la probeta dividida por su sección inicial, el alargamiento en (%) y la estricción en la zona de la rotura.

### 2.2.11.1.3. ENSAYO DE DUREZA BRINELL

El ensayo de dureza Brinell consiste en presionar la superficie del material a ensayar con una bolilla de acero muy duro o carburo de tungsteno, produciéndose la impresión de un casquete esférico correspondiente a la porción de la esfera que penetra.

FIGURA N° 32: SUPERFICIE - IDENTACIÓN

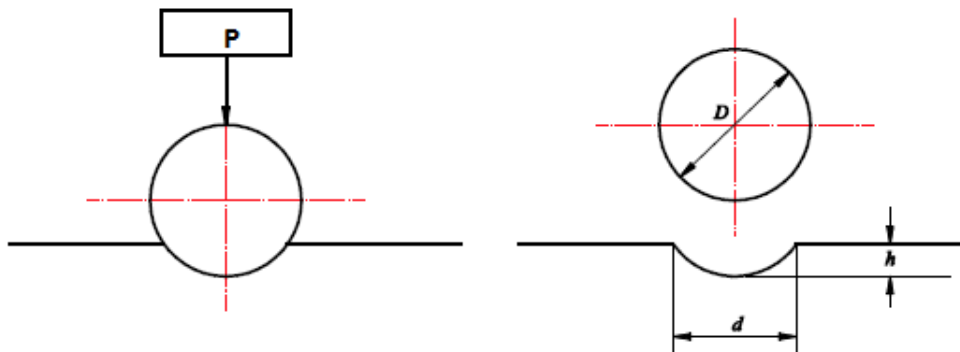


Fuente: (Manual de Prácticas EDIBON)

El valor de dureza, número de Brinell  $HB$ , resulta de dividir la carga aplicada  $P$  por la superficie del casquete, por lo que:

$$H_B = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot h} \left[ \frac{kg}{mm^2} \right]$$

FIGURA N° 33: IMPRESIÓN DEL CASQUETE



Fuente: (Manual de Prácticas EDIBON)

La profundidad  $h$  del casquete impreso se mide directamente en la máquina mientras la carga se mantiene aplicada, de modo que se asegura un buen contacto entre la bolilla y el material.

Otra manera de determinar el número  $HB$  es partiendo del diámetro  $d$  de la impresión, lo cual tiene la ventaja de que se pueden efectuar tantas mediciones como se estimen necesarias, y en microscopios o aparatos especialmente diseñados para tal fin. En este caso, el valor del diámetro de la impresión resultará del promedio de dos lecturas realizadas a  $90^\circ$  entre sí. Considerando que:

$$h = \frac{D}{2} - \alpha = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

Reemplazando la segunda ecuación en la primera se obtiene una expresión para el número de Brinell en función del diámetro de la huella:

$$HB = \frac{2P}{\pi \cdot D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

En la práctica, el número de Brinell se puede tomar directamente de una tabla consultando el valor del diámetro de la impresión.

En algunos materiales la penetración de la bolilla origina una caracterización y en otros una depresión:

Figura N° 34: CARACTERIZACIÓN - DEPRESIÓN



*Caracterización en la penetración*

*Depresión en la penetración*

Fuente: (Manual de Prácticas EDIBON)

En estos casos, los valores obtenidos a partir de la medición de  $h$  no coinciden con los obtenidos en función de  $d$ , ya que la profundidad  $h$  medida no corresponde al casquete cuyo diámetro es  $d$ , sino al de diámetro  $d1$ , cuya determinación exacta de forma práctica es difícil.

Por todo esto se ha generalizado la determinación de  $HB$  a partir de  $d$ , ya que ofrece mayor seguridad de una correcta determinación. Ya sea en la determinación de  $h$  o en la de  $d$ , se requiere una precisión mínima de 0,01mm.

Puede resultar conveniente obtener el valor de dureza a partir de la penetración  $h$  mediada durante el ensayo y luego comparar este valor con el que resulta de las mediciones de  $d$ . En caso de que los resultados sean muy



disímiles, el operador decidirá el método que arroja el resultado más exacto, en base a su experiencia y al conocimiento del equipamiento utilizado.

Algunos durómetros modernos están dotados de sistemas electrónicos encargados de producir la indentación y determinar el valor de dureza automáticamente. Estos sistemas proporcionan el valor de dureza en forma directa, sin necesidad de realizar mediciones ni utilizar tablas. La determinación automática de la dureza se puede hacer de dos maneras: a través de sensores electrónicos que miden directamente la profundidad de penetración,  $h$ , o bien mediante la determinación de las dimensiones de la huella a través de un microscopio de 20X o 40X incorporado en el aparato.

Estos sistemas automáticos permiten ciclos de medición muy rápidos, lo que los hace aptos para formar parte de una línea de producción en la que se requiera medir la dureza de un número alto de piezas.



## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1.1. TIPO SEGÚN SU FINALIDAD**

CUANTITATIVA APLICATIVO, se evaluará de manera cuantitativa las variables involucradas en la investigación y a partir de esas variables se deducirá las propiedades de la madera de Eucalipto Globulus por lo que se considera aplicada.

##### **3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN:**

###### **DESCRIPTIVA CON UNA CONNOTACIÓN CORRELACIONAL**

DESCRIPTIVA, ya que se quiere especificar las características resistentes de la madera de Eucalipto Globulus que se obtendrán con los ensayos de laboratorio de los objetos de análisis. Además, seleccionaremos varios factores (variables) y después se medirá o reunirá información de cada uno, para representar lo que se investiga.

CORRELACIONAL, este tipo de estudio tiene como propósito medir el grado de relación que exista entre dos o más conceptos o variables (saber cómo se puede comportar un concepto o variable conociendo el comportamiento de otra u otras variables relacionadas).

##### **3.1.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

EXPERIMENTAL DE CARÁCTER TRANSVERSAL, se efectúa normalmente cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes. Quiere decir, cuando la revisión



de la literatura reveló que únicamente hay guías no investigadas a fondo ni la realización de laboratorios abordados en esta tesis, por ende, se tendrán resultados diferentes con una gran relevancia en la construcción.

### **3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.2.1. DISEÑO METODOLÓGICO**

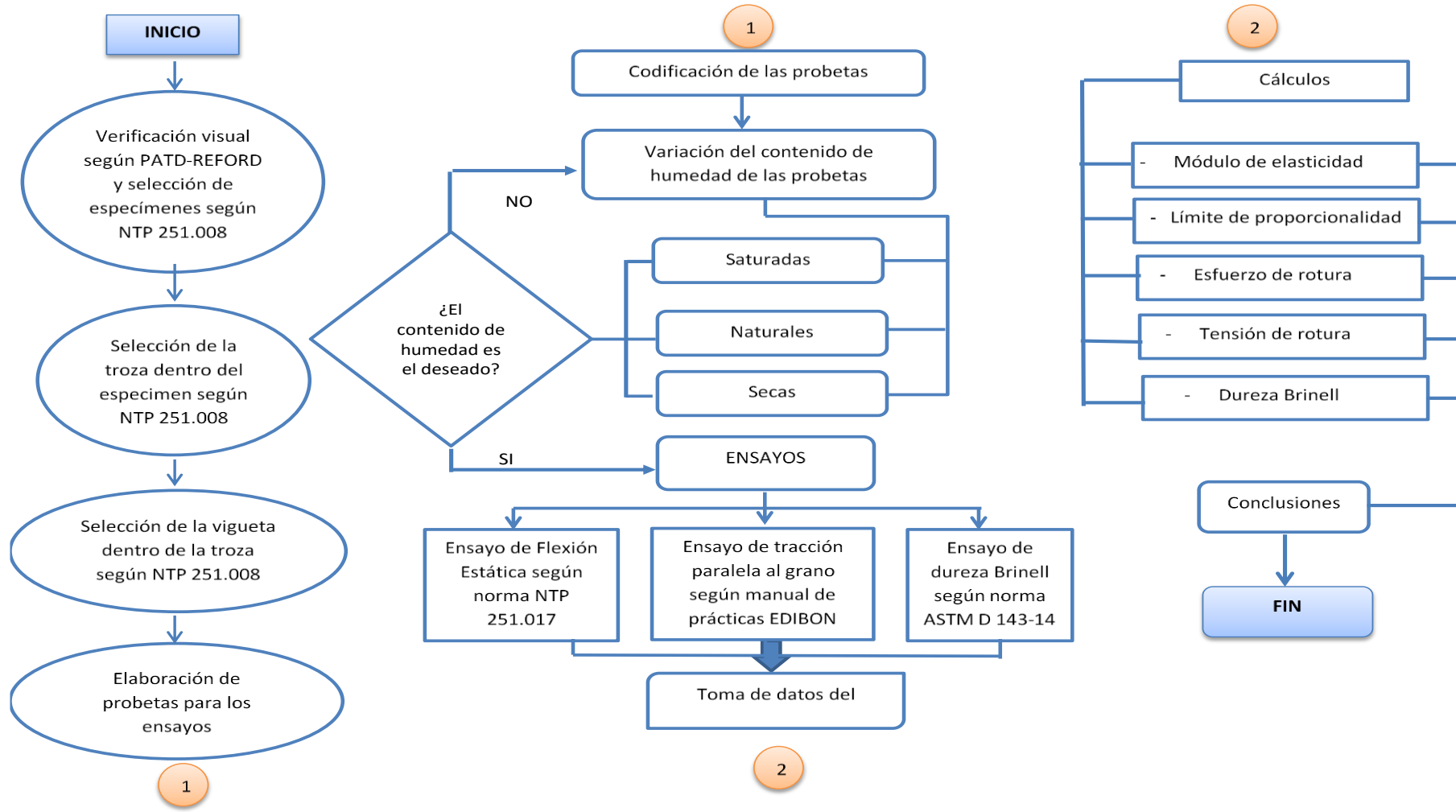
Tesis es del tipo EXPERIMENTAL, porque se hace una ligera modificación a la muestra de la madera de Eucalipto Globulus, la cual es humedecer y secar la madera y así variar el contenido de humedad que tenga la madera de Eucalipto Globulus.

Se modificará la humedad con diferentes tiempos de secado y luego se irán ensayando a las diferentes humedades para así ver que tan grande es su influencia en la resistencia de la madera de Eucalipto Globulus



### 3.2.2. DISEÑO DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACION AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA DE EUCLIPTO GLOBULUS







## **POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.3. POBLACIÓN**

#### **3.2.3.1. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN**

La población está definida por la madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo.

#### **3.2.3.2. CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN**

Es una población única de madera de Eucalipto Globulus de primer corte (plantones).

### **3.2.4. MUESTRA Y MÉTODO DE MUESTREO**

#### **3.2.4.1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

Al ser objeto de estudio una población única para el caso de la madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo, la muestra debe ser coincidente con el total de la población, por lo tanto, para el presente estudio se considera una muestra censal es decir que la muestra considera todo el universo de estudio, la muestra es igual a la población.

Para poder cuantificar la muestra se requieren criterios y elementos de medición, en la presente investigación se ha considerado como criterios de evaluación especímenes de madera de Eucalipto Globulus de la provincia de Acomayo.

La madera de Eucalipto seleccionada debe de estar libre de cualquier irregularidad o imperfección según PADT-REFORT:

- Duramen quebradizo
- Grano inclinado



- Nudo
- Manchas
- Perforaciones considerables
- Rajaduras o grietas

#### **3.2.4.2. CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

La muestra está constituida por la Madera de Eucalipto Globulus de la Provincia de Acomayo considerándose como población única que comprende a todos los especímenes de Eucalipto Globulus.

#### **3.2.4.3. MÉTODO DE MUESTREO**

El método de muestreo que se utilizó en la investigación fue no probabilístico o por conveniencia al que se seleccionó especímenes muestrales para la evaluación de la Madera de Eucalipto Globulus de la Provincia de Acomayo.

#### **3.2.4.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA MUESTRA**

Para evaluar los elementos muestrales se realizan 165 probetas a partir de un tronco de madera en condiciones óptimas definidas en el ítem 3.3.2.1 para evaluar las propiedades mecánicas, las cuales se dividieron en 03 grupos que son los tres ensayos que se realizaran:

- Ensayo de flexión estática (NTP 251.017) 55 probetas
- Ensayo de tracción paralela al grano (Según Manual de prácticas EDIBON) 55 probetas
- Ensayo de dureza Brinell (ASTM D-143-14) 55 probetas



Para el estudio se irá variando la humedad de nuestras probetas para así analizar la influencia del contenido de humedad en la resistencia a cada ensayo. Las humedades que se trabajarán estarán comprendidas en grupos de 11 las cuales comprenden 05 probetas:

#### **Humedades para el ensayo de Flexión Estática:**

**Saturada (S):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad superior al 96%, su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 72 horas.

**Saturada y seco 30 minutos:** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 95 – 80 %. Su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 72 horas y posterior a esta fue secada al horno durante 30 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^{\circ}$  para luego ser ensayada.

**Saturada y seco 60 minutos:** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 79 – 65 %. Su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 72 horas y posterior a esta fue secada al horno durante 60 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^{\circ}$  para luego ser ensayada.

**Saturada y seco 90 minutos:** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 64 – 50 %. Su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 72 horas y posterior a esta fue secada al horno durante 90 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^{\circ}$  para luego ser ensayada.

**Saturada y seco 120 minutos:** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 49 – 35 %. Su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 72 horas y posterior a esta fue



secada al horno durante 120 minutos a una temperatura  $103 \pm 2$  C°. para luego ser ensayada.

**Natural (N):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre al 35%-30%, su humedad natural no fue modificada por ningún tipo de secado.

**Seco 30 minutos (S-A):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 29 - 25%, su humedad natural fue modificada, siendo secada al horno durante 30 minutos a una temperatura  $103 \pm 2$  C° para posteriormente ser ensayada.

**Seco 60 minutos (S-B):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 24- 20%, su humedad natural fue modificada, siendo secada al horno durante 60 minutos a una temperatura  $103 \pm 2$  C° para posteriormente ser ensayada.

**Seco 90 minutos (S-C):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 19 - 15 %, su humedad natural fue modificada, siendo secada al horno durante 90 minutos a una temperatura  $103 \pm 2$  C° para posteriormente ser ensayada.

**Seco 120 minutos (S-D):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 14 - 9 %, su humedad natural fue modificada, siendo secada al horno durante 120 minutos a una temperatura  $103 \pm 2$  C° para posteriormente ser ensayada.

**Seco (S):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad menor al 5%, su humedad natural fue modificada, siendo secada a horno durante 08 horas para posteriormente ser ensayada.

**Humedades para el ensayo de Tracción Paralela al Grano:**



**Saturada (S):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad superior al 100%, su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 48 horas.

**Saturada y seco 15 minutos:** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 95 – 80 %. Su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 48 horas y posterior a esta fue secada al horno durante 15 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para luego ser ensayada.

**Saturada y seco 30 minutos:** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 79 – 65 %. Su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 48 horas y posterior a esta fue secada al horno durante 30 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para luego ser ensayada.

**Saturada y seco 45 minutos:** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 64 – 50 %. Su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 48 horas y posterior a esta fue secada al horno durante 45 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para luego ser ensayada.

**Saturada y seco 60 minutos:** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 49 – 35 %. Su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 48 horas y posterior a esta fue secada al horno durante 60 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para luego ser ensayada.

**Natural (N):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre al 35%-30%, su humedad natural no fue modificada por ningún tipo de secado.



**Seco 15 minutos (S-A):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 29 - 25%, su humedad natural fue modificada, siendo secada al horno durante 15 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para luego ser ensayada.

**Seco 30 minutos (S-B):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 24- 20%, su humedad natural fue modificada, siendo secada al horno durante 30 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para luego ser ensayada.

**Seco 45 minutos (S-C):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 19 - 15 %, su humedad natural fue modificada, siendo secada al horno durante 30 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para luego ser ensayada.

**Seco 60 minutos (S-D):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 14 - 10 %, su humedad natural fue modificada, siendo secada al horno durante 60 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para luego ser ensayada.

**Seco (S):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad menor a 5%, su humedad natural fue modificada, siendo secada a horno durante 2 horas para posteriormente ser ensayada.

#### **Humedades para el ensayo de Dureza Brinell:**

**Saturada (S):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad superior al 100%, su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 72 horas.

**Saturada y seco 30 minutos:** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 95 – 80 %. Su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 72 horas y posterior a esta fue



secada al horno durante 30 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para luego ser ensayada.

**Saturada y seco 60 minutos:** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 79 – 65 %. Su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 72 horas y posterior a esta fue secada al horno durante 60 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para luego ser ensayada.

**Saturada y seco 90 minutos:** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 64 – 50 %. Su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 72 horas y posterior a esta fue secada al horno durante 90 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para luego ser ensayada.

**Saturada y seco 120 minutos:** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 49 – 35 %. Su humedad natural fue modificada, siendo saturada durante 72 horas y posterior a esta fue secada al horno durante 120 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$ . para luego ser ensayada.

**Natural (N):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre al 35%-30%, su humedad natural no fue modificada por ningún tipo de secado.

**Seco 30 minutos (S-A):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 29 - 25%, su humedad natural fue modificada, siendo secada al horno durante 30 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para posteriormente ser ensayada.

**Seco 60 minutos (S-B):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 24- 20%, su humedad natural fue

modificada, siendo secada al horno durante 60 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para posteriormente ser ensayada.

**Seco 90 minutos (S-C):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 19 - 15 %, su humedad natural fue modificada, siendo secada al horno durante 90 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para posteriormente ser ensayada.

**Seco 120 minutos (S-D):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad entre 14 - 5 %, su humedad natural fue modificada, siendo secada al horno durante 120 minutos a una temperatura  $103 \pm 2 \text{ C}^\circ$  para posteriormente ser ensayada.

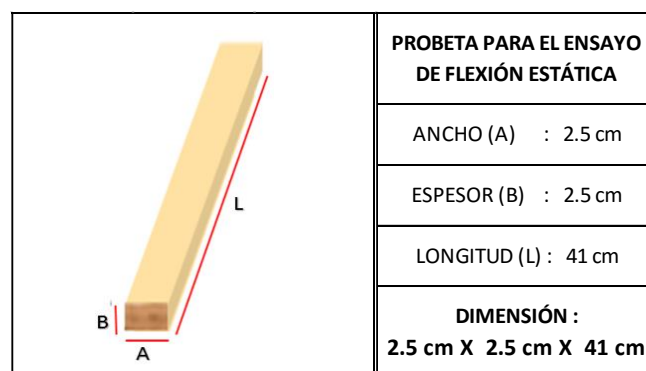
**Seco (S):** Este grupo comprende 05 probetas con contenido de humedad menor al 5%, su humedad natural fue modificada, siendo secada a horno durante 10 horas para posteriormente ser ensayada.

#### 3.2.4.4.1. PROBETAS:

##### 3.2.4.4.1.1. PROBETAS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA:

Serán probetas rectangulares con las siguientes dimensiones según la Norma NTP 251.017:

Figura N° 35: PROBETA NORMALIZADA – ENSAYO FLEXIÓN ESTÁTICA



*Fuente propia*



Se tienen diferentes humedades con un código para cada uno, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 09: ELEMENTOS MUESTRALES PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA

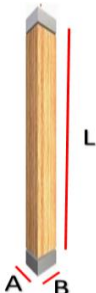
FLEXIÓN ESTÁTICA		
CÓDIGO	EVALUACIÓN	N° PROBETAS
M <sub>F</sub>	SATURADA	5
S-1 <sub>F</sub>	SECO 30 MIN	5
S-2 <sub>F</sub>	SECO 60 MIN	5
S-3 <sub>F</sub>	SECO 90 MIN	5
S-4 <sub>F</sub>	SECO 120 MIN	5
MS-1 <sub>F</sub>	SAT. Y SECO 30 MIN	5
MS-2 <sub>F</sub>	SAT. Y SECO 60 MIN	5
MS-3 <sub>F</sub>	SAT. Y SECO 90 MIN	5
MS-4 <sub>F</sub>	SAT. Y SECO 120 MIN	5
S <sub>F</sub>	SECO 100%	5
N <sub>F</sub>	NATURAL	5
<b>TOTAL</b>		<b>55</b>

*Fuente propia*

#### 3.2.4.4.1.2. PROBETAS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO:

Serán probetas rectangulares con las siguientes dimensiones según el Equipo de Ensayo Universal EDIBON.

Figura N° 36: PROBETA NORMALIZADA –ENSAYO TRACCIÓN PARALELA AL GRANO

	<b>PROBETA PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO</b>
	ANCHO (A) : 0.5 cm
	ESPESOR (B) : 0.5 cm
	LONGITUD (L) : 11 cm
	<b>DIMENSIÓN : 0.5 cm X 0.5 cm X 11 cm</b>

*Fuente propia*

Se tienen diferentes humedades con un código para cada uno, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 10: ELEMENTOS MUESTRALES PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO

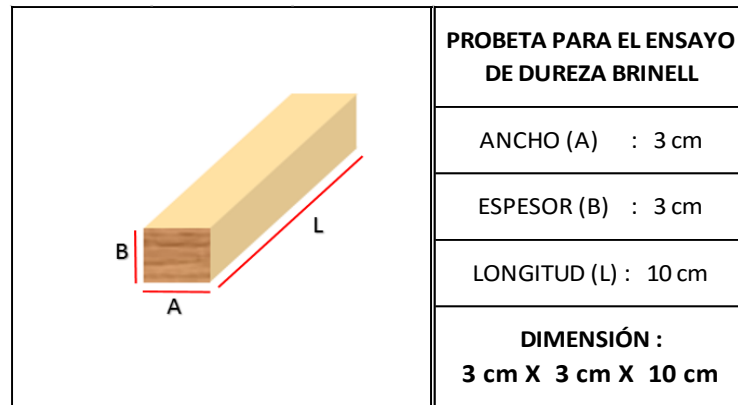
TRACCIÓN PARALELA AL GRANO		
CÓDIGO	EVALUACIÓN	N° PROBETA
M <sub>T</sub>	SATURADA	5
S-1 <sub>T</sub>	SECO 15 MIN	5
S-2 <sub>T</sub>	SECO 30 MIN	5
S-3 <sub>T</sub>	SECO 45 MIN	5
S-4 <sub>T</sub>	SECO 60 MIN	5
MS-1 <sub>T</sub>	SAT. Y SECO 15 MIN	5
MS-2 <sub>T</sub>	SAT. Y SECO 30 MIN	5
MS-3 <sub>T</sub>	SAT. Y SECO 45 MIN	5
MS-4 <sub>T</sub>	SAT. Y SECO 60 MIN	5
S <sub>T</sub>	SECO 100%	5
N <sub>T</sub>	NATURAL	5
<b>TOTAL</b>		<b>55</b>

*Fuente propia*

**3.2.4.4.1.3. PROBETAS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL:**

Serán probetas rectangulares con las siguientes dimensiones según la Norma ASTM D143 - 14:

Figura N° 37: PROBETA NORMALIZADA –ENSAYO DE DUREZA BRINELL



*Fuente propia*

Se tienen diferentes humedades con un código para cada uno, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 11: ELEMENTOS MUESTRALES PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL

DUREZA BRINELL		
CÓDIGO	EVALUACIÓN	N° PROBETAS
M <sub>B</sub>	SATURADA	5
S-1 <sub>B</sub>	SECO 30 MIN	5
S-2 <sub>B</sub>	SECO 60 MIN	5
S-3 <sub>B</sub>	SECO 90 MIN	5
S-4 <sub>B</sub>	SECO 120 MIN	5
MS-1 <sub>B</sub>	SAT. Y SECO 30 MIN	5
MS-2 <sub>B</sub>	SAT. Y SECO 60 MIN	5
MS-3 <sub>B</sub>	SAT. Y SECO 90 MIN	5
MS-4 <sub>B</sub>	SAT. Y SECO 120 MIN	5
S <sub>B</sub>	SECO 100%	5
N <sub>B</sub>	NATURAL	5
<b>TOTAL</b>		<b>55</b>

*Fuente propia*



### **3.2.5. CRITERIOS DE INCLUSIÓN**

- Se analizará la madera de Eucalipto Globulus de la Provincia de Acomayo.
- La evaluación se hará variando los contenidos de humedad de las probetas. Se tendrá 11 contenidos de humedades diferentes, dentro de las cuales se tendrán grupos de 5 para cada uno de los tres ensayos que se realizarán. Serán 55 probetas por cada ensayo haciendo un total de 165 probetas.
- Los tres ensayos que se realizarán serán:
  - Ensayo de Flexión Estática
  - Ensayo de Tracción Paralela al Grano
  - Ensayo de Dureza Brinell.

### **3.3. INSTRUMENTOS**

#### **3.3.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

##### **3.3.1.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD**

TABLA N° 12: RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Formato N°01:**

**TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.**

<b>ENSAYO REALIZADO:</b>	<b>MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL</b>		
<b>AUTOR</b>	Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO	AÑO:	2016
	Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN	CUSCO -PERÚ	

*Lugar : Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingenieria Civil*

CÓDIGO	EVALUACIÓN	N° DE PROBETA	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)
N	NATURAL	1			
		2			
		3			
		4			
		5			



*Fuente propia*

TABLA N° 13: RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECOS

	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>				
<p><b>Formato N°02:</b></p>					
<p><b>TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.</b></p>					
<b>ENSAYO REALIZADO:</b>	<b>MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD SECOS</b>				
<b>AUTOR</b>	Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO	AÑO: 2016			
	Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN	CUSCO -PERÚ			
<i>Lugar : Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil</i>					
<b>CÓDIGO</b>	<b>EVALUACIÓN</b>	<b>N° DE PROBETA</b>	<b>PESO HUMEDO (gr)</b>	<b>PESO SECO (gr)</b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)</b>
S-A	SECO 15 MIN	1			
		2			
		3			
		4			
		5			
S-B	SECO 30 MIN	1			
		2			
		3			
		4			
		5			
S-C	SECO 45 MIN	1			
		2			
		3			
		4			
		5			
S-D	SECO 60 MIN	1			
		2			
		3			
		4			
		5			
S	SECO 100%	1			
		2			
		3			
		4			
		5			

*Fuente propia*

TABLA N° 14: RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CON CONTENIDO DE HUMEDAD MOJADOS –SECOS



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Formato N°03:

TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.

ENSAYO REALIZADO:	MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD MOJADOS - SECOS		
AUTOR	Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO	AÑO:	2016
	Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN	CUSCO -PERÚ	
<i>Lugar : Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil</i>			

CÓDIGO	EVALUACIÓN	N° DE PROBETA	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)
M	SATURADA	1			
		2			
		3			
		4			
		5			
MS-A	SAT. Y SECO 15 MIN	1			
		2			
		3			
		4			
		5			
MS-B	SAT. Y SECO 30 MIN	1			
		2			
		3			
		4			
		5			
MS-C	SAT. Y SECO 45 MIN	1			
		2			
		3			
		4			
		5			
MS-D	SAT. Y SECO 60 MIN	1			
		2			
		3			
		4			
		5			

Fuente propia

**3.3.1.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA**

TABLA N° 15: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA

	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>	
<b>Formato N°04:</b>		
<p><b>TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.</b></p>		
<b>ENSAYO REALIZADO:</b>		<b>MÉTODO PARA DETERMINAR LA FLEXIÓN ESTÁTICA</b>
<b>AUTOR</b>	Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO	AÑO: 2016
	Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN	CUSCO-PERÚ
EQUIPO DE ENSAYO UNIVERSAL		
N° DE PROBETA:		FECHA:
Longitud (cm):		Humedad Natural :
Ancho (cm):		Peso Seco :
Espesor (cm):		% de Humedad :
		Volumen de la Probeta :



*Fuente propia*





TABLA N° 16: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (C.H. NATURAL)



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Formato N°05:**

**TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.**


<b>ENSAYO REALIZADO:</b>	<b>MÉTODO PARA DETERMINAR LA FLEXIÓN ESTÁTICA (NATURAL)</b>		
<b>AUTOR</b>	Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO	AÑO:	2016
	Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN	CUSCO -PERÚ	
<i>Lugar : Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil</i>			

CÓDIGO	EVALUACIÓN	N° DE PROBETA	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	DEFORMACION (cm)	ESPESOR (cm)	LONGITUD ENTRE SOPORTES (cm)	ESFUERZO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	P° LIMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm <sup>2</sup> )
N	NATURAL	1									
		2									
		3									
		4									
		5									


Fuente propia



TABLA N° 17: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (C.H. SECOS)



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Formato N°06:**

<b>TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.</b>			
<b>ENSAYO REALIZADO:</b>		<b>MÉTODO PARA DETERMINAR LA FLEXIÓN ESTÁTICA (SECOS)</b>	
<b>AUTOR</b>	Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO		AÑO: 2016
	Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN		CUSCO -PERÚ
<i>Lugar : Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil</i>			

CÓDIGO	EVALUACIÓN	N° DE PROBETA	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	DEFORMACION (cm)	ESPESOR (cm)	LONGITUD ENTRE SOPORTES (cm)	ESFUERZO DE ROTURA (Kg/cm <sup>2</sup> )	P° LIMITE PROPORCIONAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	MODULO DE ELASTICIDAD (Kg/cm <sup>2</sup> )
S-A	SECO 30 MIN	1									
		2									
		3									
		4									
		5									
S-B	SECO 60 MIN	1									
		2									
		3									
		4									
		5									
S-C	SECO 90 MIN	1									
		2									
		3									
		4									
		5									
S-D	SECO 120 MIN	1									
		2									
		3									
		4									
		5									
S	SECO 100%	1									
		2									
		3									
		4									
		5									

Fuente Propia




TABLA N° 18: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (C.H. MOJADOS - SECOS)

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>											
<b>Formato N°07:</b>												
<b>TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.</b>												
<b>ENSAYO REALIZADO:</b>	<b>MÉTODO PARA DETERMINAR LA FLEXIÓN ESTÁTICA (MOJADO-SECO)</b>											
<b>AUTOR</b>	Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO	AÑO: 2016										
	Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN	CUSCO -PERÚ										
<b>Lugar : Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingenieria Civil</b>												
CÓDIGO	EVALUACIÓN	N° DE PRÓBETA	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ESPESOR (cm)	DEFORMACIÓN (cm)	LÓNIGITUD ENTRE SOPORTES (cm)	ESFUERZO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	P° LIMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )	MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm <sup>2</sup> )	
M	SATURADA	1										
		2										
		3										
		4										
		5										
MS-A	SAT. Y SECO 30MIN	1										
		2										
		3										
		4										
		5										
MS-B	SAT. Y SECO 60MIN	1										
		2										
		3										
		4										
		5										
MS-C	SAT. Y SECO 90MIN	1										
		2										
		3										
		4										
		5										
MS-D	SAT. Y SECO 120MIN	1										
		2										
		3										
		4										
		5										

Fuente Propia

**3.3.1.3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA AL GRANO:**

TABLA N° 19: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO

	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>		
<b>Formato N°06:</b>			
<p><b>TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.</b></p>			
<b>ENSAYO REALIZADO:</b>		<b>ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO</b>	
<b>AUTOR</b>	Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO	AÑO: 2016	
	Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN	CUSCO -PERÚ	
EQUIPO DE ENSAYO UNIVERSAL			
N° DE PROBETA:		FECHA:	
Longitud (cm):		Humedad Natural :	
Ancho (cm):		Peso Seco :	
Espesor (cm):		% de Humedad :	
Longitud final (cm):		Volumen de la Probeta :	
Ancho final (cm):			
Espesor final (cm):			
AREA MÍNIMA:	cm <sup>2</sup>		
ELONGACIÓN :	cm		



Fuente propia



TABLA N° 20: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO (C.H. NATURAL)

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>												
<b>Formato N°09:</b>													
<b>TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.</b>													
<b>ENSAYO REALIZADO:</b>		<b>ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO (NATURAL)</b>											
<b>AUTOR</b>	Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO	AÑO:	2016										
	Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN	CUSCO -PERÚ											
<i><b>Lugar :</b> Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil</i>													
<b>CÓDIGO</b>	<b>EVALUACIÓN</b>	<b>N° DE PROBETA</b>	<b>APLICACIÓN DE LA FUERZA (KN)</b>	<b>LONGITUD DE LA PROBETA (cm)</b>	<b>ANCHO DE LA PROBETA (cm)</b>	<b>ESPEOR DE LA PROBETA (cm)</b>	<b>LONGITUD FINAL DE LA PROBETA (cm)</b>	<b>ANCHO FINAL DE LA PROBETA (cm)</b>	<b>ESPEOR FINAL DE LA PROBETA (cm)</b>	<b>DIFERENCIA DE LONGITUDES (L)</b>	<b>AREA (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>TENSION DE ROTURA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
N	NATURAL	1											
		2											
		3											
		4											
		5											

Fuente propia



TABLA N° 21: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO (C.H.SECOS)



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Formato N°10:**

**TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.**

<b>ENSAYO REALIZADO:</b>	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO (SECOS)</b>
<b>AUTOR</b>	Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO
	Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN
	AÑO: 2016
	CUSCO -PERÚ
<i>Lugar : Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil</i>	

CÓDIGO	EVALUACIÓN	N° DE PROBETA	APLICACIÓN DE LA FUERZA (KN)	LONGITUD DE LA PROBETA (cm)	ANCHO DE LA PROBETA (cm)	ESPESOR DE LA PROBETA (cm)	LONGITUD FINAL DE LA PROBETA (cm)	ANCHO FINAL DE LA PROBETA (cm)	ESPESOR FINAL DE LA PROBETA (cm)	DIFERENCIA DE LONGITUDES (mm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	TENSION DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	
S-A	SECO 15 MIN	1											
		2											
		3											
		4											
		5											
S-B	SECO 30 MIN	1											
		2											
		3											
		4											
		5											
S-C	SECO 45 MIN	1											
		2											
		3											
		4											
		5											
S-D	SECO 60 MIN	1											
		2											
		3											
		4											
		5											
S	SECO 100%	1											
		2											
		3											
		4											
		5											

Fuente propia



TABLA N° 22: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO (C.H. MOJADOS - SECOS)



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Formato N°11:

TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.

ENSAYO REALIZADO: ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO (MOJADOS -SECOS)

AUTOR: Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO, Año: 2016, Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN, CUSCO -PERÚ

Lugar : Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingenieria Civil

Table with 13 columns: CÓDIGO, EVALUACIÓN, N° DE PROBETA, APLICACIÓN DE LA FUERZA (K/N), LONGITUD DE LA PROBETA (cm), ANCHO DE LA PROBETA (cm), ESPESOR DE LA PROBETA (cm), LONGITUD FINAL DE LA PROBETA (cm), ANCHO FINAL DE LA PROBETA (cm), ESPESOR FINAL DE LA PROBETA (cm), DIFERENCIA DE LONGITUDES (mm), AREA (cm²), TENSION DE ROTURA (kg/cm²). Rows include categories M, MS-A, MS-B, MS-C, MS-D with sub-rows 1-5 for each.

Fuente propia

**3.3.1.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL:**

TABLA N° 23: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL

	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>	
<p><b>Formato N°08:</b></p>		
<p><b>TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.</b></p>		
<p><b>ENSAYO REALIZADO:</b></p>		<p><b>ENSAYO DE DUREZA BRINELL</b></p>
<p><b>AUTOR</b></p>	<p>Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO</p>	<p>AÑO: 2016</p>
	<p>Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN</p>	<p>CUSCO-PERÚ</p>
<p><b>EQUIPO DE DUREZA BRINELL</b></p>		
<p>N° DE PROBETA:</p>		<p>FECHA:</p>
<p>Longitud (cm):</p>		<p>Humedad Natural :</p>
<p>Ancho (cm):</p>		<p>Peso Seco :</p>
<p>Espesor (cm):</p>		<p>% de Humedad :</p>
		<p>Volumen de la Probeta :</p>

DIÁMETRO DE LA BOLA:	(mm)
DIÁMETRO DE LA HUELLA:	(mm)
CARGA APLICADA:	(KN)

Fuente propia





TABLA N° 24: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL (C.H. NATURAL)



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Formato N°13:**

**TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.**

<b>ENSAYO REALIZADO:</b>	<b>ENSAYO DE DUREZA BRINELL (NATURAL)</b>		
<b>AUTOR</b>	Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO	AÑO:	2016
	Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN	CUSCO -PERÚ	

*Lugar : Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingenieria Civil*

CÓDIGO	EVALUACIÓN	N° DE PROBETA	APLICACIÓN DE LA FUERZA (kN)	LONGITUD (cm)	ANCHO (cm)	ESPESOR (cm)	TIEMPO DE IDENTIFICACIÓN (Segundos)	FUERZA DEL ENSAYO	DIAMETRO DE IDENTIFICACIÓN (mm) LADO A	DIAMETRO DE IDENTIFICACIÓN (mm) LADO B	DIAMETRO DE LA BOLA (mm)	DUREZA BRINELL (N/mm <sup>2</sup> )	
N	NATURAL	1											
		2											
		3											
		4											
		5											

Fuente propia



TABLA N° 25: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL (C.H. SECOS)



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Formato N°14:**

**TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.**

<b>ENSAYO REALIZADO:</b>	<b>ENSAYO DE DUREZA BRINELL (SECOS)</b>		
<b>AUTOR</b>	Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO	<b>AÑO:</b>	2016
	Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN	CUSCO-PERÚ	
<i>Lugar : Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingenieria Civil</i>			

CÓDIGO	EVALUACIÓN	N° DE PRÓBETA	APLICACIÓN DE LA PUNTERA (KN)	LONGITUD (cm)	ANCHO (cm)	ESPESOR (cm)	TIEMPO DE IDENTIFICACIÓN (Segundos)	FUERZA DEL ENSAYO	DIÁMETRO DE IDENTIFICACIÓN (mm) LADO A	DIÁMETRO DE IDENTIFICACIÓN (mm) LADO B	DIÁMETRO DE LA BOLA (mm)	DUREZA BRINELL (N/mm <sup>2</sup> )	
SA	SECO 30MIN	1											
		2											
		3											
		4											
		5											
SB	SECO 60MIN	1											
		2											
		3											
		4											
		5											
SC	SECO 90MIN	1											
		2											
		3											
		4											
		5											
SD	SECO 120MIN	1											
		2											
		3											
		4											
		5											
S	SECO 300N	1											
		2											
		3											
		4											
		5											

Fuente propia



TABLA N° 26: RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL (C.H. MOJADOS - SECOS)



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Formato N°15:

TESIS: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN EN ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN USANDO MADERA EUCALIPTO GLOBULUS DE LA PROVINCIA DE ACOMAYO.

ENSAYO REALIZADO:

ENSAYO DE DUREZA BRINELL (MOJADOS - SECOS)

AUTOR

Bach. JUNIOR LOPEZ CARRASCO

AÑO:

2016

Bach. JHORDAN ROZAS FARFAN

CUSCO-PERÚ

Lugar : Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil

CÓDIGO	EVALUACIÓN	N° DE PRÓBETA	APLICACIÓN DE LA FUERZA (KN)	LONGITUD (cm)	ANCHO (cm)	ESPESOR (cm)	TIEMPO DE IDENTIFICACIÓN (Segundos)	FUERZA DEL ENSAYO	DIÁMETRO DE IDENTIFICACIÓN (mm) LADO A	DIÁMETRO DE IDENTIFICACIÓN (mm) LADO B	DIÁMETRO DE LA BOLA (mm)	DUREZA BRINELL (N/mm <sup>2</sup> )
M	SATURADA	1										
		2										
		3										
		4										
		5										
MS-A	SAT. Y SECO 30 MIN	1										
		2										
		3										
		4										
		5										
MS-B	SAT. Y SECO 90 MIN	1										
		2										
		3										
		4										
		5										
MS-C	SAT. Y SECO 90 MIN	1										
		2										
		3										
		4										
		5										
MS-D	SAT. Y SECO 120 MIN	1										
		2										
		3										
		4										
		5										

Fuente propia



### 3.3.2. INSTRUMENTOS DE INGENIERIA

- EQUIPO DE ENSAYOS UNIVERSALES: Equipo que trabaja en modo de tracción o compresión a partir de un solo bastidor con una capacidad de 20KN.
- EQUIPO DE DUREZA BRINELL: Equipo que sirve para medir la dureza de las probetas en estudio mediante la indentación (dureza por penetración).
- DEFLECTÓMETRO: Instrumento utilizado para medir las deformaciones o deflexiones en los elementos muestrales ensayados a flexión estática.
- MICROSCOPIO ANALÓGICO: Instrumento que sirve para medir los diámetros de la indentación con una capacidad de aumento de 10X.
- HIGRÓMETRO: Es un instrumento que sirve para medir el porcentaje de humedad de la madera, con una capacidad de 65% de lectura.
- HORNO ELÉCTRICO: La estufa de secado es un equipo que se utiliza para extraer humedad de la madera, con una capacidad de  $103 \pm 2$  °C. Se identifica también con el nombre de Horno de secado.
- BALANZA: La balanza es un instrumento que sirve para medir la masa de los elementos muestrales.
- VERNIER O PIE DE REY: Calibre o calibrador sirve para realizar mediciones exactas.



### **3.4. EVALUACIÓN DEL RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS**

#### **3.4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DE LAS PROBETAS**

##### **3.4.1.1. SELECCIÓN DE ELEMENTOS MUESTRALES SEGÚN NORMA (NTP 251.008 - 251.009)**

###### **3.4.1.1.1. OBJETIVOS**

- Conocer el procedimiento para elaborar las probetas.
- Proponer y aplicar el procedimiento más adecuado, para obtener resultados óptimos en la elaboración de las probetas.
- Por regla general una muestra de cinco probetas suele ser suficiente.

###### **3.4.1.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES**

- Motosierra.
- Una wincha o flexómetro.
- Cepilladora eléctrica.
- Sierra Circular eléctrica.

###### **3.4.1.1.3. PROCEDIMIENTOS**

- Se seleccionó Madera de Eucalipto Globulus, las maderas de Eucalipto proveniente de la provincia de Acomayo.

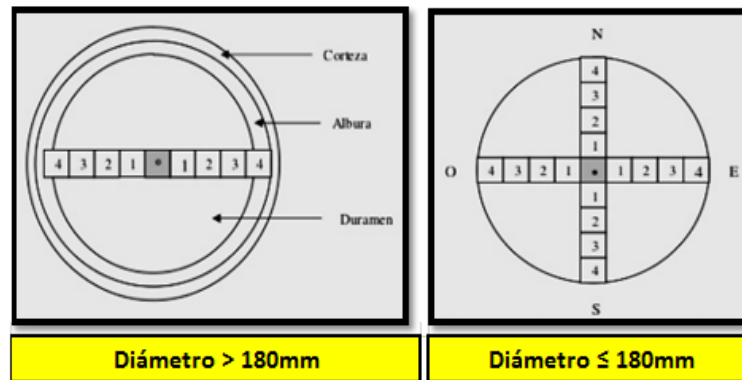
FIGURA Nº 38: ESPÉCIMEN O TROZA DE MADERA DE EUCALIPTO  
GLOBULUS



*Fuente propia*

- Se selecciona madera en forma de rollizos libre de imperfecciones y recientemente apeado.
- Se procede al traslado de la madera para realizar la selección de las viguetas dentro de la troza. Y de esta manera obtener las probetas para los tres ensayos que se desarrollaran.
- La madera en forma de rollizos se divide en viguetas de 8x8 cm por todo el largo de la troza y se escoge al azar una de ellas de acuerdo al volumen que representa, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura N° 39: DIÁMETROS DE LA PROBETA



Fuente propia

- Las probetas se fabricaron de acuerdo a los tamaños específicos para cada ensayo.

Figura N° 40: TAMAÑOS ESPECÍFICOS DE LAS PROBETAS



Fuente propia



### **3.4.1.2. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ELEMENTOS MUESTRALES SEGÚN NORMA (NTP 251.010)**

#### **3.4.1.2.1. OBJETIVOS:**

- Conocer el procedimiento técnico y práctico para la correcta saturación de las probetas de madera de Eucalipto Globulus.
- Analizar el comportamiento de la madera de Eucalipto Globulus bajo la acción del agua.
- Determinar el contenido de humedad de la madera secada a horno y saturada.
- Analizar la capacidad de absorción, por la capilaridad que presenta la madera de Eucalipto Globulus.

#### **3.4.1.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES:**

- Horno, con capacidad de temperatura de  $103^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$ .
- Medidor de contenido de humedad electrónico
- Recipientes para saturar las probetas de madera de Eucalipto Globulus.
- Balanza de precisión
- Cronometro
- Bolsas herméticas

#### **3.4.1.2.3. PROCEDIMIENTO:**

- Como primer, paso procedemos a la colocar la codificación a cada una de las probetas:



TABLA N° 27: CODIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS MUESTRALES

CÓDIGO	EVALUACIÓN	N° PROBETAS
M	SATURADA	M <sub>1</sub>
		M <sub>2</sub>
		M <sub>3</sub>
		M <sub>4</sub>
		M <sub>5</sub>
S-A	SECO 15 MIN	S-A <sub>1</sub>
		S-A <sub>2</sub>
		S-A <sub>3</sub>
		S-A <sub>4</sub>
		S-A <sub>5</sub>
S-B	SECO 30 MIN	S-B <sub>1</sub>
		S-B <sub>2</sub>
		S-B <sub>3</sub>
		S-B <sub>4</sub>
		S-B <sub>5</sub>
S-C	SECO 45 MIN	S-C <sub>1</sub>
		S-C <sub>2</sub>
		S-C <sub>3</sub>
		S-C <sub>4</sub>
		S-C <sub>5</sub>
S-D	SECO 60 MIN	S-D <sub>1</sub>
		S-D <sub>2</sub>
		S-D <sub>3</sub>
		S-D <sub>4</sub>
		S-D <sub>5</sub>
MS-A	SAT. Y SECO 15 MIN	MS-A <sub>1</sub>
		MS-A <sub>2</sub>
		MS-A <sub>3</sub>
		MS-A <sub>4</sub>
		MS-A <sub>5</sub>
MS-B	SAT. Y SECO 30 MIN	MS-B <sub>1</sub>
		MS-B <sub>2</sub>
		MS-B <sub>3</sub>
		MS-B <sub>4</sub>
		MS-B <sub>5</sub>
MS-C	SAT. Y SECO 45 MIN	MS-C <sub>1</sub>
		MS-C <sub>2</sub>
		MS-C <sub>3</sub>
		MS-C <sub>4</sub>
		MS-C <sub>5</sub>

MS-D	SAT. Y SECO 60 MIN	MS-D <sub>1</sub>
		MS-D <sub>2</sub>
		MS-D <sub>3</sub>
		MS-D <sub>4</sub>
		MS-D <sub>5</sub>
S	SECO 100%	S <sub>1</sub>
		S <sub>2</sub>
		S <sub>3</sub>
		S <sub>4</sub>
		S <sub>5</sub>
N	NATURAL	N <sub>1</sub>
		N <sub>2</sub>
		N <sub>3</sub>
		N <sub>4</sub>
		N <sub>5</sub>

**Fuente propia** (CONTINUA DE LA TABLA ANTERIOR)

En la tabla N° 25 Se observa la codificación de las probetas, para el ensayo de Tracción Paralela al Grano; para los ensayos de Flexión Estática y Dureza Brinell se realizará siguiendo el mismo proceso, pero con variación en los tiempos de Evaluación, en lapsos de 30 MIN.

- Las probetas M, MS-A, MS-B, MS-C y MS-D fueron saturadas con agua durante 72 horas. Se las colocó en un recipiente con agua, hasta que cubran toda la muestra en su totalidad para que obtengan un contenido de humedad del 100 %.
  - Las 05 probetas con el código M (M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> y M<sub>5</sub>), una vez saturada fue ensayada inmediatamente, sin pasar por ningún tipo de secado.
  - Las probetas con los códigos MS-A, MS-B, MS-C y MS-D, una vez saturadas, fueron secadas en un horno, a distintos tiempos como se aprecia en la anterior tabla N° 25:

FIGURA N° 41: PROCESO DE SATURACIÓN DE LAS PROBETAS DE  
MADERA



*Fuente propia*

- Las probetas S-A, S-B, S-C y S-D fueron secadas en un horno a diferentes tiempos, para obtener diferentes contenidos humedad.
  - Las 05 probetas con el código S ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  y  $S_5$ ), se secaron en un horno durante 08 horas, siendo esta el tiempo de secado al 100%.
  - Las probetas con el código S-A, S-B, S-C y S-D, fueron secadas en un horno a distintos tiempos como se aprecia en la anterior tabla N° 25:
- Las probetas N, tienen un contenido de humedad natural y serán ensayadas inmediatamente.
- Se determinó el porcentaje de humedad de 30 probetas (N, S, S-A, S-B, S-C y S-D) con ayuda del medidor electrónico de contenido de humedad antes de realizar el ensayo.

FIGURA N° 42: MEDICIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD



*Fuente propia*

- Las 25 probetas restantes (M, MS-A, MS-B, MS-C y MS-D) mediante una balanza, ya que el medidor de humedad solo puede realizar lecturas de hasta 65% de contenido de humedad.

### **3.4.1.3. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ESTÁTICA**

#### **3.4.1.3.1. OBJETIVO DEL ENSAYO.**

- Determinar experimentalmente la Flexión Estática de la madera de Eucalipto Globulus bajo diferentes condiciones de contenido de humedad.
- Conocer el procedimiento adecuado del método, para determinar la Flexión Estática de las probetas en estudio.
- Clasificar las probetas según su contenido de humedad y módulo de elasticidad.
- Verificación de la resistencia a la Flexión, bajo la aplicación de cargas estáticas.
- Determinar la Flexión de la probeta de madera de Eucalipto Globulus, mediante la aplicación de carga, a velocidad constante, hasta alcanzar la Deformación por Flexión.



#### **3.4.1.3.2. EQUIPOS, MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDIDA:**

- Equipo de Ensayo Universal EEU/20KN
- Probetas de madera Eucalipto Globulus
- Medidor electrónico de humedad (Higrómetro)
- Horno
- Vernier o pie de Rey
- Una balanza digital
- Lentes de seguridad
- Guantes
- Bolsas herméticas

#### **3.4.1.3.3. PROCEDIMIENTO:**

- Se prepararon 55 probetas libres de defectos, de dimensiones de  
  
2.5 cm x 2.5 cm x 41 cm, elaboradas de tal manera que las caras sean paralelas al grano.

Figura N° 43: PROBETAS NORMALIZADAS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN  
ESTÁTICA



*Fuente propia*

- Se miden las dimensiones de las probetas para corroborar las medidas mencionadas anteriormente.
- Se registra las 55 probetas en grupos de 05 con los códigos N, S, S-A, S-B, S-C, S-D, M, MS-A, MS-B, MS-C y MS-D.
- Se saturan las probetas con los códigos M, MS-A, MS-B, MS-C y MS-D

Figura N° 44: PROBETAS EN PROCESO DE SATURACIÓN PARA EL  
ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA



*Fuente propia*

Se llevan al horno las probetas con los códigos S, S-A, S-B, S-C y S-D

Figura N° 45: PROBETAS SECAS AL HORNO PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA



*Fuente propia*

- Colocar las probetas en bolsas herméticas, de tal manera que se pueda garantizar el contenido de humedad.
- Las primeras probetas en ensayar son las 05 probetas con el código N (humedad natural).

Se irán pesando cada probeta con su respectivo código antes de ser ensayada.

Figura N° 46: REGISTRO DEL PESO DE LA PROBETA



*Fuente propia*



- Se registra el porcentaje de humedad de cada código, mediante el higrómetro (05 probetas por código).

Figura N° 47: DETERMINACIÓN ELECTRÓNICA DEL CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD DE LA PROBETA



*Fuente propia*

- La carga se aplicó al centro de la luz de cada probeta, para el cual la distancia entre cada soporte es de 17.5 cm.
- Se usó como elemento de carga un cabezal de metal.
- Se coloca la probeta de madera de Eucalipto Globulus, sobre los apoyos de modo que la carga sea aplicada en el plano tangencial más cercano a la médula.



Figura N° 48: EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA



*Fuente propia*

- Se aplica la carga en forma continua con una velocidad de ensayo de 1.3 mm/min, no variando más allá de un 25[%].
- Se mide la deflexión  $\delta$ , producida en la mitad de la luz, para cargas progresivas, con intervalos de carga convenientemente elegidos. Que se realizará con ayuda de un reloj comparador que se acopla al Ensayo Universal de Materiales.

Figura N° 49: APLICACIÓN DE LA FUERZA CONSTANTE



*Fuente propia*

FIGURA N° 50: DEFLEXIÓN PRODUCIDA EN LA PROBETA



*Fuente propia*

- Anotar la carga máxima  $Q$ , obtenida durante el ensayo de la probeta.

- Una vez ensayada las probetas de madera de Eucalipto Globulus se someterán a tiempos de secado ya establecidos anteriormente en el horno para determinar el contenido de humedad de cada muestra.

Figura N° 51: PROBETAS EN ESTADO ANHIDRO



*Fuente propia*

- Repetir el proceso para las probetas con los códigos S, S-A, S-B, S-C, S-D, M, MS-A, MS-B, MS-C y MS-D.

#### 3.4.1.4. ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO

##### 3.4.1.4.1. OBJETIVOS:

- Determinar la resistencia de la probeta de madera de Eucalipto Globulus, a la tracción estática mediante la aplicación de carga, a velocidad constante, hasta alcanzar la rotura de la probeta.
- Clasificar las probetas de madera de Eucalipto Globulus según su humedad y la Resistencia a la Tracción.
- Determinar las principales propiedades, de las probetas de madera de Eucalipto Globulus.

**3.4.1.4.2. EQUIPOS, MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDIDA:**

- Equipo de Ensayo Universal EEU/20KN
- Probetas de madera Eucalipto Globulus
- Medidor electrónico de humedad (Higrómetro)
- Horno
- Vernier o pie de Rey
- Una balanza digital
- Lentes de seguridad
- Guantes
- Bolsas herméticas

**3.4.1.4.3. PROCEDIMIENTO:**

- Se prepararon 55 probetas libres de defectos, de dimensiones de 0.5 cm x 0.5 cm x 11 cm, elaboradas de tal manera que las caras sean paralelas al grano.

Figura N° 52: PROBETAS NORMALIZADAS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO



*Fuente propia*



- Medir la longitud  $L$ , altura  $h$ , y el ancho  $b$ , de la probeta N° 1 en el centro de su longitud  $l$ .

Figura N° 53: COMPROBACIÓN DE LAS MEDIDAS DE LAS PROBETAS NORMALIZADAS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO



*Fuente propia*

- Se registra las 55 probetas en grupos de 05 con los códigos N, S, S-A, S-B, S-C, S-D, M, MS-A, MS-B, MS-C y MS-D.
- Se saturan las probetas con los códigos M, MS-A, MS-B, MS-C y MS-D

Figura N° 54: PROBETAS EN PROCESO DE SATURACIÓN PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN



*Fuente propia*

- Se llevan al horno las probetas con los códigos S, S-A, S-B, S-C y S-D

- Colocar las probetas en bolsas herméticas, de tal manera que se pueda garantizar el contenido de humedad.

Figura N° 55: CONSERVACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS PROBETAS DE MADERA DE EUCALIPTO GLOBULUS



*Fuente propia*

- Se registra el porcentaje de humedad de cada código (05 probetas por código).

FIGURA N° 56: DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD MEDIANTE EL HIGRÓMETRO



*Fuente propia*