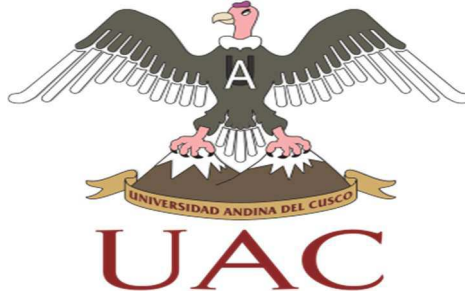




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**EVALUACION COMPARATIVA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL
ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ Y COLA SINTETICA BLANCA EN LAS
PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA EUCALIPTO
GLOBULUS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PROCEDENTE DE LA
ZONA DE PAUCARTAMBO-CUSCO APLICADA POR INMERSION
PROLONGADA PARA USO ESTRUCTURAL**

Presentado por los bachilleres:

Valencia Pezo, Jackeline Dayana

Sánchez Quispe, Brayan

*Para obtener el Título Profesional de
Ingeniero Civil*

Asesor:

Ing. Heiner Soto Flórez

Cusco – Perú

2017



DEDICATORIA

A DIOS, por guiarnos y acompañarnos en este largo camino para llegar a ser profesionales.

Dedico este trabajo a mis padres Aydee Pezo Diaz y Julio Valencia Jiménez; quienes con su amor y comprensión me acompañaron y apoyaron siempre en todo momento de mi vida y me enseñaron todos los valores para ser la persona que ahora soy.

A mis hermanos Alvaro Valencia Pezo y Luz Estrella Valencia Pezo; que en ocasiones me acompañaron por las noches al momento de realizar la presente investigación.

También agradezco a mi prima Ninoska Morales Pezo; por su apoyo incondicional, su exigencia constante y todos los consejos que siempre me ha dado en todo el transcurso para realizar mi investigación.

JACKELINE DAYANA VALENCIA PEZO

Dedico este trabajo a:

A mis Abuelos Benita Alvarez y Manuel Quispe que desde el cielo me guiaron y protegieron.

A mis Padres Herminia Quispe y William Sanchez, con especial afecto a mi Madre con su amor y ejemplo forjarme en la persona que soy.

A mi Hermano Yezen por su apoyo y consejos en mi vida, ellos son los que me dieron grandes enseñanzas y los principales protagonistas de este “sueño alcanzado”.

BRAYAN SANCHEZ QUISPE



AGRADECIMIENTOS

Expresamos sincero agradecimiento a nuestro asesor: Ing. Heiner Soto Florez por su desinteresada colaboración y apoyo para el desarrollo de la presente investigación.

Así mismo nuestro reconocimiento y agradecimiento a nuestra alma mater, Universidad Andina del Cusco, la cual está representada la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

De igual manera agradecer al Ing. Alfredo Curo Gómez, Docente de Laboratorio, por su apoyo permanente y desinteresado para el desarrollo de los ensayos en el transcurso de nuestra investigación.

Agradecer a nuestros familiares, y en especial a nuestros padres, Aydee Pezo, Julio Valencia, Herminia Quispe y William Sanchez que hicieron que sea posible cumplir con nuestra meta de ser profesionales.

Agradecer a nuestros amigos: Marquinho del Pezo, Fabiola Alcazar, Hussein Vallenas, Richard Valencia, Diego Neira, Edgar Marquina, Victor Polo; que estuvieron presentes en el cumplimiento de este objetivo de manera incondicional.



RESUMEN

La presente tesis se enmarca en la ciudad de Cusco, la investigación tiene por objetivo evaluar los efectos que producen el aceite requemado automotriz y la cola sintética blanca en las propiedades físico mecánicas de la madera Eucalipto Globulus con contenido de humedad seco procedente de Paucartambo – Cusco aplicada por inmersión prolongada para uso estructural. Las propiedades físico-mecánicas que se ensayaron fueron: Densidad básica, Dureza, Cizallamiento paralelo al grano, Compresión axial o paralela al grano, Compresión perpendicular y Flexión estática, para lo cual se utilizó un total de 360 probetas elaboradas de 5 árboles extraídos de la zona de Paucartambo, se utilizaron 20 probetas por ensayo dando un total de 120 probetas por tratamiento con cola sintética blanca, 120 con tratamiento de aceite requemado automotriz y 120 probetas sin tratamiento. Se utilizó criterios estadísticos, entre ellos Chauvenet el cual sirvió para aprobar o descartar los datos obtenidos, también se utilizó un límite de exclusión al 5%; para obtener este dato representativo, se utilizó la función probabilística Student (t) a un percentil 5 a un nivel de confianza del 95%. El Eucalipto Globulus de la zona de Paucartambo al ser tratada tanto con cola sintética blanca como con aceite requemado automotriz; mejora sus características para poder ser empleado estructuralmente, cabe resaltar que los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos para el Eucalipto Globulus en estado anhidro , tratado con cola sintética blanca y aceite requemado automotriz fueron superior a los resultados obtenidos en la madera Eucalipto Globulus sin tratamiento.

Palabras clave: Madera, tratamiento, inmersión, aceite automotriz, cola sintética.



ABSTRACT

The present thesis was elaborated in the city of Cusco, the objective of this research is to evaluate the effects of the burned motor oil and the white synthetic glue on the mechanical properties of the Globulus Eucalyptus wood with dry moisture content from Paucartambo - Cusco applied by extended immersion for structural use. The physical-mechanical properties tested were: Basic Density, Hardness, Parallel shear to grain, Axial or Parallel Compression to grain, Perpendicular Compression and Static Flexion, for which a total of 360 specimens made from 5 trees extracted from the 20 specimens per test were used, giving a total of 120 specimens per treatment with white synthetic glue, 120 with autoclaved oil treatment and 120 specimens without treatment. Statistical criteria were used, including Chauvenet, which was used to approve or discard the data obtained; a 5% exclusion limit was also used; to obtain this representative data, the Student's probability function (t) was used at a percentile 5 at a 95% confidence level. Based on the results obtained, Chapter IV presents the conclusions and recommendations, showing that the Eucalyptus Globulus of the area of Paucartambo when treated with both white synthetic glue and burned motor oil; improves its characteristics to be able to be used structurally, it is important be noted that the results obtained in the mechanical tests for Eucalyptus globulus in the anhydrous state, treated with white synthetic glue and automated oil, were superior to the results obtained in the Globulus Eucalyptus wood without treatment.

Keywords: Wood, treatment, immersion, synthetic glue, motor oil.



INTRODUCCION

La madera es un material duro y resistente que se produce mediante la transformación del árbol. Es un recurso forestal disponible que se ha utilizado durante mucho tiempo como material de construcción. Es uno de los elementos constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado para la construcción de sus viviendas y otras edificaciones. Pero para lograr un resultado excelente en su trabajabilidad hay que tener presente ciertos aspectos relacionados con la forma de corte, curado y secado.

La utilización de la madera como sistema constructivo o como elemento estructural ha acompañado al hombre a lo largo de toda la historia. Al principio, junto a la piedra, era el principal elemento constructivo. Posteriormente aparecieron nuevos materiales que relegaron su utilización. Actualmente la evolución de su tecnología permite obtener productos estructurales más fiables y económicos, y su mejor conocimiento, tanto desde el punto de vista estructural como ecológico y medioambiental, le permite competir con el resto de los materiales estructurales.

La presente investigación consiste en la evaluación comparativa de los efectos que produce el aceite quemado automotriz y cola sintética blanca en las propiedades físico mecánicas de la madera Eucalipto Globulus con contenido de humedad seco procedente de la zona de Paucartambo-Cusco aplicada por inmersión prolongada para uso estructural, que permitirán reivindicar su importancia y tener un registro cuantificable de las características de la especie, evitando así la selectividad de los usuarios hacia una o pocas especies conocidas, cuando existen otras de características similares. De esta manera se podrá dar a conocer su calidad y a partir de esta, asignar una mejor utilización como material estructural.

Las propiedades físico-mecánicas que se determinaron fueron: densidad básica, dureza, flexión estática, compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano y corte o cizallamiento paralelo al grano, todo esto para un estado anhidro con tratamiento y sin tratamiento. Los aditivos utilizados para su tratamiento están dirigidos a la forma de comercialización de nuestra región por lo cual, se utilizaron 120 probetas para los ensayos sin tratamiento, 120 probetas para los ensayos con aceite quemado automotriz y 120 probetas para los ensayos con cola sintética blanca. Estos ensayos se realizaron en la Universidad Andina del Cusco.



INDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCION	v
INDICE GENERAL	vi
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE TABLAS	xiii
INDICE DE GRAFICOS.....	xviii
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Identificación del problema	1
1.1.1 Descripción del Problema	1
1.1.2 Formulación de problemas.....	2
1.2 Justificación	3
1.2.1 Justificación técnica.....	3
1.2.2 Justificación social.....	4
1.2.3 Justificación por viabilidad.....	4
1.2.4 Justificación por relevancia	5
1.3 Limitaciones de la investigación.....	5
1.3.1 Limitación de lugar.....	5
1.3.2 Limitaciones de materiales	5
1.3.3 Limitaciones de ensayos	6
1.4 Objetivos de la investigación.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6



1.4.2	Objetivos específicos	6
1.5	Hipótesis	7
1.5.1	Hipótesis general.....	7
1.5.2	Sub hipótesis	7
1.6	Variables	8
1.6.1	Variables dependientes	8
1.6.2	Indicadores de las variables dependientes	9
1.6.3	Variables independientes	9
1.6.4	Indicadores de las variables independientes	9
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO DE LA TESIS.....		11
2.1	Antecedentes de la tesis	11
2.1.1	Antecedentes nacionales	11
2.1.2	Antecedentes a nivel internacional	12
2.2	Base teórico científicas	14
2.2.1	Generalidades de la madera	14
2.2.2	Propiedades de la madera	24
2.2.3	Eucalytus Globulus	43
2.2.4	Influencia del contenido de humedad	51
2.2.5	Patología de la madera.....	51
2.2.6	Protección de la madera.....	53
2.2.7	Durabilidad natural e impregnabilidad	59
2.2.8	Clases de riesgo	60
2.2.9	Revisión de las medidas constructivas.....	60
2.2.10	Productos protectores.....	61
2.2.11	Método de tratamiento	64



2.2.12	Elección del tipo de protección.....	67
2.2.13	Vida útil de la madera tratada	68
2.2.14	Teoría de resistencia de materiales	69
2.2.15	Criterios estadísticos	70
CAPITULO III: METODOLOGIA		74
3.1	Metodología de la investigación	74
3.1.1	Tipo de investigación.....	74
3.1.2	Nivel de la investigación.....	74
3.1.3	Método de la investigación	74
3.2	Diseño de la investigación	75
3.2.1	Diseño metodológico	75
3.2.2	Diseño de ingeniería	75
3.3	Población y muestra.....	77
3.3.1	Población	77
3.3.2	Muestra	77
3.3.3	Criterios de inclusión	79
3.4	Instrumentos.....	80
3.4.1	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos	81
3.4.2	Instrumentos de Ingeniería.....	94
3.5	Procedimientos de Recolección de Datos	98
3.5.1	Selección y colección de muestras (NTP 251.008)	98
3.5.2	Método de protección y tratamiento de las probetas	101
3.5.3	Métodos para determinar el contenido de humedad (NTP 251.009).....	102
3.5.4	Método para determinar la densidad (NTP 251.011)	103
3.5.5	Método para determinar la Dureza (ASTM E10-Metodo de Brinell)	107



3.5.6 Método para determinar el esfuerzo al corte por cizallamiento paralelo al grano (NTP 251.013) 110

3.5.7 Método para determinar la compresión axial o paralela al grano (NTP 251.014)..... 114

3.5.8 Método para determinar la compresión perpendicular al grano (NTP 251.016)..... 117

3.5.9 Método para determinar la flexión estática (NTP 251.017) 121

3.6 Procedimientos de Análisis de datos 125

3.6.1 Densidad 125

3.6.2 Dureza..... 129

3.6.3 Resistencia al corte por cizallamiento paralelo al grano..... 133

3.6.4 Resistencia a la compresión axial o paralela al grano. 137

3.6.5 Resistencia a la compresión perpendicular al grano..... 141

3.6.6 Resistencia a la flexión estática. 145

3.6.7 Análisis estadístico 149

3.6.8 Límite de Confianza (t de Student)..... 171

3.6.9 Esfuerzos admisibles..... 173

CAPITULO IV: RESULTADOS 175

4.1 Resultados de los ensayos de las Propiedades Físicas..... 176

4.1.1 Resultados del ensayo de densidad básica..... 176

4.1.2 Resultados del ensayo de dureza de Brinell..... 177

4.2 Resultados de los ensayos de las Propiedades Mecánicas 178

4.2.1 Resultados del ensayo de Corte por cizallamiento paralelo al grano 178

4.2.2 Resultados del ensayo de Compresión axial o paralela al grano 179

4.2.1 Resultados del ensayo de Compresión perpendicular al grano..... 180

4.2.2 Resultados del ensayo de Flexión estática..... 181



CAPITULO V: DISCUSIÓN	182
GLOSARIO	187
CONCLUSIONES	190
RECOMENDACIONES.....	192
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	193
ANEXOS	195
a) Anexo fotográfico	195
b) Función t de Student	207
c) Matriz de consistencia	208
d) Normas.....	209

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Zonas boscosas de Paucartambo.....	1
Figura N° 2: Forestación con eucalipto en la zona de Paucartambo- Cusco	2
Figura N° 3: Partes de la madera	17
Figura N° 4: Proceso de obtención de la madera.....	18
Figura N° 5: Secado de madera al aire	19
Figura N° 6: Sentidos del eje del árbol	25
Figura N° 7: Eje tangencial de una pieza de madera	25
Figura N° 8: Eje radial de una pieza de madera	26
Figura N° 9: Eje longitudinal en una pieza de madera	26
Figura N° 10: Madera sobre el psf. presencia de agua libre y agua ligada.....	28
Figura N° 11: Madera verde y madera seca.....	29
Figura N° 12: Efectos de la contracción en la madera.	31
Figura N° 13: Carga-deformación	33
Figura N° 14: Esquema de ensayo de compresión perpendicular al grano	35
Figura N° 15: Esquema de ensayo de compresión paralela al grano.....	36
Figura N° 16:Esquema de ensayo de flexión estática.....	37



Figura N° 17: Esquema de ensayo de resistencia al cizalle paralelo a las fibras.....38

Figura N° 18:Términos relativos a la geometría de una pieza.....39

Figura N° 19: Medición de agujero y/o nudo suelto en el borde40

Figura N° 20:Medición de la longitud de la zona afectada por la rajadura41

Figura N° 21: Medición de grietas.....41

Figura N° 22: Medición de la desviación de la fibra42

Figura N° 23:Acanaladura, alabeo de las caras en la dirección.....42

Figura N° 24: Medición de la arista faltante o canto muerto.....43

Figura N° 25: Listones de madera eucalipto.....44

Figura N° 26: Uso de la madera Eucalipto48

Figura N° 27: Características de la madera Eucalipto49

Figura N° 28: Tratamiento por pincelado en madera64

Figura N° 29: Tratamiento por pulverización en madera65

Figura N° 30: Tratamiento por inmersión breve.....65

Figura N° 31: Tratamiento por inmersión prolongada.....66

Figura N° 32: Cilindro autoclave para tratamiento de madera67

Figura N° 33: Esfuerzos simples69

Figura N° 34: Diagrama esfuerzo deformación.....70

Figura N° 35: Flujograma del diseño de ingeniería.....76

Figura N° 36: Ficha de recolección de datos de compresión paralela82

Figura N° 37: Ficha de recolección de datos de compresión axial paralela al grano83

Figura N° 38: Ficha de recolección de datos de compresión perpendicular.....84

Figura N° 39: Ficha de recolección de datos de compresión perpendicular al grano.....85

Figura N° 40: Ficha de recolección de datos de flexión estática86

Figura N° 41: Ficha de recolección de datos de flexión estática87

Figura N° 42: Ficha de recolección de datos de cizallamiento paralelo al grano.....88

Figura N° 43: Ficha de recolección de datos de cizallamiento paralela al grano89

Figura N° 44: Ficha de recolección de datos de densidad básica90

Figura N° 45: Ficha de recolección de datos de densidad básica91

Figura N° 46: Ficha de recolección de datos de dureza de Brinell.....92

Figura N° 47: Ficha de recolección de datos de dureza de Brinell.....93



Figura N° 48: Maquina de compresión digital	94
Figura N° 49: Maquina de estabilidad marshall	95
Figura N° 50: Maquina de dureza Brinell.....	96
Figura N° 51: Vernier	96
Figura N° 52: Balanza.....	97
Figura N° 53: Horno	97
Figura N° 54: Higrómetro.....	98
Figura N° 55: Selección de la zona de extracción de la muestra	99
Figura N° 56: Medición para el trozado	100
Figura N° 57: Corte de las probetas.....	100
Figura N° 58: Proceso de secado a intemperie después del tratamiento	101
Figura N° 59: Verificación de peso constante sin variación.....	102
Figura N° 60: Proceso de secado en el horno	104
Figura N° 61: Verificación que ya no varíe el peso.....	104
Figura N° 62: Proceso del ensayo de dureza de Brinell	108
Figura N° 63: Proceso del ensayo de corte por cizallamiento	111
Figura N° 64: Falla de la probeta del ensayo de corte por cizallamiento	111
Figura N° 65: Proceso del ensayo de compresión axial.....	115
Figura N° 66: Probetas después de ser ensayadas	115
Figura N° 67: Proceso del ensayo de compresión perpendicular	119
Figura N° 68: Probeta sometida al ensayo de compresión perpendicular	119
Figura N° 69: Proceso del ensayo de flexión estática.....	123
Figura N° 70: Datos de la probeta	133

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Cuadro de operacionalización de variables	10
Tabla 2: Agrupamiento por Densidad.....	23
Tabla 3 : Esfuerzos admisibles	24
Tabla 4 : Calculo del contenido de humedad de la madera	27
Tabla 5 Contracción de la madera secada al aire y en cámara	30
Tabla 6 Propiedades físicas de la madera Eucalipto Glóbulos	50
Tabla 7 Propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Glóbulos.....	50
Tabla 8 Condiciones de desarrollo de los distintos tipos de agentes bióticos	53
Tabla 9 Tabla resumen de las clases de riesgo	60
Tabla 10 Tipo de protección y método de tratamiento.	68
Tabla 11 Cantidad de muestras por ensayo	78
Tabla 12 Datos obtenidos del ensayo de densidad básica en estado anhidro sin tratamiento	105
Tabla 13 Datos obtenidos del ensayo de densidad básica en estado anhidro tratado con cola sintética blanca.....	105
Tabla 14 Datos obtenidos del ensayo de densidad básica en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz	106
Tabla 15 Datos obtenidos del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro sin tratamiento	108
Tabla 16 Datos obtenidos del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro tratado con cola sintética blanca.....	109
Tabla 17 Datos obtenidos del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz	110
Tabla 18 Datos obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro sin tratamiento	112
Tabla 19 Datos obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con cola sintética blanca	112
Tabla 20 Datos obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz	113



Tabla 21 Datos obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro sin tratamiento 116

Tabla 22 Datos obtenidos del ensayo de compresion axial en estado anhidro tratado con cola sintética blanca..... 116

Tabla 23 Datos obtenidos del ensayo de compresion axial en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 117

Tabla 24 Datos obtenidos del ensayo de compresión paralela en estado anhidro sin tratamiento 120

Tabla 25 Datos obtenidos del ensayo de densidad paralela en estado anhidro tratado con cola sintética blanca..... 120

Tabla 26 Datos obtenidos del ensayo de densidad paralela en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 121

Tabla 27 Datos obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro sin tratamiento 123

Tabla 28 Datos obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con cola sintética blanca..... 124

Tabla 29 Datos obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 125

Tabla 30 Resultados obtenidos del ensayo de densidad básica en estado anhidro sin tratamiento 126

Tabla 31 Resultados obtenidos del ensayo de densidad básica en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 127

Tabla 32 Resultados obtenidos del ensayo de densidad básica en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 128

Tabla 33 Resultados obtenidos del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro sin tratamiento 130

Tabla 34 Resultados obtenidos del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 131

Tabla 35 Resultados obtenidos del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 132



Tabla 36 Resultados obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro sin tratamiento 134

Tabla 37 Resultados obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 135

Tabla 38 Resultados obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 136

Tabla 39 Resultados obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro sin tratamiento 138

Tabla 40 Resultados obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 139

Tabla 41 Resultados obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 140

Tabla 42 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro sin tratamiento..... 142

Tabla 43 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 143

Tabla 44 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 144

Tabla 45 Resultados obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro sin tratamiento 146

Tabla 46 Resultados obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 147

Tabla 47 Resultados obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 148

Tabla 48 Análisis estadístico del ensayo de densidad básica en estado anhidro sin tratamiento 150

Tabla 49 Análisis estadístico del ensayo de densidad básica en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 150

Tabla 50 Análisis estadístico del ensayo de densidad básica Corregido tratado con cola sintética blanca..... 151



Tabla 51 Análisis estadístico del ensayo de densidad básica en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 152

Tabla 52 Análisis estadístico del ensayo de densidad básica corregido en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 152

Tabla 53 Análisis estadístico del ensayo de densidad básica segunda corrección en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 153

Tabla 54 Análisis estadístico del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro sin tratamiento 154

Tabla 55 Análisis estadístico del ensayo de dureza de Brinell corregido en estado anhidro sin tratamiento 155

Tabla 56 Análisis estadístico del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 155

Tabla 57 Análisis estadístico del ensayo de dureza de Brinell corregido en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 156

Tabla 58 Análisis estadístico del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 157

Tabla 59 Análisis estadístico del ensayo de dureza de Brinell corregido en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 157

Tabla 60 Análisis estadístico del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro sin tratamiento..... 158

Tabla 61 Análisis estadístico del ensayo de cizallamiento paralelo al grano corregido en estado anhidro sin tratamiento 159

Tabla 62 Análisis estadístico del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 159

Tabla 63 Análisis estadístico del ensayo *de* cizallamiento paralelo al grano corregido en estado anhidro tratado con cola sintética blanca..... 160

Tabla 64 Análisis estadístico del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 161

Tabla 65 Análisis estadístico del ensayo de cizallamiento paralelo al grano corregido en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz..... 161



Tabla 66 Análisis estadístico del ensayo de cizallamiento paralelo al grano segunda corrección en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz 162

Tabla 67 Análisis estadístico del ensayo de compresión axial en estado anhidro sin tratamiento 163

Tabla 68 Análisis estadístico del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 163

Tabla 69 Análisis estadístico del ensayo de compresión axial corregido en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 164

Tabla 70 Análisis estadístico del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz 165

Tabla 71 Análisis estadístico del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro sin tratamiento 165

Tabla 72 Análisis estadístico del ensayo de compresión perpendicular corregido en estado anhidro sin tratamiento 166

Tabla 73 Análisis estadístico del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 167

Tabla 74 Análisis estadístico del ensayo de compresión perpendicular corregido en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 167

Tabla 75 Análisis estadístico del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz 168

Tabla 76 Análisis estadístico del ensayo de flexión estática en estado anhidro sin tratamiento 169

Tabla 77 Análisis estadístico del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 169

Tabla 78 Análisis estadístico del ensayo de flexión estática corregido en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 170

Tabla 79 Análisis estadístico del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz 171

Tabla 80 Limite de confianza (PER 5%) para cada ensayo 172

Tabla 81 Coeficientes de reducción, seguridad y duración de la carga 173



Tabla 82 Resultados del cálculo del coeficientes de reducción, seguridad y duración de la carga..... 174

Tabla 83 Resumen de los resultados obtenidos de las propiedades evaluadas 175

Tabla 84 : Esfuerzos admisibles 175

Tabla 85 Análisis comparativo de los resultados del ensayo de densidad básica..... 176

Tabla 86 Análisis comparativo de los resultados del ensayo de dureza de Brinell 177

Tabla 87 Análisis comparativo de los resultados del ensayo de cizallamiento paralelo 178

Tabla 88 Análisis comparativo de los resultados del ensayo de compresión axial 179

Tabla 89 Análisis comparativo de los resultados del ensayo de compresión perpendicular 180

Tabla 90 Análisis comparativo de los resultados del ensayo de flexión estática 181

Tabla 91 Análisis comparativo de los resultados y su porcentaje de aumento 183

Tabla 92 : Esfuerzos admisibles 184

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1 Resultados obtenidos del ensayo de densidad básica sin tratamiento 126

Grafico 2 Resultados del ensayo de densidad básica tratado con cola sintética blanca 127

Grafico 3 Resultados del ensayo de densidad básica tratado con aceite requemado automotriz 128

Grafico 4 Resultados del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro sin tratamiento 130

Grafico 5 Resultados del ensayo de dureza de Brinell tratado con cola sintética blanca .. 131

Grafico 6 Resultados del ensayo de dureza tratado con aceite requemado automotriz 132

Grafico 7 Resultados del ensayo de cizallamiento paralelo al grano sin tratamiento..... 134

Grafico 8 Resultados obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 135

Grafico 9 Resultados obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 136

Grafico 10 Resultados del ensayo de compresión axial en estado anhidro sin tratamiento 138



Grafico 11 Resultados obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 139

Grafico 12 Resultados obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz 140

Grafico 13 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro sin tratamiento..... 142

Grafico 14 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 143

Grafico 15 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 144

Grafico 16 Resultados obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro sin tratamiento 146

Grafico 17 Resultados obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 147

Grafico 18 Resultados obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con cola sintética blanca 148

Grafico 19 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de densidad básica 176

Grafico 20 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de dureza de Brinell 177

Grafico 21 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de cizallamiento paralelo .178

Grafico 22 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de compresión axial 179

Grafico 23 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de compresión perpendicular 180

Grafico 24 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de flexión estática 181

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

1.1.1 Descripción del Problema

La industria de la construcción representa una de las que generan mayor impacto ambiental, razón por la que es necesario el producir y utilizar materiales y componentes constructivos de baja energía incorporada y fácil reintegración al medio ambiente al final de su vida útil como son las diferentes especies maderables.

En la región del Cusco encontramos 116,754.53 Ha. boscosas con una variedad de especies maderables, la explotación es puramente selectiva y recae en tres especies: Tornillo, Cedro y Eucalipto; y el uso de la madera en la región como material de construcción, está restringida por factores como el limitado conocimiento de sus propiedades físico - mecánicas las cuales limitan sus aplicaciones en el ámbito estructural por otro lado tampoco encontramos estudios referentes al tratamiento de la madera para la mejora de sus características estructurales.

Figura N° 1: Zonas boscosas de Paucartambo



Fuente: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Serfor)

Figura N° 2: Forestación con eucalipto en la zona de Paucartambo- Cusco



Fuente: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Serfor)

Actualmente el uso de la madera en la construcción está abocado en vigas, columnas, pilares y cerchas de forma empírica. Estudios sobre el mejoramiento de este material tales como un registro de sus propiedades físico–mecánicas, resultan de gran valor para el consumidor, la industria maderera y para el uso de diseños estructurales.

1.1.2 Formulación de problemas

1.1.2.1 Problema General

¿Cuál será la evaluación comparativa de los efectos que produce el aceite quemado automotriz y la cola sintética blanca en las propiedades físico mecánicas de la madera Eucalipto Globulos con contenido de humedad seco procedente Paucartambo – Cusco aplicada por inmersión prolongada para uso estructural?



1.1.2.2 Problemas Específicos

1. ¿Cuáles son las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco?
2. ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco?
3. ¿Qué efectos produce en las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en aceite requemado automotriz?
4. ¿Qué efectos produce en las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en aceite requemado automotriz?
5. ¿Qué efectos produce en las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca?
6. ¿Qué efectos produce en las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca?

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación técnica

El siguiente trabajo de investigación se desarrolló en el campo de la Ingeniería Civil, dentro de la especialidad de Ingeniería de Materiales y Estructuras; se realiza para poder tener un alcance real de las características del Eucalipto Globulos y de las características después de ser mejorada, se propone una herramienta de información la cual facilite el uso de dicho material para su uso y su máxima eficiencia en construcción, ya que la ciudad del Cusco presenta una demanda de nuevos materiales que se obtenga en abundancia, de muy fácil traslado y a bajo costo. Dada la situación nos vemos en la necesidad de evaluar las características físico-mecánicas del eucalipto mejorado con aceite requemado automotriz y cola sintética blanca y proponer como nuevo material en construcción, mediante ensayos de laboratorios debidamente normados, para tener parámetros de seguridad los cuales nos



ayudaran a tener un mejor control y uso de dicho material. Cabe destacar que la presente investigación representa un aporte al constante proceso de innovación en materiales, y procesos de implementación de maderas en la construcción.

1.2.2 Justificación social

En la medida que se logre el mejoramiento de las características resistentes de la madera y sean difundidas, será utilizada en primer lugar directamente por los alumnos de ingeniería civil de la Universidad Andina del Cusco, esta investigación también trata de dar una herramienta de información sobre las características y el mejoramiento de dicha madera para la comunidad de ingenieros y población, la ampliación del conocimiento sobre el mejoramiento de las características de un material tan abundante en la zona favorece para proveer una herramienta de información actualizada sobre dicha madera, y en la medida que este estudio se socialice a pobladores y a los distribuidores menores los cuales tendrán libre acceso a dicha información, la investigación adecuada hará que la madera vuelva a retomar un papel importante en la construcción de viviendas en zonas rurales ya que tiene un rol importante en la construcción sostenible, las cuales deben estar de acuerdo a las características y necesidades económicas, sociales y ambientales para lo cual ha sido mejorada; por otro lado tener parámetros de resistencia del material ayuda también a su adecuado uso, la seguridad del usuario al implementarla en su estructura y su máxima eficiencia hacia este.

1.2.3 Justificación por viabilidad

Los investigadores contaron con todo el tiempo necesario para el logro de la investigación, así como para la adquisición de materiales y herramientas, la Universidad Andina del Cusco cuenta con los equipos necesarios para la realización de la totalidad de ensayos pertinentes. Se contó con las normas necesarias para la realización de los ensayos necesarios y se encuentran basados en la Norma Técnica Peruana de la Madera E.010, NTP 251.008 (Selección y colección de muestras), NTP251.009 (Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecánicos), NTP251.010 (Métodos para determinar el contenido de humedad), NTP251.011 (Método para determinar la densidad), NTP251.013 (Método para determinar el cizallamiento paralelo al grano), NTP251.014 (Método para determinar la compresión axial o paralela al grano), NTP 251.016 (Método para determinar



la compresión paralela al grano), NTP 251.017 (Método para determinar la flexión estática) y MTC E804 (Ensayo de dureza de Brinell) .

La adquisición de los materiales fue viable ya que se puede encontrar la variedad de madera requerida (eucalipto) en gran cantidad y de distintos distribuidores artesanales. La zona tentativa para la extracción no se encuentra muy lejos de la ciudad del Cusco y el traslado de las muestras no trajo mayor inconveniente ya que se cuenta con vías para su fácil acceso.

1.2.4 Justificación por relevancia

La importancia de la presente investigación es innovar en el uso de nuevas tecnologías en materiales de construcción con opciones de menor costo y bajo impacto ambiental específicamente aportar conocimiento en el mejoramiento de dicha madera con cola sintética blanca y aceite quemado automotriz, los que produjeron una variación en sus propiedades físico- mecánicas de la madera en su estado natural, optimizará la funcionalidad estructural en la Provincia del Cusco; además se cuenta con los parámetros de propiedades físico- mecánicas obtenidos en laboratorio tras una serie de ensayos.

1.3 Limitaciones de la investigación

1.3.1 Limitación de lugar

Los resultados de los parámetros obtenidos serán válidos para la región del Cusco. Se considera solo al eucalipto de la provincia de Paucartambo, ya que es la zona de extracción de las muestras para esta investigación.

Se realizó los ensayos en el Laboratorio de concreto y materiales y el Laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad Andina del Cusco, en el cual se utilizaron los siguientes equipos: Equipo de compresión digital, Equipo de estabilidad Marshall y Balanza digital.

1.3.2 Limitaciones de materiales

El porcentaje de humedad será anhidro (0% contenido de agua), ya que no se tomará en cuenta el porcentaje de la madera en estado verde debido a que para el tratamiento a realizar es necesario que la madera se encuentre sin contenido de humedad.

1.3.3 Limitaciones de ensayos

El estudio y los ensayos solo van dirigidos a las propiedades físico mecánicas de la madera, los cuales son:

- Propiedades Físicas: Contenido de Humedad (%), Densidad (gr/cm^3) (NTP 251.011), y Dureza (kg/mm^2)
- Propiedades Mecánicas: Resistencia a la compresión paralela al grano (kg/cm^2) (NTP 251.014), Resistencia a la compresión perpendicular al grano (kg/cm^2) (NTP 251.016), Resistencia a la flexión (kg/cm^2) (NTP 251.017), Resistencia al corte por cizallamiento (kg/cm^2) (NTP 251.013).

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Evaluar comparativamente los efectos que producen el aceite quemado automotriz y la cola sintética blanca en las propiedades físico mecánicas de la madera Eucalipto Globulus con contenido de humedad seco procedente de Paucartambo – Cusco aplicada por inmersión prolongada para uso estructural.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco.
2. Determinar las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco.
3. Determinar los efectos que produce en las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en aceite quemado automotriz.
4. Determinar los efectos que produce en las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en aceite quemado automotriz.
5. Determinar los efectos que produce en las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca.



6. Determinar los efectos que produce en las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La madera Eucalipto Globulus para uso estructural con contenido de humedad seco al ser sumergida en aceite requemado automotriz produce un mayor incremento en las magnitudes de las propiedades físico mecánicas, en comparación a madera sumergida en cola sintética blanca.

1.5.2 Sub hipótesis

1. Las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco de acuerdo a la norma E-0.10. se encuentran en los parámetros permisibles para su uso estructural.
2. Las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco de acuerdo a la norma E-0.10. se encuentran en los parámetros permisibles para su uso estructural.
3. Se mejora las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en aceite requemado automotriz.
4. Se produce un incremento en la magnitud de las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en aceite requemado automotriz en el ámbito estructural.
5. Mejora las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca.
6. Produce un incremento en la magnitud de las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca en el ámbito estructural.

1.6 Variables

1.6.1 Variables dependientes

1.6.1.1 Propiedades físicas.

- Porcentaje de humedad (CH)

Es la cantidad de agua contenida en la madera, generalmente expresada como un porcentaje de la masa de la madera seca a la estufa, es una de las variables más importante que afectan a las propiedades de la madera.

- Densidad db (gr/cm³)

Es la razón entre el peso y el volumen de la madera a un determinado contenido de humedad.

- Dureza (kg/mm²)

La dureza es una condición de la superficie del material, no representa ninguna propiedad de la materia y está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas del material.

1.6.1.2 Propiedades mecánicas.

- Resistencia compresión paralela f_c (kg/cm²)

Esfuerzo que es perpendicular al plano sobre el que se aplica la fuerza de compresión y paralelo a las fibras de la madera ensayada, que es distribuido de manera uniforme por toda su superficie.

- Resistencia compresión perpendicular f_d (kg/cm²)

Esfuerzo que es perpendicular al plano sobre el que se aplica la fuerza de compresión y perpendicular a las fibras de la madera ensayada, que es distribuido de manera uniforme por toda su superficie.

- Resistencia flexión f_m (kg/cm²)

La resistencia a la flexión en los materiales está regida por una serie de comportamientos físicos y mecánicos de éstos, en ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

- Resistencia al corte por cizallamiento f_v (kg/cm²)

La resistencia al cizallamiento puede ser definida como la carga necesaria para producir una fractura en la interface de unión entre dos materiales cuando se aplican fuerzas paralelas de sentido contrario.

1.6.2 Indicadores de las variables dependientes

- Porcentaje de humedad (%)
- Densidad d_b (gr/cm³)
- Dureza (kg/mm²)
- Resistencia compresión paralela $f_{c//}$ (kg/cm²)
- Resistencia compresión perpendicular f_d (kg/cm²)
- Resistencia flexión f_m (kg/cm²)
- Resistencia al corte por cizallamiento f_v (kg/cm²)

1.6.3 Variables independientes

- Madera Eucalipto Globulus proveniente de la zona de Paucartambo – Cusco.

El Eucalipto Globulus es actualmente el árbol de mayor tamaño que se puede encontrar en las regiones de clima frío en los Andes tropicales, se caracteriza y reconoce fácilmente por su corteza, se desprende en tiras tras permanecer colgado del árbol durante un cierto tiempo

- Aceite requemado automotriz.

El aceite requemado es el líquido aceitoso, pardo a negro, que se remueve del motor de un automóvil cuando se cambia el aceite. Es similar al aceite que no ha sido usado excepto que contiene productos químicos adicionales a causa de su uso como lubricante del motor.

- Cola sintética blanca.

Es un adhesivo en emulsión acuosa en base a polivinilacetato, desarrollado para el armado de muebles en trabajos de carpintería. Se recomienda usarlos cuando se requiere rápido secado y buena resistencia mecánica.

1.6.4 Indicadores de las variables independientes

- Edad de la madera (años).
- Cantidad de aceite requemado automotriz (galones).
- Cola sintética (litros).

Tabla 1: Cuadro de operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	DENOMINACION DE LA VARIABLE	DESCRIPCION	NIVELES	INDICADOR	INSTRUMENTOS METODOLOGICOS
Dependientes	Propiedades físicas	Básicamente las propiedades físicas de la madera están determinadas por los factores inherentes a su organización estructural, sin producir ninguna modificación química en su estructura.	Propiedades Físicas identificadas de acuerdo a estudios anteriores y presentes en Normas	1) Contenido de Humedad(%) 2) Densidad db (gr/cm3) 3) Dureza (Kg/mm2)	1) Fichas 2) Hojas de cálculo 3) Normativa
Dependientes	Propiedades mecánicas	Las propiedades mecánicas son las características inherentes, que permiten diferenciar un material de otro, son diferentes en función de la dirección considerada. En general se suelen considerar la dirección de la fibra y la perpendicular	Análisis de flexión Análisis de fibras paralelas Análisis de fibras perpendiculares Análisis en corte	1) Resistencia Flexión f'm (kg/cm2) 2) Resistencia Compresión Paralela f'c// (kg/cm2) 3) Resistencia Compresión Perpendicular fd (kg/cm2) 4) Resistencia Corte por cizallamiento Paralelo fc (kg/cm2)	1) Fichas 2) Hojas de cálculo 3) Normativa
Independientes	Listones de Madera	La madera Eucalipto Globulus se clasificara de acuerdo a la edad que esta posea, la altura y su volumen para poder sacar las muestras necesarias para su respectivo estudio.	Altura de extracción, Dimensiones en cuanto a su ancho, espesor y Edad de la madera de acuerdo al número de anillos que esta posee hasta la extracción.	1) Edad (años) 2) Altura (metros) 3) Volumen (m3)	1) Fichas 2) Hojas de cálculo 3) Normativa
Independientes	Aceite Requemado Automotriz	Aceite automotriz el cual se deshecha y forma parte de la contaminación, el cual se usara como aditivo natural para el tratamiento de la madera Eucalipto Globulus.	Volumen necesario para la inmersión de la madera	Cantidad de Aceite Requemado automotriz el cual será utilizado (Galón)	Fichas de Información
Independientes	Cola sintética blanca	Pegamento con composición química que será utilizado como aditivo para el tratamiento de la madera Eucalipto Globulus y ver las reacciones que ocasionara en sus propiedades físico- mecánicas	Volumen necesario para la inmersión de la madera	Cantidad de Cola Sintética Blanca para madera (Galón)	Fichas de Información

Fuente Propia.



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO DE LA TESIS

2.1 Antecedentes de la tesis

2.1.1 Antecedentes nacionales

- a) Título: “Características Físico-Químicas de la madera de once especies forestales de la Amazonia Peruana”

Autores: Rivera Inga Pepe, Castillo Uceda Manuel

Institución: Facultad de Ciencias Forestales Universidad Agraria La Molina

Nivel: Pre-grado

Año: 2009

Resumen: Las características físico-químicas de la madera y el carbón de once especies maderables procedentes de Madre de Dios, Perú, fueron determinadas mediante el análisis del contenido de humedad, densidad y análisis químico de la madera. Del carbón se determinó el rendimiento, contenido de humedad, densidad y análisis químico.

Comentario: Este trabajo de alcances sobre las características Físico Químicos de once especies maderables procedentes de Madre de Dios, Perú, que fueron determinadas mediante el análisis del contenido de humedad, densidad y análisis químicos de la madera.

- b) Título: “Características de preservación de 30 maderas”

Autor: Leticia Guevara Salnicov

Institución: Folia Amazónica.

Año: 1996

Resumen: En el Proyecto Estudios Básicos y Tecnológicos de Maderas, que ejecuta el Convenio IIAP-INIA se estudiaron las propiedades tecnológicas de 30 maderas provenientes de la zona de Colonia Angamos-Río Yavarí, Región Loreto. Entre otros, se efectuaron ensayos de preservación por tres métodos: inmersión prolongada a temperatura ambiente con solución acuosa de sales CCB al 5%; baño caliente frío con solución oleosa de pentaclorofenol al 5% en petróleo; y en vacío presión con solución acuosa de sales CCA al 2,8% . Se utilizaron probetas de 5 x 5 x 50 cm, libres de defectos y de signos de biodeterioro, cepilladas en caras y cantos, procedentes de cinco árboles distintos y diez repeticiones por

árbol. Se utilizó la metodología descrita por Aróstegui et. al. (1970). Los resultados obtenidos en absorción líquida y penetración indican que por inmersión prolongada cuatro maderas son fáciles de tratar y dos son moderadamente tratables; por baño caliente frío, catorce maderas son fáciles de tratar y siete son moderadamente tratables; por impregnación a presión, quince maderas son fáciles de tratar y seis son moderadamente tratables.

Comentario: El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las características de preservación de 30 maderas de los bosques de Colonia Angamos - Río Yavarí - Jenaro Herrera, Loreto. Se ensayaron tres tratamientos: inmersión prolongada a temperatura ambiente con sales CCB; vacío-presión con sales CCA; y baño caliente frío con pentaclorofenol. Se utilizó la metodología establecida por Aróstegui et. al. (1970). Bases teóricas.

2.1.2 Antecedentes a nivel internacional

a) Título: “Manual para la protección contra el deterioro de la madera”

Autor: Dr. José Cruz de León.

Institución: Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

País: México

Año: 2010

Resumen: La madera se puede deteriorar por diferentes causas, como el exceso de humedad, la aparición de hongos, insectos, daños por raíces de plantas y por ejecutar mal la obra. Este manual ofrece información técnico-científica para usar e instalar con calidad y garantía la madera de bienes muebles y la madera estructural para la construcción, así como la destinada a la renovación, rehabilitación, restauración, protección y mantenimiento de edificaciones.

La conservación de la madera debe entenderse como la aplicación a bienes muebles o a la madera instalada de sustancias químicas por diversos métodos, con el fin de disminuir el efecto de los agentes de deterioro. En la conservación de la madera no se puede garantizar una penetración total de la sustancia ni el porcentaje de protección de la misma, tampoco un tiempo de duración de la sustancia en la madera. Normalmente la permanencia de la sustancia en la madera es de uno a tres años, por lo que deben repetirse las aplicaciones.



La preservación de la madera consiste en aplicar mediante ciertos métodos sustancias a la madera antes de instalarse. Si se hace correctamente, se puede alargar el tiempo de vida útil de la madera.

Una madera con protección certificada es la que ha sido sometida a un proceso de preservación en una institución reconocida para ello, lo que implica que es una madera garantizada, protegida contra agentes de deterioro y sin defectos considerables que disminuyan su resistencia mecánica.

Comentario: Es un compendio de diversos autores sobre la protección de la madera y presenta técnicas y procedimientos para mantener su resistencia portante, impedir el daño por agentes de deterioro y para conservar y/o mejorar su estado actual.

Es un documento base para el análisis, diagnóstico, evaluación, renovación, instalación y uso de la madera. Contribuir a la conservación y preservación de la madera en bienes muebles y en madera estructural en edificios.

Contribuir a la conservación de los bosques en México, ya que al proteger la madera evitamos que más árboles sean derribados.

Para fines de este documento, la conservación y preservación de la madera se consideran como dos conceptos diferentes para definir y entender ciertas acciones que se llevan a cabo. Su conceptualización está basada sólo en la aplicación de sustancias químicas a la madera y en la experiencia práctica.

En la actualidad, el uso de la madera para hacer muebles y en la construcción de casas es muy conveniente, pues su producción requiere poca energía en comparación con la de otros materiales, lo que reduce daños al medio ambiente. Sin embargo, para mejorar la durabilidad de la madera, es necesario aplicar medidas de protección.

- b) Título: “Estudio de propiedades físico mecánicas (corte y flexión) de la especie de madera tropical teca (*tectona grandis*) en el sistema de laminado pegado estructural”.

Autor: José Sediel Barreto Castañeda

Institución: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Artes Maestría en Construcción

País: Colombia

Nivel: Maestría

Año: 2013



Resumen: En el país existen una gran variedad de especies de madera tropical o latifoliadas que no han sido estudiadas en el sistema de madera laminada pegada estructural, una de ellas es la teca, que por sus características físicas, presenta ventajas en comparación a las especies de coníferas que habitualmente se utilizan por la industria; por esto, con ensayos mecánicos de corte de MLPE en teca se verificaron que no existen problemas con la utilización de adhesivos estructurales utilizados para los laminados en madera, y por medio de pruebas de flexión se obtuvieron valores por encima de las resistencias admisibles de la normativa internacional, lo cual avalaría un posible uso de la teca en este sistema constructivo, lo que ampliaría las posibilidades, para que arquitectos y constructores colombianos utilicen la madera tropicales, no solamente para usos decorativos, si no que pueden ser elementos importantes dentro de las estructuras de edificaciones.

Comentario: Con esta investigación se propuso analizar el comportamiento de una especie de madera tropical en el sistema de laminado pegado estructural. Para lograr este propósito se escogió dentro este grupo, una sola especie, Teca (*tectona grandis*), su selección se basó en sus características físicas y la determinante de que es una especie reforestada. Teniendo en cuenta la falta de normativa en Colombia acerca de los procesos de fabricación de MLPE, se utilizó la normativa chilena, NCh 2148-2006 (madera laminada encolada – requisitos e inspección), este documento se utilizó como guía para la elaboración de cada una de las probetas que se utilizaron para el desarrollo del trabajo de grado.

2.2 Base teórico científicas

2.2.1 Generalidades de la madera

2.2.1.1 Conceptos generales de la madera

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, o sea, no tiene una estructura uniforme y debe cumplir en el árbol o vegetal vivo tres funciones: la conducción de la savia, o sea agua y sustancias disueltas, la transformación y almacenamiento de sustancias de reserva y el sostenimiento o resistencia mecánica del vegetal.



Según (Wavedeck, 2008) la madera es un tejido vegetal, cuyo nombre técnico es xilema, formado por una masa fibrosa compuesta de pequeñas células alargadas de forma tubular, paralelas al tronco del árbol y de milésimas de centímetros por sección que se extienden unos pocos milímetros a lo largo de su eje. Los árboles al crecer absorben del aire dióxido de carbono, y del suelo agua y minerales que se convierten, por el proceso de fotosíntesis, en carbohidratos, componentes básicos para la producción de células de madera.

2.2.1.2 La anatomía de la madera

Según (Mangium, 1994) menciona que la anatomía de la madera comprende el estudio de características generales y estructuras macro y microscópicas. Se divide en dos partes: anatomía sistemática, la cual permite establecer una clave de identificación, de acuerdo a sus propiedades anatómicas; y la anatomía aplicada, que estudia la influencia anatómica en las propiedades tecnológicas de la madera.

De acuerdo a (Perez., 1986). Indica que la anatomía de la madera permite recabar información fundamental sobre la estructura de maderas de una localidad o región determinada mediante la elaboración de claves, descripciones o su incorporación a un banco de datos.

Zobel y Van Buijtenen, citados por (Perez., 1986), señalan que la estructura de la madera es el resultado de la influencia de factores intrínsecos (genéticos) y extrínsecos (ambientales). La naturaleza e intensidad de la influencia de estos factores sobre los elementos anatómicos pueden diferir según la especie o el género. Agregan Pérez y De la Paz, citados por Silva (2005), que existen variaciones por interacción entre el carácter genético y medio ambiente, los cuales repercuten en las características anatómicas.

Costa, citado por (Voigt, 2006) menciona que factores como la sequía, inundación, altitud, latitud, formación de suelo, estadios sucesionales de vegetación y la contaminación pueden alterar significativamente la estructura anatómica del xilema.

Según indica (Perez., 1986), la anatomía de la madera es importante en la identificación ordinaria de maderas por los siguientes aspectos:

De interés para el comerciante de maderas, ya que mediante los servicios del anatomista de madera (si éste dispone de una buena xiloteca), se puede obtener la identidad botánica de la madera. Maderas pertenecientes a especies, géneros, y aun familias diferentes pueden ser confundidas a simple vista.



De utilidad en el control de explotación, importación y exportación de maderas. Con cierta frecuencia, principalmente en el mercado internacional, se habla de fraudes por envíos de madera involuntaria o deliberadamente confundidas. También pueden ocurrir que durante el transporte de maderas comerciales se extravíen las señales de identificación.

Para recabar información fundamental sobre la estructura de las maderas de una localidad o región determinada, mediante la elaboración de claves, descripciones o su incorporación a un banco de datos.

(Espinoza, 2001) Mencionan que mediante el conocimiento de la estructura anatómica de la madera se pueden hacer inferencias sobre las propiedades físicas y mecánicas, técnicas de procesamiento y utilización de la madera. Resaltan que la densidad tiene una relación directa con el espesor de fibras y que es la característica anatómica de mayor influencia en las propiedades de resistencia mecánica de la madera. Otras características que afectan la densidad y resistencia mecánica de forma inversa son el diámetro de poros y frecuencia, altura y anchura de radios y parénquima.

Pérez (1986) resalta que la anatomía de maderas puede ser útil en actividades e indagaciones dendrocronológicas, pues los anillos de crecimiento tienen características que los convierten en una valiosa y excepcional fuente de información paleoclimática; tales como:

El ancho de los anillos de crecimiento es fácilmente medible por una secuencia continua de años, y estas medidas pueden ser calibradas con datos del clima.

Los anillos de crecimiento pueden ser fechados para los años específicos en los cuales ellos fueron formados, de manera que la información climática es precisamente ubicada en el tiempo.

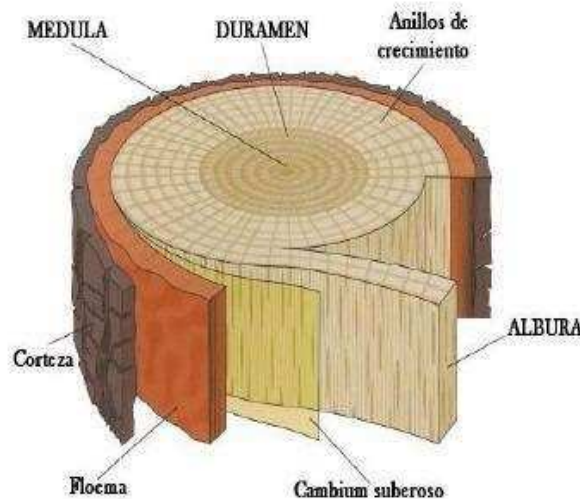
2.2.1.3 Partes de la madera

1. La corteza: Es la capa más externa del árbol y está formada por las células muertas del árbol. Esta capa es la protección contra los agentes atmosféricos.
2. El cambium: Es la capa que sigue a la corteza y se divide en dos capas denominadas: La capa interior o capa de xilema que forma la albura explicada en el siguiente punto y una capa exterior o capa de floema que se coloca formando la corteza.
3. La albura: Es la madera de más reciente formación y por ella viajan la mayoría de los vasos de la savia que se parecerían a nuestro sistema sanguíneo. Los vasos transportan la savia que es una sustancia azucarada que la hace vulnerable a los ataques de los

insectos. Es una capa más blanca por que por ahí viaja más savia que por el resto de la madera.

4. El duramen: Es la madera dura y consistente, propiamente dicha, está formada por unas células que no funcionan y se encuentra en el centro del árbol. Las diferencias con la albura son que es más oscura y no circula la savia, de ahí sale lo del color más oscuro.

Figura N° 3: Partes de la madera



Fuente: ((La madera), <http://www.cepazahar.org/>, 2013)

La edad del árbol se verifica si contamos los anillos que existen al hacerle un corte transversal al tronco y este nos dirá los años que tiene, esos anillos se forman por el crecimiento de una nueva capa de xilema.

La madera dura tiene los anillos más cercanos en comparación de la madera blanda.

Algunos periodos climáticos, si están muy junto indican un periodo de sequía y en la cual el xilema no ha podido crecer demasiado y si por lo contrario ha llovido bien los anillos estarán más separados. (Perez., 1986).

2.2.1.4 Proceso de obtención de la madera

Apeo corte y tala

En este proceso intervienen los leñadores o la cuadrilla de operarios que suben al monte y con hachas o ahora motosierras eléctricas o de gasolina cortan el árbol y le quitan las ramas, raíces y empiezan a quitarle la corteza para que empiece a secarse.

Figura N° 4: Proceso de obtención de la madera.



Fuente: ((La madera), <http://www.cepazahar.org/>, 2013)

Secado

El secado de la madera es un proceso que se justifica para toda pieza que tenga uso definitivo en el interior de la vivienda (queda incorporada a la vida útil de ésta), sea con fines estructurales o de terminación (Fritz, 2004).

La utilización de madera seca aporta una serie de beneficios, entre los que se destaca:

1. Mejora sus propiedades mecánicas: la madera seca es más resistente que la madera verde.
2. Mejora su estabilidad dimensional.
3. Aumenta la resistencia al ataque de agentes destructores (hongos).
4. Aumenta la retención de clavos y tornillos.
5. Disminuye considerablemente su peso propio, abarata el transporte y facilita la manipulación de herramientas.
6. Mejora la resistencia de adhesivos, pinturas y barnices.

7. Mejora su ductilidad, facilidad para cortar y pulir.
8. Mejora la absorción de preservantes líquidos aplicados con presión.
9. Aumenta la resistencia de las uniones de maderas encoladas.

Secado al aire

Se efectúa simplemente encastillando la madera bajo cubiertas protectoras contra el sol directo, permitiendo la circulación de aire en forma expedita y, según las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente, el secado de la madera. Tiene la desventaja de ser un proceso lento y poco efectivo (Fritz, 2004).

Los principales factores que influyen en un buen secado al aire son:

Disponer de una cancha o patio que permita exponer la madera al aire, y que el encastillado sea efectuado de modo que el aire circule envolviendo cada una de las piezas de madera.

El mejor sistema de encastillamiento para un secado rápido con el mínimo de agrietamiento y torceduras, es el apilado plano.

Figura N° 5: Secado de madera al aire



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

Secado convencional en horno

Consiste en secar la madera en cámaras especiales (hornos), en los cuales se manejan variables de presión, humedad y temperatura (100 a 103 °C), la madera aserrada deberá estar seca a un contenido de humedad en equilibrio con el ambiente donde va ser instalada y en ningún caso se excederá de un contenido de humedad del 22% (Norma ITINTEC251.104).



Este proceso tiene la ventaja de ser rápido, además de establecer el grado de humedad deseado

Tiene la desventaja de ser un proceso que puede provocar fisuras, grietas, arqueaduras y torceduras en la madera, dependiendo del procedimiento y la especie.

Defectos por secado

Los defectos por secado se producen cuando se realiza un proceso que genera tensiones internas a nivel de estructura de la madera, siendo los más frecuentes:

1. Arqueaduras
2. Acanaladura
3. Encorvadura
4. Torcedura
5. Colapso

2.2.1.5 Composición química de la madera

La composición química de la madera es del 50% de carbono, 6% de hidrógeno, 42 % de oxígeno, 1 % de nitrógeno y 1 % de cenizas.

El 50 % de la madera está formada por celulosa, el 30 % por lignina, más rica en carbono y de carácter aromático, y el resto por la hemicelulosas, materias tánicas, colorantes, resinas y albúminas.

2.2.1.6 Recurso forestal

Según OSINFOR-Perú (Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre), los bosques son el recurso natural renovable más importante del Perú 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:

1. Por su origen:
 1. Bosques naturales: de origen natural. Cubren 72,8 millones de ha.
 2. Bosques cultivados: sembrados o reforestados. Cubren unas 300 000 ha.
2. Por regiones naturales:



1. Costa: bosques naturales (1,87 millones de ha); bosques cultivados (12 mil ha).
2. Sierra: bosques naturales (0,7 millones de ha); bosques cultivados (270 mil ha).
3. Selva: bosques naturales (70,2 millones de ha); bosques cultivados (18 mil ha).
3. Por la composición de especies:
 1. Heterogéneos: con una alta diversidad de especies por hectárea. Cubren 65,5 millones de ha. Son los bosques amazónicos en su mayor parte.
 2. Homogéneos: con una composición bastante uniforme de pocas especies. Cubren un total de 7,3 millones de ha. Pertenecen a este grupo los manglares (5 000 ha), los bosques secos (1, 1 millones de ha), los quinales y quishuares (30 000 ha), los bosques de romerillo (700 000 ha), y los aguajales (5,5 millones de ha).
4. Por su aptitud:

Aptos para la extracción de 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 en tierras de protección donde las actividades humanas (agricultura, ganadería, forestales) deben ser evitadas para no destruir otros recursos (cuencas, aguas, suelos, diversidad biológica, etc.).

La importancia de los bosques es económica, social y ambiental o ecológica.

5. La importancia económica está dada por los numerosos productos que se obtienen de ellos tanto maderables (unos 8 millones de M3 de madera/año) y no maderables (leña, plantas medicinales, alimentos vegetales, carne de monte, fibras, tintes, etc.). En el Perú se usan unas 4400 especies de plantas para 48 fines distintos y que representan un valor de US\$ 4 000 millones al año. El potencial maderero total del país se calcula en 5 600 millones de m3 de los cuales se aprovechan 8 millones al año.



6. La importancia social está en la alta dependencia de grupos humanos de los recursos forestales tanto para la obtención de diversos productos (leña, alimentos, medicinas, fibras, etc.) como para su subsistencia cultural, como las comunidades indígenas amazónicas, que viven en y del bosque.
7. La importancia ambiental o ecológica consiste en los servicios ambientales que prestan los bosques como la conservación del agua y de las cuencas de los ríos, la conservación de los suelos, la conservación de la diversidad biológica (especies de flora, fauna, microorganismos y recursos genéticos). La conservación de los bosques es de alta prioridad.

Los efectos ambientales y sociales, como son la deforestación y la degradación de los recursos forestales producen una constante pérdida de biodiversidad y de fertilidad de los suelos; una drástica disminución de la capacidad de las montañas y bosques como fuente de generación y mecanismo de regulación y la desertificación de extensas áreas.

La producción está conformada en su mayoría por las siguientes especies forestales según el departamento:

Todas estas especies son utilizadas para los diferentes elementos de la construcción, ya sean estructuras, pisos, puerta, ventanas, encofrado y en si todo tipo de acabado, dependiendo del costo de las maderas. El eucalipto y el pino son las especies que tiene mayor demanda para la construcción debido a sus propiedades y sobre todo a su precio.

2.2.1.7 Agrupación de maderas en grupos estructurales

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, el número de especies de madera de la Subregión Andina que pueden ser adecuadas para la construcción es muy grande, mucho mayor que el número de especies que actualmente se conocen y destinan a esta aplicación. Para evitar la selectividad de los usuarios hacia una o pocas especies conocidas cuando existen otras de características similares, se ha considerado apropiado agrupar a las especies en tres grupos estructurales. Esto debe permitir mayor flexibilidad en el uso de las maderas tropicales, evitando preferencias injustificadas que incrementan los precios del material.

Las propiedades mecánicas, especialmente el esfuerzo de rotura en flexión (módulo de rotura MOR), están correlacionados con la densidad básica. Por lo tanto, el agrupamiento de las especies en tres grupos está basado generalmente en las densidades. Los límites entre grupos han sido establecidos considerando tanto las características de resistencia como de rigidez.

Según la Norma Técnica Peruana E.010, se denomina A al grupo de maderas de mayor resistencia, las densidades básicas de este grupo están por lo general en el rango de 0.71 a 0.90; B al grupo intermedio con una densidad entre 0.56 y 0.70 y las del grupo C de menor resistencia con una densidad básica entre 0.40 y 0.55. Cualquier especie de las ubicadas en un grupo estructural determinado se considera que reúne por igual las características de resistencia y rigidez asignadas al grupo. Desde el punto de vista de comportamiento estructural es indiferente usar cualquiera de ellas una vez seleccionado el grupo. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que las maderas del mismo grupo estructural no siempre tienen características similares de trabajabilidad y durabilidad natural.

Tabla 2: Agrupamiento por Densidad

Grupo	Densidad Básica g/cm³
A	$\geq 0,71$
B	0,56 a 0,70
C	0,40 a 0,55

Fuente: Norma Técnica Peruana E.010

Tabla 3 : Esfuerzos admisibles

GRUPO	ESFUERZOS ADMISIBLES MPa (KG/CM ²)				
	FLEXIÓN (fm)	TRACCIÓN (ft)	COMPRESIÓN PARALELA (fc//)	COMPRESIÓN PERPENDICULAR (fc \perp)	CORTE PARALELO (fv)
A	20.6(210)	14.2 (145)	14.2 (145)	3.9 (40)	1.5 (15)
B	14.7 (150)	10.3 (105)	10.8 (110)	2.7 (28)	1.2 (12)
C	9.8 (100)	7.8 (80)	7.8 (80)	1.5 (15)	0.8 (8)

Fuente: Norma Técnica Peruana E.010

2.2.2 Propiedades de la madera

La madera elaborada a través de un proceso de aserrío se denomina pieza de madera y posee propiedades definidas.

2.2.2.1 Propiedades básicas

Según (Pérez Galaz, 2005), independientemente de la especie, la madera puede ser considerada como un material biológico, anisotrópico e higroscópico.

Material biológico

Porque está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina, por ello puede ser un material biodegradado por el ataque de hongos e insectos xilófagos, como la polilla. Debido a esto la madera debe tener un especial tratamiento de protección que garanticen su durabilidad en el tiempo en relación con los otros materiales inorgánicos (ladrillo, acero, hormigón entre otros)

Material anisotrópico

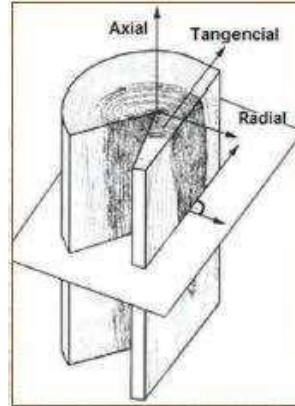
Según sea el plano o dirección que se considere respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento, el comportamiento tanto físico como mecánico del material, presenta resultados dispares y diferenciados. Para tener una idea de cómo se comporta, la madera resiste entre 20 y 200 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:

1. Eje tangencial

2. Eje radial y
3. Eje axial o longitudinal

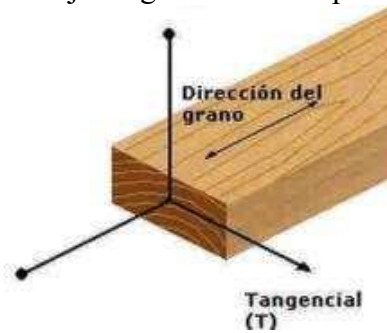
Figura N° 6: Sentidos del eje del árbol



Fuente: Wagner, J; "House Framing", Creative Homeowner, Nueva Jersey, EE.UU., 1998.

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° 7: Eje tangencial de una pieza de madera



Fuentes: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

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

Figura N° 8: Eje radial de una pieza de madera



Fuentes: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

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° 9: Eje longitudinal en una pieza de madera



Fuentes: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

Material higroscópico

Tiene la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Este comportamiento es el que determina y provoca cambios dimensionales y deformaciones en la madera.

2.2.2.2 Propiedades físicas

Contenido de humedad

La estructura de la madera almacena una importante cantidad de humedad. Esta se encuentra como agua ligada (savia embebida) en las paredes celulares y como agua libre, en el interior de las cavidades celulares. Para determinar la humedad en la madera, se establece una

relación entre masa de agua contenida en una pieza y masa de la pieza anhidra, expresada en porcentaje. A este cociente se le conoce como contenido de humedad (Ananias, 1993).

Tabla 4 : Calculo del contenido de humedad de la madera

$\% \text{ Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del agua} \times 100}{\text{Peso de madera seca en cámara}}$
$\text{Donde: } \text{Peso del agua} = \text{Peso madera húmeda} - \text{Peso madera seca en cámara}$

Fuente: Elaboración Propia

El porcentaje de agua que contiene la madera ya sea en forma natural o por exposición a condiciones del medio ambiente, puede variar principalmente debido a la humedad y temperatura que predomine en el lugar donde se la utiliza. Al cortar un árbol, la madera contiene gran volumen de agua en sus cavidades y paredes celulares, humedad que oscila alrededor del 80%. En algunos casos, puede ser superior al 100%, es decir, el peso del agua contenida en el volumen de madera es superior al peso de ésta anhidra, la madera secada al aire contiene del 10 al 15% de su peso de agua.

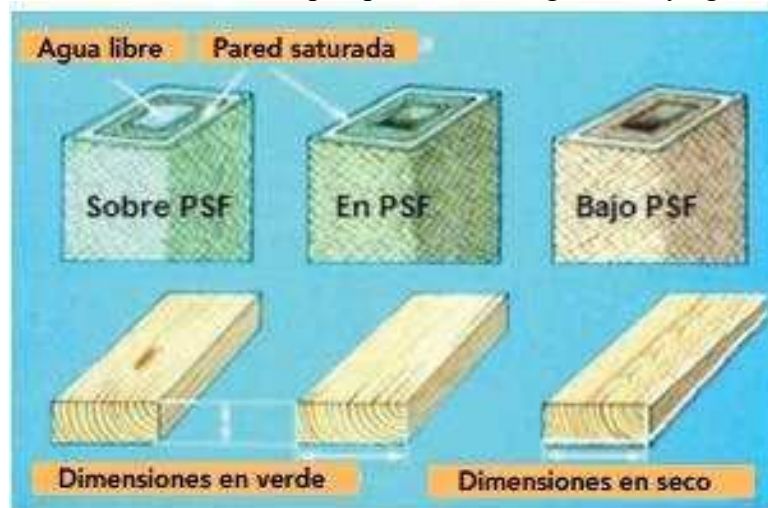
Dependiendo de las condiciones ambientales, la madera entrega al medio agua libre contenida en sus cavidades la cual desaparece totalmente, quedando además del agua de constitución, el agua de saturación correspondiente a la humedad de la atmosfera que rodea a la madera . La humedad de la madera varía entre límites muy amplios. En la madera recién cortada fluctúa entre 50 y 60% y por absorción puede llegar hasta el 250 y 300% (Ananias, 1993).

Se dice que la madera ha alcanzado un punto denominado humedad de equilibrio, cuando el intercambio de humedad que produce el medio ambiente cesa, diciéndose que la madera esta secada al aire. Se denomina, entonces, humedad de equilibrio al porcentaje de agua que alcanza una madera sometida durante un lapso determinado a condiciones de temperatura y humedad en su medio ambiente. Los cambios climáticos del aire que se suceden continuamente, día y noche según las estaciones, hacen que la humedad de la madera también cambie, aunque en valores pequeños (Ananias, 1993).

Dicha condición se produce en casi todas las especies cuando el agua libre ha sido entregada al ambiente, permaneciendo con agua sólo las paredes celulares. A este punto de humedad se le denomina punto de saturación de la fibra (PSF).

Desde este punto porcentual y sobre él, la madera tiene las dimensiones de la madera verde.

Figura N° 10: Madera sobre el psf. presencia de agua libre y agua ligada



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

Cuando la madera tiene un contenido de humedad bajo (el punto de saturación de las fibras es menor al 30%), se habla de madera seca. Sin embargo, para ser utilizada como material de construcción, y específicamente con fines estructurales, el contenido de humedad debe ser inferior al 15% (Kollmann 1959).

Densidad de la madera

La densidad de un cuerpo es el cociente formado por masa y volumen. En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad (Ananias, 1993). Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera. Se puede determinar la densidad, estableciendo las siguientes densidades de la madera, determinadas a partir del contenido de humedad de la pieza (Fritz, 2004):

1. Densidad Anhidra donde se relaciona la masa y el volumen de la madera anhidra (completamente seca).
2. Densidad Normal es aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera con un contenido de humedad del 12%.
3. Densidad Básica que relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con humedad igual o superior al 30%.
4. Densidad Nominal es la que relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con un contenido de humedad del 12%.
5. Densidad de Referencia: Aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera ambos con igual contenido de humedad. Las maderas se clasifican por su densidad aparente en pesadas si el valor es mayor de 0,8; ligeras, si está comprendida entre 0,5 y 0,7 y muy ligeras las menores de 0,5.

$$\text{Densidad Básica} = \frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen}}$$

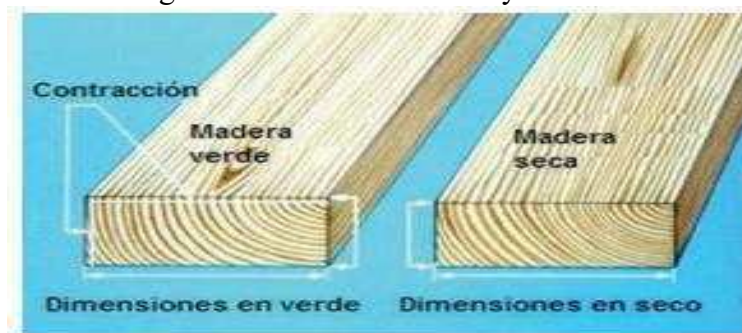
$$\text{Volumen} = \text{Largo} \times \text{Ancho} \times \text{Espesor}$$

Contracción de la madera

La madera cambia de volumen según la humedad que contiene. El secado de la madera por debajo del punto de saturación de la fibra, provoca pérdida de agua en las paredes celulares, lo que a su vez produce contracción de la madera.

Cuando esto ocurre se dice que la madera “trabaja” (Ananias, 1993).

Figura N° 11: Madera verde y madera seca



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

Las dimensiones de la madera comienzan a disminuir en los tres ejes tangencial, radial y longitudinal. Sin embargo, en este proceso la contracción tangencial es mayor a la que se produce en un árbol y varía entre el 5 y 11,5%, luego le sigue la radial de 1 al 7,8% que es menor, pero significativa sobre todo en la deformación de la pieza, finalmente la contracción longitudinal es prácticamente despreciable sobretodo en madera estructural, esta no pasa del 0,8%.

El punto de saturación de la fibra es una variable muy importante dentro del comportamiento de la madera, cuando se encuentra sobre él, la madera no varía sus características, ni su comportamiento físico o mecánico, pero cuando la madera se encuentra bajo este punto, sufre cambios en su dimensión y volumen que podría variar de leves a drásticos.

Las consecuencias de dicho proceso en beneficio de las propiedades resistentes de la madera, dependerán de las condiciones y método de secado aplicado (al aire o en cámara).

La contracción es mayor en la albura que en el corazón, originándose tensiones por desecamiento que agrietan y alabean la madera, estando la convexidad en el duramen y si una pieza de madera contiene corazón, duramen y albura esta se contrae más por los extremos. Sin embargo con un adecuado método, los efectos son beneficiosos sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera (Ananias, 1993).

Tabla 5 Contracción de la madera secada al aire y en cámara

HUMEDAD	DIMENSION	CONTRACCION %
Verde -12%	Tangencial	4,0
	Radial	2,0
	Longitudinal	0,1
	Volumétrica	6,0
Verde-Seco en cámara	Tangencial	7,0
	Radial	3,4
	Longitudinal	0,2
	Volumétrica	10,5

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12: Efectos de la contracción en la madera.



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

Hinchamiento de la madera

El hinchamiento se produce cuando la pieza de madera absorbe humedad. La madera sumergida aumenta poco de volumen en sentido longitudinal o de las fibras y más en el perpendicular o radial con más o menos 2,5 y 6%; pero el peso de una madera sumergida si puede variar entre un 50 y 150%. La madera aumenta de peso hasta llegar a un punto llamado punto de saturación a partir del cual el volumen se estabiliza en un 20 y 25 % de agua, aunque siga absorbiéndola.

Debido a estos cambios de volumen en las piezas que están sometidas a cambios de sequedad y humedad, es preciso dejar las holguras necesarias para no afectar la estabilidad de la estructura (Ananias, 1993).

Hendibilidad

Es la propiedad que tiene la madera de resistir a la rajadura o corte en sentido de sus fibras, paralelos al eje del tronco, El rajado es más fácil en sentido de los radios, por ello mientras más dura, densa, carezca de nudos, tenga fibras rectas, la madera es más hendible

Dureza

La resistencia al desgaste, rayado, clavado, corte con herramientas, etc., varía según la especie del árbol. La madera del duramen es más dura que la de la albura. La madera seca es más dura que la verde.

Según su dureza, la madera se clasifica en:

1. Maderas duras: son aquellas que proceden de árboles de un crecimiento lento, de hoja caduca, por lo que son más densas.
2. Maderas blandas: las maderas de coníferas son más livianas y menos densas que las duras.
3. Maderas semiduras: Muchas maderas no se las puede clasificar en las categorías anteriores por tener una densidad y resistencia variadas.

Algunas maderas de especies duras o blandas presentan mayor o menor resistencia y características que las hacen más fácil o difícil de trabajar, por lo que la clasificación es en la práctica referida a la facilidad o dificultad que en general presentan las maderas para el trabajo con herramientas.

Dureza de Brinell

La dureza de Brinell determina la resistencia a la penetración, usando una máquina que incrusta una esfera dura bajo condiciones específicas dentro de la superficie ensayada, midiendo luego el diámetro de la impresión resultante cuando se ha removido la carga.

$$\text{Dureza} = \frac{2F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Siendo:

- F: Fuerza aplicada
- D: Diámetro de la billa
- d: Diámetro de la huella

2.2.2.3 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas. Se entiende por fuerza externa cualquier sollicitación que, actuando exteriormente, altere su tamaño, dimensión o la deforme.

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida. El esfuerzo que soporta un

cuerpo por unidad de superficie es la llamada tensión unitaria. Cuando la carga aplicada a un cuerpo aumenta, se produce una deformación que se incrementa paulatinamente.

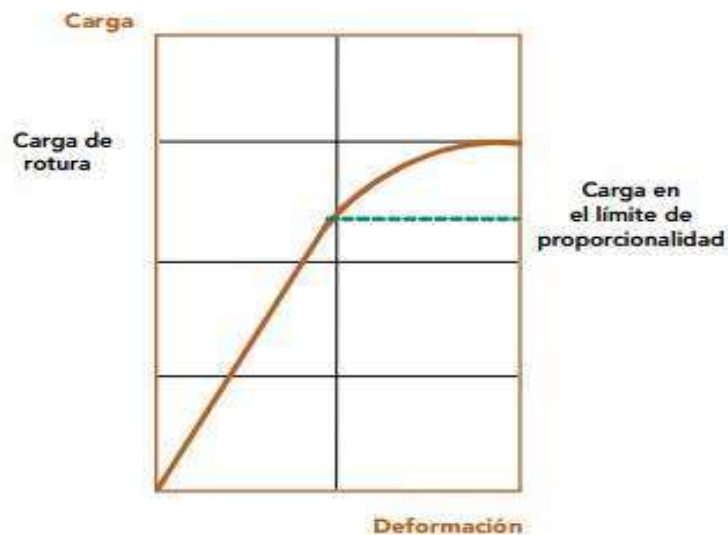
Esta relación entre la carga aplicada y la deformación que sufre un cuerpo se puede representar gráficamente por una recta (Figura 11), hasta el punto donde se inicia el límite elástico del material ensayado. Si se sigue aumentando la carga, se logra la rotura del material.

El límite elástico se define como el esfuerzo por unidad de superficie, en que la deformación aumenta en mayor proporción que la carga que se aplica. El esfuerzo necesario para solicitar un material hasta el límite elástico, determina la tensión en el límite de proporcionalidad, que es la carga máxima a que se puede someter sin que se produzcan deformaciones permanentes.

La rigidez de un cuerpo se define como la propiedad que tiene para resistir la deformación al ser solicitado por fuerzas externas. La medida de rigidez de la madera se conoce como módulo de elasticidad o coeficiente de elasticidad, calculado por la razón entre esfuerzo por unidad de superficie y deformación por unidad de longitud.

Cuando la carga resulta mayor a la del límite elástico, la pieza continúa deformándose hasta llegar a colapsar, obteniendo la tensión de rotura de la pieza de madera (Fritz, 2004).

Figura N° 13: Carga-deformación



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

2.2.2.4 ENSAYOS

Los ensayos se realizan en dos estados de contenido de humedad, uno con probetas de humedad 12% (estado húmedo), y el segundo con probetas de humedad 0% (estado seco) (Fritz, 2004).

Compresión perpendicular al grano (f_c)

Las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje y que tiende a comprimir las pequeñas cavidades contenidas en ellas. Esto permite que se pueda cargar la madera sin que ocurra una falla claramente distinguible. Al incrementarse la magnitud de la carga la pieza se va comprimiendo (aplastando los pequeños cilindros que semejan las fibras), aumentando su densidad y también su misma capacidad para resistir mayor carga.

La resistencia está caracterizada por el esfuerzo al límite proporcional. Este varía entre 1/4 a 1/5 del esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela. Este tipo de esfuerzo es característico de las zonas de apoyo de las vigas, donde se concentra toda la carga en pequeñas superficies que deben ser capaces de transmitir la reacción sin sufrir deformaciones importantes o aplastamiento (Cartagena., 1984).

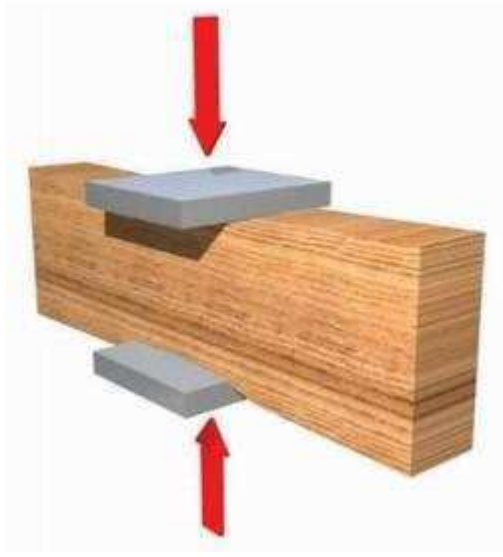
$$\text{Esfuerzo de rotura} = \frac{P_{\max}}{\text{Area}} \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

P_{max}: Carga última de ruptura

Área: Ancho x Espesor

Figura N° 14: Esquema de ensayo de compresión perpendicular al grano



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

Compresión axial o paralela al grano (fc//)

La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras. Esto proviene del hecho que las fibras están orientadas con su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide, o 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. Los esfuerzos de trabajo que se dan para la compresión paralela al hilo se aplican a postes, columnas y puntales. La resistencia a la compresión paralela a las fibras en la madera es aproximadamente la mitad que su resistencia a la tracción.

Para comprender el comportamiento mecánico de la madera es preciso tener presente la constitución anatómica de la misma. El ensayo principal en la madera es el de compresión, del cual se pueden deducir las demás características mecánicas en forma simplificada (Cartagena., 1984).

$$\text{Esfuerzo de rotura} = \frac{P_{\max}}{\text{Área}} \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

P_{\max} : Carga última de ruptura

Área: Ancho x Espesor

Figura N° 15: Esquema de ensayo de compresión paralela al grano



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

Flexión estática (fm)

Es la resistencia de la viga a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad, tensión de rotura y el módulo de elasticidad.

Los esfuerzos en flexión se producen en cuerpos de gran longitud respecto a las dimensiones de su sección transversal, cuando estos son sometidos a la acción de cargas transversales o normales de su eje longitudinal, de tal manera que tiendan a producir una arqueadura del elemento. Un caso típico es el de la viga (Cartagena., 1984).

El ensayo de flexión estática mide la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz o distancia entre apoyos, aplicada en la cara radial de la probeta (Cartagena., 1984).

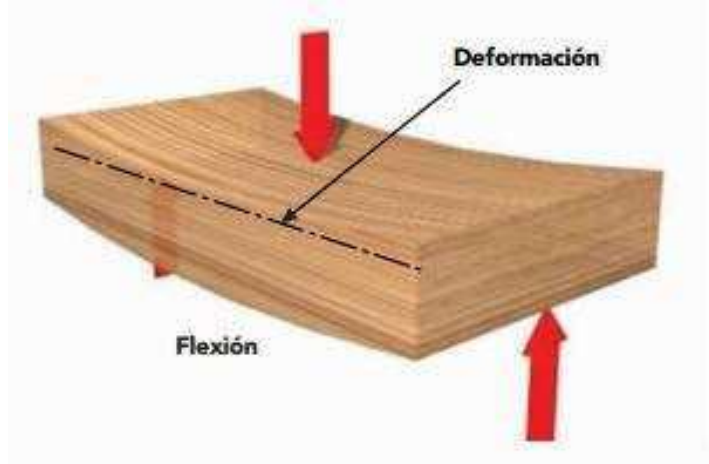
$$\text{Esfuerzo de rotura} = \frac{3 * P_{\text{max}} * \text{Luz}}{2 * \text{Ancho} * (\text{Altura})^2} \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

P_{max}: Carga última de ruptura

Luz: distancia entre apoyos

Figura N° 16: Esquema de ensayo de flexión estática



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

La flexión es una combinación de tres esfuerzos, tracción, compresión y cizalle. Estas causan la curvatura o deformación del cuerpo, con la parte superior cóncava (en compresión), la inferior convexa (en tracción) y el plano neutro tendiendo a resbalar entre las dos fuerzas opuestas (en cizalle) (Karsulovic, 1982; Campos, et al, 1990; Cuevas, 2003)

Cizallamiento paralelo al grano (f_v)

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 lo 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. Perpendicularmente a las fibras la resistencia es de tres a cuatro veces mayor que en la dirección paralela.

En elementos a escala natural hay una disminución por la presencia de defectos como por la influencia del tamaño de las piezas. Por otro lado este esfuerzo casi siempre se presenta combinado con otros lo que puede resultar en menores valores (Cartagena., 1984).

$$\text{Esfuerzo al cizallamiento} = \frac{P_{\max}}{(H_{pbta} \times E_{pbta})} \quad \text{kg/cm}^2$$

Dónde:

P_{\max} : Carga última de ruptura

Figura N° 17: Esquema de ensayo de resistencia al cizalle paralelo a las fibras



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

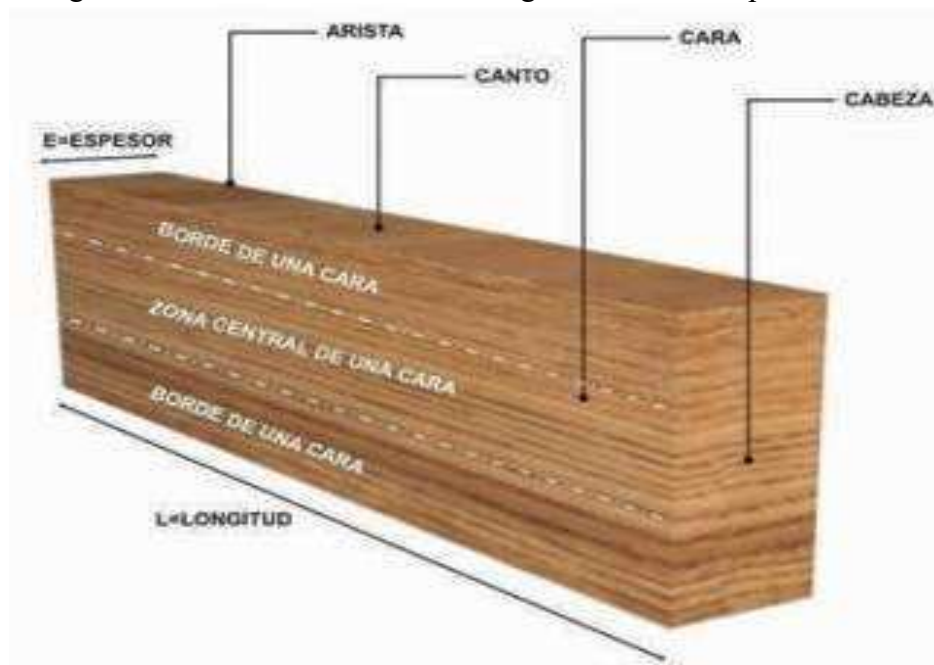
2.2.2.5 GEOMETRÍA DE UNA PIEZA DE MADERA

1. Arista: Línea recta de intersección de las superficies que forman dos lados adyacentes.
2. Cabeza: Sección transversal de cada extremo de una pieza.
3. Cantos: Superficies planas, menores y normales a las caras paralelas entre sí y al eje longitudinal de una pieza.
4. Caras: Superficies planas mayores, paralelas entre sí y al eje longitudinal de una pieza o cada una de las superficies planas de una pieza de sección cuadrada.
5. Borde de una cara: Zona de la superficie de una cara que abarca todo el largo de una pieza y que queda limitada en el ancho, por una arista y por una línea imaginaria

paralela a la arista y a una distancia de ésta igual a la cuarta parte del ancho de la pieza.

6. Zona central de una cara: Zona de la superficie de una cara que abarca todo el largo de una pieza que queda comprendida entre los bordes de la cara. El ancho de esta zona es igual a la mitad del ancho de la pieza (Durán, 2004).

Figura N° 18: Términos relativos a la geometría de una pieza



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

2.2.2.6 Factores que afectan las propiedades mecánicas

La estructura natural de la madera puede verse afectada en sus propiedades mecánicas debido a una serie de factores:

Defectos de la madera

Recibe este nombre cualquier irregularidad física, química o fisicoquímica de la madera, que afecte los aspectos de resistencia o durabilidad, determinando generalmente una limitante en su uso o aplicación.

El identificar los defectos de la madera permite clasificarla por aspecto o resistencia. Se distinguen, además, defectos por manipulación de la madera (secado y elaboración) y los inherentes a ella, los cuales influyen al momento de clasificarla por aspecto y por resistencia (Fritz, 2004).

Defectos propios de la madera

Los defectos que más perjudican a la durabilidad y resistencia son:

1. Nudos sueltos

Los nudos son los tejidos que forman las ramas las cuales sufren desviaciones, provocando diferente textura y heterogeneidad en la resistencia, los cuales al desecarse se desprenden dejando huecos en la madera de sección relativamente circularlos nudos se denominan vivos o muertos, según que las ramas que los han formado así lo estén cuando se tala el árbol. Los primeros son de color claro y están adherentes, y los segundos y generalmente pueden estar podridos. 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 en el canto afecta la resistencia de tracción y compresión de una pieza por esfuerzo de 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° 19: Medición de agujero y/o nudo suelto en el borde

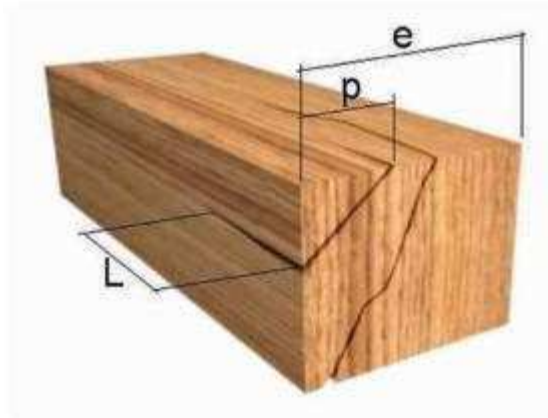


Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

2. Rajaduras

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

Figura N° 20: Medición de la longitud de la zona afectada por la rajadura

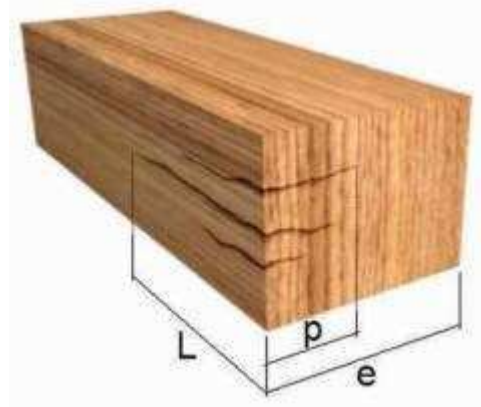


Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

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° 21: Medición de grietas



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

4. Fibra inclinada

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

Figura N° 22: Medición de la desviación de la fibra



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

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.

6. 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° 23: Acanaladura, alabeo de las caras en la dirección



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

7. 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.

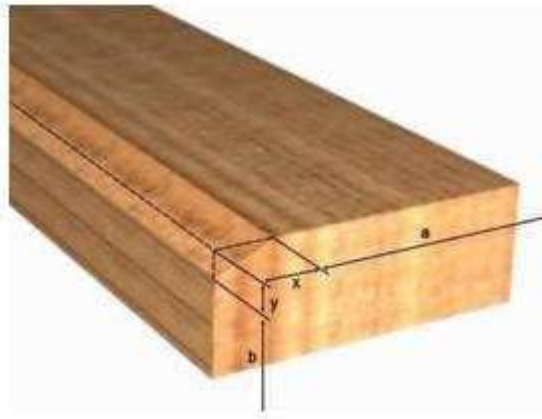
Este defecto no es admisible en la madera, puede afectar la resistencia y además su presencia.

8. 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° 24: Medición de la arista faltante o canto muerto



Fuente: Manual de construcción viviendas en madera - Corma.

2.2.3 Eucalytus Globulus

2.2.3.1 Descripción

El Eucalyptus globulus Labillardiere introducido en otras partes del mundo, existe una gran diversidad de eucalipto, se habla entre 500 y 700 especies, cuyas maderas tienen diferentes propiedades físicas, mecánicas y de apariencia.

Según Villamor, el eucalipto es, hoy en día, el más difundido por la región andina en países como Colombia, Ecuador y Perú. El árbol es originario de Australia y es cultivado ampliamente por su rápido crecimiento, su tamaño y su madera que, aunque no es de la mejor calidad y se raja con facilidad, es empleada para la elaboración de vigas, columnas, tablas y otros elementos de construcción. La madera del eucalipto también es empleada para la

elaboración de postes, pulpa de papel y como leña. *Eucalyptus globulus* es actualmente el árbol de mayor tamaño que se puede encontrar en las regiones de clima frío en los Andes tropicales; un ejemplar maduro puede superar los 50 metros de altura y tener un tronco de más de 3 metros de diámetro.

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

Figura N° 25: Listones de madera eucalipto



Fuente: Manual de la madera Eucalipto Globulus

El eucalipto ha estado envuelto en una gran polémica acerca de las extensas plantaciones que de ella se han realizado y sus efectos sobre el medio ambiente. En efecto, los monocultivos de eucaliptos resecan el suelo e impiden el desarrollo de muchas plantas nativas debido a su agresivo crecimiento y a los aceites esenciales esterilizantes (eucaliptol) que secretan los árboles. Por otro lado, no se puede negar que estas plantaciones han provisto de madera y de leña de rápido crecimiento a las poblaciones humanas que habitan en los Andes, evitando una mayor tala de los bosques y matorrales nativos que aún quedan. En la búsqueda de una sostenibilidad ambiental sería importante recordar que el problema quizás no sean los eucaliptos en sí, sino el modelo de producción uniforme que los seres humanos hemos impuesto sobre la naturaleza y sobre los mismos eucaliptos (Directorio Forestal Maderero, 2015).



Una de sus características más llamativas es su "heterofilia", es decir el hecho de presentar en el mismo árbol distintos y diferentes sus hojas jóvenes (opuestas, dentadas y acorazonadas) respecto de las adultas (alternas, pecioladas, falciformes y acuminadas). Las hojas que se agrupan agolpadas en los extremos de las ramillas, producen una copa de aspecto poco frondoso. Contienen abundantes aceites esenciales, usados en la industria química y farmacéutica y en confitería, por lo que suelen destilarse tras los cortes cuando éste aprovechamiento económico resulta rentable. Tienen cualidades medicinales, usándose en las enfermedades de las vías respiratorias.

Es muy utilizado en jardinería especialmente a costa de su fácil cultivo, rápido crecimiento y espectacularidad de su floración, así como por la magnificencia de sus grandes pies adultos aislados.

Es una planta melífera, con flores blanquecinas, que son productos de abundante miel de elevada calidad y que se transforman finalmente en un fruto grueso y abotonado, portador de las semillas.

Tiene una raíz muy poderosa y apresiva (aunque menos que la del *Eucalyptus Cameldulensis*), que cuida muy bien al árbol frente a los agentes atmosféricos. No obstante, el árbol puede resultar poco resistente frente al viento si la planta de la que procede se ha repicado deficientemente en vivero, de aquí la conveniencia de utilizar siempre en sus plantaciones la planta adecuada, y también la necesidad de cultivarla en los envases más apropiados. La conservación de su capacidad natural para rehacer el eje central pivotante de la raíz principal resulta en este sentido fundamental.

En especie intolerante, es decir, que soporta mal la cubierta o la competencia de otras especies, por lo que su enraizamiento inicial y sus rendimientos posteriores mejoran con la ausencia de la seria competencia vegetal que realizan contra él los sotobosques densos. Copa muy poco espesa, que deja pasar abundante luz y que por tanto da escasa sombra.

El nuevo regenerado, que frecuentemente aparece bajo las copas tras la diseminación de las semillas, no soporta la competencia de su sotobosque y muere prácticamente en todos los casos, con la sola excepción de cuando el terreno ha sufrido incendios o arrastres recientemente.

Puede vivir más de 100 años (Directorio Forestal Maderero, 2015).

.



2.2.3.2 Clima

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°C (especialmente si las heladas se producen cuando el árbol está brotando) y siempre si las temperaturas descienden de -5°C . Si bajan de -6°C a -8°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 temperaturas 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.

El eucalipto, al ser tenue su sombra, y especialmente en plantaciones realizadas con espaciamiento amplio, puede producir pastos abundantes. El pastoreo en él puede ayudar a controlar el matorral y el riesgo de incendios, tener interés económico o social y cooperar al enriquecimiento y mantenimiento del suelo con el abonado del estiércol y de los orinas animales

El eucalipto es uno de los árboles que menos agua consume por unidad de materia seca producida, pero que sus errores de crecimientos le llevan a consumos finalmente muy elevados.

Este mismo elevado consumo y su capacidad de resistir encharcamientos temporales le permiten ser utilizado en la depuración de aguas residuales domésticas o en la finalización de la depresión de otras aguas. En éstos filtros verdes puede combinarse una elevada producción de madera con una intensa depuración, a causa de la elevada actividad microbiológica de los suelos regados con ésta agua fecal. (Villamor, 2017)



2.2.3.3 Aplicaciones o usos de la madera de eucalipto

El primer destino de la madera de eucalipto blanco, como así se denomina comercialmente a la especie *Eucalyptus globulus* es la pasta de celulosa, es una materia prima excelente, tanto por su rendimiento como por la calidad de la fibra obtenida. También desde hace muchos años se ha utilizado esta madera para fabricar tableros de fibras duros. La gran propagación de la especie en perjuicio de otras como el Pino ha despertado en los últimos años el interés de la industria de transformación mecánica por utilizar el eucalipto blanco como madera sólida, y actualmente hay ya una referencia, que no es puntual, de fábricas de chapa de madera y aserraderos que fabrican productos destinados principalmente a parquet, utensilios, mueble, construcción y embalajes. Actualmente es un objetivo de política forestal la diversificación del uso del eucalipto para llegar a una cadena forestal-madera más equilibrada y estable, que asegure el desarrollo adecuado de los sectores. Su durabilidad es de clase 2 en contacto con el suelo (de 5 a 15 años) y de clase 3 en exterior y sin contacto con el suelo (de 15 a 40 años). Estas características han animado a emplear la madera de eucalipto en puertas, perfiles laminados para ventanas, mobiliario de cocina, tableros contrachapados y parquet machihembrado. (Bermudez, 2009)

En la región Cusco la madera Eucalipto Globulus ha sido utilizado por mucho tiempo en diferentes actividades, como la producción de antisépticos y aromatizantes; pero principalmente en el área de la construcción, para la elaboración puntales, cerchas, vigas, machihembrados, encofrados, etc.

Debido a que el Eucalipto Globulus es un árbol retoñable, en la actualidad se vienen reforestando grandes hectáreas de suelo en la región Cusco para su utilización.

Figura N° 26: Uso de la madera Eucalipto



Fuente: Manual de la madera Eucalipto Globulus

- Madera usada en construcción, por ejemplo, para elaborar columnas, vigas, puntales, cerchas y tablas.
- Con la madera se hacen durmientes para ferrocarril.
- Con la madera se elabora pulpa de papel.
- Con la madera se hacen postes para cercas.
- Madera usada como leña.
- De las hojas se extrae el aceite de eucalipto, aromático y antiséptico, usado en perfumería, confitería y medicina.
- La infusión de las hojas se usa, en baños de vapor, para tratar la tos, la gripa y el resfriado.

En todos los casos, las técnicas de aserrado y secado son fundamentales para que la madera conserve su calidad. La primera minimiza los efectos negativos de las tensiones de crecimiento, mientras que la segunda evita la deformación que provoca la humedad. Los mejores resultados se obtienen cuando es sometida a tratamientos con vapor. Al ser una madera nerviosa, debe secarse con cuidado para que la humedad no altere sus propiedades.

2.2.3.4 Características de la madera de eucalipto blanco.

Figura N° 27: Características de la madera Eucalipto



Fuente: Manual de la madera Eucalipto Globulus

Ahora bien, la utilización de la madera de eucalipto glóbulus no está exenta de dificultad puesto que sus propiedades físicas y mecánicas están marcadas por una fuerte anisotropía y heterogeneidad, además de la presencia de tensiones internas de crecimiento, que son especialmente grandes en árboles jóvenes que tuvieron un desarrollo muy rápido.

La corteza externa es de color café plumizo y de consistencia escamosa. La corteza interna es de color café claro y de consistencia lisa, las hojas cuando jóvenes son opuestas y con ramas angulares, pero adultas son alternas, lanceoladas, coriáceas y de color verde azulado, las flores son de color blanco y amarilloso, el fruto es una capsula que se abre en el ápice.

La albura es de color marrón muy pálido, poco diferenciada del duramen, con matiz rosado grisáceo. Olor y sabor característicos a eucaliptol. Brillo mediano. Grano de recto a ligero entrecruzado. Textura mediana. Veteado en líneas verticales, satinado y poco pronunciado.

Es moderadamente difícil de aserrar y trabajar en las diferentes máquinas debido al grano que posee, lo cual hace que después de su procesamiento la madera tienda a agrietarse en los extremos.

Se comporta bien al cepillado, torneado y taladrado, y regular al moldurado.

Haremos un breve repaso de sus características que nos situarán en el punto de partida para proponer métodos fiables de procesamiento de la madera.

Desde el punto de vista de la apariencia, se trata de una madera clara con color y tono parecidos a los del roble, de ahí que en el mercado internacional se la conozca también por el nombre de "Tasmanian oak" (roble de Tasmania), aunque los radios no sean visibles, ni los vasos se agrupen en anillos. (Bermudez, 2009)

- Propiedades físicas.

Tabla 6 Propiedades físicas de la madera Eucalipto Glóbulos

DENSIDAD (g/cm ³)	VERDE	SECA AL AIRE	ANHIDRA	BÁSICA
	1.16	0.73	0.70	0.55
CONTRACCIÓN NORMAL (%)	TANGENCIAL	RADIAL	VOLUMÉTRICA	TR
	10.8	4.4	15.2	2.45
CONTRACCIÓN TOTAL (%)	14.2	6.7	20.9	2.11

Fuente: Eucalipto, Villamor

- Propiedades mecánicas.

Tabla 7 Propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Glóbulos

CONDICIÓN	FLEXIÓN ESTÁTICA			COMPRESIÓN				
	ELP (Kg/cm ²)	MOR (Kg/cm ²)	MOE x 10 ³ (Kg/cm ²)	PARALELA			PERPENDICULAR	
				ELP (Kg/cm ²)	MOR (Kg/cm ²)	MOE x 10 ³ (Kg/cm ²)	ELP (Kg/cm ²)	MOR (Kg/cm ²)
VERDE + 30%	383	702	104	232	288	----	58	----
SECO AL AIRE 12 %	509	1068	138	337	470	----	80	----

CONDICIÓN CH%	DUREZA			CIZALLADURA Kg/cm ²		TENACIDAD Kg-m		EXTRACCIÓN DE CLAVOS Kg.	
	Lados	Tang.	Extrem.	Tang.	Radial	Tang.	Radial	Lateral	Extremos
VERDE +30%	478	----	480	----	97	----	4.81	----	----
SECO AL AIRE 12%	442	----	557	----	117	----	3.45	----	----

Fuente: Eucalipto, Villamor

Características sobresalientes del árbol.

Eucalipto Globulus es actualmente el árbol de mayor tamaño que se puede encontrar en las regiones de clima frío en los Andes tropicales; un ejemplar maduro puede alcanzar los 100 metros de altura y tener un tronco de más de 3 metros de diámetro, tronco reto y cilíndrico con raíz pivotante que puede penetrar hasta 10 metros de profundidad; así mismo desarrolla numerosas y robustas raíces laterales que se extienden ampliamente. (Bermudez, 2009)



2.2.4 Influencia del contenido de humedad

Según el Manual de Maderas para el Grupo Andino (1987), dice que la madera pierde resistencia cuando aumenta el contenido de humedad, a mayor contenido de humedad mucha menor resistencia. El valor de contenido de humedad óptimo es el 12% el cual se considera como el valor que define la madera seca al aire y el punto de saturación de las fibras se puede considerar igual al 30%.

2.2.5 Patología de la madera

2.2.5.1 Generalidades

Desde tiempos remotos el hombre ha utilizado la madera para construir sus casa y elaborar utensilios que pudieran hacer su vida más llevadera, los tipos de construcciones variaban de acuerdo localización geográfica, al clima a la disponibilidad de vegetación; pero el criterio básico era único: utilizar un material fácil de encontrar, transportable y cómodo de trabajar. Con el paso de los años el primitivo interés de la madera no desapareció, más bien se incrementó ya que la madera presentaba a más de las características mencionadas una gran resistencia mecánica, presentaba condiciones acústicas y térmicas buenas y además presentaba una gran resistencia a la degradación debido al paso del tiempo, es decir el tiempo por sí solo no juega un papel importante en las modificaciones de las características materiales de la madera (Fritz, 2004).

Más bien la degradación de la madera se debe a condiciones no inherentes a su estructura y composición, sino más bien a la acción de agentes exteriores tanto de naturaleza abiótica pero principalmente biótica. Las causas de las patologías pueden ser directas o indirectas: Las causas directas pueden ser también físicas, mecánicas y químicas. Físicas producidas por agentes atmosféricos o contaminación atmosférica; las mecánicas se producen por esfuerzos mecánicos imprevistos en los elementos y las causas químicas cuando existen interacciones con otros materiales o por la contaminación. Las causas indirectas se dan por diseño constructivo, ejecución, material en el proyecto; las cuales se producen por errores en la selección o calidad del material, por falta de especificaciones adecuadas del mismo, error en la disposición o armado de los elementos constructivos o contrario a las especificadas en el proyecto (Fritz, 2004).

2.2.5.2 Agentes destructores de la madera

La madera por ser un elemento natural es un material biodegradable y aún más por la acción de agentes bióticos o abióticos, efectos en el diseño y/o ejecución o alteraciones estáticas.

Agentes abióticos de la degradación de la madera

Daños producidos por el agua

El agua en contacto con la madera, penetra a través de las fibras saturando los poros tubulares y cuando alcanza grados de humedad entre el 25 – 35% produce cambios dimensionales como hinchazón y deformación. Afecta al duramen y solo en algunas ocasiones a la albura, creando las condiciones idóneas para la aparición de hongos de pudrición y manteniendo las condiciones de hábitat de insectos xilófagos, termitas y carcoma fundamentalmente; la humedad excesiva en la madera influye en su degradación superficial, debido a las microfisuras que aparecen como consecuencia de los repetidos hinchamientos y retracciones que se producen con la variación higrométrica (Fritz, 2004).

Daños producidos por variaciones de temperatura

La humedad atmosférica produce deterioro por los repetidos cambios de dimensiones que se producen en las capas superficiales de las piezas que se encuentran a la intemperie. La madera soporta los cambios de temperatura siempre que estos se presenten en forma lentas y progresiva, caso contrario se presentan grietas y fisuras, originado así vías de entrada de humedad y favoreciendo a la aparición de hongos. Se puede concluir que el daño esperado se concentra en las capas externas de la madera, ya que se producen tensiones alternas de compresión y dilatación que se traducen en una desintegración mecánica de las capas superficiales (Fritz, 2004).

Para que los agentes biológicos se desarrollen y subsistan se requiere que existan ciertas condiciones como son:

1. Fuente de material alimenticio para su nutrición.
2. Temperatura para su desarrollo. El intervalo de temperatura es de 3° a 50°, siendo el óptimo alrededor de los 37 °C.
3. Humedad entre el 20 % y el 140 %, para que la madera pueda ser susceptible de ataques de hongos. Por debajo del 20 %, el hongo no puede desarrollarse y por sobre 140 % de humedad, no existe el suficiente oxígeno para que pueda vivir.

4. Una fuente de oxígeno suficiente para la subsistencia de los microorganismos.

Agentes bióticos de degradación de la madera

Los agentes de degradación de la madera son principalmente bióticos, o sea vinculados a organismos vivos. Estos agentes generalmente aparecen vinculados con agentes abióticos, principalmente con la humedad, ya que facilita su desarrollo y difusión; se debe al ataque de organismos biológicos destructores como son los hongos y los insectos xilófagos principalmente, estos destruyen las células que la componen, afectando sus propiedades físicas y químicas; aunque puede existir la acción de plagas como la de los roedores o aves que degradan de igual manera a la madera (Fritz, 2004).

- Hongos de pudrición o xilófagos
- Mohos
- Insectos de la madera
- Termitas
- Lictidos o polillas

Tabla 8 Condiciones de desarrollo de los distintos tipos de agentes bióticos

AGENTE	MADERA	HUMEDAD
Hongos cromógenos	Todas	Elevada
Hongos xilófagos	Albura de las coníferas	Elevada
Mohos	Todas	Elevada
Carcoma común	Todas	Natural
Carcoma grande	Albura	Natural
Polilla	Albura de algunas frondosas	Natural
Termita	Todas	Elevada

Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

2.2.6 Protección de la madera

La madera como material de origen orgánico (compuesta fundamentalmente por celulosa y lignina) es especialmente estable, no obstante, por su propia naturaleza constituye la base de alimentación de organismos vivos del reino vegetal (hongos) y del reino animal (insectos, moluscos, crustáceos, aves); así mismo puede ser atacada por algunos compuestos químicos; y la existencia de carbono en la celulosa hace que sea un material combustible. La protección

de la madera se debe considerar como algo natural, sin olvidar que casi todos los materiales necesitan una protección.

Su principal objetivo es ampliar las aplicaciones de los productos de madera. Lo más importante es tratar que permanezca seca y después el empleo de productos protectores que permiten utilizarla en una gran variedad de condiciones de servicio.(Peraza, 2006)

La información sobre este tema se ha organizado en los siguientes bloques informativos:

- Agentes degradadores
- Durabilidad natural e impregnabilidad
- Protección contra organismos xilófagos
- Protección contra el fuego
- Protección superficial

2.2.6.1 Agentes degradadores

Un agente degradador es toda causa que directa o indirectamente interviene en el deterioro o alteración de la madera. Los agentes se han agrupado de la siguiente forma:

- atmosféricos o meteorológicos - xilófagos
- hongos xilófagos
- insectos xilófagos: de ciclo larvario y sociales
- xilófagos marinos
- fuego
- compuestos químicos

2.2.6.2 Agentes atmosféricos o meteorológicos

Los principales agentes atmosféricos son el sol y la lluvia, que actúan sobre la superficie de la madera al exterior y/o sobre la protección superficial de ésta. Hay que destacar que el sol y la lluvia actúan en tiempos diferentes.

La radiación solar actúa principalmente a través de los rayos ultravioleta y de los rayos infrarrojo. Los ultravioleta no penetran profundamente en la madera, su acción se centra en la superficie de la madera provocando que se degrade la lignina, que se pierda cohesión entre las fibras, y que tome un color grisáceo. Cuando la madera incorpora una protección superficial degradan progresivamente las resinas de los productos de acabado, sobre todo aquellos que no están protegidos por pigmentos.



Los rayos infrarrojos provocan un calentamiento de la zona donde inciden provocando la aparición de fendas en la superficie y la subida de resinas, debido al recalentamiento que producen. Cuando la madera incorpora una protección superficial, la acción del calor, originada por los rayos infrarrojos, acelera el envejecimiento de la resina del producto. Su acción es muy perjudicial porque tarde o temprano provocan la aparición de grietas en la superficie de la madera y a pesar de la flexibilidad que tenga el revestimiento, éste no puede resistir su aparición y se acaba rompiendo.

La acción de la lluvia sobre la madera desnuda produce un efecto parecido pero inverso al de los rayos infrarrojos. Cuando la madera incorpora una protección superficial, esta resistirá durante bastante tiempo a la acción exterior de la lluvia mientras que el agua no alcance la madera, que se producirá cuando se rompa o desaparezca la protección superficial. (Infomadera, 2017)

2.2.6.3 AGENTES XILÓFAGOS

Los principales agentes bióticos destructores de la madera pertenecen tanto al reino vegetal (hongos xilófagos) como al reino animal (insectos xilófagos y xilófagos marinos). La acción de los hongos se origina principalmente en la madera en contacto con el suelo, como postes, traviesas de ferrocarril, etc, o cuando se humedece debido a errores constructivos como por ejemplo la cabezas de vigas empotradas en muros. La acción de los insectos xilófagos se puede producir en una gran variedad de situaciones y de contenidos de humedad de la madera. Según su ciclo de vida y la forma de su ataque distinguiremos a los insectos de ciclo larvario, a los insectos sociales y a los xilófagos marinos. Los xilófagos marinos actúan sobre la madera que se utiliza en agua de mar.

Hongos xilófagos

Los hongos que se relacionan directamente con la madera son los mohos, los hongos cromógenos y los hongos de pudrición. Su ciclo biológico queda definido por las esporas, las hifas, el micelio y los cuerpos de fructificación. Las esporas de los hongos se encuentran en todas partes y en gran cantidad, y son arrastradas por el viento, el agua o los animales. El ciclo se inicia cuando encuentran unas condiciones favorables para su germinación (maderas con un contenido de humedad superior al 22%). De las esporas emergen las hifas que son células muy finas, solamente visibles con el microscopio, que se introducen en la madera.



Las hifas se alimentan de las sustancias de reserva del interior de las células y/o segregan enzimas que producen la descomposición de la pared celular y que permiten que puedan ser asimiladas por éstas; son las que realizan la función degradadora en la madera. Las hifas van aumentando su tamaño y su número, y terminan formando lo que se denomina "micelio", en donde se forman los cuerpos de fructificación, que son visibles y que vuelven a emitir esporas al exterior cerrando de esta forma el ciclo.

Los factores que tienen mayor influencia en el desarrollo de los hongos son la humedad, la temperatura y la presencia de aire (oxígeno). La humedad es de vital importancia para la fisiología de los hongos y es indispensable para la germinación de las esporas, la digestión de la madera por las enzimas, el transporte de las sustancias de alimentación y la realización de todas las funciones vitales. Su óptimo se sitúa entre el 35 y el 50%, el límite inferior entre el 20% - 22% y el superior alrededor del 175%.

Los **mohos** se alimentan de las materias almacenadas en el interior de las células de la madera (lumen). Son incapaces de alimentarse de los principales componentes de la pared celular de las células (celulosa o lignina), por lo que no producen pérdidas significativas en la resistencia de la madera. Se detectan cuando se forman esporas en la superficie de la madera (color oscuro) o cuando el cuerpo de fructificación forma sobre la superficie una especie de pelusilla (proliferaciones algodonosas) transparente, o con tonalidades que van desde el color blanco al negro.

Los **hongos cromógenos** al igual que los mohos sólo se alimentan del contenido celular de las células de la madera, tampoco producen degradaciones en su pared celular y apenas afectan a las propiedades físico - mecánicas de la madera. Se caracterizan porque producen decoloraciones en la madera, como el azulado, la coloración verde, el corazón rojo del haya y la madera pasmada también del haya.

Los **hongos de pudrición** producen una degradación más importante ya que alteran las paredes de las células de la madera. La pudrición no es fácil de reconocer en sus etapas iniciales ya que las hifas permanecen ocultas en su interior. Según va desarrollándose la pudrición se va acentuando el cambio de color, rojizas - pardas o a veces claras, y la madera empieza a perder peso y aumentar su contenido de humedad. En la fase final del proceso se llega a la disgregación total de la estructura de la madera con una pérdida importante de sus características físico - mecánicas.



La clasificación de las pudriciones es difícil de realizar ya que no existen parámetros fijos en los que nos podamos apoyar, la más aceptada es la que conjuga el color de la madera atacada junto el aspecto que presenta, aunque sigue siendo imperfecta. Los tipos o clases de pudrición serían las pudriciones pardas (su ataque se centra en la celulosa), las pudriciones blancas (su ataque se centra en la lignina) y las pudriciones blandas (su ataque se produce cuando existen altas condiciones de humedad, tanto en el ambiente como en la madera).

Insectos xilófagos

Los insectos de forma individual no causan problemas, el problema aparece cuando se tiene en cuenta su capacidad de reproducción y de reinfección de la madera atacada. Se pueden clasificar por su ciclo biológico en insectos de ciclo larvario y en insectos sociales, entre los primeros tendríamos por ejemplo a las carcomas y entre los segundos a las termitas. El ciclo biológico de cada uno de ellos es diferente.

El ciclo de vida de **los insectos xilófagos larvarios** se caracteriza por su cambio de forma, que se denomina "metamorfosis", pasando por cuatro estados sucesivos de desarrollo: huevo, larva, pupa e insecto adulto o imago. El tiempo requerido para el cumplimiento de todos los estados se conoce con "duración de la generación", el cuál es diferente para cada especie. Los estados de huevo, pupa e imago son por lo general de corta duración y varían desde varios días hasta semanas; el tiempo más largo del ciclo de vida corresponde al estado larvario, etapa durante la cuál lleva a cabo la degradación de la madera para satisfacer sus necesidades alimenticias.

Su desarrollo está influido por diferentes condiciones, entre las que se destacan: la especie de madera (existen insectos especializados en madera de frondosas, otros en maderas de coníferas y otros que atacan indistintamente a ambas); el contenido de humedad de la madera (algunos sólo atacan maderas secas, otros maderas muy húmedas y otros que atacan maderas con cualquier contenido de humedad); la temperatura (los insectos no pueden regular la temperatura de su cuerpo, por tanto dependen de los cambios que se producen en el medio ambiente); y la presencia de hongos de pudrición: (algunos de ellos van siempre asociados a los hongos). El tamaño y la forma de las galerías y de los orificios de salida junto con el tipo de serrín, la especie de madera y su contenido de humedad son las principales características que sirven para identificarlos.

Los insectos xilófagos sociales se caracterizan por constituir agrupaciones de individuos en la que los distintos tipos o castas, incapaces de vivir solitariamente, desempeñan diferentes cargos o funciones en el desarrollo de la colonia. El ciclo de vida de una colonia empieza con el vuelo en forma de enjambre de los individuos sexuados, que en ciertos días del año salen en gran cantidad del antiguo nido y buscan un lugar apropiado para el futuro nido, abriendo una cavidad (cámara nupcial) en la que realizan la copulación. Los huevos que pone la reina se convierten en ninfas que pueden dar lugar a 3 castas o individuos morfológicamente distintos: individuos sexuados, distinguiéndose los reyes alados (pareja real fundadora de la colonia) y los reyes secundarios o de sustitución; soldados, cuya misión es la defensa de la colonia; obreros, cuya misión es buscar alimento y alimentar a los demás individuos de la colonia, cuidar a la pareja real y construir, reparar y limpiar el nido. (Infomadera, 2017)

2.2.6.4 Fuego

La madera, al estar formada por carbono, es un material combustible y susceptible de ser degradada por el fuego. La degradación se produce mediante reacciones químicas (combustión) que disminuyen paulatinamente su sección resistente y pueden provocar su total destrucción, en función de la duración de su exposición al fuego. La combustión de la madera se produce al combinarse, mediante la acción del calor, sus principales componentes, el carbono y el hidrógeno, con el oxígeno para producir, respectivamente, anhídrido carbónico y agua. (Infomadera, 2017)

2.2.6.5 Degradación producida por compuestos químicos

- La madera es un material muy resistente a un gran número de compuestos químicos. En la industria de fabricación de elementos químicos es uno de los materiales preferido para numerosas aplicaciones que van desde depósitos o contenedores de productos hasta edificios de madera en donde se guardan los productos químicos. Un ejemplo clásico son los depósitos de sal que se utilizan para eliminar la nieve y el hielo de las carreteras. La madera de duramen es, en general, más resistente que la de albura, debido a que es más difícil que penetren en ella. Los compuestos químicos pueden modificar la resistencia de la madera de dos formas diferentes:
- Aumentando sus dimensiones o hinchazón (el aumento de su contenido de humedad origina la disminución de sus propiedades resistentes), cuya acción es reversible. En

este grupo incluiríamos el agua, los alcoholes y otros líquidos orgánicos (por ejemplo, las acetonas) que no reaccionan químicamente con la madera.

- Produciendo cambios permanentes e irreversibles en la estructura de la madera debido a la modificación de alguno de sus componentes. (Infomadera, 2017)

2.2.7 Durabilidad natural e impregnabilidad

La durabilidad natural se define como la resistencia intrínseca de la madera frente a degradaciones que pueden producir los agentes destructores de la madera. Dentro del tejido leñoso pueden diferenciarse dos zonas: el duramen, en el interior del tronco, y la albura, en el exterior. La formación del duramen se caracteriza por modificaciones anatómicas y químicas. Las modificaciones anatómicas, tanto en las frondosas como en las coníferas, se traducen en una obturación total o parcial de los tejidos encargados de transportar la savia. Las modificaciones químicas tienen lugar al impregnarse las células con otros productos naturales producidos por el árbol (resinas, aceites, taninos, gomas, sustancias solubles, hidratos de carbono polisacáridos, alcaloides, etc) que al oxidarse le suelen dar un característico color oscuro, que se suele apreciar con más claridad en algunas coníferas.

La duraminización protege a la madera contra los ataques de los hongos e insectos xilófagos, por el taponamiento e impregnación de los tejidos de la madera con sustancias que tienen un cierto valor antiséptico. La madera de duramen no sólo es más oscura (en la mayoría de las especies), sino que también es más densa y resistente a los ataques de origen biológico; mientras que la madera de albura suele ser más clara, generalmente blanco amarillenta, más porosa y blanda, y menos valiosa para algunas aplicaciones. Sin embargo, desde el punto de vista de los tratamientos, la albura suele ser más fácil de tratar y de trabajar en la mayor parte de los procesos de elaboración y desintegración mecánica.

La impregnabilidad de una especie evalúa la capacidad que presenta para que un líquido (por ejemplo un protector) pueda entrar en su interior. En todos los sistemas de tratamiento, con la excepción del de difusión que utiliza como vehículo el agua que contiene la madera, la cantidad de producto que entra en la pieza está muy relacionada con su estructura anatómica (la dimensión, la forma y el número de células por unidad de volumen; y la habilidad de las mismas para transportar líquidos). En general la madera de albura se impregna con más facilidad independientemente del comportamiento que tenga su madera de duramen; aunque

existen casos puntuales en los que es muy difícil impregnar la madera de albura. (Peraza, 2006)

2.2.8 Clases de riesgo

Las clases de riesgo intentan valorar el riesgo de ataque del elemento de madera por los agentes xilófagos en función del lugar donde se va a instalar. Dependen principalmente del grado de humedad que puede alcanzar la madera durante su vida de servicio (inferior al 18%, ocasionalmente superior al 20%, frecuentemente superior al 20% y permanentemente superior al 20%). Las clasificaciones no son siempre perfectas y debido a la cantidad de utilidades que puede tener la madera, existirán situaciones que se solapan varias clases de riesgo.

Las clases de riesgo que se definen a continuación, están armonizadas con las clases de servicio definidas en el Eurocódigo 5 y se desdoblaron para elementos de madera maciza y para los tableros derivados de la madera. (Peraza, 2006)

Tabla 9 Tabla resumen de las clases de riesgo

CLASE DE RIESGO	SITUACIÓN	EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE	CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA
1	Cubierto y sin contacto con el suelo	Permanentemente seco	máxima 18-20%
2	Cubierto y sin contacto con el suelo, con riesgo de humedades	Humectaciones ocasionales	en alguna ocasión > 20%
3	Al exterior no cubierto y sin contacto con el suelo	Humectaciones frecuentes	frecuentemente > 20%
4	En contacto con el suelo o con agua dulce	Humectaciones permanentes	permanentemente > 20%
5	En contacto con agua salada	Humectaciones permanentes	permanentemente > 20%

Fuente (Peraza, 2006)

2.2.9 Revisión de las medidas constructivas

Estas medidas de tipo constructivo están enfocadas a evitar un aumento perjudicial del contenido de humedad de la madera y a evitar la acción directa del sol y de la lluvia. La primera consideración que se debe tener en cuenta cuando se utilice madera en la

construcción es que su contenido de humedad sea el correspondiente al de su lugar de aplicación. Como regla general la madera **debe permanecer con el contenido de humedad adecuado y estar ventilada**. Además, hay que tener siempre presente que si su contenido de humedad es superior al 20-22%, existe la posibilidad de un ataque por hongos de pudrición y/o de termitas.

Estas medidas hacen referencia a las eliminaciones de humedades procedentes de precipitaciones atmosféricas (cubiertas - aleros - carpintería exterior), de los materiales colindantes (piezas de madera próximas o en contacto con el suelo o muros), y de la formación de condensaciones y aportes accidentales de humedad (fugas, filtraciones, goteras etc). El objetivo general es la eliminación de todas las fuentes de humedad no controladas, incluso aquellas que se encuentran alejadas de la madera afectada, ya que algunos agentes xilófagos pueden transportarla. (Peraza, 2006)

Las posibles medidas se enfocan a resolver adecuadamente las siguientes acciones:

- Precipitaciones atmosféricas:
- Cubiertas y aleros.
- Carpintería exterior de madera: recubrimientos, suelos, ventanas, balcones y puertas.
- Paso de humedad de los materiales colindantes:
- A través del suelo.
- A través del muro (apoyo de vigas).
- Formación de condensaciones.
- Aportes accidentales de humedad (fugas, filtraciones, goteras, etc.).
- Saneamiento y disposiciones constructivas en la lucha contra las termitas.

2.2.10 Productos protectores

Los protectores de la madera están compuestos por materias activas, productos fijadores y solventes. Las materias o los principios activos tienen propiedades insecticidas o fungidas y se fijan en la madera por medio de los productos fijadores, ambos productos se introducen en el interior de la madera a través del solvente .

Sus principales características son las siguientes:

- Registro del producto en el Ministerio de Sanidad que especifica sus aplicaciones y los posibles riesgos derivados de una incorrecta manipulación o la forma de manipularlos para evitar esos riesgos.



- Efectividad frente al agente degradador, que queda definida en las correspondientes normas de ensayo y de especificaciones, y ha de estar refrendada por el correspondiente informe de ensayo emitido por laboratorios de reconocido prestigio. Normalmente se especifica la cantidad de producto necesaria y el método de tratamiento.
- Permanencia del producto: Los productos deben proteger la madera durante un cierto tiempo. Sobre este punto hay que tener en cuenta que existen productos que comunican una protección temporal de la madera, como por ejemplo los que se utilizan para evitar que la madera aserrada se azule; y otros que comunican una protección de mayor duración como es el caso de las sales hidrosolubles aplicadas con tratamientos de vacío - presión.

Debido a la gran cantidad de variables que intervienen o definen un producto protector como pueden ser su composición, forma de presentación (líquida, polvo, pasta, cartuchos, gas, etc.), campo de aplicación, efectividad, métodos de tratamientos, manipulación, compatibilidades con otros productos, etc.; el fabricante debe aportar la máxima información sobre dicho producto avalada con los correspondientes informes. (Infomadera, 2017)

Los productos protectores se pueden clasificar en función de su composición química (principios activos, solventes y productos fijadores) en los siguientes:

- Protectores hidrosolubles (sus principios activos son sales minerales, que se disuelven en una solución acuosa a una concentración determinada)
- Protectores en disolvente orgánico (sus principios activos son compuestos orgánicos de síntesis, a los que se añaden resinas, que van disueltos en disolventes orgánicos)
- Protectores hidrodispersables (sus principios activos son compuestos orgánicos de síntesis no solubles en agua a los que se añade un emulgente para producir una buena dispersión en agua)
- Protectores mixtos (sus principios activos son mezclas sales minerales con productos de síntesis que se disuelven en agua).
- Protectores orgánicos naturales (normalmente hacen referencia a las creosotas).

Aceite Requemado Automotriz

El aceite requemado es el líquido aceitoso, pardo a negro, que se remueve del motor de un automóvil cuando se cambia el aceite. Es similar al aceite que no ha sido usado excepto que contiene productos químicos adicionales a causa de su uso como lubricante del motor.

Los productos químicos en el aceite consisten de hidrocarburos, que son destilados del petróleo crudo y de varios aditivos que mejoran el rendimiento del aceite. El aceite usado también contiene productos químicos formados cuando el aceite es expuesto a altas temperaturas y presión dentro del motor. También contiene ciertos metales de partes del motor y pequeñas cantidades de gasolina, anticongelante, y sustancias químicas que provienen de la gasolina cuando ésta se enciende dentro del motor.

Los productos químicos encontrados en el aceite usado de cárter varían dependiendo de la marca o del tipo de aceite, de si se usó gasolina o aceite diesel, de la condición del motor de dónde provino el aceite, y de la cantidad de uso entre cambios de aceite. El aceite usado no ocurre naturalmente en el ambiente. (Alonso, 2005)

Se utiliza:

- Para la protección de durmientes de tren
- Para protección de vías pavimentadas
- Para protección de maderas en general

Cola sintética Blanca

Es un adhesivo en emulsión acuosa en base a polivinilacetato, desarrollado para el armado de muebles en trabajos de carpintería. Se recomienda usarlos cuando se requiere rápido secado y buena resistencia mecánica. Se utiliza en procesos de encolado utilizando prensado en frío. Las uniones de madera pegada con cola de carpintería no se abren por la presencia de alta humedad. Además, no produce manchas en la madera.

Las superficies al ser encoladas deben estar completamente limpias y secas. El porcentaje de humedad de la madera debe ser menor al 22 %. Aplicar 150-200 g/m² de cola de carpintería en una de las superficies de la madera, dependiendo esto de la temperatura ambiente la cual debe estar comprendida entre 12 y 32°C. Puede ser aplicado manualmente, con rodillo, brocha o espátula, así como también por medios mecánicos. Después se debe dejar por 24 horas hasta lograr que el adhesivo alcance su máxima resistencia, para luego proceder al

maquinado de la madera. El material utilizado que ha entrado en contacto con cola de carpintería se lava con agua preferentemente tibia.

Debe ser conservado bien cerrado en su envase original y en un lugar fresco, protegido a la intemperie, calor o frío excesivo. Bajo condiciones normales de almacenamiento, la vida útil es de 6 meses a 25°C. Se recomienda agitar el producto antes de usarlo. (Jimenez, 2000)

2.2.11 Método de tratamiento

El método de tratamiento es el procedimiento por el que se aplica un protector a la madera. Su objetivo es conseguir introducir la cantidad definida de producto en un volumen de madera determinado y que este alcance la penetración especificada.

Se pueden distinguir dos formas o procedimientos para tratar la madera. La primera se podría denominar pasiva, ya que se basa en la capacidad natural de la madera para recibir o absorber el protector, la cantidad de producto absorbida es irregular y no controlable; incluiría al pincelado, la pulverización y la inmersión breve. La segunda se podría denominar activa, ya que se basa en métodos artificiales (técnicas de vacío-presión), la cantidad de producto absorbida por la madera se puede controlar con mayor precisión e incluiría a todos los métodos que utilizan el autoclave.

Relación de métodos de tratamiento - penetración

- **Pincelado:** se consigue una protección superficial contra la acción de agentes bióticos y contra la fotodegradación.

Figura N° 28: Tratamiento por pincelado en madera



Fuente: PROTECMA- Sistemas de protección de madera

- **Pulverización:** se consigue una protección superficial contra la acción de agentes bióticos y contra la fotodegradación. La pulverización es más eficaz que el pincelado.

Figura N° 29: Tratamiento por pulverización en madera



Fuente: PROTECMA- Sistemas de protección de madera

- **Inmersión breve** (período de tiempo entre algunos 10 segundos y 10 minutos). Se consigue una protección superficial contra la acción de agentes bióticos.

Figura N° 30: Tratamiento por inmersión breve



Fuente: PROTECMA- Sistemas de protección de madera

- **Inmersión prolongada** (período de tiempo superior a 10 minutos). Se consigue una protección media contra la acción de agentes bióticos y contra la fotodegradación. El tratamiento por inmersión prolongada es un método de muy sencilla ejecución que consiste en sumergir la madera en el protector durante un tiempo superior a 10 minutos, generalmente más de una hora, pudiendo llegar a días e incluso a semanas dependiendo de la especie de madera, dimensiones de la misma, contenido de humedad, tipo de protector utilizado, grado de protección exigida, etc.

Figura N° 31: Tratamiento por inmersión prolongada



Fuente: PROTECMA- Sistemas de protección de madera

- **Tratamientos con vacío - presión** (realizados con autoclave: un cilindro metálico cerrado en el que se introduce la madera y el protector de la madera. Mediante la aplicación de vacío, extraemos el aire de la madera, y mediante la aplicación de presión, conseguimos forzar la entrada del producto en el interior de la madera). Se consigue una protección profunda contra la acción de agentes bióticos. En función de los vacíos y presiones que se realicen y de sus tiempos de aplicación se clasifican en:
Sistema de célula llena: su objetivo es conseguir la máxima retención del protector en la madera tratada.
Sistema de célula vacía: su objetivo es conseguir que el producto protector penetre profundamente en la madera.
Doble vacío: su objetivo es proteger perimetralmente la pared celular

Figura N° 32: Cilindro autoclave para tratamiento de madera



Fuente: Maderas Aguirre

- **Madera termo tratada:** la madera se somete a unas determinadas temperaturas (alrededor de los 200° C) durante un cierto periodo de tiempo.

2.2.12 Elección del tipo de protección

El tipo de protección a elegir dependerá de la clase de riesgo en la que se encuentre el elemento de madera y de su durabilidad natural. La elección del tipo de protección puede tener dos enfoques. El primero se basa en las especificaciones de las nuevas normativas europeas y el segundo en aspectos más prácticos y sencillos extraídos de la experiencia. Ambos enfoques llegan a las mismas conclusiones. (Infomadera, 2017)

Sólo se especifica la penetración, pero la empresa que realiza el tratamiento debe certificar la retención (como mínimo, la de los resultados de ensayo para cada una de las clases de riesgo).

Tabla 10 Tipo de protección y método de tratamiento.

Tipo	Penetración	Método tratamiento
Superficial	la penetración media alcanzada por el protector es de 3 mm, siendo como mínimo de 1 mm en cualquier parte de la superficie tratada Se corresponde con P1 P2 y P3	Pincelado Pulverización Inmersión breve
Media	la penetración media alcanzada por el protector es superior a 3 mm en cualquier zona tratada, sin llegar al 75% del volumen impregnable Se corresponde con P4, P5, P6 y P7	Inmersión prolongada Difusión Autoclave vacío - vacío Autoclave vacío - presión
Profunda	es aquella en que la penetración media	- Autoclave vacío - vacío
	alcanzada por el protector es igual o superior al 75% del volumen impregnable Se corresponde con P8 y P9	- Autoclave vacío - presión

Fuente: Enfoque de las normas europeas (Norma de referencia: UNE EN 351-1)

2.2.13 Vida útil de la madera tratada

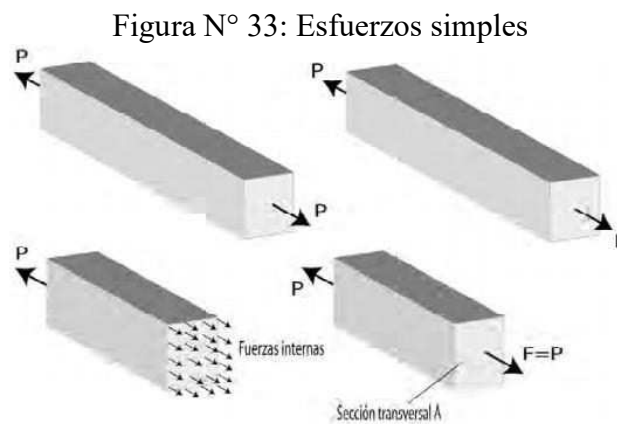
La “vida útil o la durabilidad” de la madera tratada es una información útil que no es fácil de obtener. A continuación, se exponen algunos datos orientativos procedentes de experiencias reales y basados en que el tratamiento se ha realizado correctamente. (Infomadera, 2017)

- En principio para todas las aplicaciones de interiores, la madera tratada permanecerá protegida para siempre.
- En el caso de la madera exterior que se ha protegido mediante técnicas de vacíopresión con productos hidrosolubles, siguiendo las indicaciones del fabricante, se puede alcanzar una vida útil, dependiendo de la especie de madera, de 50 años (otros fabricantes y técnicos la rebajan a 20 años). Esta estimación también se puede ampliar a la madera utilizada al exterior en contacto con el suelo.
- En el caso de la madera utilizada en carpintería exterior sin contacto con el suelo que se haya protegido mediante técnicas de vacío - vacío, tanto con productos orgánicos como hidrosolubles (especiales para este tipo de tratamientos), siguiendo las indicaciones del fabricante, se puede alcanzar una vida útil, dependiendo de la especie de madera, de 60 años (otros fabricantes y técnicos la rebajan a 25 años).

2.2.14 Teoría de resistencia de materiales

2.2.14.1 Esfuerzos normales

Según (Singer Ferdinand L., 1994), cuando una fuerza P actúa a lo largo de una barra su efecto sobre la misma depende no solo del material sino de la sección transversal que tenga la barra, de tal manera que a mayor sección mayor será la resistencia de la misma. Se define entonces el esfuerzo axial o normal como la relación entre la fuerza aplicada y el área de la sección sobre la cual actúa. O en otros términos como la carga que actúa por unidad de área del material.



Fuente: Resistencia de Materiales Singer y Pytel

$$P/A \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Siendo

P: Fuerza axial (N)

A: Sección transversal (m²)

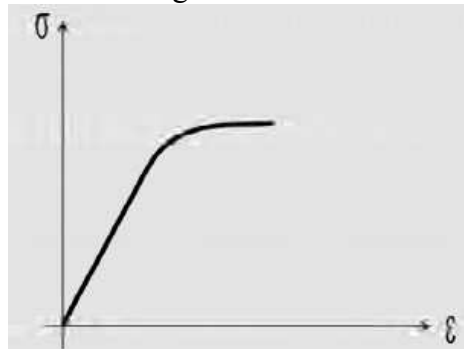
2.2.14.2 Diagrama esfuerzo deformación

Según (Singer Ferdinand L., 1994), la resistencia de un material no es el único criterio que debe utilizarse al diseñar estructuras. Frecuentemente la rigidez suele tener la misma mayor importancia. En menor grado otras propiedades tales como la dureza, la tenacidad y ductilidad también influyen en la elección de un material. Estas propiedades se determinan mediante pruebas, comparando los resultados obtenidos con patrones establecidos.

2.2.14.3 Ley de Hooke

Según (Singer Ferdinand L., 1994), relaciona fuerzas y deformaciones. Para estudiar las propiedades de un material, deben relacionarse cantidades unitarias de esfuerzo y deformación de tal manera que en la ley queden obviadas el área y la longitud de la probeta ensayada.

Figura N° 34: Diagrama esfuerzo deformación



Fuente: Resistencia de Materiales Singer y Pytel

2.2.14.4 Esfuerzo cortante o cizallamiento

Según (Singer Ferdinand L., 1994), el esfuerzo cortante o de cizallamiento, a diferencia de compresión, es producido por fuerzas que actúan paralelamente al plano que las resiste, mientras que los de tensión o de compresión lo son por fuerzas normales al plano en que actúan. Por esta razón, los esfuerzos de tensión y compresión se llaman también esfuerzos normales, mientras que el esfuerzo cortante también puede denominarse esfuerzo tangencial.

2.2.15 Criterios estadísticos

2.2.15.1 Media aritmética

Según (Lages Elon, 2000), la media aritmética (también llamada promedio o simplemente media) de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestra siendo uno de los principales estadísticos muestrales.

$$X \text{ prom} = \frac{\Sigma}{N(\text{cantidad de muestras})}$$

Σ = Sumatoria de datos

N = Numero de datos

2.2.15.2 Varianza

Según (Lages Elon, 2000), la varianza es aquella medida de dispersión que ostenta una variable aleatoria respecto a su esperanza. La varianza se relaciona con la desviación típica o desviación estándar, la cual se denota a través de la letra griega denominada sigma y que será la raíz cuadrada de la varianza.

Para calcular la varianza será necesario seguir los siguientes pasos: primero deberemos calcular la media, es decir, el promedio de los números, luego, por cada número, deberemos restar la media y elevar el resultado al cuadrado y finalmente la media de esas diferencias al cuadrado. La principal función y utilidad que se le puede encontrar a la varianza es que nos permite saber y determinar qué es normal, qué es grande, qué es pequeño, aquello que es extra grande o bien aquello que es extra pequeño.

$$\sigma^2 = \frac{\Sigma(Xi - \mu)^2}{N}$$

σ^2 =Varianza

Xi =Variable o Dato estadístico

μ = Promedio aritmético

N = Numero de datos

2.2.15.3 Desviación estándar

De acuerdo a (Lages Elon, 2000), la desviación típica o desviación estándar es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

Para conocer con detalle un conjunto de datos, no basta con conocer las medidas de tendencia central, sino que necesitamos conocer también la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad al momento de describirlos e interpretarlos.

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(X_i - \mu)^2}}{N}$$

σ =Desviación Estándar

X_i =Variable o Dato estadístico

μ = Promedio aritmético

N = Numero de datos

2.2.15.4 Coeficiente de variación

De acuerdo a (Lages Elon, 2000), el coeficiente de variación es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media. Puesto que el coeficiente de variación no se basa en unidades, se puede utilizar en lugar de la desviación estándar para comparar la dispersión de los conjuntos de datos que tienen diferentes unidades o diferentes medias.

$$CV = S/\mu$$

S = Desviación estándar

μ =Media aritmetica

2.2.15.5 CRITERIO DE CHAUVENET

Según (Sales de Lopez, 2005), el criterio de Chauvenet es un método para calcular si un dato experimental, de un conjunto de datos experimentales, es probablemente un valor atípico. Para aplicar el Criterio de Chauvenet, primero se ha de calcular la media y la desviación estándar (típica) de la información observada. Basándose en cuánto difiere el valor dudoso

de la media, se utiliza la función de distribución normal (o la tabla de la misma) para determinar la probabilidad de que una dato dado sea del valor del dato dudoso.

$$\frac{ABS(Xi-\mu)}{S} \leq 2.0$$

Xi = Variable o Dato estadístico

S = Desviación estándar

μ = Promedio aritmético

ABS = Valor absoluto

2.2.15.6 VALOR REPRESENTATIVO DE LA MUESTRA

El manual de maderas para el grupo andino (1987) propone que el valor correspondiente al 5% de exclusión, se tome como dato representativo del ensayo. Para obtener el percentil 5 se puede utilizar la función probabilista (t) Student. La función (t) de student es muy parecida a la función normal, pero se aplica mucho para muestras pequeñas, de datos o ensayos. (Spiegel, 1973).

2.2.15.7 PRUEBA DE T DE STUDENT

Una variable con distribución t de Student se define como el cociente entre una variable normal estandarizada y la raíz cuadrada positiva de una variable 2 dividida por sus grados de libertad. Se aplica cuando la población estudiada sigue una distribución normal pero el tamaño muestra es demasiado pequeño como para que el estadístico en el que está basada la inferencia esté normalmente distribuido, utilizándose una estimación de la desviación típica en lugar del valor real.

$$PER\ 5\% = \mu \pm t_{0.95} (S/\sqrt{(N-1)})$$

N = Numero de datos

S = Desviación estándar

μ = Media aritmética

CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1 Metodología de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Nuestra investigación tiene enfoque cuantitativo, dado que, en sus características, hacemos un análisis de las variables que se obtiene de la construcción de instrumentos de medición para la verificación de la hipótesis, se establece la hipótesis y procedimientos antes de llevar a cabo el estudio, así mismo la investigación tiene un proceso secuencial, deductivo y probatorio para luego ser analizada y obtener resultados objetivos y Tiene finalidad aplicativa debido a que aplicamos conocimientos y métodos de la ingeniería en la realización de la investigación (Roberto Hernández Sampieri, 2010.p.4,116)

3.1.2 Nivel de la investigación

El nivel de la investigación se determinó como descriptivo con alcance relacional, debido a que medimos y recogemos información acerca de las propiedades físicas y mecánicas de la madera tratada y describimos los fenómenos suscitados con cada tratamiento realizado (Roberto Hernández Sampieri, 2010,p.80,82).

3.1.3 Método de la investigación

De acuerdo a (SAMPIERI, 1991) el método de la investigación fue Hipotético Deductivo porque en la tesis se plantea la hipótesis general y sub hipótesis con respecto a las características físico mecánicas admisibles para el uso normado y cumpliendo los requisitos de resistencia, cuyas afirmaciones son verificadas por medio de ensayos en laboratorio, siendo finalmente elaboradas conclusiones que respondan a la hipótesis de la investigación. El método de nuestra investigación es hipotético deductivo porque este procedimiento es el que seguiremos para hacer una práctica científica. Ya que a través de observaciones realizadas de un caso particular se plantea un problema. Este lleva a un proceso de inducción que remite el problema a una teoría para formular una hipótesis, que a través de un razonamiento deductivo intenta validar la hipótesis (Bernal, 2000, p.135). Aplicado de la siguiente manera como dice Xavier Laborda Gil: El método hipotético-deductivo se aplica en cinco momentos: a) Registro de los hechos que exigen explicación. b) Enunciación de



hipótesis para explicar los hechos observados. c) Enunciación de un lenguaje simbólico con el que se pueda operar, dado un sistema de reglas de deducción. d) Interpretación de la deducción, enunciando la previsión de unos hechos determinados. e) Verificación de los hechos previstos y determinación de la verosimilitud de las hipótesis (Gil, 1978,p.295).

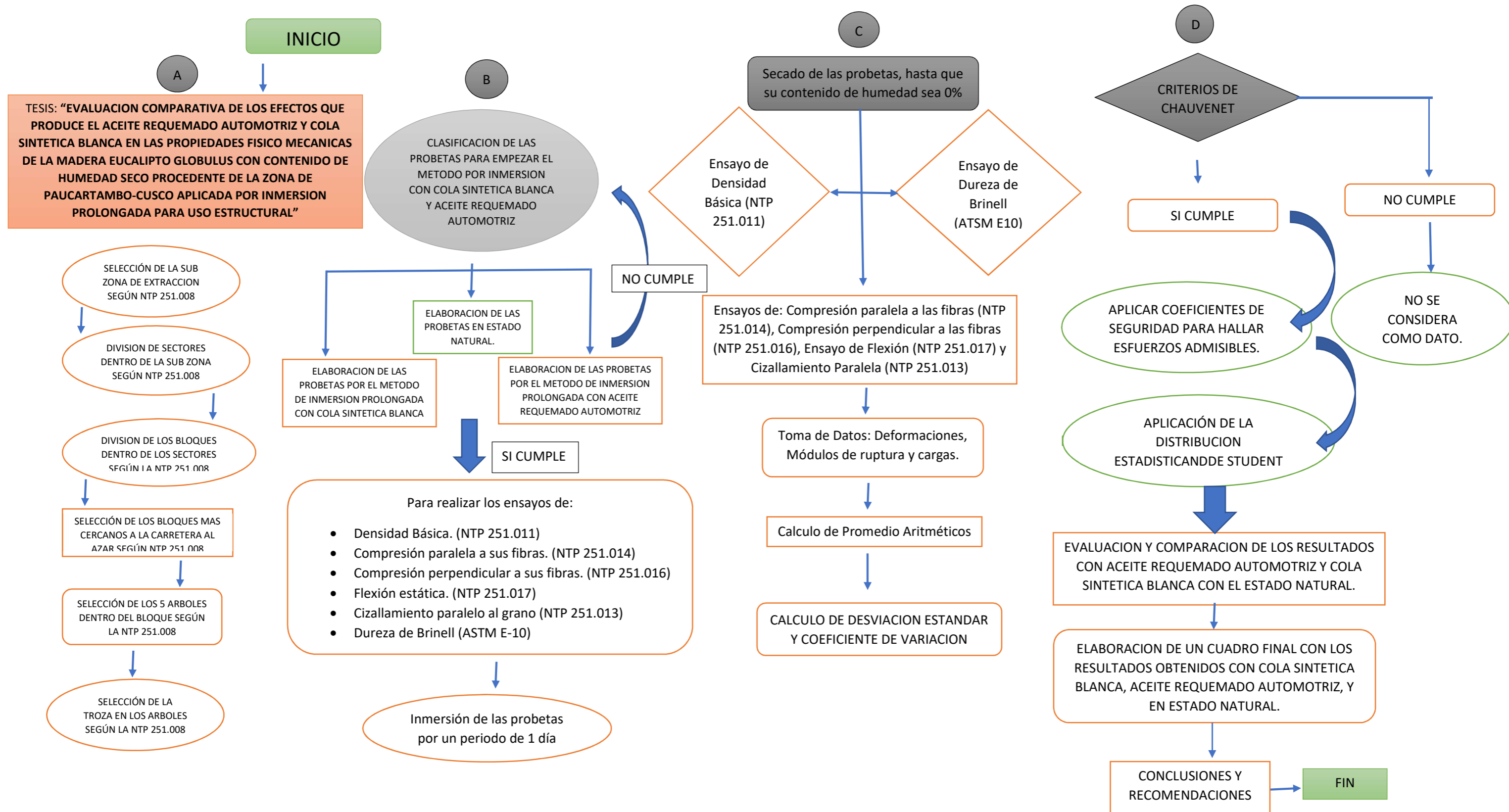
3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Diseño metodológico

La investigación tiene un diseño experimental ya que manejamos la variable independiente y la manipulamos de manera intencional que para este caso es la madera Eucalipto Globulus, este tipo de diseño se utiliza cuando se tiene que probar la efectividad o efectos adversos de la manipulación de una variable (Roberto Hernández Sampieri, 2010,p. 119,149,151).

3.2.2 Diseño de ingeniería

Figura N°35: Flujograma de diseño de ingeniería





3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

3.3.1.1 Descripción de la población

Dicha población estuvo constituida por los árboles de Eucalipto Globulus de la zona de Cusco de los cuales se obtuvieron probetas de madera Eucalipto que fueron estudiadas mediante ensayos que determinaron sus propiedades: densidad básica (NTP 251.011), cizallamiento paralelo al grano (NTP 251.013), compresión paralela al grano (NTP 251.014), compresión, perpendicular al grano (NTP 251.016) y flexión estática (NTP 251.017).

3.3.1.2 Cuantificación de la población

Se consideraron las especies arbóreas de Eucalipto Globulus de la zona de Paucartambo Cusco que están dispersas en un área de 6295 km².

3.3.2 Muestra

3.3.2.1 Descripción de la muestra

La muestra estuvo constituida por los Eucaliptos Globulus de la zona de Paucartambo Cusco que cumplieron con una altura mínima de 6 metros y el tronco recto.

3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

La muestra estuvo constituida por los troncos de Eucaliptos Globulus que serán evaluados, para lo cual se aplicó como criterio de evaluación la fabricación de probetas que se consigna en el siguiente cuadro.

Tabla 11 Cantidad de muestras por ensayo

Ensayo	Tipo de Tratamiento	Cantidad
DENSIDAD BÁSICA	sin tratamiento	20
	sumergido en cola sintética blanca	20
	sumergido en aceite requemado automotriz	20
DUREZA DE BRINELL	sin tratamiento	20
	sumergido en cola sintética blanca	20
	sumergido en aceite requemado automotriz	20
CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO	sin tratamiento	20
	sumergido en cola sintética blanca	20
	sumergido en aceite requemado automotriz	20
COMPRESION AXIAL	sin tratamiento	20
	sumergido en cola sintética blanca	20
	sumergido en aceite requemado automotriz	20
COMPRESION PERPENDICULAR	sin tratamiento	20
	sumergido en cola sintética blanca	20
	sumergido en aceite requemado automotriz	20
FLEXION ESTATICA	sin tratamiento	20
	sumergido en cola sintética blanca	20
	sumergido en aceite requemado automotriz	20

Fuente: Propia

3.3.2.3 Método de muestreo

El método de muestreo que se utilizó en la investigación fue no probabilístico específicamente censal o por conveniencia debido a que se seleccionó los 5 troncos dentro de un bloque de árboles dada la conveniencia de accesibilidad y el buen estado de los árboles.

3.3.2.4 Criterio de evaluación de la muestra

Se realizaron 360 probetas a partir de 5 troncos según la NTP 251.008, para evaluar las propiedades físico-mecánicas, las cuales se repartieron en 3 grupos por el tipo de tratamiento, es decir se tuvo 120 probetas para las no tratadas, 120 probetas para las probetas tratadas con cola sintética blanca y 120 probetas para las probetas tratadas con aceite requemado automotriz, de las cuales cada 20 probetas por grupo fueron evaluados para los siguientes ensayos: densidad básica (NTP 251.011), cizallamiento paralelo al grano (NTP 251.013), compresión paralela al grano (NTP 251.014), compresión perpendicular al grano (NTP 251.016) y flexión estática (NTP 251.017). Las probetas fueron secadas en horno hasta alcanzar un estado anhidro. Examinándose 20 por tipo de tratamiento para los siguientes



ensayos: densidad básica, flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular y corte paralelo. Las probetas fueron evaluadas mediante los ensayos de: cizallamiento paralelo al grano (NTP 251.013), compresión paralela al grano (NTP 251.014), compresión perpendicular al grano (NTP 251.016) y flexión estática (NTP 251.017), para hallar los esfuerzos básicos, mientras que para hallar la densidad se evaluarán mediante el ensayo de densidad básica (NTP 251.011).

3.3.3 Criterios de inclusión

3.3.3.1 Probetas sin tratamiento

- Las probetas se encuentran en estado anhidro, lo que significa que su contenido de humedad es 0%, secado en el horno de laboratorio a una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$.
- Las probetas fueron protegidas de acuerdo a lo indicado en la NTP 251.009 hasta el día de su ensayo.
- Las probetas tuvieron que estar libres de los defectos consignados en el ITEM 2.2.3.8.1.
- Las probetas tuvieron que estar libres de los agentes destructores consignados en el ITEM 2.2.4.2.
- Para la aceptación de las probetas se debía cumplir con las dimensiones estipuladas en la NTP 251.011 (densidad), ASTM E10 (Método de Brinell dureza), NTP 251.013 (corte paralelo), NTP 251.014 (compresión paralela), NTP 251.016 (compresión perpendicular) y NTP 251.017 (flexión estática).

3.3.3.2 Probetas tratadas con cola sintética blanca

- Las probetas fueron sumergidas en la cola sintética blanca por un periodo de un día, seguidamente se sacó, se llevó al horno donde será secada hasta llegar a estado anhidro.
- El secado al horno fue a una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$.
- Las probetas fueron protegidas de acuerdo a lo indicado en la NTP 251.009 hasta el día de su ensayo.



- Las probetas tuvieron que estar libres de los defectos consignados en el ITEM 2.2.3.8.1.
- Las probetas tendrán que estar libres de los agentes destructores consignados en el ITEM 2.2.4.2.
- Para la aceptación de las probetas se debía cumplir con las dimensiones estipuladas en la NTP 251.011 (densidad), ASTM E10 (Método de Brinell dureza), NTP 251.013 (corte paralelo), NTP 251.014 (compresión paralela), NTP 251.016 (compresión perpendicular) y NTP 251.017 (flexión estática).

3.3.3.3 Probetas tratadas con aceite quemado automotriz

- Las probetas fueron sumergidas en aceite quemado automotriz por un periodo de un día, seguidamente se sacó, se llevó al horno donde será secada hasta llegar a estado anhidro.
- El secado al horno fue a una temperatura de 103 ± 2 °C.
- Las probetas fueron protegidas de acuerdo a lo indicado en la NTP 251.009 hasta el día de su ensayo.
- Las probetas tuvieron que estar libres de los defectos consignados en el ITEM 2.2.3.8.1.
- Las probetas tendrán que estar libres de los agentes destructores consignados en el ITEM 2.2.4.2.
- Para la aceptación de las probetas se debía cumplir con las dimensiones estipuladas en la NTP 251.011 (densidad), ASTM E10 (Método de Brinell dureza), NTP 251.013 (corte paralelo), NTP 251.014 (compresión paralela), NTP 251.016 (compresión perpendicular) y NTP 251.017 (flexión estática).



3.4 Instrumentos

Se utilizaron una serie de instrumentos para la recolección de datos en laboratorio para su respectivo procesamiento en gabinete para los ensayos de: Densidad básica, compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano, cizallamiento paralelo al grano y flexión estática.

3.4.1 Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

Figura N° 36: Ficha de recolección de datos de compresion paralela



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



METODO PARA DETERMINAR LA COMPRESION AXIAL O PARALELA AL GRANO

Formato N° 01

TESIS:” EVALUACION COMPARATIVA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ Y COLA SINTETICA BLANCA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA EUCALIPTO GLOBULUS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PROCEDENTE DE LA ZONA DE PAUCARTAMBO-CUSCO APLICADA POR INMERSION PROLONGADA PARA USO ESTRUCTURA.”

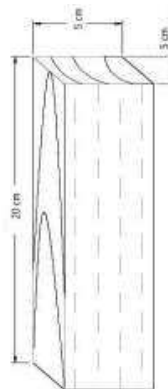
Lugar: Laboratorio de concreto y materiales de la Universidad Andina del Cusco

TESISTAS: VALENCIA PEZO, JACKELINE DAYANA

SANCHEZ QUISPE, BRAYAN

EQUIPO UTILIZADO:			
FECHA:		N.º DE PROBETA:	
ESTADO	Natural		
	C/Cola sintética blanca		
	C/Aceite quemado automotriz		

DATOS DE LA PROBETA	
LUZ (cm)	
ANCHO (cm)	
ESPESOR (cm)	
P' (kg)	
P (kg)	
CALCULOS NUMERICOS	RESULTADOS
Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)	
Esf/ Limit. Propor. (kg/cm ²)	



	CARGA (kg)	DEFORMACION (mm)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°37: Ficha de recolección de datos de compresión axial al grano



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



METODO PARA DETERMINAR LA COMPRESION AXIAL O PARALELA AL GRANO

Formato N° 02

TESIS:” EVALUACION COMPARATIVA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ Y COLA SINTETICA BLANCA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA EUCALIPTPO GLOBULUS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PROCEDENTE DE LA ZONA DE PAUCARTAMBO-CUSCO APLICADA POR INMERSION PROLONGADA PARA USO ESTRUCTURA.”

Lugar: Laboratorio de concreto y materiales de la Universidad Andina del Cusco

TESISTAS: VALENCIA PEZO, JACKELINE DAYANA
SANCHEZ QUISPE, BRAYAN

ENSAYO COMPRESION PARALELA AL GRANO				CARGAS
Nº DE PROBETA	LARGO	ANCHO	ESPESOR	P (kg)

Fuente: Elaboración Propia



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



METODO PARA DETERMINAR LA COMPRESION PERPENDICULAR AL GRANO

Formato N° 03

TESIS: EVALUACION COMPARATIVA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ Y COLA SINTETICA BLANCA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA EUCALIPTO GLOBULUS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PROCEDENTE DE LA ZONA DE PAUCARTAMBO-CUSCO APLICADA POR INMERSION PROLONGADA PARA USO ESTRUCTURA.

Lugar: Laboratorio de concreto y materiales de la Universidad Andina del Cusco

TESISTAS: VALENCIA PEZO, JACKELINE DAYANA

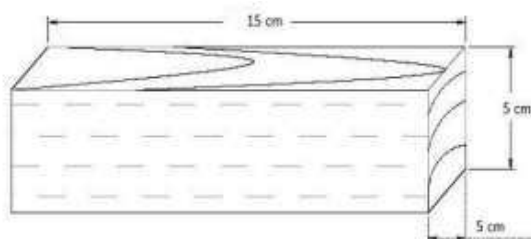
SANCHEZ QUISPE, BRAYAN

Table with 4 columns: EQUIPO UTILIZADO, FECHA, N.º DE PROBETA, ESTADO. Rows include Natural, C/Cola sintética blanca, and C/Aceite requemado automotriz.

Table titled 'DATOS DE LA PROBETA' with columns for measurements (LUZ, ANCHO, ESPESOR, P', P) and results (CALCULOS NUMERICOS, RESULTADOS).

Table with 2 columns: CARGA (kg) and DEFORMACION (mm), with rows numbered 1 to 10.

Table with 2 columns: P (kg) max. and a blank space for the value.



Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 39: Ficha de recolección de datos de compresión perpendicular



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



METODO PARA DETERMINAR LA COMPRESION PERPENDICULAR AL GRANO

Formato N° 04

TESIS:” EVALUACION COMPARATIVA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ Y COLA SINTETICA BLANCA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA EUCALIPTPO GLOBULUS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PROCEDENTE DE LA ZONA DE PAUCARTAMBO-CUSCO APLICADA POR INMERSION PROLONGADA PARA USO ESTRUCTURA.”

Lugar: Laboratorio de concreto y materiales de la Universidad Andina del Cusco

TESISTAS: VALENCIA PEZO, JACKELINE DAYANA

SANCHEZ QUISPE, BRAYAN

ENSAYO COMPRESION PERPENDICULAR AL GRANO				CARGAS
Nº DE PROBETA	LARGO	ANCHO	ESPESOR	P (kg)

Fuente: Elaboración Propia



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



METODO PARA DETERMINAR LA FLEXION ESTATICA

Formato N° 05

TESIS: " EVALUACION COMPARATIVA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ Y COLA SINTETICA BLANCA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA EUCALIPTPO GLOBULUS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PROCEDENTE DE LA ZONA DE PAUCARTAMBO-CUSCO APLICADA POR INMERSION PROLONGADA PARA USO ESTRUCTURA."

Lugar: Laboratorio de concreto y materiales de la Universidad Andina del Cusco

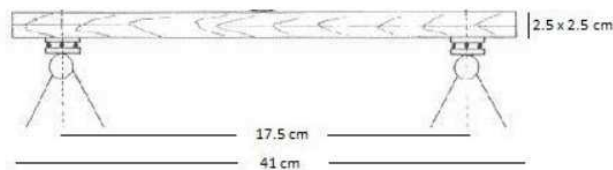
TESISTAS: VALENCIA PEZO, JACKELINE DAYANA

SANCHEZ QUISPE, BRAYAN

EQUIPO UTILIZADO:			
FECHA:		N.º DE PROBETA:	
ESTADO	Natural		
	C/Cola sintética blanca		
	C/Aceite requemado automotriz		

DATOS DE LA PROBETA	
LUZ (cm)	
ANCHO (cm)	
ESPESOR (cm)	
P' (kg)	
P (kg)	
CALCULOS NUMERICOS	RESULTADOS
Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)	
Esf/ Limit. Propor. (kg/cm ²)	

	CARGA (kg)	DEFORMACION (mm)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		



Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 41: Ficha de recolección de datos de flexión estática



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

METODO PARA DETERMINAR LA FLEXION ESTATICA



Formato N° 06

TESIS:” EVALUACION COMPARATIVA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ Y COLA SINTETICA BLANCA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA EUCALIPTPO GLOBULUS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PROCEDENTE DE LA ZONA DE PAUCARTAMBO-CUSCO APLICADA POR INMERSION PROLONGADA PARA USO ESTRUCTURA.”

Lugar: Laboratorio de concreto y materiales de la Universidad Andina del Cusco

TESISTAS: VALENCIA PEZO, JACKELINE DAYANA

SANCHEZ QUISPE, BRAYAN

ENSAYO FLEXION ESTATICA				CARGAS
Nº DE PROBETA	LARGO	ANCHO	ESPESOR	P (kg)

Fuente: Elaboración Propia



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



METODO PARA DETERMINAR EL CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO

Formato N° 07

TESIS: EVALUACION COMPARATIVA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ Y COLA SINTETICA BLANCA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA EUCALIPTPO GLOBULUS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PROCEDENTE DE LA ZONA DE PAUCARTAMBO-CUSCO APLICADA POR INMERSION PROLONGADA PARA USO ESTRUCTURA.

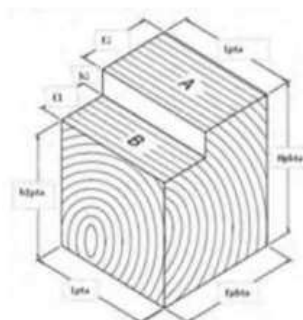
Lugar: Laboratorio de concreto y materiales de la Universidad Andina del Cusco

TESISTAS: VALENCIA PEZO, JACKELINE DAYANA
SANCHEZ QUISPE, BRAYAN

Table with 4 columns: EQUIPO UTILIZADO, FECHA, N.º DE PROBETA, ESTADO (Natural, C/Cola sintética blanca, C/Aceite requemado automotriz)

Table with 2 columns: DATOS DE LA PROBETA (H1 Pbta, H2 Pbta, Peso Húmedo, Peso Seco, CALCULOS NUMERICOS, Resistencia al cizallamiento) and RESULTADOS (P (kg) max.)

Table with 3 columns: CARGA (kg), DEFORMACION (mm), and numbered rows 1-10



Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 43: Ficha de recolección de datos de cizallamiento paralela al grano



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



METODO PARA DETERMINAR EL CIZALLAMIENTO PARALELA AL GRANO

Formato N° 08

TESIS:” EVALUACION COMPARATIVA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ Y COLA SINTETICA BLANCA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA EUCALIPTPO GLOBULUS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PROCEDENTE DE LA ZONA DE PAUCARTAMBO-CUSCO APLICADA POR INMERSION PROLONGADA PARA USO ESTRUCTURA.”

Lugar: Laboratorio de concreto y materiales de la Universidad Andina del Cusco

TESISTAS: VALENCIA PEZO, JACKELINE DAYANA

SANCHEZ QUISPE, BRAYAN

ENSAYO CIZALLAMIENTO PARALELA AL GRANO				CARGAS
N° DE PROBETA	H pbta (cm)	E pbta (cm)	AREA	P (kgf)

Fuente: Elaboración Propia



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



METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD BASICA

Formato N° 09

TESIS: "EVALUACION COMPARATIVA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ Y COLA SINTETICA BLANCA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA EUCALIPTO GLOBULUS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PROCEDENTE DE LA ZONA DE PAUCARTAMBO-CUSCO APLICADA POR INMERSION PROLONGADA PARA USO ESTRUCTURA."

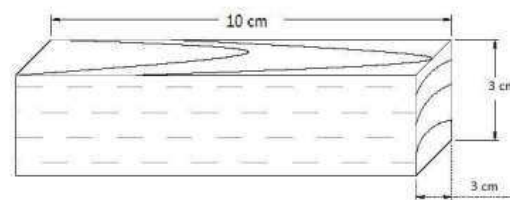
Lugar: Laboratorio de concreto y materiales de la Universidad Andina del Cusco

TESISTAS: VALENCIA PEZO, JACKELINE DAYANA

SANCHEZ QUISPE, BRAYAN

EQUIPO UTILIZADO:			
FECHA:		N.º DE PROBETA:	
ESTADO	Natural		
	C/Cola sintética blanca		
	C/Aceite requemado automotriz		

DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	
Ancho (cm)	
Espesor (gr.)	
CALCULOS NUMERICOS	RESULTADOS
Peso anhidro (gr.)	
Volumen (cm ³)	
Densidad Básica (gr/cm ³)	



Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 45: Ficha de recolección de datos de densidad basica



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



METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD BASICA

Formato N° 10

TESIS:” EVALUACION COMPARATIVA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ Y COLA SINTETICA BLANCA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA EUCALIPTPO GLOBULUS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PROCEDENTE DE LA ZONA DE PAUCARTAMBO-CUSCO APLICADA POR INMERSION PROLONGADA PARA USO ESTRUCTURA.”

Lugar: Laboratorio de concreto y materiales de la Universidad Andina del Cusco

TESISTAS: VALENCIA PEZO, JACKELINE DAYANA

SANCHEZ QUISPE, BRAYAN

ENSAYO DENSIDAD BASICA					
Nº DE PROBETA	LUZ (cm)	ANCHO (cm)	ESPESOR (cm)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD BASICA

Fuente: Elaboración Propia



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



METODO PARA DETERMINAR LA DUREZA DEL BRINELL

Formato N° 11

TESIS:” EVALUACION COMPARATIVA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ Y COLA SINTETICA BLANCA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA EUCALIPTPO GLOBULUS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PROCEDENTE DE LA ZONA DE PAUCARTAMBO-CUSCO APLICADA POR INMERSION PROLONGADA PARA USO ESTRUCTURA.”

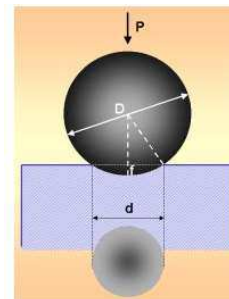
Lugar: Laboratorio de concreto y materiales de la Universidad Andina del Cusco

TESISTAS: VALENCIA PEZO, JACKELINE DAYANA

SANCHEZ QUISPE, BRAYAN

EQUIPO UTILIZADO:			
FECHA:		N.º DE PROBETA:	
ESTADO	Natural		
	C/Cola sintética blanca		
	C/Aceite requemado automotriz		

DATOS DE LA PROBETA	
Diámetro de la huella (cm)	
Carga (cm)	



Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 47: Ficha de recolección de datos de dureza de Brinell



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



METODO PARA DETERMINAR LA DUREZA DE BRINELL

Formato N° 12

TESIS:” EVALUACION COMPARATIVA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ Y COLA SINTETICA BLANCA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA EUCALIPTO GLOBULUS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO PROCEDENTE DE LA ZONA DE PAUCARTAMBO-CUSCO APLICADA POR INMERSION PROLONGADA PARA USO ESTRUCTURA.”

Lugar: Laboratorio de concreto y materiales de la Universidad Andina del Cusco

TESISTAS: VALENCIA PEZO, JACKELINE DAYANA

SANCHEZ QUISPE, BRAYAN

ENSAYO DUREZA DE BRINELL			
Nº DE PROBETA	DIAMENTRO DE LA HUELLA (cm)	CARGA (P)	DUREZA (HB)

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2 Instrumentos de Ingeniería

Los instrumentos de ingeniería utilizados en la siguiente investigación son los siguientes:

3.4.2.1 Máquina de compresión digital

Se denomina máquina de compresión, a una máquina semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de compresión para medir sus propiedades. La presión se logra mediante prensas con un rotulo en los extremos. Esta máquina es utilizada tanto para ensayos de compresión, así como para ensayos de flexión.

Figura N° 48: Maquina de compresión digital



Fuente: Propia

3.4.2.2 Máquina de estabilidad Marshall

Ensayo para determinar valores de estabilidad y deformabilidad, usualmente utilizada para ensayos en pavimentos asfálticos.

Figura N° 49: Máquina de estabilidad marshall



Fuente: Propia

3.4.2.1 Máquina de Dureza Brinell

Ensayo para determinar valores de dureza, con el uso de una prensa que deja huella en el material mediante el uso de una billa.

Figura N° 50: Maquina de dureza Brinell



Fuente: Propia

3.4.2.2 VERNIER.

Vernier es una segunda escala auxiliar que tienen algunos instrumentos de medición, que permite apreciar una medición con mayor exactitud al complementar las divisiones de la regla o escala principal del instrumento de medida.

Figura N° 51: Vernier



Fuente: Propia

3.4.2.3 BALANZA.

Las balanzas nos indicaron el peso que un cuerpo posee, en el laboratorio de tecnología del concreto, de acuerdo a su cantidad máxima de peso, y sensibilidad adecuada, dependiendo al ensayo a realizar.

Figura N° 52: Balanza



Fuente: Propia

3.4.2.4 HORNO.

El horno nos permitió evaporar la humedad que contiene un cuerpo, de forma que, para el cálculo de pesos, contemos con un peso efectivo del material a evaluar, libre de humedad (anhidro).

El horno cuenta con un circulante de aire, termostáticamente controlado para una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Figura N° 53: Horno



Fuente: Propia.

3.4.2.5 HIGROMETRO.

El higrómetro es un instrumento que se utiliza para medir el grado de humedad sirviéndose de sensores que perciben e indican su magnitud.

Figura N° 54: Higrómetro



Fuente: Propia.

3.5 Procedimientos de Recolección de Datos

3.5.1 Selección y colección de muestras (NTP 251.008)

3.5.1.1 Instrumentos

- ✓ Motosierra
- ✓ Wincha
- ✓ Sogas

3.5.1.2 Procedimiento

Se hizo una selección de la zona para lo cual se tuvo q tener conocimiento con anterioridad del volumen de madera existente de la especie en dicho lugar, en nuestro caso la localidad de Paucartambo-Cusco con un área de Km².

Dentro de la sub-Zona se seleccionó un bloque, dicho bloque era el más cercano a la trocha, del cual se extrajo la cantidad de árboles requeridos.

La cantidad de árboles seleccionados dependió del grado de precisión que se deseó lograr, en nuestro caso se trabajó con una seguridad estadística del 95% y un intervalo de confianza de más o menos 15%, para lo cual la NTP 251.008 nos indica que debemos tomar como mínimo 5 árboles.

Para la selección de árboles se caminó en una dirección determinada y se escogió a los arboles con un mínimo de 6m de altura y un diámetro de 25 a 30cm libres de imperfecciones.

Se procedió a su tala y a su corte en trozas de 1.0 m de longitud teniendo un promedio de 10 trozas por árbol cortado.

Seguidamente se cortaron piezas del medio de cada una de la troza, con un espesor y ancho según lo requerido para cada probeta.

De dichas piezas se fabricaron la cantidad de probetas requeridas con los tamaños especificados para cada ensayo.

Figura N° 55: Selección de la zona de extracción de la muestra



Fuente: Propia.

Figura N° 56: Medición para el trozado



Fuente: Propia.

Figura N° 57: Corte de las probetas



Fuente: Propia.

3.5.2 Método de protección y tratamiento de las probetas

3.5.2.1 Instrumentos

- ✓ Medidor electrónico de Humedad
- ✓ Horno

3.5.2.2 Procedimiento

El muestreo se realizó de acuerdo a la NTP 251.008 y NTP 251.009.

El tipo de protección a elegir dependerá de la clase de riesgo en la que se encuentre el elemento de madera y de su durabilidad natural. (Infomadera, 2017)

El tipo de protección utilizada es por inmersión prolongada la cual alcanza hasta una penetración del 75%. y describimos con más detalle en el capítulo 2.

Después de preparar las probetas según las especificaciones para cada ensayo, se procede a sumergir las probetas con un numero de 20 por ensayo para cada tipo de tratamiento.

Según la consideración del método de tratamiento se sumergir las probetas por un lapso de un día para alcanzar una penetración óptima.

Se procede a retirar las probetas ya sea del aceite quemado automotriz o de la cola sintética blanca, eliminando el exceso superficial, para finalizar se deja secando a intemperie para poder ensayarlas.

Figura N° 58: Proceso de secado a intemperie después del tratamiento



Fuente: Propia.

3.5.3 Métodos para determinar el contenido de humedad (NTP 251.009)

3.5.3.1 Instrumentos

- ✓ Medidor electrónico de Humedad
- ✓ Horno

3.5.3.2 Procedimiento

Se determinó el porcentaje de humedad de las 60 probetas con contenido de humedad natural con ayuda del medidor electrónico de humedad para el caso de las probetas de densidad. Así también se determinó el porcentaje de humedad de las 300 probetas sin tratamiento y con tratamiento, después de haber pasado por el horno a una temperatura de 103°C, con ayuda del mismo medidor electrónico de humedad antes de cada ensayo, para este caso se corroboró que las probetas se encuentren en estado de humedad anhidro y que al ingresar al horno su peso se mantenga constante sin variación, así como la lectura con higrómetro sea 0%.

Figura N° 59: Verificación de peso constante sin variación.



Fuente: Propia.

3.5.4 Método para determinar la densidad (NTP 251.011)

3.5.4.1 Instrumentos

- ✓ Balanza
- ✓ Wincha
- ✓ Horno

3.5.4.2 Procedimiento

El muestreo se realizó de acuerdo a la NTP 251.008 y NTP 251.009.

Se prepararon 60 probetas de 3cm por 3cm de sección transversal y 10cm de longitud para este ensayo.

Enseguida se llevaron las 60 probetas al horno para tenerlas en un contenido de humedad seco, el horno estuvo a una temperatura 103 °C.

Al alcanzar el porcentaje de humedad requerido se retiró las 60 probetas del horno y se procedió a su pesaje.

Se registró el peso de las 60 probetas y se verifico que se encuentren en estado anhidro.

Se midieron las 60 probetas utilizando un vernier, registrando los datos necesarios de las cuales 20 estaban en estado anhidro sin tratamiento y las otras 40 en estado anhidro con tratamiento.

El volumen se determinó de manera directa tomando medición con la precisión requerida, siendo ancho (b) en cm, la altura (h) en cm y la longitud (l) en cm. El valor del volumen se obtuvo aplicando la siguiente formula: $V= b * h * l$ (cm³).

Se determinó su porcentaje de humedad con la ayuda de un medidor electrónico de humedad para maderas.

Enseguida las 40 probetas ensayadas se pusieron en bandejas y se llevaron al horno, para someterlas a un secado a una temperatura de 103 °C, hasta que alcanzaran un peso constante, aumentando la temperatura gradualmente (40 °C, 60 °C, 80 °C, 103 °C). Después de alcanzar un peso constante, se pesaron las 40 probetas dándonos el peso de la probeta en estado anhidro.

Para finalizar 20 probetas se sumergieron en aceite requemado automotriz y 20 en cola sintética blanca por un periodo de un día, después del secado se pesaron las 40 probetas.

Figura N° 60: Proceso de secado en el horno



Fuente: Propia.

Figura N° 61: Verificación que ya no varíe el peso



Fuente: Propia.

3.5.4.3 Toma de datos

Tabla 12 Datos obtenidos del ensayo de densidad básica en estado anhidro sin tratamiento

# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	% de humedad	Peso Húmedo (gr)	Peso Anhidro (gr)
1	10.19	3.01	2.95	39.00%	88.52	71.40
2	10.16	2.98	2.96	37.00%	95.15	76.09
3	9.98	2.95	3.03	39.00%	95.23	78.72
4	10.1	3.01	3.02	37.00%	89.73	72.77
5	9.97	3.05	2.95	40.00%	93.46	79.18
6	10.07	2.98	3.00	40.00%	91.59	79.63
7	10.08	3.10	2.91	39.00%	92.15	77.69
8	10.13	3.02	2.94	39.00%	89.94	72.43
9	9.99	3.06	2.95	37.00%	92.95	71.82
10	9.95	3.13	2.91	36.00%	84.31	73.57
11	10.11	2.98	2.99	40.00%	90.92	75.17
12	10.08	3.02	3.00	38.00%	89.95	73.11
13	10.05	3.00	3.05	41.00%	92.57	79.41
14	10.08	2.95	3.01	39.00%	92.56	76.66
15	9.93	3.09	3.02	41.00%	85.62	73.68
16	10.02	3.02	3.01	40.00%	91.88	78.03
17	10.01	3.03	3.05	38.00%	94.61	82.04
18	10.06	3.01	2.96	41.00%	92.00	71.74
19	10.08	2.93	3.11	38.00%	92.80	74.60
20	10.02	3.02	2.99	40.00%	93.51	80.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13 Datos obtenidos del ensayo de densidad básica en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	% de humedad	Peso Húmedo (gr)	Peso Anhidro (gr)	Peso tratado (gr)
1	10.14	3.02	3.00	38.00%	98.00	81.85	86.54
2	10.06	3.01	2.95	37.00%	94.69	74.01	84.47
3	10.16	3.05	2.93	39.00%	91.25	71.94	84.96
4	10.08	2.96	3.02	41.00%	86.37	77.04	78.85
5	10.17	3.05	2.95	40.00%	87.32	78.49	80.21
6	10.10	2.98	3.01	42.00%	86.82	81.87	73.15
7	10.07	2.95	3.05	38.00%	82.97	68.50	77.65
8	9.91	3.09	3.00	38.00%	90.95	80.40	83.28
9	9.98	3.02	3.01	39.00%	92.90	80.55	83.60
10	9.87	3.09	2.95	37.00%	88.66	74.59	81.48
11	10.06	2.99	3.03	38.00%	88.33	73.67	84.97

# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	% de humedad	Peso Humedo (gr)	Peso Anhidro (gr)	Peso tratado (gr)
12	10.21	3.00	2.98	41.00%	92.05	81.72	85.58
13	10.11	2.94	3.03	39.00%	83.29	76.35	80.50
14	10.06	2.98	3.08	36.00%	96.37	76.22	92.08
15	9.89	3.03	2.96	42.00%	92.33	75.38	86.11
16	10.06	2.91	3.11	38.00%	90.45	78.37	85.79
17	10.02	3.03	2.99	36.00%	87.36	77.06	78.30
18	10.08	2.96	3.05	38.00%	93.61	73.52	80.48
19	9.85	3.11	3.00	38.00%	92.86	72.00	82.79
20	10.12	2.99	2.95	41.00%	92.59	75.66	81.86

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14 Datos obtenidos del ensayo de densidad básica en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	% de humedad	Peso Humedo (gr)	Peso Anhidro (gr)	Peso tratado (gr)
1	10.11	2.96	3.02	36.00%	93.12	78.10	84.00
2	10.08	3.11	2.95	38.00%	85.92	77.86	78.96
3	9.89	2.99	3.01	39.00%	80.65	79.68	73.70
4	10.06	2.91	3.13	41.00%	88.05	71.35	81.73
5	10.21	2.99	3.03	42.00%	94.34	73.59	80.36
6	10.06	3.03	2.96	40.00%	92.74	68.51	81.56
7	10.08	3.08	2.87	40.00%	81.46	69.18	82.72
8	9.93	3.02	3.06	39.00%	93.01	74.11	78.73
9	9.99	2.96	3.10	38.00%	96.08	74.56	83.42
10	9.95	3.11	2.97	38.00%	85.78	73.19	75.52
11	10.11	2.99	3.03	37.00%	84.52	76.29	83.09
12	10.08	3.02	3.02	36.00%	92.47	76.96	73.94
13	10.02	2.99	2.95	40.00%	93.80	72.67	81.60
14	10.08	3.03	2.98	39.00%	88.27	82.73	81.44
15	9.85	2.91	3.03	38.00%	90.40	80.49	77.90
16	10.21	2.89	3.06	41.00%	88.28	79.57	78.57
17	10.13	2.94	3.00	39.00%	89.98	71.51	77.24
18	10.05	2.95	3.10	40.00%	87.01	82.00	79.08
19	10.12	2.91	3.06	40.00%	85.49	73.70	77.81
20	9.97	2.99	2.99	36.00%	89.95	80.96	87.60

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5 Método para determinar la Dureza (ASTM E10-Metodo de Brinell)

3.5.5.1 Instrumentos

- ✓ Balanza
- ✓ Equipo de dureza Brinell

3.5.5.2 Procedimiento

El muestreo se realizó de acuerdo a la NTP 251.008 y NTP 251.009.

Se prepararon 60 probetas de 2cm por 2cm de sección transversal y 6cm de longitud para este ensayo de las cuales 20 estaban en estado anhidro sin tratamiento y las otras 40 en estado anhidro con tratamiento.

Enseguida se llevaron las 60 probetas al horno para tenerlas en un contenido de humedad seco, el horno estuvo a una temperatura 103 °C.

Al alcanzar el porcentaje de humedad requerido se retiró las 60 probetas del horno y se procedió a su pesaje.

Se registró el peso de las 60 probetas y se verifico que se encuentren en estado anhidro.

Se midieron las 60 probetas utilizando un vernier, registrando los datos necesarios.

En el método Brinell: la dureza, se determinó mediante la huella dejada por una esfera de acero, de diámetro D (generalmente de 10 mm), al ser sometida a una carga F, que varía según la densidad de la madera (10 kp para densidades menores de 0,3 g/cm³; 50 kp para densidades comprendidas entre 0,3 y 0,7 g/cm³; y 100kp para densidades superiores a 0,7 g/cm³).

La carga máxima se alcanzó en 15 segundos, permaneció constante durante 30 segundos y volvió a 0 en otros 15 segundos.

Para finalmente utilizar el equipo de medición de huella y registrar el diámetro de la huella dejado en las probetas.

Figura N° 62: Proceso del ensayo de dureza de Brinell



Fuente: Autor

3.5.5.3 Toma de datos

Tabla 15 Datos obtenidos del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro sin tratamiento

# PROBETA	D (cm)	d(cm)	P (kgf)
1	10.00	5.10	100
2	10.00	4.80	100
3	10.00	4.70	100
4	10.00	5.00	100
5	10.00	4.90	100
6	10.00	5.00	100
7	10.00	5.20	100

# PROBETA	D (cm)	d(cm)	P (kgf)
8	10.00	4.70	100
9	10.00	5.00	100
10	10.00	4.70	100
11	10.00	5.10	100
12	10.00	5.10	100
13	10.00	4.70	100
14	10.00	5.70	100
15	10.00	4.80	100
16	10.00	5.00	100
17	10.00	5.00	100
18	10.00	5.70	100
19	10.00	5.20	100
20	10.00	5.10	100

Fuente: Autor

Tabla 16 Datos obtenidos del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

# PROBETA	D(cm)	d(cm)	P (kgf)
1	10.00	5.10	100
2	10.00	4.70	100
3	10.00	4.60	100
4	10.00	5.00	100
5	10.00	5.10	100
6	10.00	5.30	100
7	10.00	4.70	100
8	10.00	5.20	100
9	10.00	5.20	100
10	10.00	4.80	100
11	10.00	5.10	100
12	10.00	4.90	100
13	10.00	5.20	100
14	10.00	4.30	100
15	10.00	4.70	100
16	10.00	4.60	100
17	10.00	4.80	100
18	10.00	4.70	100
19	10.00	5.10	100
20	10.00	4.90	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17 Datos obtenidos del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz

# PROBETA	D(cm)	d(cm)	P (kgf)
1	10.00	4.80	100
2	10.00	4.70	100
3	10.00	4.50	100
4	10.00	4.80	100
5	10.00	5.20	100
6	10.00	4.90	100
7	10.00	4.85	100
8	10.00	5.10	100
9	10.00	4.90	100
10	10.00	4.60	100
11	10.00	4.80	100
12	10.00	4.60	100
13	10.00	5.10	100
14	10.00	4.60	100
15	10.00	4.70	100
16	10.00	5.10	100
17	10.00	4.20	100
18	10.00	4.70	100
19	10.00	4.80	100
20	10.00	5.20	100

Fuente: Elaboración propia.

3.5.6 Método para determinar el esfuerzo al corte por cizallamiento paralelo al grano (NTP 251.013)

3.5.6.1 Instrumentos

- ✓ Maquina universal para ensayo de materiales
- ✓ Cizalla
- ✓ Wincha
- ✓ Vernier

3.5.6.2 Procedimiento

El muestreo se realizó de acuerdo a la NTP 251.008 y NTP 251.009.

Se prepararon 60 probetas de 5 cm x 5cm x 6.3cm, recortadas en una de sus caras tal como lo indica en la Figura n°41.

Enseguida se llevaron las 60 probetas al horno para tenerlas en un contenido de humedad seco, el horno estuvo a una temperatura 103 °C.

Al alcanzar el porcentaje de humedad requerido se retiró las 60 probetas del horno y se procedió a su pesaje.

Se registró el peso de las 60 probetas y se verifico que se encuentren en estado anhidro.

Se midieron las 60 probetas utilizando un vernier, registrando los datos necesarios de las cuales 20 estaban en estado anhidro sin tratamiento y las otras 40 en estado anhidro con tratamiento.

Seguidamente se ensayaron 20 probetas directamente y las otras se ensayaron después del tratamiento, para este ensayo se utilizó la máquina de compresión digital se acoplo una cizalla en la parte superior y una placa soldada para evitar el deslizamiento en la base con un espacio de 3mm del medio de la probeta.

Se registró la carga máxima soportada por las probetas hasta el momento de su falla o ruptura según no requerido por la NTP 251.0

Figura N° 63: Proceso del ensayo de corte por cizallamiento



Fuente: Propia.

Figura N° 64: Falla de la probeta del ensayo de corte por cizallamiento



Fuente: Propia.

3.5.6.3 Toma de datos

Tabla 18 Datos obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro sin tratamiento

# PROBETA	H pbta (cm)	E pbta (cm)	P (kgf)
1	4.92	4.91	3418
2	4.94	4.88	2890
3	4.96	4.91	3275
4	5.05	4.80	3094
5	5.03	4.89	3499
6	5.02	4.95	2928
7	4.59	4.82	3148
8	4.86	4.75	3418
9	4.86	4.91	3194
10	4.91	4.90	3684
11	4.91	4.91	3514
12	4.90	4.94	3437
13	4.96	5.05	3110
14	4.90	4.72	3564
15	4.91	5.05	3148
16	4.94	5.03	3256
17	5.05	5.02	3580
18	4.72	4.59	3919
19	4.96	4.86	3364
20	4.78	4.96	3021

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19 Datos obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

# PROBETA	H pbta (cm)	E pbta (cm)	P (kgf)
1	4.67	4.91	3342
2	4.98	4.91	3672
3	4.97	4.86	3488
4	4.70	4.82	3697
5	4.91	4.89	3522
6	4.84	4.75	3997
7	5.12	4.84	3796
8	4.94	4.91	3440
9	5.06	5.06	2568
10	4.85	4.95	3381
11	4.99	4.84	4027
12	4.85	4.91	3620
13	4.98	4.91	3928
14	5.02	4.95	3140
15	4.97	4.99	3274
16	4.93	4.82	3363
17	4.89	4.80	3064
18	4.86	4.93	3714
19	4.95	4.71	3556
20	5.03	4.76	3873

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20 Datos obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz

# PROBETA	H pbta (cm)	E pbta (cm)	P (kgf)
1	4.98	4.90	3021
2	5.01	4.88	3551
3	5.00	4.87	4554
4	5.01	4.95	3515
5	5.03	4.98	3843
6	4.91	4.91	3636
7	4.91	4.85	3798
8	5.00	4.94	3460
9	4.73	4.90	3460
10	4.92	4.96	3086
11	4.97	4.97	4216
12	4.84	5.03	3944
13	4.98	4.90	4388

# PROBETA	H pbta (cm)	E pbta (cm)	P (kgf)
14	4.86	4.98	4105
15	5.03	4.96	3747
16	4.94	5.00	3873
17	5.03	4.98	4080
18	4.94	4.88	3460
19	4.85	4.91	3440
20	4.99	4.97	3964

Fuente: Elaboración propia.

3.5.7 Método para determinar la compresión axial o paralela al grano (NTP 251.014)

3.5.7.1 Instrumentos

- ✓ Máquina universal para ensayo de materiales
- ✓ Reloj comparador
- ✓ Wincha
- ✓ Vernier

3.5.7.2 Procedimiento

El muestreo se realizó de acuerdo a la NTP 251.008 y NTP 251.009.

Se prepararon 60 probetas de 5cm por 5cm de sección transversal y 20cm de longitud para este ensayo.

Enseguida se llevaron las 60 probetas al horno para tenerlas en un contenido de humedad seco, el horno estuvo a una temperatura 103 °C.

Al alcanzar el porcentaje de humedad requerido se retiró las 60 probetas del horno y se procedió a su pesaje.

Se registró el peso de las 60 probetas y se verifico que se encuentren en estado anhidro.

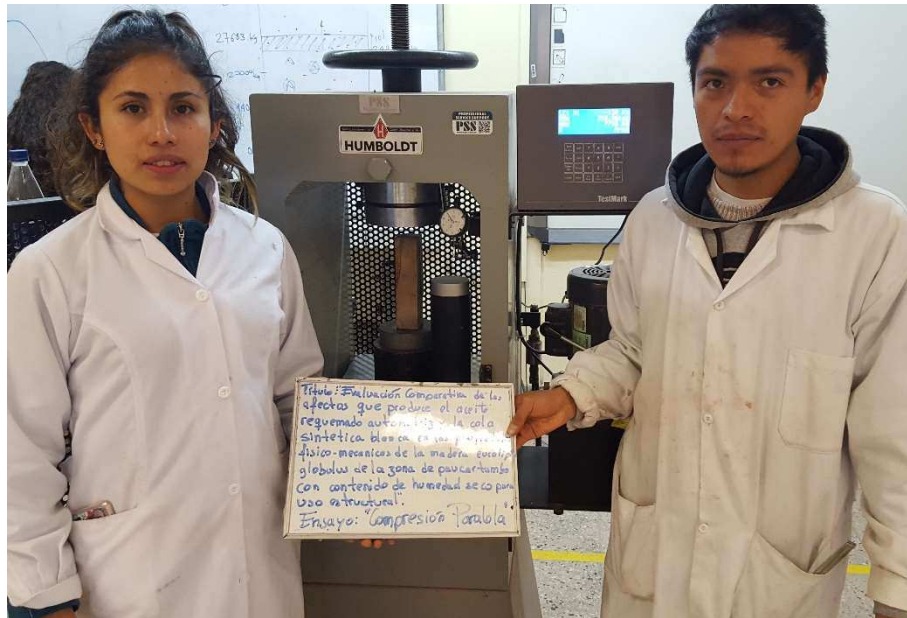
Se midieron las 60 probetas utilizando un vernier, registrando los datos necesarios de las cuales 20 estaban en estado anhidro sin tratamiento y las otras 40 en estado anhidro con tratamiento.

Seguidamente se ensayaron 20 probetas directamente y las otras se ensayaron después del tratamiento, en la máquina de compresión axial, se aplicó la carga hasta que la muestra falle y registre la carga máxima.

Se acoplo un reloj comparador a la máquina de compresión axial el cual registro las deformaciones durante el ensayo de compresión paralela, para poder producir la curva Carga-Deformación.

Se registraron los datos de carga y deformación, así también se registró el tipo de falla de la probeta según lo requerido por la NTP 251.014.

Figura N° 65: Proceso del ensayo de compresión axial



Fuente: Propia.

Figura N° 66: Probetas después de ser ensayadas



Fuente: Propia.

3.5.7.3 Toma de datos

Tabla 21 Datos obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro sin tratamiento

# PROBETA	Largo (cm)	Ancho(cm)	Espesor (cm)	P (kg)
1	19.90	4.98	4.96	8360
2	20.05	4.86	4.85	7820
3	19.62	5.03	4.94	8700
4	20.02	4.94	4.90	8140
5	21.05	5.03	4.96	7430
6	20.10	4.94	4.90	7680
7	20.03	4.85	4.88	8090
8	19.98	4.99	4.87	6860
9	20.05	4.91	4.95	6820
10	20.08	5.00	4.98	7860
11	20.00	4.73	4.91	5990
12	20.09	4.92	4.91	7040
13	20.05	4.97	4.97	9030
14	20.06	4.84	5.03	6970
15	20.05	4.98	4.90	7620
16	20.02	5.01	4.98	7210
17	20.02	5.00	4.96	7530
18	9.93	5.01	5.00	6860
19	20.05	5.03	4.98	6860
20	19.92	4.91	4.88	5960

Fuente: Autor

Tabla 22 Datos obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	P (kg)
1	20.03	4.61	5.07	8640
2	20.12	4.88	4.75	8230
3	19.95	4.91	4.98	9340
4	20.10	4.84	4.74	7810
5	20.08	4.99	4.71	8580
6	20.01	4.60	4.93	8150
7	19.89	4.69	4.95	7860
8	19.93	4.64	4.86	7160
9	19.89	4.79	4.75	8680
10	19.99	4.87	4.91	8310
11	20.09	4.82	4.90	9050
12	19.99	4.96	4.90	8870
13	20.03	4.90	4.92	8040

# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	P (kg)
14	20.04	4.91	4.94	6000
15	20.08	4.94	4.96	7900
16	20.05	5.05	5.05	9410
17	20.05	4.72	5.03	8460
18	20.10	4.96	5.02	9180
19	19.82	4.78	4.59	6870
20	20.02	4.68	4.86	7650

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23 Datos obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz

# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	P (kg)
1	20.04	5.06	4.98	10170
2	20	4.95	5.02	8730
3	20.10	4.84	4.97	7840
4	20.08	4.91	4.93	9560
5	20.01	4.91	4.89	9120
6	20.02	4.71	5.06	8920
7	20.07	4.81	4.85	8070
8	19.89	4.89	4.99	9510
9	20.02	4.75	4.85	8170
10	20.06	4.84	4.67	8450
11	20.09	4.91	4.98	9290
12	19.97	4.91	4.97	9080
13	20.04	4.91	4.70	9380
14	20.02	4.86	4.91	8170
15	20.05	4.82	4.84	8870
16	20.05	4.80	5.12	8290
17	20.02	4.93	4.94	8870
18	20.13	4.71	4.86	7540
19	19.89	4.76	4.95	8500
20	19.85	4.62	5.03	8030

Fuente: Elaboración propia.

3.5.8 Método para determinar la compresión perpendicular al grano (NTP 251.016)

3.5.8.1 Instrumentos

- ✓ Máquina universal para ensayo de materiales
- ✓ Máquina de ensayo universal
- ✓ Reloj comparador
- ✓ Wincha



✓ Vernier

3.5.8.2 Procedimiento

El muestreo se realizó de acuerdo a la NTP 251.008 y NTP 251.009.

Se prepararon 60 probetas de 5cm por 5cm de sección transversal y 15cm de longitud construidas de tal manera que sean perpendiculares al grano.

Enseguida se llevaron las 60 probetas al horno para tenerlas en un contenido de humedad seco, el horno estuvo a una temperatura 103 °C.

Al alcanzar el porcentaje de humedad requerido se retiró las 60 probetas del horno y se procedió a su pesaje.

Se registró el peso de las 60 probetas y se verificó que se encuentren en estado anhidro.

Se midieron las 60 probetas utilizando un vernier, registrando los datos necesarios de las cuales 20 estaban en estado anhidro sin tratamiento y las otras 40 en estado anhidro con tratamiento.

Seguidamente se ensayaron 20 probetas directamente y las otras se ensayaron después del tratamiento, en la máquina de compresión axial, se aplicó la carga hasta que la muestra falle y registre la carga máxima.

Se acoplo un accesorio que consistió en una pieza metálica maciza en forma de dado de 5cm x 5cm x 5cm con un pequeño brazo soldado

Así mismo, se acoplo un reloj comparador a la máquina de compresión axial el cual registro las deformaciones durante el ensayo de compresión paralela, para poder fabricar la curva Carga-Deformación.

Se registraron los datos de carga y deformación, así también se registró el tipo de falla de la probeta según lo requerido por la NTP 251.016.

Figura N° 67: Proceso del ensayo de compresión perpendicular



Fuente: Propia.

Figura N° 68: Probeta sometida al ensayo de compresión perpendicular



Fuente: Propia.

3.5.8.3 Toma de datos**Tabla 24 Datos obtenidos del ensayo de compresión paralela en estado anhidro sin tratamiento**

# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	P (kg)
1	14.70	5.06	5.09	3940
2	14.23	5.08	4.96	3490
3	14.36	5.12	5.00	3290
4	14.76	5.15	4.94	3670
5	14.83	4.93	5.03	3960
6	14.61	5.18	4.95	3780
7	14.41	5.13	4.98	4020
8	14.27	5.33	4.41	4150
9	13.96	5.21	4.87	3910
10	13.45	5.18	4.85	4090
11	13.28	5.13	4.50	3990
12	14.23	5.31	4.86	3910
13	14.50	5.08	5.02	3860
14	13.52	5.20	5.07	3500
15	13.97	5.09	4.63	3820
16	13.70	5.08	4.81	3790
17	13.88	5.01	4.93	4180
18	13.65	5.10	4.94	3660
19	13.85	5.12	4.85	3590
20	13.37	5.18	5.03	4120

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25 Datos obtenidos del ensayo de densidad paralela en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	P (kg)
1	14.35	5.16	4.92	4610
2	14.83	5.14	4.80	5050
3	14.14	5.05	4.88	4475
4	14.93	5.04	4.96	4790
5	14.49	5.26	5.03	3590
6	14.48	5.08	5.09	4500
7	14.11	5.22	4.93	4240
8	14.55	5.20	4.68	4750
9	15.00	5.23	5.14	4920
10	15.02	5.15	5.03	4230
11	15.00	5.00	4.94	4350
12	15.00	5.08	4.94	4710

# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	P (kg)
13	15.00	5.34	4.69	4340
14	15.00	5.07	4.85	3950
15	15.00	5.00	5.02	4820
16	15.00	4.76	5.00	3720
17	15.00	4.83	5.00	4760
18	14.90	4.94	4.89	3910
19	15.00	4.79	4.94	4750
20	14.68	4.82	4.99	4420

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26 Datos obtenidos del ensayo de densidad paralela en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz

# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	P (kg)
1	14.77	5.08	4.89	4260
2	14.65	5.34	4.94	3960
3	13.63	5.07	4.79	4090
4	14.46	5.09	4.84	4120
5	14.88	4.93	5.09	4360
6	14.39	4.68	5.02	3820
7	14.53	5.14	5.00	3790
8	14.85	5.12	4.91	4150
9	14.64	5.40	4.74	3690
10	14.81	5.10	4.94	3780
11	14.63	5.23	4.69	4090
12	15.05	5.15	4.85	4180
13	14.75	5.02	4.76	3920
14	14.92	5.25	4.83	4090
15	15.07	5.04	5.10	3960
16	14.69	5.26	4.77	3760
17	14.87	5.08	4.86	3590
18	14.99	5.07	4.94	3940
19	14.89	5.29	4.79	3790
20	14.41	5.04	4.82	3490

Fuente: Elaboración propia.

3.5.9 Método para determinar la flexión estática (NTP 251.017)

3.5.9.1 Instrumentos

- ✓ Máquina de estabilidad Marshall
- ✓ Reloj comparador

25/02/16

121



- ✓ Wincha
- ✓ Vernier

3.5.9.2 Procedimiento

El muestreo se realizó de acuerdo a la NTP 251.008 y NTP 251.009.

Se prepararon 40 probetas de 2.5cm por 2.5cm de sección transversal y 41cm de longitud fabricadas de tal manera que las caras sean paralelas al grano.

Enseguida se llevaron las 60 probetas al horno para tenerlas en un contenido de humedad seco, el horno estuvo a una temperatura 103 °C.

Al alcanzar el porcentaje de humedad requerido se retiró las 60 probetas del horno y se procedió a su pesaje.

Se registró el peso de las 60 probetas y se verificó que se encuentren en estado anhidro.

Se midieron las 60 probetas utilizando un vernier, registrando los datos necesarios de las cuales 20 estaban en estado anhidro sin tratamiento y las otras 40 en estado anhidro con tratamiento.

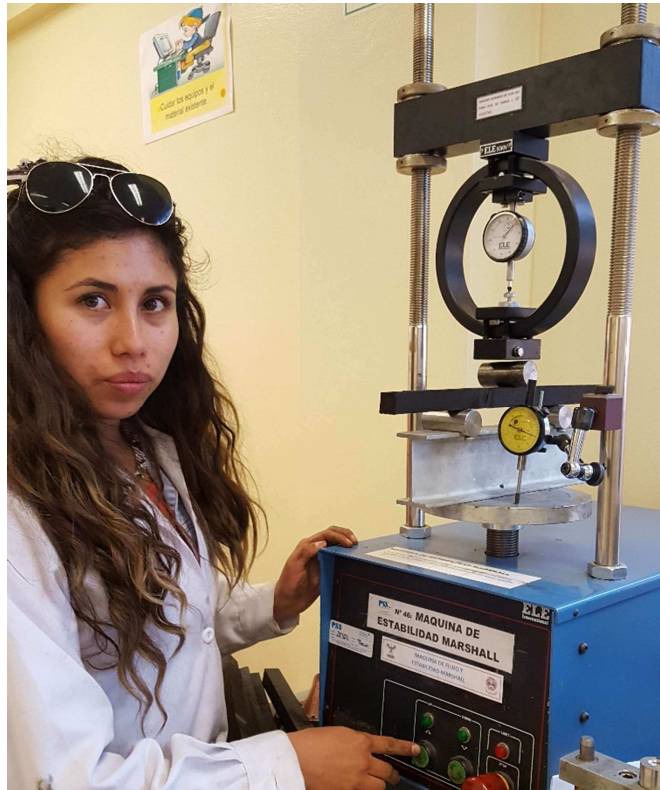
La carga se aplicó en el centro de cada muestra para lo cual se puso una distancia entre los soportes de 17.5cm y así mismo se marcó esta distancia en cada una de las 40 probetas.

Seguidamente se ensayaron 20 probetas directamente y las otras se ensayaron después del tratamiento en el equipo Marshall, se acoplo los accesorios para realizar el ensayo de flexión de la máquina de ensayos universal.

Se acoplo un reloj comparador al equipo de Marshall el cual registro las deformaciones durante el ensayo de flexión estática, para poder fabricar la curva Carga-Deformación.

Se registraron los datos de carga y deformación, así también se registró el tipo de falla de la probeta según lo requerido por la NTP 251.017.

Figura N° 69: Proceso del ensayo de flexión estática



Fuente: Elaboración propia.

3.5.9.3 Toma de datos

Tabla 27 Datos obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro sin tratamiento

# PROBETA	Largo (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	P(lbf)
1	41.04	17.5	2.51	2.51	744
2	40.86	17.5	2.51	2.50	726
3	41.10	17.5	2.50	2.51	844
4	40.84	17.5	2.50	2.51	988
5	40.80	17.5	2.51	2.50	934
6	41.10	17.5	2.51	2.50	1069
7	40.22	17.5	2.50	2.49	916
8	41.04	17.5	2.51	2.51	943
9	43.15	17.5	2.51	2.49	1133
10	41.21	17.5	2.51	2.49	1151
11	41.06	17.5	2.51	2.51	1214
12	40.96	17.5	2.50	2.51	898

# PROBETA	Largo (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	P(lbf)
13	41.10	17.5	2.51	2.50	1178
14	41.16	17.5	2.51	2.50	934
15	41.00	17.5	2.50	2.51	808
16	41.18	17.5	2.50	2.51	1015
17	41.10	17.5	2.49	2.50	1051
18	41.12	17.5	2.51	2.51	1024
19	41.10	17.5	2.49	2.51	988
20	41.04	17.5	2.49	2.51	979

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28 Datos obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

# PROBETA	Largo (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	P(lbf)
1	41.18	17.5	2.51	2.51	952
2	40.98	17.5	2.50	2.50	1187
3	41.06	17.5	2.50	2.51	1060
4	41.08	17.5	2.51	2.51	898
5	41.16	17.5	2.51	2.50	907
6	41.21	17.5	2.51	2.50	1069
7	41.16	17.5	2.51	2.51	826
8	41.02	17.5	2.51	2.49	898
9	40.77	17.5	2.48	2.50	934
10	40.86	17.5	2.50	2.51	844
11	40.77	17.5	2.50	2.51	1123
12	40.98	17.5	2.52	2.50	1006
13	40.90	17.5	2.49	2.51	1015
14	41.21	17.5	2.51	2.50	1069
15	41.16	17.5	2.51	2.51	997
16	41.02	17.5	2.50	2.51	1024
17	40.77	17.5	2.49	2.50	808
18	40.86	17.5	2.49	2.52	1006
19	40.77	17.5	2.49	2.49	1051
20	40.98	17.5	2.50	2.48	943

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29 Datos obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

# PROBETA	Largo (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	P(lbf)
1	40.98	17.5	2.50	2.51	1114
2	40.77	17.5	2.51	2.49	1015
3	40.86	17.5	2.51	2.50	1403
4	41.18	17.5	2.50	2.50	889
5	40.98	17.5	2.49	2.52	1151
6	41.06	17.5	2.49	2.49	1060
7	41.08	17.5	2.49	2.51	1358
8	41.16	17.5	2.50	2.51	1105
9	41.21	17.5	2.50	2.48	1394
10	41.16	17.5	2.52	2.50	1078
11	41.02	17.5	2.49	2.50	871
12	40.77	17.5	2.51	2.50	1142
13	40.86	17.5	2.51	2.52	1394
14	40.77	17.5	2.52	2.49	916
15	40.98	17.5	2.49	2.48	1169
16	40.90	17.5	2.48	2.51	1033
17	41.21	17.5	2.51	2.51	1376
18	41.16	17.5	2.52	2.51	907
19	41.02	17.5	2.49	2.50	1205
20	40.77	17.5	2.48	2.49	1178

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Procedimientos de Análisis de datos

3.6.1 Densidad

3.6.1.1 Procesamiento o cálculo de la prueba.

Para hallar densidad básica se utilizó la fórmula:

$$\text{Densidad Básica} = \frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Volumen} = \text{Largo} \times \text{Ancho} \times \text{Espesor}$$

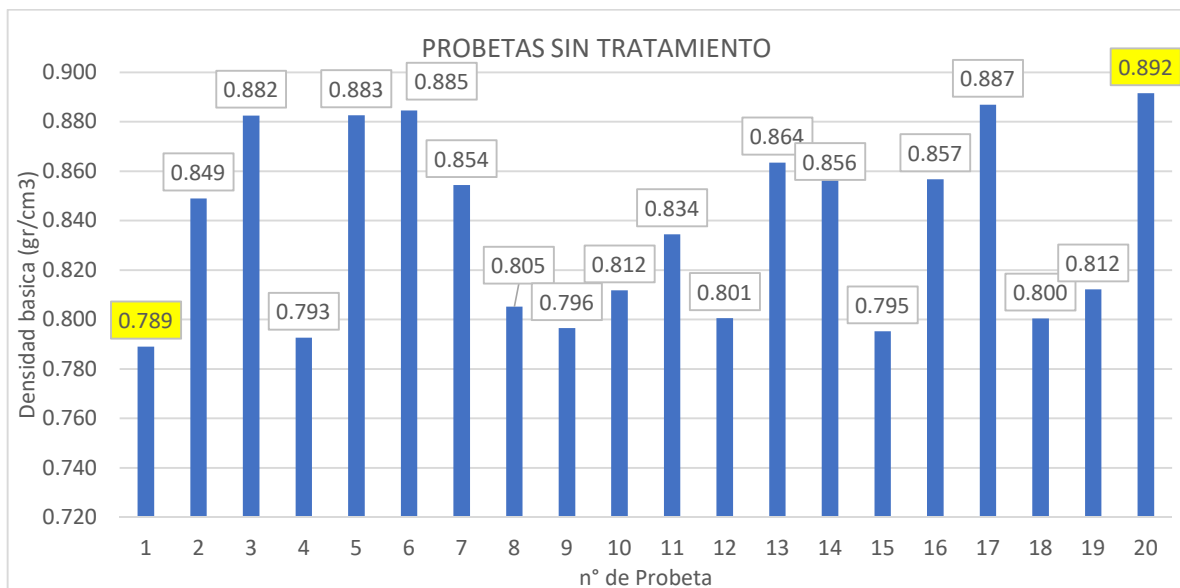
3.6.1.2 Diagramas y tablas

Tabla 30 Resultados obtenidos del ensayo de densidad básica en estado anhidro sin tratamiento

# PROBETA	Volumen (cm3)	Peso Anhidro (gr)	Densidad Básica (gr/cm3)
1	90.482	71.40	0.789
2	89.619	76.09	0.849
3	89.206	78.72	0.882
4	91.811	72.77	0.793
5	89.705	79.18	0.883
6	90.026	79.63	0.885
7	90.932	77.69	0.854
8	89.942	72.43	0.805
9	90.180	71.82	0.796
10	90.628	73.57	0.812
11	90.082	75.17	0.834
12	91.325	73.11	0.801
13	91.958	79.41	0.864
14	89.505	76.66	0.856
15	92.665	73.68	0.795
16	91.084	78.03	0.857
17	92.507	82.04	0.887
18	89.631	71.74	0.800
19	91.852	74.60	0.812
20	90.479	80.66	0.892

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1 Resultados obtenidos del ensayo de densidad básica sin tratamiento



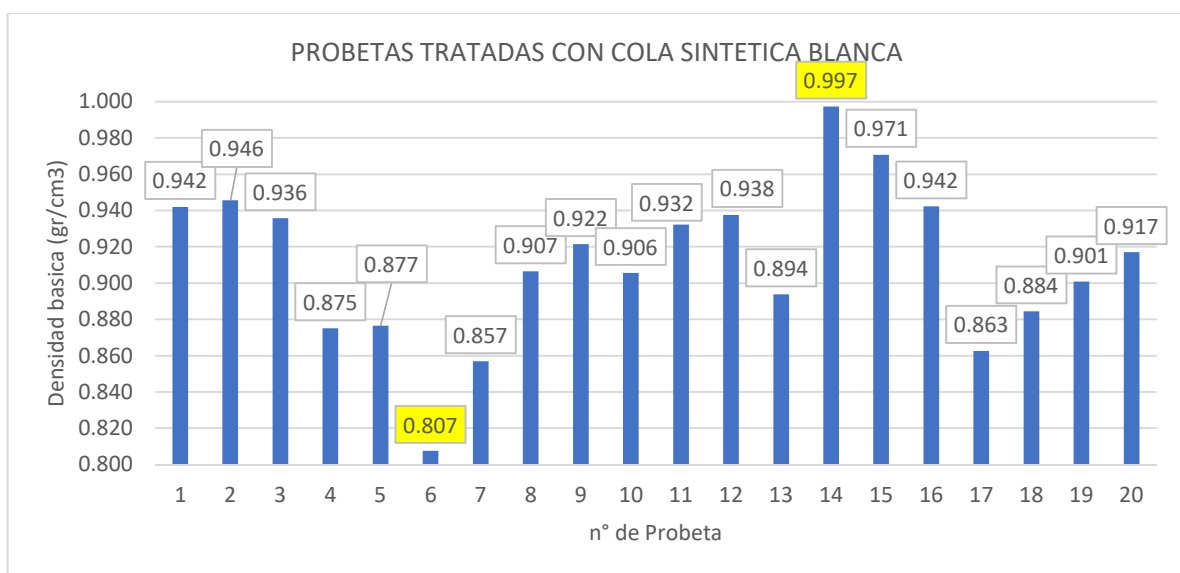
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31 Resultados obtenidos del ensayo de densidad básica en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

# PROBETA	Volumen (cm3)	Peso Anhidro (gr)	Densidad tratada (gr/cm3)
1	91.868	81.85	0.942
2	89.328	74.01	0.946
3	90.795	71.94	0.936
4	90.107	77.04	0.875
5	91.505	78.49	0.877
6	90.595	81.87	0.807
7	90.605	68.50	0.857
8	91.866	80.40	0.907
9	90.720	80.55	0.922
10	89.970	74.59	0.906
11	91.141	73.67	0.932
12	91.277	81.72	0.938
13	90.062	76.35	0.894
14	92.335	76.22	0.997
15	88.701	75.38	0.971
16	91.044	78.37	0.942
17	90.778	77.06	0.863
18	91.002	73.52	0.884
19	91.901	72.00	0.901
20	89.263	75.66	0.917

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 2 Resultados del ensayo de densidad básica tratado con cola sintética blanca



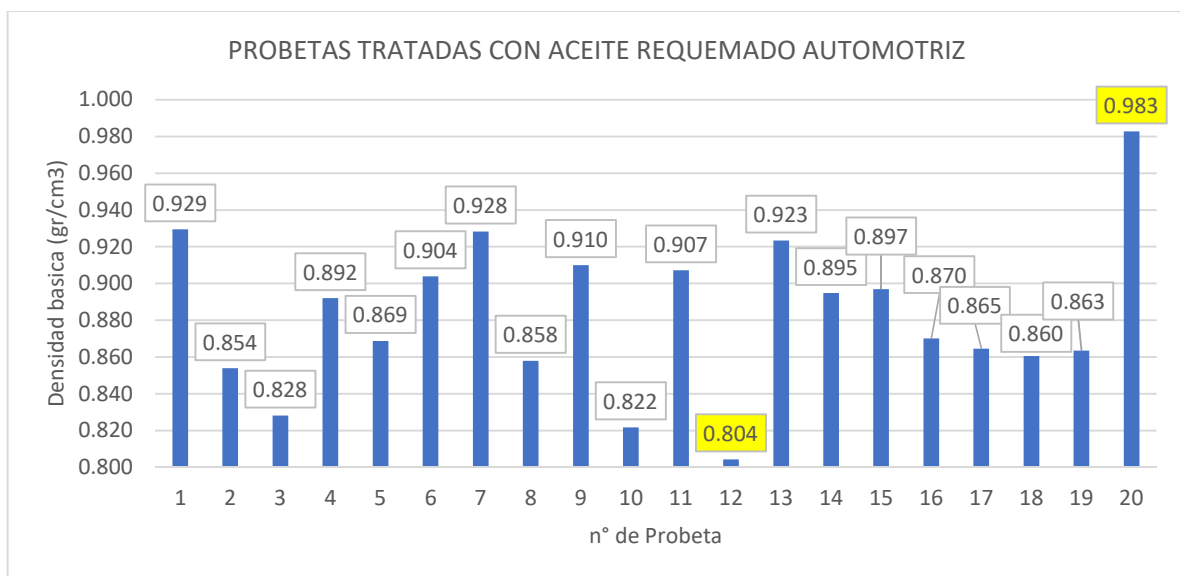
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32 Resultados obtenidos del ensayo de densidad básica en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

# PROBETA	Volumen (cm3)	Peso Anhidro (gr)	Densidad tratada (gr/cm3)
1	90.375	78.10	0.929
2	92.479	77.86	0.854
3	89.009	79.68	0.828
4	91.629	71.35	0.892
5	92.500	73.59	0.869
6	90.226	68.51	0.904
7	89.103	69.18	0.928
8	91.765	74.11	0.858
9	91.668	74.56	0.910
10	91.905	73.19	0.822
11	91.594	76.29	0.907
12	91.934	76.96	0.804
13	88.381	72.67	0.923
14	91.016	82.73	0.895
15	86.850	80.49	0.897
16	90.291	79.57	0.870
17	89.347	71.51	0.865
18	91.907	82.00	0.860
19	90.115	73.70	0.863
20	89.133	80.96	0.983

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 3 Resultados del ensayo de densidad básica tratado con aceite requemado automotriz



Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.3 Análisis de la prueba

Se observa una variación favorable en la magnitud de la densidad en las probetas al ser tratadas por el método de inmersión prolongada con aceite requemado automotriz y cola sintética blanca, esto nos da la certeza que las probetas absorbieron de manera satisfactoria los aditivos.

3.6.2 Dureza

3.6.2.1 Procesamiento o cálculo de la prueba.

El valor de la dureza se expresa mediante la fórmula:

$$\text{Dureza} = P / S \text{ (kp/mm}^2\text{)}$$

Siendo: S la superficie esférica del casquete esférico que penetra en la madera.

Por tanto, si se llama d al diámetro de la huella, la fórmula anterior se puede expresar de la siguiente forma:

$$\text{Dureza} = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Siendo:

- P: Fuerza aplicada
- D: Diámetro de la billa
- d: Diámetro de la huella

3.6.2.2 Diagramas y tablas

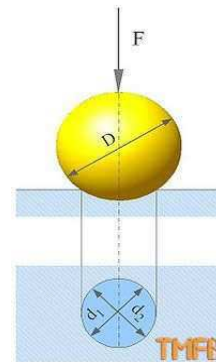
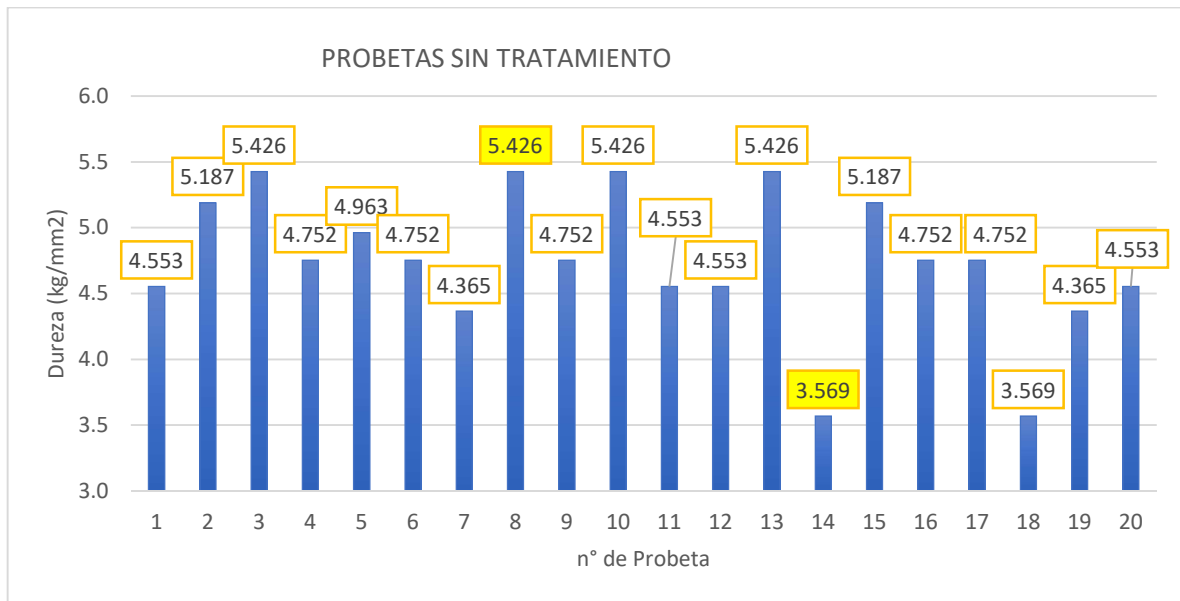


Tabla 33 Resultados obtenidos del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro sin tratamiento

# PROBETA	D (cm)	d (cm)	P (kgf)	Dureza (kg/mm ²)
1	10.00	5.10	100	4.5530
2	10.00	4.80	100	5.1871
3	10.00	4.70	100	5.4257
4	10.00	5.00	100	4.7518
5	10.00	4.90	100	4.9628
6	10.00	5.00	100	4.7518
7	10.00	5.20	100	4.3654
8	10.00	4.70	100	5.4257
9	10.00	5.00	100	4.7518
10	10.00	4.70	100	5.4257
11	10.00	5.10	100	4.5530
12	10.00	5.10	100	4.5530
13	10.00	4.70	100	5.4257
14	10.00	5.70	100	3.5694
15	10.00	4.80	100	5.1871
16	10.00	5.00	100	4.7518
17	10.00	5.00	100	4.7518
18	10.00	5.70	100	3.5694
19	10.00	5.20	100	4.3654
20	10.00	5.10	100	4.5530

Fuente: Elaboración propia

Grafico 4 Resultados del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro sin tratamiento



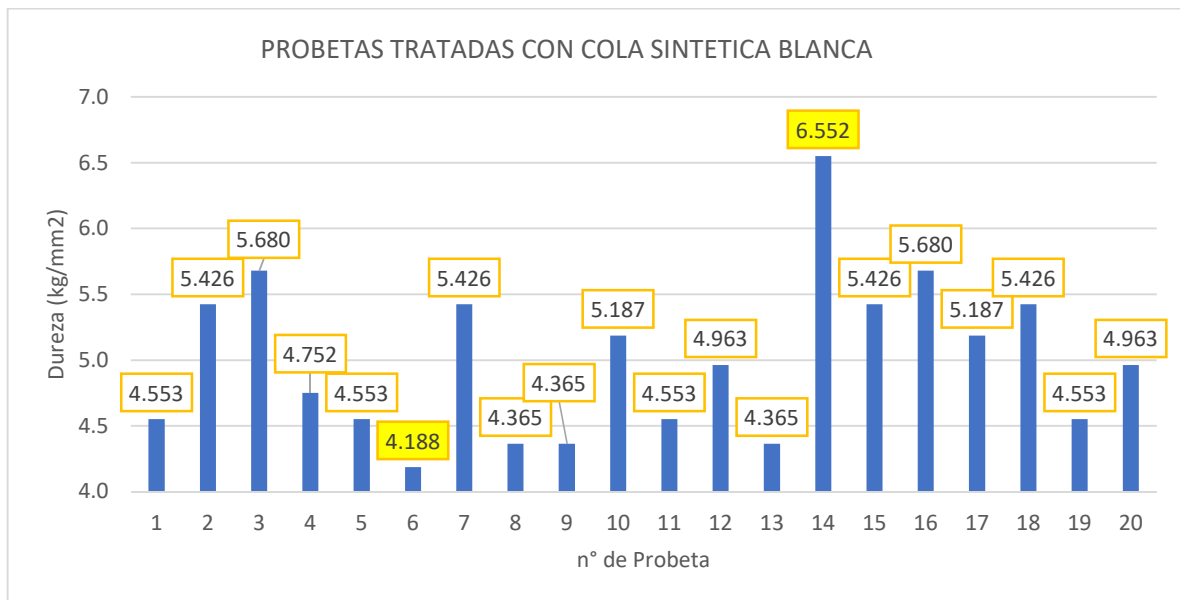
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34 Resultados obtenidos del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

# PROBETA	D (cm)	d (cm)	P (kgf)	Dureza (kg/mm ²)
1	10.00	5.10	100	4.5530
2	10.00	4.70	100	5.4257
3	10.00	4.60	100	5.6800
4	10.00	5.00	100	4.7518
5	10.00	5.10	100	4.5530
6	10.00	5.30	100	4.1882
7	10.00	4.70	100	5.4257
8	10.00	5.20	100	4.3654
9	10.00	5.20	100	4.3654
10	10.00	4.80	100	5.1871
11	10.00	5.10	100	4.5530
12	10.00	4.90	100	4.9628
13	10.00	5.20	100	4.3654
14	10.00	4.30	100	6.5515
15	10.00	4.70	100	5.4257
16	10.00	4.60	100	5.6800
17	10.00	4.80	100	5.1871
18	10.00	4.70	100	5.4257
19	10.00	5.10	100	4.5530
20	10.00	4.90	100	4.9628

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 5 Resultados del ensayo de dureza de Brinell tratado con cola sintética blanca



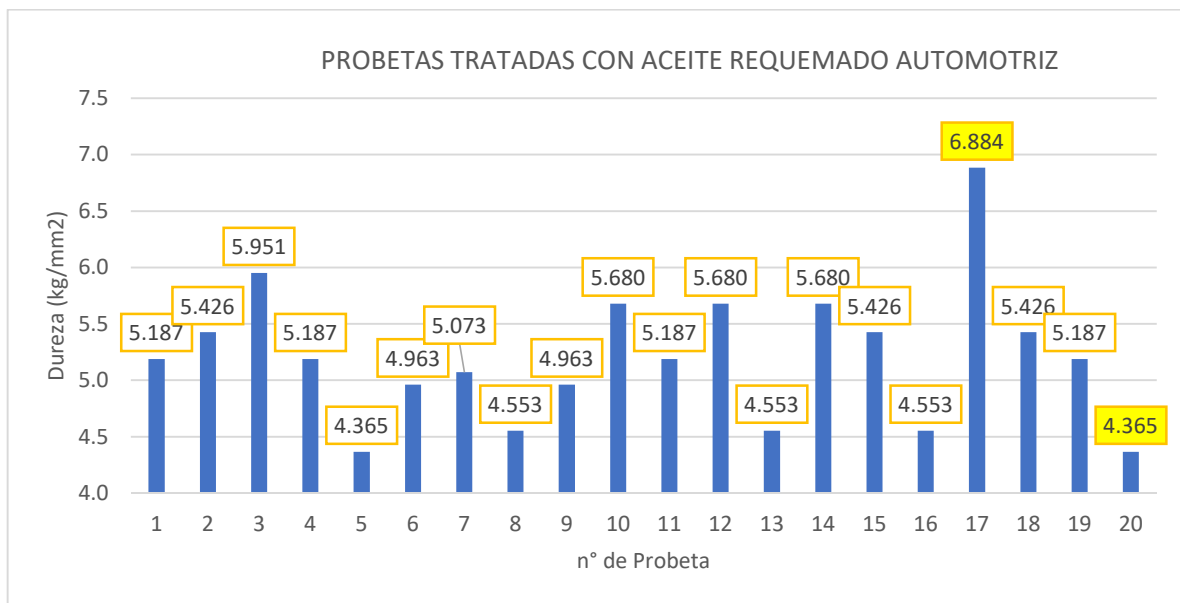
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35 Resultados obtenidos del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

# PROBETA	D (cm)	d (cm)	P (kgf)	Dureza (Kg/mm ²)
1	10.00	4.80	100	5.1871
2	10.00	4.70	100	5.4257
3	10.00	4.50	100	5.9513
4	10.00	4.80	100	5.1871
5	10.00	5.20	100	4.3654
6	10.00	4.90	100	4.9628
7	10.00	4.85	100	5.0732
8	10.00	5.10	100	4.5530
9	10.00	4.90	100	4.9628
10	10.00	4.60	100	5.6800
11	10.00	4.80	100	5.1871
12	10.00	4.60	100	5.6800
13	10.00	5.10	100	4.5530
14	10.00	4.60	100	5.6800
15	10.00	4.70	100	5.4257
16	10.00	5.10	100	4.5530
17	10.00	4.20	100	6.8842
18	10.00	4.70	100	5.4257
19	10.00	4.80	100	5.1871
20	10.00	5.20	100	4.3654

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6 Resultados del ensayo de dureza tratado con aceite requemado automotriz



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.3 Análisis de la prueba

Se observa una variación favorable en la magnitud de la Dureza en las probetas al ser tratadas por el método de inmersión prolongada con aceite requemado automotriz y cola sintética blanca.

3.6.3 Resistencia al corte por cizallamiento paralelo al grano

3.6.3.1 Procesamiento o cálculo de la prueba.

Para hallar el cizallamiento paralelo al grano se utilizó la fórmula:

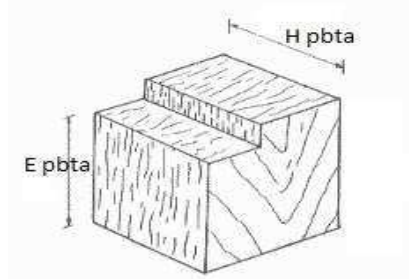
$$\text{Esfuerzo al cizallamiento} = \frac{P_{\max}}{(H_{pbta} \times E_{pbta})} \quad \text{kg/cm}^2$$

Dónde:

P_{\max} : Carga ultima de ruptura

en la figura n°70 observamos de donde obtener los datos

Figura N° 70: Datos de la probeta



Fuentes: Manual de la Corma de construcción en madera

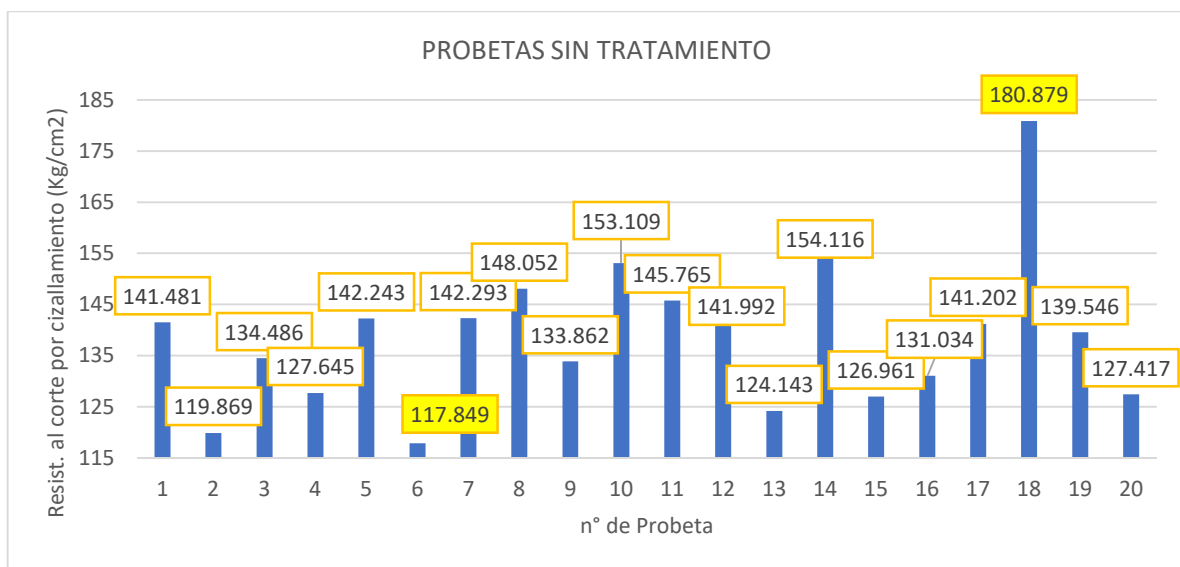
3.6.3.2 Diagramas y tablas

Tabla 36 Resultados obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro sin tratamiento

# PROBETA	H pbta (cm)	E pbta (cm)	P (kgf)	Resistencia al cizallamiento (kg/cm ²)
1	4.92	4.91	3418	141.4812
2	4.94	4.88	2890	119.8695
3	4.96	4.91	3275	134.4861
4	5.05	4.80	3094	127.6452
5	5.03	4.89	3499	142.2429
6	5.02	4.95	2928	117.8491
7	4.59	4.82	3148	142.2931
8	4.86	4.75	3418	148.0524
9	4.86	4.91	3194	133.8623
10	4.91	4.90	3684	153.1094
11	4.91	4.91	3514	145.7651
12	4.90	4.94	3437	141.9919
13	4.96	5.05	3110	124.1430
14	4.90	4.72	3564	154.1159
15	4.91	5.05	3148	126.9611
16	4.94	5.03	3256	131.0338
17	5.05	5.02	3580	141.2024
18	4.72	4.59	3919	180.8789
19	4.96	4.86	3364	139.5462
20	4.78	4.96	3021	127.4172

Fuente: Elaboración propia

Grafico 7 Resultados del ensayo de cizallamiento paralelo al grano sin tratamiento



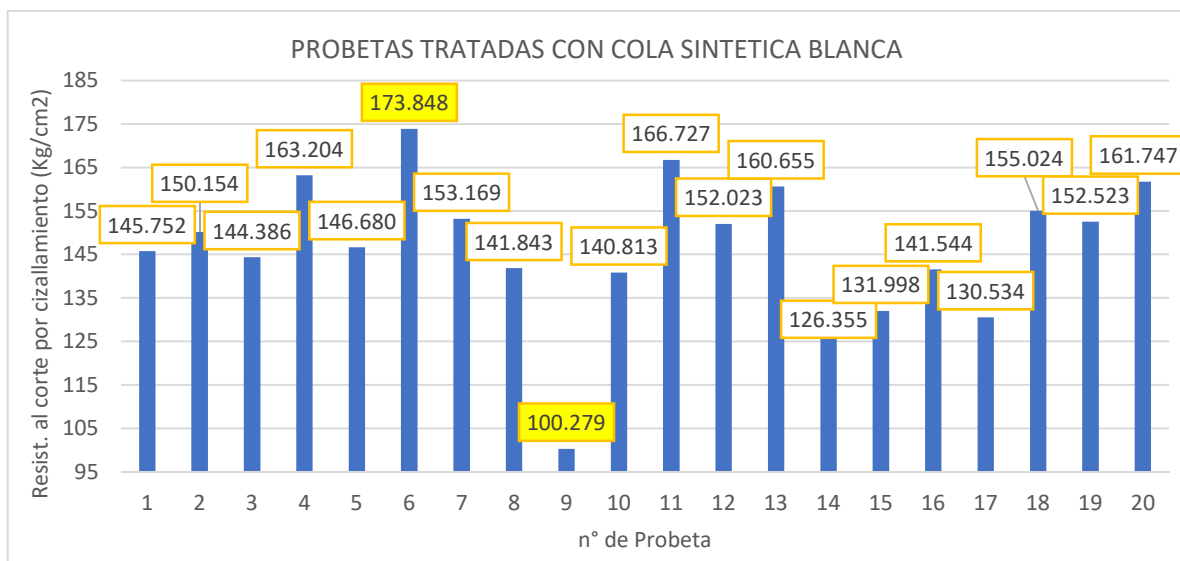
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37 Resultados obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

# PROBETA	H pbta (cm)	E pbta (cm)	P (kgf)	Resistencia al cizallamiento (kg/cm ²)
1	4.67	4.91	3342	145.7519
2	4.98	4.91	3672	150.1543
3	4.97	4.86	3488	144.3864
4	4.70	4.82	3697	163.2038
5	4.91	4.89	3522	146.6800
6	4.84	4.75	3997	173.8479
7	5.12	4.84	3796	153.1686
8	4.94	4.91	3440	141.8434
9	5.06	5.06	2568	100.2794
10	4.85	4.95	3381	140.8126
11	4.99	4.84	4027	166.7267
12	4.85	4.91	3620	152.0227
13	4.98	4.91	3928	160.6546
14	5.02	4.95	3140	126.3553
15	4.97	4.99	3274	131.9976
16	4.93	4.82	3363	141.5435
17	4.89	4.80	3064	130.5342
18	4.86	4.93	3714	155.0237
19	4.95	4.71	3556	152.5234
20	5.03	4.76	3873	161.7466

Fuente: Elaboración propia

Grafico 8 Resultados obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con cola sintética blanca



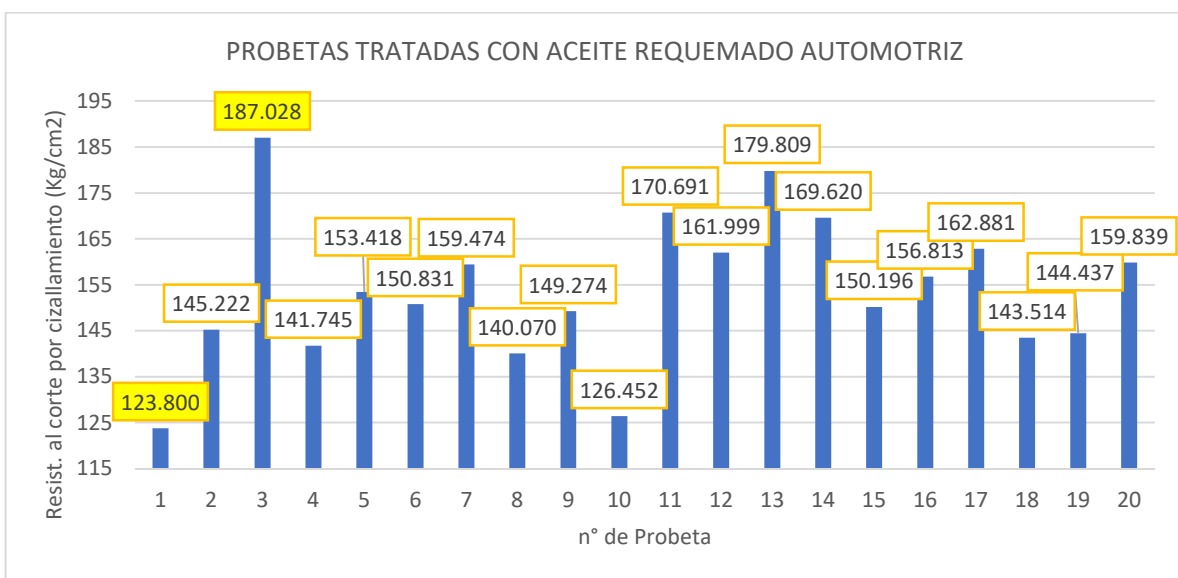
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38 Resultados obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

# PROBETA	H pbta (cm)	E pbta (cm)	P (kgf)	Resistencia al cizallamiento (kg/cm ²)
1	4.98	4.90	3021	123.7997
2	5.01	4.88	3551	145.2223
3	5.00	4.87	4554	187.0281
4	5.01	4.95	3515	141.7451
5	5.03	4.98	3843	153.4178
6	4.91	4.91	3636	150.8309
7	4.91	4.85	3798	159.4740
8	5.00	4.94	3460	140.0700
9	4.73	4.90	3460	149.2743
10	4.92	4.96	3086	126.4518
11	4.97	4.97	4216	170.6914
12	4.84	5.03	3944	161.9987
13	4.98	4.90	4388	179.8092
14	4.86	4.98	4105	169.6199
15	5.03	4.96	3747	150.1956
16	4.94	5.00	3873	156.8131
17	5.03	4.98	4080	162.8806
18	4.94	4.88	3460	143.5144
19	4.85	4.91	3440	144.4373
20	4.99	4.97	3964	159.8393

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 9 Resultados obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz



Fuente: Elaboración propia.



3.6.3.3 Análisis de la prueba

Se observa una variación favorable en la magnitud de la resistencia al corte por cizallamiento paralelo al grano en las probetas al ser tratadas por el método de inmersión prolongada con aceite quemado automotriz y cola sintética blanca, comparadas con las muestras sin tratamiento en estado anhidro.

3.6.4 Resistencia a la compresión axial o paralela al grano.

3.6.4.1 Procesamiento o cálculo de la prueba.

Para hallar el esfuerzo de rotura de compresión axial o paralela al grano se utilizó la fórmula:

$$\text{Esfuerzo de rotura} = \frac{P_{\max}}{\text{Area}} \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

P_{\max} : Carga última de ruptura

Area: Ancho x Espesor

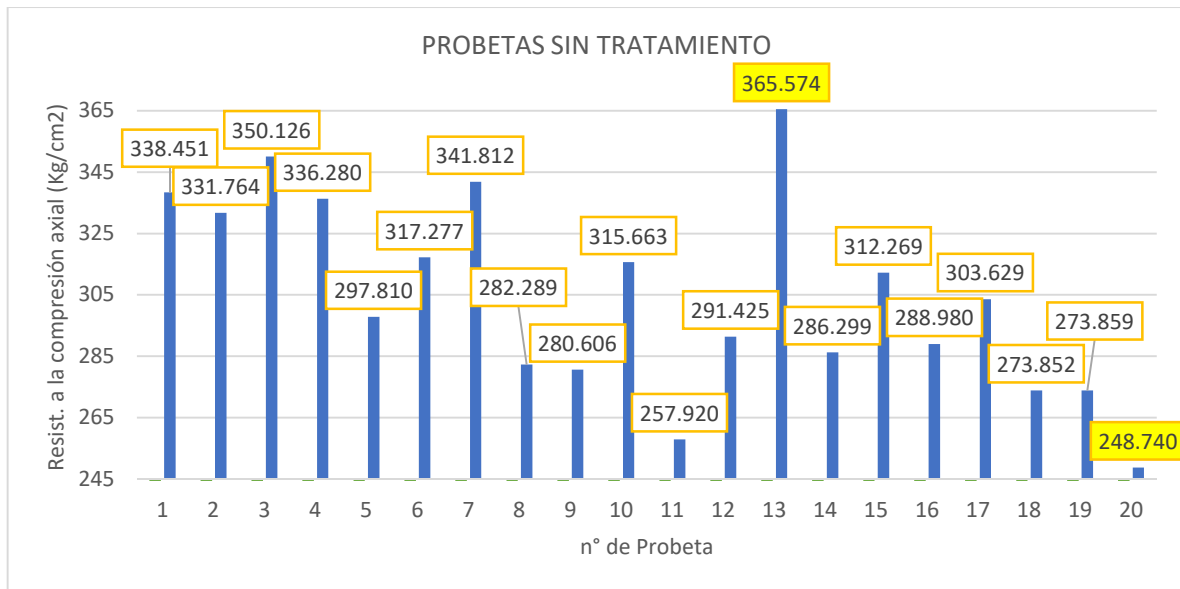
3.6.4.2 Diagramas y tablas

Tabla 39 Resultados obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro sin tratamiento

# PROBETA	Área (cm ²)	P (kg)	Esf de rotura (kg/cm ²)
1	24.701	8360	338.4506
2	23.571	7820	331.7636
3	24.848	8700	350.1260
4	24.206	8140	336.2803
5	24.949	7430	297.8099
6	24.206	7680	317.2767
7	23.668	8090	341.8117
8	24.301	6860	282.2894
9	24.305	6820	280.6065
10	24.900	7860	315.6627
11	23.224	5990	257.9195
12	24.157	7040	291.4245
13	24.701	9030	365.5737
14	24.345	6970	286.2987
15	24.402	7620	312.2695
16	24.950	7210	288.9803
17	24.800	7530	303.6290
18	25.050	6860	273.8523
19	25.049	6860	273.8589
20	23.961	5960	248.7396

Fuente: Elaboración propia

Grafico 10 Resultados del ensayo de compresión axial en estado anhidro sin tratamiento



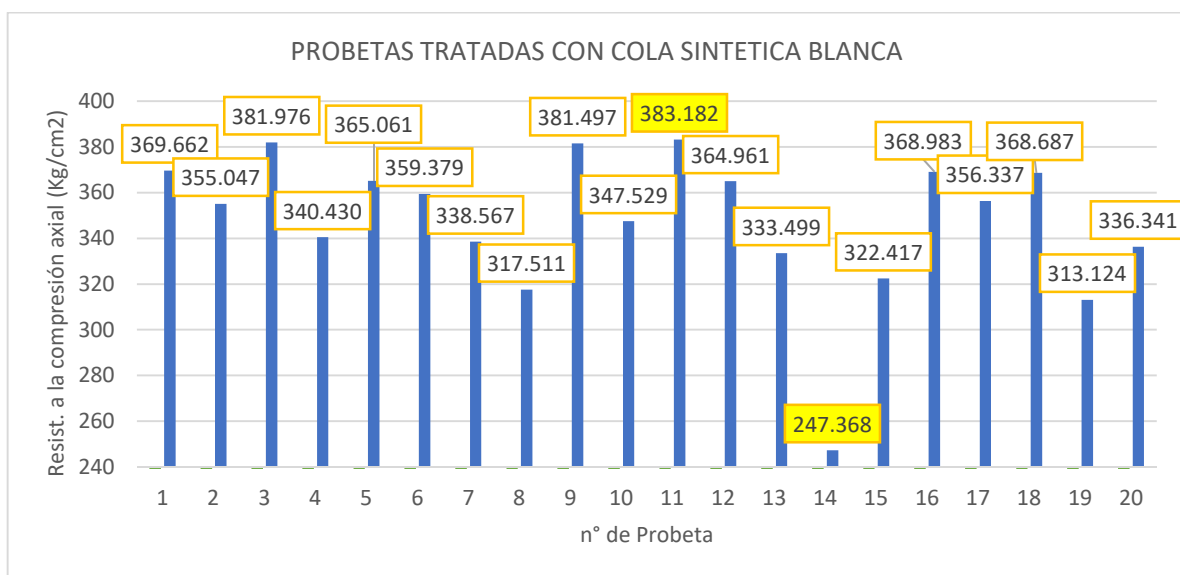
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40 Resultados obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

# PROBETA	Área (cm ²)	P (kg)	Esf de rotura (kg/cm ²)
1	23.373	8640	369.6620
2	23.180	8230	355.0475
3	24.452	9340	381.9760
4	22.942	7810	340.4296
5	23.503	8580	365.0613
6	22.678	8150	359.3791
7	23.216	7860	338.5669
8	22.550	7160	317.5110
9	22.753	8680	381.4965
10	23.912	8310	347.5286
11	23.618	9050	383.1823
12	24.304	8870	364.9605
13	24.108	8040	333.4993
14	24.255	6000	247.3676
15	24.502	7900	322.4174
16	25.503	9410	368.9834
17	23.742	8460	356.3366
18	24.899	9180	368.6865
19	21.940	6870	313.1239
20	22.745	7650	336.3406

Fuente: Elaboración propia

Grafico 11 Resultados obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con cola sintética blanca



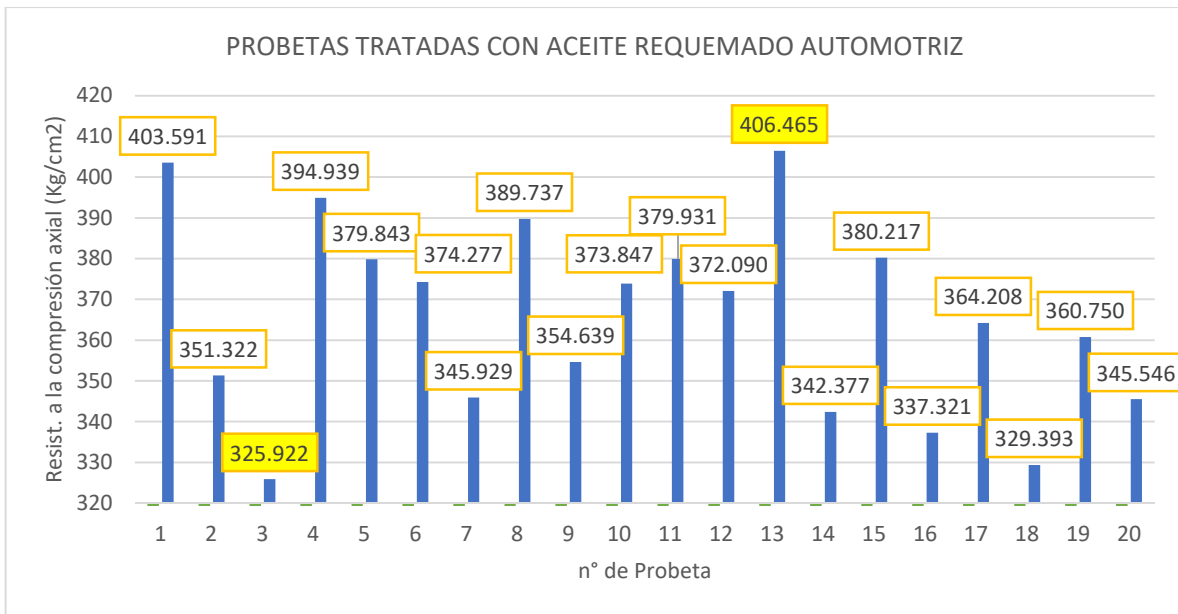
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41 Resultados obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

# PROBETA	Área (cm ²)	P (kg)	Esf de rotura (kg/cm ²)
1	25.199	10170	403.5906
2	24.849	8730	351.3220
3	24.055	7840	325.9225
4	24.206	9560	394.9385
5	24.010	9120	379.8433
6	23.833	8920	374.2773
7	23.329	8070	345.9288
8	24.401	9510	389.7365
9	23.038	8170	354.6392
10	22.603	8450	373.8475
11	24.452	9290	379.9311
12	24.403	9080	372.0900
13	23.077	9380	406.4653
14	23.863	8170	342.3768
15	23.329	8870	380.2167
16	24.576	8290	337.3210
17	24.354	8870	364.2082
18	22.891	7540	329.3929
19	23.562	8500	360.7504
20	23.239	8030	345.5458

Fuente: Elaboración propia

Grafico 12 Resultados obtenidos del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz



Fuente: Elaboración propia.



3.6.4.3 Análisis de la prueba

Se observa una variación favorable en la magnitud de la resistencia a compresión axial o paralela al grano en las probetas al ser tratadas por el método de inmersión prolongada con aceite quemado automotriz y cola sintética blanca, comparadas con las muestras sin tratamiento en estado anhidro.

3.6.5 Resistencia a la compresión perpendicular al grano.

3.6.5.1 Procesamiento o cálculo de la prueba.

Para hallar el esfuerzo de rotura de compresión axial o paralela al grano se utilizó la fórmula:

$$\text{Esfuerzo de rotura} = \frac{P_{\max}}{\text{Área}} \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

P_{\max} : Carga última de ruptura

Área: Ancho x Espesor

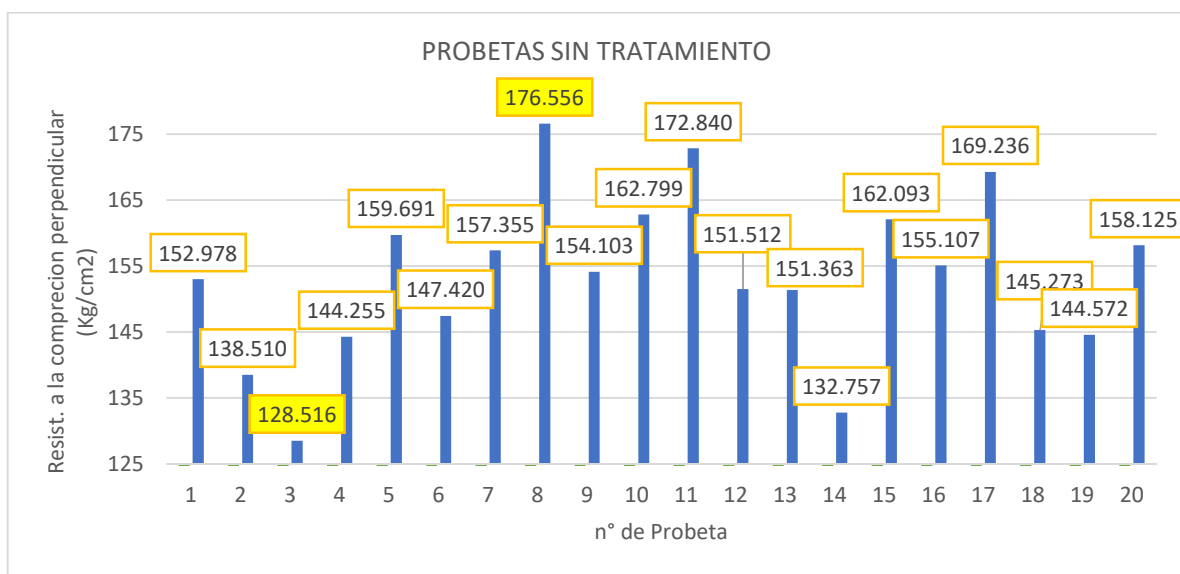
3.6.5.2 Diagramas y tablas

Tabla 42 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro sin tratamiento

# PROBETA	Área (cm ²)	P (kg)	Esfuerzo de rotura (σ_R)(kg/cm ²)
1	25.7554	3940	152.978
2	25.1968	3490	138.510
3	25.6	3290	128.516
4	25.441	3670	144.255
5	24.7979	3960	159.691
6	25.641	3780	147.420
7	25.5474	4020	157.355
8	23.5053	4150	176.556
9	25.3727	3910	154.103
10	25.123	4090	162.799
11	23.085	3990	172.840
12	25.8066	3910	151.512
13	25.5016	3860	151.363
14	26.364	3500	132.757
15	23.5667	3820	162.093
16	24.4348	3790	155.107
17	24.6993	4180	169.236
18	25.194	3660	145.273
19	24.832	3590	144.572
20	26.0554	4120	158.125

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 13 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro sin tratamiento



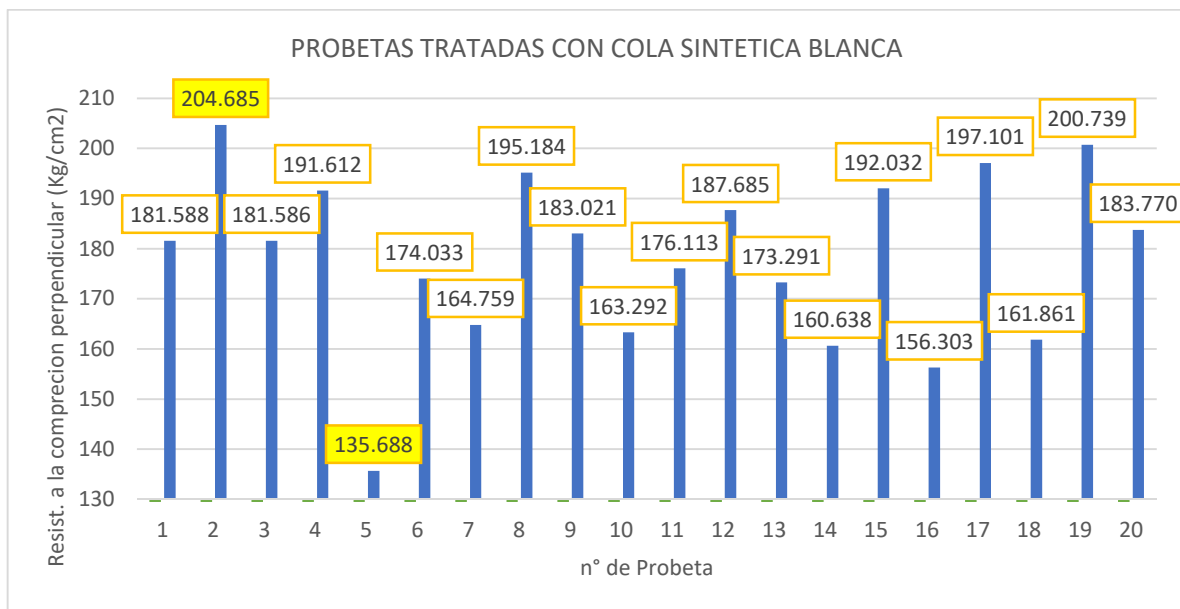
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

# PROBETA	Área (cm ²)	P (kg)	Esfuerzo de rotura (σ_R)(kg/cm ²)
1	25.3872	4610	181.588
2	24.672	5050	204.685
3	24.644	4475	181.586
4	24.9984	4790	191.612
5	26.4578	3590	135.688
6	25.8572	4500	174.033
7	25.7346	4240	164.759
8	24.336	4750	195.184
9	26.8822	4920	183.021
10	25.9045	4230	163.292
11	24.7	4350	176.113
12	25.0952	4710	187.685
13	25.0446	4340	173.291
14	24.5895	3950	160.638
15	25.1	4820	192.032
16	23.8	3720	156.303
17	24.15	4760	197.101
18	24.1566	3910	161.861
19	23.6626	4750	200.739
20	24.0518	4420	183.770

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 14 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro tratado con cola sintética blanca



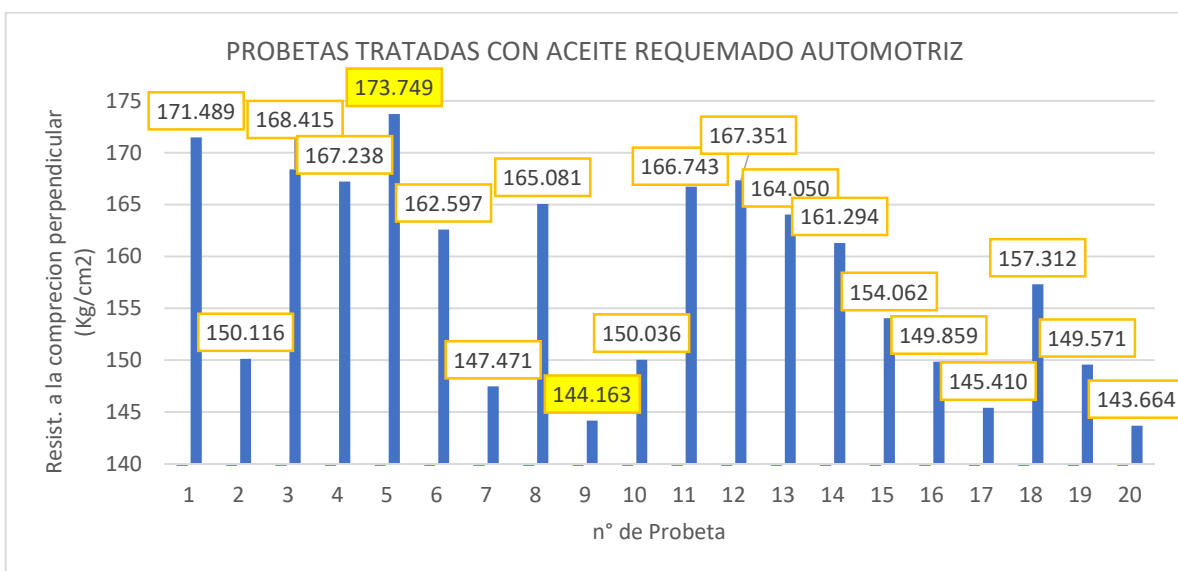
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

# PROBETA	Área (cm ²)	P (kg)	Esfuerzo de rotura (σ_R)(kg/cm ²)
1	24.8412	4260	171.489
2	26.3796	3960	150.116
3	24.2853	4090	168.415
4	24.6356	4120	167.238
5	25.0937	4360	173.749
6	23.4936	3820	162.597
7	25.7	3790	147.471
8	25.1392	4150	165.081
9	25.596	3690	144.163
10	25.194	3780	150.036
11	24.5287	4090	166.743
12	24.9775	4180	167.351
13	23.8952	3920	164.050
14	25.3575	4090	161.294
15	25.704	3960	154.062
16	25.0902	3760	149.859
17	24.6888	3590	145.410
18	25.0458	3940	157.312
19	25.3391	3790	149.571
20	24.2928	3490	143.664

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 15 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro tratado con cola sintética blanca



Fuente: Elaboración propia.

3.6.5.3 Análisis de la prueba

Se observa una variación favorable en la magnitud de la resistencia a compresión perpendicular al grano en las probetas al ser tratadas por el método de inmersión prolongada con aceite quemado automotriz y cola sintética blanca, comparadas con las muestras sin tratamiento en estado anhidro.

3.6.6 Resistencia a la flexión estática.

3.6.6.1 Procesamiento o cálculo de la prueba.

Para hallar el esfuerzo de rotura de flexión estática se utilizó la fórmula:

$$\text{Esfuerzo de rotura} = \frac{3 * P_{\max} * Luz}{2 * \text{Ancho} * (\text{Altura})^2} \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

P_{\max} : Carga última de ruptura

Luz: distancia entre apoyos

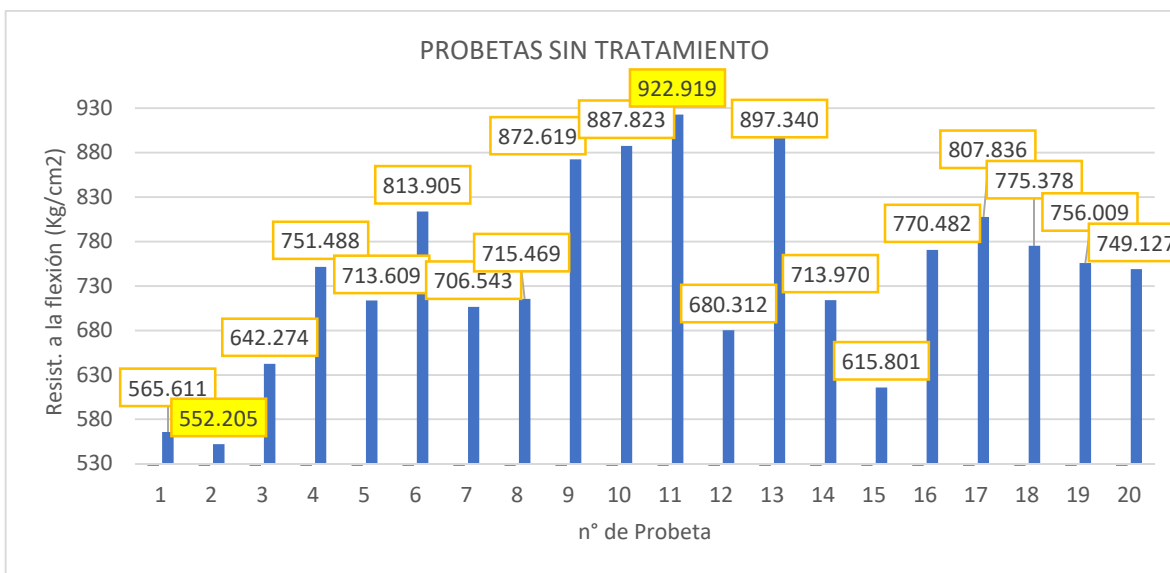
3.6.6.2 Diagramas y tablas

Tabla 45 Resultados obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro sin tratamiento

# PROBETA	Luz (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	CARGAS		Esfuerzo de rotura (kg/cm2)
				P(lbf)	P (kgf)	
1	17.5	2.51	2.51	744	339.2045	565.611
2	17.5	2.51	2.50	726	330.9979	552.205
3	17.5	2.50	2.51	844	384.7965	642.274
4	17.5	2.50	2.51	988	450.4490	751.488
5	17.5	2.51	2.50	934	425.8293	713.609
6	17.5	2.51	2.50	1069	487.3785	813.905
7	17.5	2.50	2.49	916	417.6227	706.543
8	17.5	2.51	2.51	943	429.9326	715.469
9	17.5	2.51	2.49	1133	516.5574	872.619
10	17.5	2.51	2.49	1151	524.7639	887.823
11	17.5	2.51	2.51	1214	553.4869	922.919
12	17.5	2.50	2.51	898	409.4162	680.312
13	17.5	2.51	2.50	1178	537.0738	897.340
14	17.5	2.51	2.50	934	425.8293	713.970
15	17.5	2.50	2.51	808	368.3834	615.801
16	17.5	2.50	2.51	1015	462.7588	770.482
17	17.5	2.49	2.50	1051	479.1719	807.836
18	17.5	2.51	2.51	1024	466.8621	775.378
19	17.5	2.49	2.51	988	450.4490	756.009
20	17.5	2.49	2.51	979	446.3457	749.127

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 16 Resultados obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro sin tratamiento



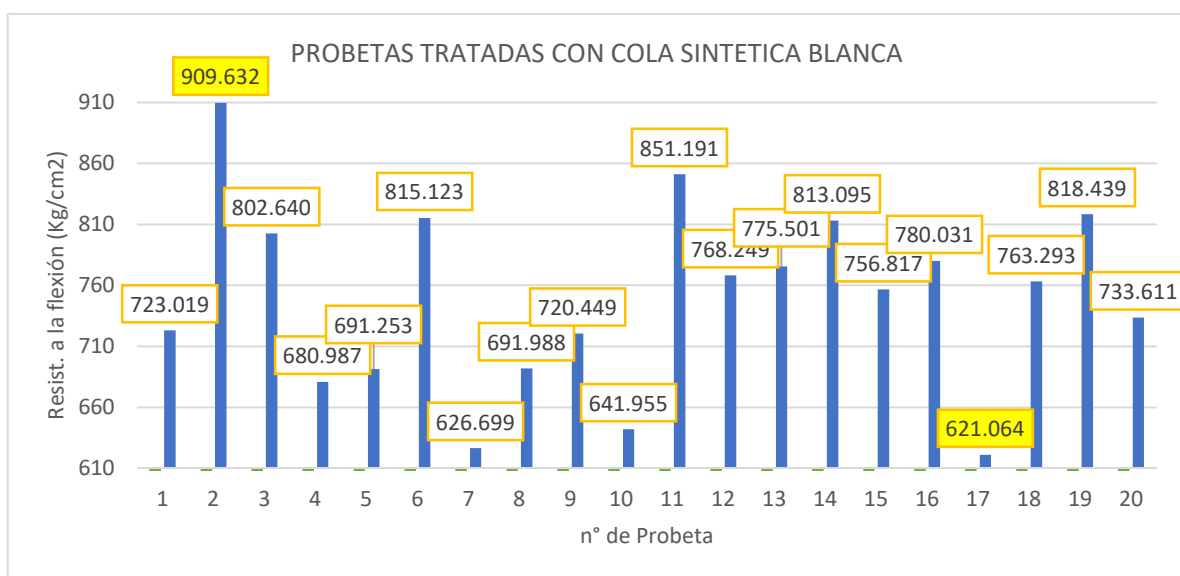
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46 Resultados obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

# PROBETA	Luz (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	CARGAS		Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)
				P(lbf)	P (kgf)	
1	17.5	2.51	2.51	952	434.0358	723.019
2	17.5	2.50	2.50	1187	541.1770	909.632
3	17.5	2.50	2.51	1060	483.2752	802.640
4	17.5	2.51	2.51	898	409.4162	680.987
5	17.5	2.51	2.50	907	413.5194	691.253
6	17.5	2.51	2.50	1069	487.3785	815.123
7	17.5	2.51	2.51	826	376.5899	626.699
8	17.5	2.51	2.49	898	409.4162	691.988
9	17.5	2.48	2.50	934	425.8293	720.449
10	17.5	2.50	2.51	844	384.7965	641.955
11	17.5	2.50	2.51	1123	511.9982	851.191
12	17.5	2.52	2.50	1006	458.6555	768.249
13	17.5	2.49	2.51	1015	462.7588	775.501
14	17.5	2.51	2.50	1069	487.3785	813.095
15	17.5	2.51	2.51	997	454.5522	756.817
16	17.5	2.50	2.51	1024	466.8621	780.031
17	17.5	2.49	2.50	808	368.3834	621.064
18	17.5	2.49	2.52	1006	458.6555	763.293
19	17.5	2.49	2.49	1051	479.1719	818.439
20	17.5	2.50	2.48	943	429.9326	733.611

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 17 Resultados obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con cola sintética blanca



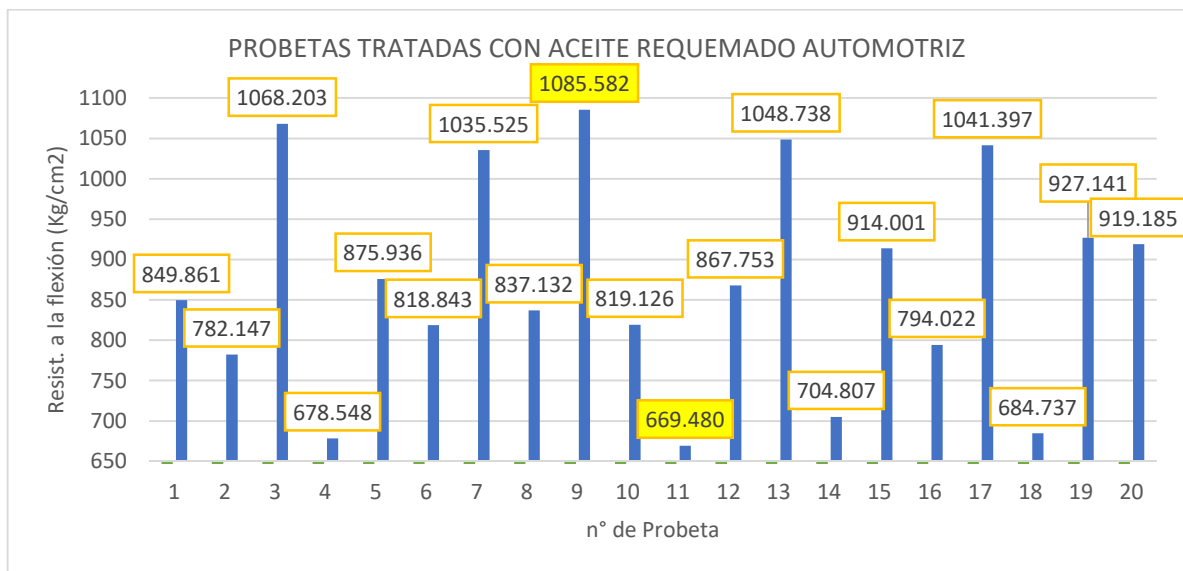
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47 Resultados obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

# PROBETA	Luz (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	CARGAS		Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)
				P(lbf)	P (kgf)	
1	17.5	2.50	2.51	1114	507.8949	849.861
2	17.5	2.51	2.49	1015	462.7588	782.147
3	17.5	2.51	2.50	1403	639.6558	1068.203
4	17.5	2.50	2.50	889	405.3129	678.548
5	17.5	2.49	2.52	1151	524.7639	875.936
6	17.5	2.49	2.49	1060	483.2752	818.843
7	17.5	2.49	2.51	1358	619.1394	1035.525
8	17.5	2.50	2.51	1105	503.7916	837.132
9	17.5	2.50	2.48	1394	635.5525	1085.582
10	17.5	2.52	2.50	1078	491.4818	819.126
11	17.5	2.49	2.50	871	397.1063	669.480
12	17.5	2.51	2.50	1142	520.6606	867.753
13	17.5	2.51	2.52	1394	635.5525	1048.738
14	17.5	2.52	2.49	916	417.6227	704.807
15	17.5	2.49	2.48	1169	532.9705	914.001
16	17.5	2.48	2.51	1033	470.9654	794.022
17	17.5	2.51	2.51	1376	627.3459	1041.397
18	17.5	2.52	2.51	907	413.5194	684.737
19	17.5	2.49	2.50	1205	549.3836	927.141
20	17.5	2.48	2.49	1178	537.0738	919.185

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 18 Resultados obtenidos del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con cola sintética blanca



Fuente: Elaboración propia.

3.6.6.3 Análisis de la prueba

Se observa una variación favorable en la magnitud de la resistencia al corte por cizallamiento paralelo al grano en las probetas al ser tratadas por el método de inmersión prolongada con aceite quemado automotriz, comparadas con las muestras sin tratamiento en estado anhidro. En las muestras sumergidas en cola sintética blanca no se observó una variación en la magnitud de la resistencia a flexión comparada con las muestras sin tratamiento.

3.6.7 Análisis estadístico

3.6.7.1 Procesamiento o cálculo de la prueba.

Para cada ensayo realizado aplicamos el criterio de Chauvenet y verificamos si el criterio se cumpla, si no fuera así, los datos que no cumplan con el criterio son descartados y se realiza de nuevo el cálculo para corroborar los datos restantes; para ello se utilizó las siguientes formulas la desviación estándar (S) y el coeficiente de variación (Cv) utilizando las siguientes formulas.

Criterio de Chauvenet:

$$\frac{ABS(X_i - \mu)}{S} \leq 2.0$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N}} \quad CV = \frac{S}{\mu}$$

$$\mu = \frac{\sum}{N}$$

Σ : Sumatorio de todos los esfuerzos de rotura

N: Numero de datos

μ : Media aritmética

S: Desviación estándar

3.6.7.2 Diagramas y tablas

Densidad

Tabla 48 Análisis estadístico del ensayo de densidad básica en estado anhidro sin tratamiento

probeta	Densidad (gr/cm ³)	$X_i - \mu$ R	$(X_i - \mu)R^2$	$ABS((X - u)/S) > 2.0$	Cumple
1	0.7891	-0.0482	0.0023	1.328267	OK
2	0.8490	0.0117	0.0001	0.322346	OK
3	0.8824	0.0451	0.0020	1.242962	OK
4	0.7926	-0.0447	0.0020	1.230968	OK
5	0.8826	0.0453	0.0021	1.248325	OK
6	0.8846	0.0473	0.0022	1.301728	OK
7	0.8544	0.0171	0.0003	0.470022	OK
8	0.8053	-0.0321	0.0010	0.882570	OK
9	0.7965	-0.0408	0.0017	1.124743	OK
10	0.8118	-0.0255	0.0007	0.702600	OK
11	0.8345	-0.0028	0.0000	0.077574	OK
12	0.8006	-0.0367	0.0013	1.011264	OK
13	0.8635	0.0262	0.0007	0.721513	OK
14	0.8565	0.0192	0.0004	0.528123	OK
15	0.7952	-0.0421	0.0018	1.160047	OK
16	0.8567	0.0194	0.0004	0.534503	OK
17	0.8868	0.0495	0.0025	1.363523	OK
18	0.8004	-0.0369	0.0014	1.016379	OK
19	0.8122	-0.0251	0.0006	0.691866	OK
20	0.8915	0.0542	0.0029	1.493232	OK
		Σ	0.0264		
Σ	16.7460	s	0.0363		
$X_{prom} (\mu)$	0.8373	cv	0.043371		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49 Análisis estadístico del ensayo de densidad básica en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

probeta	Densidad (gr/cm ³)	$X_i - \mu$ R	$(X_i - \mu)R^2$	$ABS((X - u)/S) > 2.0$	Cumple
1	0.9420	0.0314	0.0010	0.743545	OK
2	0.9457	0.0351	0.0012	0.829866	OK
3	0.9357	0.0251	0.0006	0.594703	OK
4	0.8751	-0.0355	0.0013	0.840257	OK
5	0.8766	-0.0340	0.0012	0.805985	OK
6	0.8074	-0.1032	0.0106	2.442358	DESCARTAR
7	0.8570	-0.0536	0.0029	1.269140	OK
8	0.9066	-0.0040	0.0000	0.095796	OK
9	0.9215	0.0109	0.0001	0.258315	OK
10	0.9056	-0.0050	0.0000	0.119110	OK

probeta	Densidad (gr/cm ³)	$\chi_i - \mu$ R	$(\chi_i - \mu)R^2$	$ABS((X-u)/S) > 2.0$	Cumple
11	0.9323	0.0217	0.0005	0.513946	OK
12	0.9376	0.0270	0.0007	0.638650	OK
13	0.8939	-0.0167	0.0003	0.396474	OK
14	0.9973	0.0867	0.0075	2.051807	DESCARTAR
15	0.9707	0.0601	0.0036	1.423214	OK
16	0.9423	0.0317	0.0010	0.749837	OK
17	0.8626	-0.0481	0.0023	1.137497	OK
18	0.8844	-0.0262	0.0007	0.621364	OK
19	0.9009	-0.0097	0.0001	0.229573	OK
20	0.9171	0.0065	0.0000	0.153674	OK
		Σ	0.0357		
Σ	18.2123	s	0.0422		
Xprom (μ)	0.9106	cv	0.046390		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50 Análisis estadístico del ensayo de densidad básica corregido tratado con cola sintética blanca

probeta	Densidad (gr/cm ³)	$\chi_i - \mu$ R	$(\chi_i - \mu)R^2$	$ABS((X-u)/S) > 2.0$	Cumple
1	0.9420	0.0305	0.0009	0.977470	OK
2	0.9457	0.0341	0.0012	1.094359	OK
3	0.9357	0.0242	0.0006	0.775920	OK
4	0.8751	-0.0364	0.0013	1.167191	OK
5	0.8766	-0.0350	0.0012	1.120784	OK
6					
7	0.8570	-0.0545	0.0030	1.747952	OK
8	0.9066	-0.0050	0.0000	0.159101	OK
9	0.9215	0.0100	0.0001	0.320410	OK
10	0.9056	-0.0059	0.0000	0.190671	OK
11	0.9323	0.0208	0.0004	0.666565	OK
12	0.9376	0.0261	0.0007	0.835429	OK
13	0.8939	-0.0177	0.0003	0.566255	OK
14					
15	0.9707	0.0592	0.0035	1.897825	OK
16	0.9423	0.0308	0.0009	0.985990	OK
17	0.8626	-0.0490	0.0024	1.569692	OK
18	0.8844	-0.0272	0.0007	0.870784	OK
19	0.9009	-0.0106	0.0001	0.340251	OK
20	0.9171	0.0056	0.0000	0.178713	OK
		Σ	0.0175		
Σ	16.4075	s	0.0312		
Xprom (μ)	0.9115	cv	0.034224		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51 Análisis estadístico del ensayo de densidad básica en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz

probeta	Densidad (gr/cm3)	$X_i - \mu$ R	$(X_i - \mu)R^2$	$ABS((X - u)/S) > 2.0$	Cumple
1	0.9294	0.0464	0.0021	1.124342	OK
2	0.8538	-0.0293	0.0009	0.709981	OK
3	0.8281	-0.0550	0.0030	1.334941	OK
4	0.8920	0.0089	0.0001	0.215836	OK
5	0.8687	-0.0144	0.0002	0.348299	OK
6	0.9039	0.0209	0.0004	0.505915	OK
7	0.9283	0.0452	0.0020	1.096844	OK
8	0.8580	-0.0251	0.0006	0.609773	OK
9	0.9101	0.0270	0.0007	0.653940	OK
10	0.8217	-0.0613	0.0038	1.488069	OK
11	0.9071	0.0240	0.0006	0.582796	OK
12	0.8043	-0.0788	0.0062	1.911227	OK
13	0.9233	0.0402	0.0016	0.975924	OK
14	0.8948	0.0117	0.0001	0.282922	OK
15	0.8969	0.0138	0.0002	0.334620	OK
16	0.8702	-0.0129	0.0002	0.313072	OK
17	0.8645	-0.0186	0.0003	0.450580	OK
18	0.8605	-0.0226	0.0005	0.548845	OK
19	0.8635	-0.0196	0.0004	0.475696	OK
20	0.9827	0.0997	0.0099	2.417345	DESCARTAR

Σ 0.0340
 Σ 17.6618 s 0.0412
 $X_{prom} (\mu)$ 0.8831 cv 0.046684

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52 Análisis estadístico del ensayo de densidad básica corregido en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz

probeta	Densidad (gr/cm3)	$X_i - \mu$ R	$(X_i - \mu)R^2$	$ABS((X - u)/S) > 2.0$	Cumple
1	0.9294	0.0516	0.0027	1.465969	OK
2	0.8538	-0.0240	0.0006	0.682580	OK
3	0.8281	-0.0498	0.0025	1.414597	OK
4	0.8920	0.0141	0.0002	0.401833	OK
5	0.8687	-0.0091	0.0001	0.258941	OK
6	0.9039	0.0261	0.0007	0.741603	OK
7	0.9283	0.0505	0.0025	1.433760	OK
8	0.8580	-0.0199	0.0004	0.565206	OK
9	0.9101	0.0322	0.0010	0.914985	OK

probeta	Densidad (gr/cm ³)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
10	0.8217	-0.0561	0.0031	1.593956	OK
11	0.9071	0.0293	0.0009	0.831654	OK
12	0.8043	-0.0735	0.0054	2.089603	DESCARTAR
13	0.9233	0.0455	0.0021	1.292126	OK
14	0.8948	0.0169	0.0003	0.480410	OK
15	0.8969	0.0190	0.0004	0.540965	OK
16	0.8702	-0.0077	0.0001	0.217678	OK
17	0.8645	-0.0133	0.0002	0.378742	OK
18	0.8605	-0.0174	0.0003	0.493841	OK
19	0.8635	-0.0144	0.0002	0.408160	OK
20					

Σ 0.0235
 Σ 16.6791 s 0.0352
 $X_{prom} (\mu)$ 0.8778 cv 0.040094
 Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53 Análisis estadístico del ensayo de densidad básica segunda corrección en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

probeta	Densidad (gr/cm ³)	Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	0.9294	0.0516	0.0027	1.465969	OK
2	0.8538	-0.0240	0.0006	0.682580	OK
3	0.8281	-0.0498	0.0025	1.414597	OK
4	0.8920	0.0141	0.0002	0.401833	OK
5	0.8687	-0.0091	0.0001	0.258941	OK
6	0.9039	0.0261	0.0007	0.741603	OK
7	0.9283	0.0505	0.0025	1.433760	OK
8	0.8580	-0.0199	0.0004	0.565206	OK
9	0.9101	0.0322	0.0010	0.914985	OK
10	0.8217	-0.0561	0.0031	1.593956	OK
11	0.9071	0.0293	0.0009	0.831654	OK
12					
13	0.9233	0.0455	0.0021	1.292126	OK
14	0.8948	0.0169	0.0003	0.480410	OK
15	0.8969	0.0190	0.0004	0.540965	OK
16	0.8702	-0.0077	0.0001	0.217678	OK
17	0.8645	-0.0133	0.0002	0.378742	OK
18	0.8605	-0.0174	0.0003	0.493841	OK
19	0.8635	-0.0144	0.0002	0.408160	OK
20					

Σ 0.0181
 Σ 15.8748 s 0.0317
 $X_{prom} (\mu)$ 0.8819 cv 0.035984
 Fuente: Elaboración propia.

Dureza

Tabla 54 Análisis estadístico del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro sin tratamiento

probeta	Dureza (kg/mm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	4.5530	-0.1911	0.0365	0.364598	OK
2	5.1871	0.4431	0.1963	0.845539	OK
3	5.4257	0.6817	0.4647	1.300925	OK
4	4.7518	0.0078	0.0001	0.014850	OK
5	4.9628	0.2188	0.0479	0.417574	OK
6	4.7518	0.0078	0.0001	0.014850	OK
7	4.3654	-0.3786	0.1434	0.722552	OK
8	5.4257	0.6817	0.4647	1.300925	OK
9	4.7518	0.0078	0.0001	0.014850	OK
10	5.4257	0.6817	0.4647	1.300925	OK
11	4.5530	-0.1911	0.0365	0.364598	OK
12	4.5530	-0.1911	0.0365	0.364598	OK
13	5.4257	0.6817	0.4647	1.300925	OK
14	3.5694	-1.1746	1.3797	2.241555	DESCARTAR
15	5.1871	0.4431	0.1963	0.845539	OK
16	4.7518	0.0078	0.0001	0.014850	OK
17	4.7518	0.0078	0.0001	0.014850	OK
18	3.5694	-1.1746	1.3797	2.241555	DESCARTAR
19	4.3654	-0.3786	0.1434	0.722552	OK
20	4.5530	-0.1911	0.0365	0.364598	OK
		Σ	5.49		
		s	0.5240		
Σ	94.8803	cv	0.110459445		
Xprom (μ)	4.7440				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55 Análisis estadístico del ensayo de dureza de Brinell corregido en estado anhidro sin tratamiento

probeta	Dureza (kg/mm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	4.5530	-0.3216	0.1034	0.875947369	OK
2	5.1871	0.3126	0.0977	0.851421235	OK
3	5.4257	0.5512	0.3038	1.501446833	OK
4	4.7518	-0.1227	0.0151	0.334316948	OK
5	4.9628	0.0883	0.0078	0.240536513	OK
6	4.7518	-0.1227	0.0151	0.334316948	OK
7	4.3654	-0.5091	0.2592	1.386896048	OK
8	5.4257	0.5512	0.3038	1.501446833	OK
9	4.7518	-0.1227	0.0151	0.334316948	OK
10	5.4257	0.5512	0.3038	1.501446833	OK
11	4.5530	-0.3216	0.1034	0.875947369	OK
12	4.5530	-0.3216	0.1034	0.875947369	OK
13	5.4257	0.5512	0.3038	1.501446833	OK
14					
15	5.1871	0.3126	0.0977	0.851421235	OK
16	4.7518	-0.1227	0.0151	0.334316948	OK
17	4.7518	-0.1227	0.0151	0.334316948	OK
18					
19	4.3654	-0.5091	0.2592	1.386896048	OK
20	4.5530	-0.3216	0.1034	0.875947369	OK

Σ 2.4259

Σ 87.7415 s 0.3671

Xprom (μ) 4.8745 cv 0.075312

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56 Análisis estadístico del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

probeta	Dureza (kg/mm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	5.1871	-0.0274	0.0007	0.046223	OK
2	5.4257	0.2112	0.0446	0.356588	OK
3	5.9513	0.7368	0.5429	1.243769	OK
4	5.1871	-0.0274	0.0007	0.046223	OK
5	4.3654	-0.8491	0.7210	1.433276	OK
6	4.9628	-0.2516	0.0633	0.424780	OK
7	5.0732	-0.1412	0.0199	0.238408	OK
8	4.5530	-0.6615	0.4376	1.116648	OK
9	4.9628	-0.2516	0.0633	0.424780	OK
10	5.6800	0.4655	0.2167	0.785793	OK



probeta	Dureza (kg/mm2)	$(X_i - \mu)R$	$(X_i - \mu)R^2$	$ABS((X - u)/S) > 2.0$	Cumple
11	5.1871	-0.0274	0.0007	0.046223	OK
12	5.6800	0.4655	0.2167	0.785793	OK
13	4.5530	-0.6615	0.4376	1.116648	OK
14	5.6800	0.4655	0.2167	0.785793	OK
15	5.4257	0.2112	0.0446	0.356588	OK
16	4.5530	-0.6615	0.4376	1.116648	OK
17	6.8842	1.6697	2.7879	2.818446	DESCARTAR
18	5.4257	0.2112	0.0446	0.356588	OK
19	5.1871	-0.0274	0.0007	0.046223	OK
20	4.3654	-0.8491	0.7210	1.433276	OK

Σ 7.02
 Σ 104.29 s 0.5924
 $X_{prom} (\mu)$ 5.21 cv 0.113609945

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57 Análisis estadístico del ensayo de dureza de Brinell corregido en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

probeta	Dureza (kg/mm2)	$(X_i - \mu)R$	$(X_i - \mu)R^2$	$ABS((X - u)/S) > 2.0$	Cumple
1	5.1871	0.0605	0.0037	0.130475	OK
2	5.4257	0.2991	0.0895	0.645151	OK
3	5.9513	0.8247	0.6801	1.778711	OK
4	5.1871	0.0605	0.0037	0.130475	OK
5	4.3654	-0.7612	0.5795	1.641777	OK
6	4.9628	-0.1638	0.0268	0.353211	OK
7	5.0732	-0.0534	0.0028	0.115082	OK
8	4.5530	-0.5736	0.3291	1.237218	OK
9	4.9628	-0.1638	0.0268	0.353211	OK
10	5.6800	0.5534	0.3062	1.193550	OK
11	5.1871	0.0605	0.0037	0.130475	OK
12	5.6800	0.5534	0.3062	1.193550	OK
13	4.5530	-0.5736	0.3291	1.237218	OK
14	5.6800	0.5534	0.3062	1.193550	OK
15	5.4257	0.2991	0.0895	0.645151	OK
16	4.5530	-0.5736	0.3291	1.237218	OK
17					
18	5.4257	0.2991	0.0895	0.645151	OK
19	5.1871	0.0605	0.0037	0.130475	OK
20	4.3654	-0.7612	0.5795	1.641777	OK

Σ 4.08
 Σ 97.4053 s 0.4637
 $X_{prom} (\mu)$ 5.1265 cv 0.090441

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58 Análisis estadístico del ensayo de dureza de Brinell en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

probeta	Dureza (kg/mm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	4.5530	-0.4552	0.2072	0.777355	OK
2	5.4257	0.4176	0.1744	0.713234	OK
3	5.6800	0.6719	0.4514	1.147494	OK
4	4.7518	-0.2563	0.0657	0.437761	OK
5	4.5530	-0.4552	0.2072	0.777355	OK
6	4.1882	-0.8199	0.6722	1.400276	OK
7	5.4257	0.4176	0.1744	0.713234	OK
8	4.3654	-0.6427	0.4131	1.097712	OK
9	4.3654	-0.6427	0.4131	1.097712	OK
10	5.1871	0.1790	0.0320	0.305678	OK
11	4.5530	-0.4552	0.2072	0.777355	OK
12	4.9628	-0.0453	0.0021	0.077337	OK
13	4.3654	-0.6427	0.4131	1.097712	OK
14	6.5515	1.5434	2.3821	2.635985	DESCARTAR
15	5.4257	0.4176	0.1744	0.713234	OK
16	5.6800	0.6719	0.4514	1.147494	OK
17	5.1871	0.1790	0.0320	0.305678	OK
18	5.4257	0.4176	0.1744	0.713234	OK
19	4.5530	-0.4552	0.2072	0.777355	OK
20	4.9628	-0.0453	0.0021	0.077337	OK

Σ 100.16 Σ 6.86
 Σ 5.01 s 0.5855
Xprom (μ) 5.01 cv 0.116914241

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59 Análisis estadístico del ensayo de dureza de Brinell corregido en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

probeta	Dureza (kg/mm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	4.5530	-0.3739	0.1398	0.781553	OK
2	5.4257	0.4988	0.2488	1.042656	OK
3	5.6800	0.7531	0.5672	1.574111	OK
4	4.7518	-0.1751	0.0307	0.365952	OK
5	4.5530	-0.3739	0.1398	0.781553	OK
6	4.1882	-0.7387	0.5456	1.543895	OK
7	5.4257	0.4988	0.2488	1.042656	OK
8	4.3654	-0.5615	0.3153	1.173611	OK
9	4.3654	-0.5615	0.3153	1.173611	OK
10	5.1871	0.2602	0.0677	0.543882	OK
11	4.5530	-0.3739	0.1398	0.781553	OK

probeta	Dureza (kg/mm ²)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
12	152.0227	5.0599	25.6028	0.315235	OK
13	160.6546	13.6918	187.4658	0.853005	OK
14	126.3553	-20.6075	424.6706	1.283857	OK
15	131.9976	-14.9653	223.9589	0.932341	OK
16	141.5435	-5.4193	29.3688	0.337624	OK
17	130.5342	-16.4286	269.8993	1.023509	OK
18	155.0237	8.0608	64.9769	0.502193	OK
19	152.5234	5.5605	30.9195	0.346423	OK
20	161.7466	14.7837	218.5590	0.921032	OK

		Σ	5152.87
Σ	2939.2566	S	16.0513
Xprom (μ)	146.9628	CV	0.109219937

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63 Análisis estadístico del ensayo *de* cizallamiento paralelo al grano corregido en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

probeta	Esfuerzo (kg/cm ²)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	145.7519	-3.6680	13.4542	0.299028098	OK
2	150.1543	0.7345	0.5395	0.059878208	OK
3	144.3864	-5.0334	25.3353	0.410342431	OK
4	163.2038	13.7840	189.9974	1.12371786	OK
5	146.6800	-2.7398	7.5067	0.223362023	OK
6	173.8479	24.4280	596.7275	1.991459366	OK
7	153.1686	3.7487	14.0531	0.305611317	OK
8	141.8434	-7.5765	57.4030	0.617662027	OK
9					
10	140.8126	-8.6072	74.0844	0.701692288	OK
11	166.7267	17.3068	299.5270	1.410916854	OK
12	152.0227	2.6029	6.7751	0.2121973	OK
13	160.6546	11.2348	126.2206	0.915900911	OK
14	126.3553	-23.0646	531.9739	1.880306315	OK
15	131.9976	-17.4223	303.5359	1.420327297	OK
16	141.5435	-7.8763	62.0364	0.642106086	OK
17	130.5342	-18.8856	356.6672	1.539625302	OK
18	155.0237	5.6038	31.4026	0.4568424	OK
19	152.5234	3.1035	9.6317	0.253009002	OK
20	161.7466	12.3267	151.9480	1.004918648	OK

		Σ	2858.8196
Σ	2838.9772	S	12.2664
Xprom (μ)	149.4199	CV	0.082093

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64 Análisis estadístico del ensayo de cizallamiento paralelo al grano en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

probeta	Esfuerzo (kg/cm ²)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	123.7997	-30.0560	903.3632	1.933116	OK
2	145.2223	-8.6334	74.5357	0.555276	OK
3	187.0281	33.1724	1100.4103	2.133556	DESCARTAR
4	141.7451	-12.1106	146.6668	0.778920	OK
5	153.4178	-0.4379	0.1917	0.028163	OK
6	150.8309	-3.0248	9.1491	0.194544	OK
7	159.4740	5.6183	31.5654	0.361354	OK
8	140.0700	-13.7856	190.0436	0.886653	OK
9	149.2743	-4.5814	20.9892	0.294662	OK
10	126.4518	-27.4038	750.9699	1.762536	OK
11	170.6914	16.8357	283.4411	1.082825	OK
12	161.9987	8.1430	66.3087	0.523736	OK
13	179.8092	25.9535	673.5858	1.669257	OK
14	169.6199	15.7643	248.5119	1.013912	OK
15	150.1956	-3.6601	13.3960	0.235405	OK
16	156.8131	2.9574	8.7464	0.190214	OK
17	162.8806	9.0249	81.4488	0.580456	OK
18	143.5144	-10.3413	106.9422	0.665122	OK
19	144.4373	-9.4184	88.7065	0.605766	OK
20	159.8393	5.9837	35.8044	0.384853	OK

Σ 4834.7768
 Σ 3077.1134 s 15.5480
Xprom (μ) 153.8557 cv 0.10105445

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65 Análisis estadístico del ensayo de cizallamiento paralelo al grano corregido en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

probeta	Esfuerzo (kg/cm ²)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	123.7997	-28.3101	801.4608	2.035184	DESCARTAR
2	145.2223	-6.8875	47.4375	0.495135	OK
3					
4	141.7451	-10.3647	107.4268	0.745107	OK
5	153.4178	1.3080	1.7110	0.094034	OK
6	150.8309	-1.2788	1.6354	0.091934	OK
7	159.4740	7.3642	54.2318	0.529407	OK
8	140.0700	-12.0397	144.9547	0.865523	OK
9	149.2743	-2.8355	8.0399	0.203839	OK
10	126.4518	-25.6579	658.3285	1.844522	OK
11	170.6914	18.5816	345.2768	1.335815	OK

probeta	Dureza (kg/mm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
12	161.9987	9.8889	97.7910	0.710906	OK
13	179.8092	27.6994	767.2595	1.991286	OK
14	169.6199	17.5102	306.6063	1.258789	OK
15	150.1956	-1.9141	3.6639	0.137606	OK
16	156.8131	4.7034	22.1215	0.338119	OK
17	162.8806	10.7708	116.0105	0.774303	OK
18	143.5144	-8.5954	73.8804	0.617912	OK
19	144.4373	-7.6725	58.8672	0.551568	OK
20	159.8393	7.7296	59.7466	0.555673	OK

		Σ	3676.4502
Σ	2890.0853	s	13.9103
Xprom (μ)	152.1098	cv	0.091449322

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66 Análisis estadístico del ensayo de cizallamiento paralelo al grano segunda corrección en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz

probeta	Esfuerzo (kg/cm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1					
2	145.2223	-6.8875	47.4375	0.495135	OK
3					
4	141.7451	-10.3647	107.4268	0.745107	OK
5	153.4178	1.3080	1.7110	0.094034	OK
6	150.8309	-1.2788	1.6354	0.091934	OK
7	159.4740	7.3642	54.2318	0.529407	OK
8	140.0700	-12.0397	144.9547	0.865523	OK
9	149.2743	-2.8355	8.0399	0.203839	OK
10	126.4518	-25.6579	658.3285	1.844522	OK
11	170.6914	18.5816	345.2768	1.335815	OK
12	161.9987	9.8889	97.7910	0.710906	OK
13	179.8092	27.6994	767.2595	1.991286	OK
14	169.6199	17.5102	306.6063	1.258789	OK
15	150.1956	-1.9141	3.6639	0.137606	OK
16	156.8131	4.7034	22.1215	0.338119	OK
17	162.8806	10.7708	116.0105	0.774303	OK
18	143.5144	-8.5954	73.8804	0.617912	OK
19	144.4373	-7.6725	58.8672	0.551568	OK
20	159.8393	7.7296	59.7466	0.555673	OK

		Σ	2874.9894
Σ	2766.2856	s	12.6381
Xprom (μ)	153.6825	cv	0.082235

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la compresión axial o paralela al grano.

Tabla 67 Análisis estadístico del ensayo de compresión axial en estado anhidro sin tratamiento

probeta	Esfuerzo (kg/cm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	338.4506	33.7194	1136.9986	1.080802	OK
2	331.7636	27.0324	730.7529	0.866466	OK
3	350.1260	45.3948	2060.6877	1.455031	OK
4	336.2803	31.5491	995.3454	1.011237	OK
5	297.8099	-6.9213	47.9037	0.221846	OK
6	317.2767	12.5455	157.3906	0.402120	OK
7	341.8117	37.0806	1374.9681	1.188536	OK
8	282.2894	-22.4417	503.6318	0.719321	OK
9	280.6065	-24.1247	582.0009	0.773264	OK
10	315.6627	10.9315	119.4973	0.350385	OK
11	257.9195	-46.8117	2191.3315	1.500445	OK
12	291.4245	-13.3067	177.0673	0.426516	OK
13	365.5737	60.8426	3701.8168	1.950175	OK
14	286.2987	-18.4324	339.7545	0.590811	OK
15	312.2695	7.5383	56.8263	0.241624	OK
16	288.9803	-15.7509	248.0907	0.504860	OK
17	303.6290	-1.1021	1.2147	0.035327	OK
18	273.8523	-30.8789	953.5047	0.989755	OK
19	273.8589	-30.8723	953.0996	0.989544	OK
20	248.7396	-55.9916	3135.0546	1.794687	OK

		Σ	19466.9377
Σ	6094.6233	S	31.1985
Xprom (μ)	304.7312	CV	0.102380

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68 Análisis estadístico del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

probeta	Esfuerzo (kg/cm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	369.6620	22.0842	487.7122	0.714712	OK
2	355.0475	7.4696	55.7952	0.241740	OK
3	381.9760	34.3981	1183.2317	1.113229	OK
4	340.4296	-7.1482	51.0971	0.231338	OK
5	365.0613	17.4835	305.6727	0.565819	OK
6	359.3791	11.8013	139.2707	0.381926	OK
7	338.5669	-9.0109	81.1968	0.291621	OK
8	317.5110	-30.0668	904.0146	0.973055	OK
9	381.4965	33.9187	1150.4786	1.097713	OK
10	347.5286	-0.0492	0.0024	0.001593	OK
11	383.1823	35.6045	1267.6794	1.152270	OK
12	364.9605	17.3827	302.1571	0.562556	OK
13	333.4993	-14.0786	198.2064	0.455626	OK

probeta	Dureza (kg/mm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
14	247.3676	-100.2102	10042.0916	3.243109	DESCARTAR
15	322.4174	-25.1604	633.0476	0.814269	OK
16	368.9834	21.4056	458.1997	0.692751	OK
17	356.3366	8.7587	76.7152	0.283459	OK
18	368.6865	21.1087	445.5777	0.683142	OK
19	313.1239	-34.4540	1187.0766	1.115036	OK
20	336.3406	-11.2372	126.2751	0.363671	OK

Σ 19095.4986
 Σ 6951.5567 S 30.8994
Xprom (μ) 347.5778 **CV** 0.088899

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69 Análisis estadístico del ensayo de compresión axial corregido en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

probeta	Esfuerzo (kg/cm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	369.6620	16.8100	282.5756	0.778960	OK
2	355.0475	7.4696	55.7952	0.101733	OK
3	381.9760	34.3981	1183.2317	1.349576	OK
4	340.4296	-7.1482	51.0971	0.575645	OK
5	365.0613	17.4835	305.6727	0.565767	OK
6	359.3791	11.8013	139.2707	0.302459	OK
7	338.5669	-9.0109	81.1968	0.661961	OK
8	317.5110	-30.0668	904.0146	1.637673	OK
9	381.4965	33.9187	1150.4786	1.327360	OK
10	347.5286	-0.0492	0.0024	0.246683	OK
11	383.1823	35.6045	1267.6794	1.405477	OK
12	364.9605	17.3827	302.1571	0.561094	OK
13	333.4993	-14.0786	198.2064	0.896792	OK
14					
15	322.4174	-25.1604	633.0476	1.410315	OK
16	368.9834	21.4056	458.1997	0.747513	OK
17	356.3366	8.7587	76.7152	0.161469	OK
18	368.6865	21.1087	445.5777	0.733756	OK
19	313.1239	-34.4540	1187.0766	1.840969	OK
20	336.3406	-11.2372	126.2751	0.765125	OK

Σ 8848.2703
 Σ 6704.1891 S 21.5800
Xprom (μ) 352.8521 **CV** 0.061159

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70 Análisis estadístico del ensayo de compresión axial en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz

probeta	Esfuerzo (kg/cm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	403.5906	37.9734	1441.9817	1.639684	OK
2	351.3220	-14.2952	204.3536	0.617264	OK
3	325.9225	-39.6947	1575.6721	1.714009	OK
4	394.9385	29.3213	859.7383	1.266086	OK
5	379.8433	14.2261	202.3820	0.614280	OK
6	374.2773	8.6600	74.9962	0.373938	OK
7	345.9288	-19.6884	387.6336	0.850141	OK
8	389.7365	24.1193	581.7414	1.041466	OK
9	354.6392	-10.9780	120.5173	0.474029	OK
10	373.8475	8.2303	67.7374	0.355381	OK
11	379.9311	14.3139	204.8882	0.618071	OK
12	372.0900	6.4728	41.8966	0.279492	OK
13	406.4653	40.8481	1668.5672	1.763811	OK
14	342.3768	-23.2404	540.1180	1.003517	OK
15	380.2167	14.5995	213.1458	0.630403	OK
16	337.3210	-28.2962	800.6777	1.221825	OK
17	364.2082	-1.4090	1.9852	0.060840	OK
18	329.3929	-36.2244	1312.2044	1.564159	OK
19	360.7504	-4.8669	23.6863	0.210150	OK
20	345.5458	-20.0714	402.8627	0.866680	OK

		Σ	10726.7858
Σ	7312.3443	S	23.1590
Xprom (μ)	365.6172	CV	0.063342

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la compresión perpendicular al grano.

Tabla 71 Análisis estadístico del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro sin tratamiento

probeta	Esfuerzo (kg/cm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	152.9776	-0.2752	0.0757	0.022669	OK
2	138.5097	-14.7432	217.3613	1.214419	OK
3	128.5156	-24.7372	611.9294	2.037642	DESCARTAR
4	144.2553	-8.9975	80.9549	0.741138	OK
5	159.6909	6.4381	41.4493	0.530317	OK
6	147.4201	-5.8327	34.0202	0.480447	OK
7	157.3546	4.1017	16.8242	0.337866	OK
8	176.5559	23.3031	543.0342	1.919512	OK
9	154.1026	0.8498	0.7222	0.070000	OK
10	162.7990	9.5462	91.1299	0.786335	OK
11	172.8395	19.5867	383.6378	1.613385	OK

probeta	Dureza (kg/mm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
12	151.5116	-1.7412	3.0318	0.143426	OK
13	151.3631	-1.8898	3.5713	0.155664	OK
14	132.7568	-20.4960	420.0877	1.688291	OK
15	162.0931	8.8403	78.1508	0.728189	OK
16	155.1067	1.8538	3.4366	0.152702	OK
17	169.2356	15.9827	255.4478	1.316523	OK
18	145.2727	-7.9801	63.6827	0.657337	OK
19	144.5715	-8.6813	75.3651	0.715093	OK
20	158.1246	4.8718	23.7342	0.401296	OK

		Σ	2947.6473
Σ	3065.0566	s	12.1401
Xprom (μ)	153.2528	cv	0.079216

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72 Análisis estadístico del ensayo de compresión perpendicular corregido en estado anhidro sin tratamiento

probeta	Esfuerzo (kg/cm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	152.9776	-1.5772	2.4874	0.143238	OK
2	138.5097	-16.0451	257.4464	1.214419	OK
3					
4	144.2553	-10.2995	106.0787	0.741138	OK
5	159.6909	5.1362	26.3801	0.530317	OK
6	147.4201	-7.1346	50.9031	0.480447	OK
7	157.3546	2.7998	7.8387	0.337866	OK
8	176.5559	22.0011	484.0500	1.919512	OK
9	154.1026	-0.4522	0.2044	0.070000	OK
10	162.7990	8.2442	67.9675	0.786335	OK
11	172.8395	18.2847	334.3309	1.613385	OK
12	151.5116	-3.0432	9.2608	0.143426	OK
13	151.3631	-3.1917	10.1872	0.155664	OK
14	132.7568	-21.7980	475.1528	1.688291	OK
15	162.0931	7.5383	56.8265	0.728189	OK
16	155.1067	0.5519	0.3046	0.152702	OK
17	169.2356	14.6808	215.5252	1.316523	OK
18	145.2727	-9.2821	86.1575	0.657337	OK
19	144.5715	-9.9833	99.6657	0.715093	OK
20	158.1246	3.5698	12.7436	0.401296	OK

		Σ	2303.5111
Σ	2936.5410	s	11.0108
Xprom (μ)	154.5548	cv	0.071242

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73 Análisis estadístico del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

probeta	Esfuerzo (kg/cm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	181.5876	3.3386	11.1462	0.197684	OK
2	204.6855	26.4365	698.8883	1.565349	OK
3	181.5858	3.3368	11.1343	0.197578	OK
4	191.6123	13.3633	178.5774	0.791262	OK
5	135.6878	-42.5612	1811.4561	2.520120	DESCARTAR
6	174.0328	-4.2162	17.7765	0.249649	OK
7	164.7587	-13.4902	181.9868	0.798780	OK
8	195.1841	16.9351	286.7980	1.002756	OK
9	183.0207	4.7718	22.7697	0.282544	OK
10	163.2921	-14.9569	223.7084	0.885622	OK
11	176.1134	-2.1356	4.5609	0.126454	OK
12	187.6853	9.4363	89.0441	0.558740	OK
13	173.2908	-4.9581	24.5830	0.293579	OK
14	160.6377	-17.6113	310.1582	1.042795	OK
15	192.0319	13.7829	189.9682	0.816108	OK
16	156.3025	-21.9465	481.6470	1.299486	OK
17	197.1014	18.8525	355.4157	1.116286	OK
18	161.8605	-16.3885	268.5813	0.970388	OK
19	200.7387	22.4897	505.7884	1.331655	OK
20	183.7700	5.5211	30.4820	0.326911	OK

		Σ	5704.4703
Σ	3564.9796	s	16.8886
Xprom (μ)	178.2490	cv	0.094747

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74 Análisis estadístico del ensayo de compresión perpendicular corregido en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

probeta	Esfuerzo (kg/cm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	181.5876	1.0985	1.2068	0.077702	OK
2	204.6855	24.1964	585.4673	1.711470	OK
3	181.5858	1.0967	1.2028	0.077575	OK
4	191.6123	11.1232	123.7261	0.786771	OK
5					
6	174.0328	-6.4563	41.6835	0.456667	OK
7	164.7587	-15.7303	247.4427	1.112642	OK
8	195.1841	14.6950	215.9444	1.039415	OK
9	183.0207	2.5317	6.4095	0.179073	OK
10	163.2921	-17.1969	295.7351	1.216380	OK
11	176.1134	-4.3757	19.1466	0.309502	OK
12	187.6853	7.1963	51.7861	0.509008	OK
13	173.2908	-7.1982	51.8140	0.509145	OK

probeta	Dureza (kg/mm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
14	160.6377	-19.8514	394.0769	1.404134	OK
15	192.0319	11.5428	133.2369	0.816451	OK
16	156.3025	-24.1865	584.9878	1.710769	OK
17	197.1014	16.6124	275.9721	1.175034	OK
18	161.8605	-18.6285	347.0216	1.317638	OK
19	200.7387	20.2497	410.0494	1.432307	OK
20	183.7700	3.2810	10.7649	0.232072	OK

		Σ	3797.6744
Σ	3429.2918	s	14.1378
Xprom (μ)	180.4890	cv	0.078331

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75 Análisis estadístico del ensayo de compresión perpendicular en estado anhidro tratado con aceite quemado automotriz

probeta	Esfuerzo (kg/cm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	171.4893	13.5058	182.4072	1.403654	OK
2	150.1160	-7.8675	61.8973	0.817664	OK
3	168.4146	10.4312	108.8090	1.084106	OK
4	167.2377	9.2542	85.6398	0.961783	OK
5	173.7488	15.7653	248.5450	1.638482	OK
6	162.5975	4.6140	21.2889	0.479530	OK
7	147.4708	-10.5127	110.5161	1.092577	OK
8	165.0808	7.0973	50.3724	0.737625	OK
9	144.1632	-13.8203	191.0015	1.436341	OK
10	150.0357	-7.9478	63.1669	0.826007	OK
11	166.7434	8.7600	76.7370	0.910420	OK
12	167.3506	9.3671	87.7432	0.973522	OK
13	164.0497	6.0662	36.7988	0.630458	OK
14	161.2935	3.3100	10.9562	0.344009	OK
15	154.0616	-3.9219	15.3810	0.407597	OK
16	149.8593	-8.1242	66.0022	0.844342	OK
17	145.4101	-12.5734	158.0908	1.306750	OK
18	157.3118	-0.6717	0.4511	0.069807	OK
19	149.5712	-8.4123	70.7662	0.874283	OK
20	143.6640	-14.3195	205.0485	1.488221	OK

		Σ	1851.6190
Σ	3159.6696	s	9.6219
Xprom (μ)	157.9835	cv	0.060904

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la flexión estática.

Tabla 76 Análisis estadístico del ensayo de flexión estática en estado anhidro sin tratamiento

probeta	Esfuerzo (kg/cm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	565.6108	-179.9252	32373.0836	1.768272	OK
2	552.2050	-193.3311	37376.8965	1.900022	OK
3	642.2745	-103.2616	10662.9545	1.014836	OK
4	751.4878	5.9518	35.4238	0.058493	OK
5	713.6092	-31.9269	1019.3257	0.313771	OK
6	813.9051	68.3690	4674.3256	0.671918	OK
7	706.5433	-38.9927	1520.4330	0.383213	OK
8	715.4692	-30.0669	904.0181	0.295492	OK
9	872.6192	127.0832	16150.1342	1.248950	OK
10	887.8225	142.2865	20245.4390	1.398365	OK
11	922.9187	177.3827	31464.6226	1.743284	OK
12	680.3119	-65.2242	4254.1907	0.641011	OK
13	897.3398	151.8037	23044.3773	1.491899	OK
14	713.9702	-31.5658	996.3999	0.310223	OK
15	615.8012	-129.7349	16831.1333	1.275010	OK
16	770.4819	24.9459	622.2977	0.245164	OK
17	807.8363	62.3002	3881.3155	0.612275	OK
18	775.3783	29.8422	890.5575	0.293284	OK
19	756.0087	10.4726	109.6756	0.102923	OK
20	749.1274	3.5913	12.8977	0.035295	OK

		Σ	207069.5017
Σ	14910.7210	S	101.7520
Xprom (μ)	745.5360	CV	0.136482

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77 Análisis estadístico del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

probeta	Esfuerzo (kg/cm2)	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	723.0186	-26.2331	688.1748	0.353011	OK
2	909.6322	160.3805	25721.9124	2.158194	DESCARTAR
3	802.6398	53.3881	2850.2916	0.718428	OK
4	680.9875	-68.2643	4660.0090	0.918612	OK
5	691.2535	-57.9983	3363.7989	0.780466	OK
6	815.1229	65.8712	4339.0125	0.886409	OK
7	626.6988	-122.5530	15019.2269	1.649159	OK
8	691.9881	-57.2636	3279.1222	0.770580	OK
9	720.4486	-28.8031	829.6206	0.387595	OK
10	641.9548	-107.2970	11512.6358	1.443864	OK
11	851.1907	101.9389	10391.5462	1.371762	OK

probeta	Dureza (kg/mm ²)	$(X_i - \mu)R$	$(X_i - \mu)R^2$	$ABS((X - u)/S) > 2.0$	Cumple
12	768.2486	18.9969	360.8821	0.255636	OK
13	775.5009	26.2492	689.0190	0.353227	OK
14	813.0952	63.8435	4075.9940	0.859123	OK
15	756.8165	7.5648	57.2263	0.101797	OK
16	780.0313	30.7796	947.3822	0.414192	OK
17	621.0640	-128.1877	16432.0958	1.724985	OK
18	763.2926	14.0409	197.1460	0.188944	OK
19	818.4389	69.1872	4786.8702	0.931032	OK
20	733.6109	-15.6408	244.6345	0.210474	OK

Σ 110446.6013
 Σ 14985.0344 S 74.3124
Xprom (μ) 749.2517 **CV** 0.099182

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78 Análisis estadístico del ensayo de flexión estática corregido en estado anhidro tratado con cola sintética blanca

probeta	Esfuerzo (kg/cm ²)	$(X_i - \mu)R$	$(X_i - \mu)R^2$	$ABS((X - u)/S) > 2.0$	Cumple
1	723.0186	-26.2331	688.1748	0.266438	OK
2					
3	802.6398	53.3881	2850.2916	0.925903	OK
4	680.9875	-68.2643	4660.0090	0.895862	OK
5	691.2535	-57.9983	3363.7989	0.742127	OK
6	815.1229	65.8712	4339.0125	1.112839	OK
7	626.6988	-122.5530	15019.2269	1.708845	OK
8	691.9881	-57.2636	3279.1222	0.731126	OK
9	720.4486	-28.8031	829.6206	0.304925	OK
10	641.9548	-107.2970	11512.6358	1.480384	OK
11	851.1907	101.9389	10391.5462	1.652960	OK
12	768.2486	18.9969	360.8821	0.410888	OK
13	775.5009	26.2492	689.0190	0.519492	OK
14	813.0952	63.8435	4075.9940	1.082474	OK
15	756.8165	7.5648	57.2263	0.239691	OK
16	780.0313	30.7796	947.3822	0.587336	OK
17	621.0640	-128.1877	16432.0958	1.793227	OK
18	763.2926	14.0409	197.1460	0.336671	OK
19	818.4389	69.1872	4786.8702	1.162497	OK
20	733.6109	-15.6408	244.6345	0.107817	OK

Σ 84724.6889
 Σ 14075.4021 S 66.7772
Xprom (μ) 740.8106 **CV** 0.090141

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79 Análisis estadístico del ensayo de flexión estática en estado anhidro tratado con aceite requemado automotriz

probeta	Esfuerzo (kg/cm ²) ⁴	(Xi-μ)R	(Xi-μ)R ²	ABS((X-u)/S)>2.0	Cumple
1	849.8606	-21.2477	451.4633	0.162777	OK
2	782.1469	-88.9613	7914.1159	0.681527	OK
3	1068.2028	197.0946	38846.2891	1.509929	OK
4	678.5482	-192.5600	37079.3719	1.475190	OK
5	875.9363	4.8280	23.3099	0.036987	OK
6	818.8431	-52.2651	2731.6459	0.400400	OK
7	1035.5255	164.4172	27033.0309	1.259589	OK
8	837.1321	-33.9761	1154.3759	0.260289	OK
9	1085.5815	214.4733	45998.7904	1.643065	OK
10	819.1257	-51.9825	2702.1828	0.398235	OK
11	669.4800	-201.6283	40653.9573	1.544661	OK
12	867.7529	-3.3553	11.2584	0.025705	OK
13	1048.7382	177.6300	31552.4021	1.360811	OK
14	704.8067	-166.3015	27656.1847	1.274025	OK
15	914.0009	42.8927	1839.7809	0.328598	OK
16	794.0215	-77.0867	5942.3552	0.590556	OK
17	1041.3975	170.2892	28998.4249	1.304574	OK
18	684.7373	-186.3709	34734.1077	1.427775	OK
19	927.1415	56.0332	3139.7230	0.429267	OK
20	919.1854	48.0772	2311.4167	0.368316	OK

		Σ	340774.1870
Σ	17422.1644	S	130.5324
Xprom (μ)	871.1082	CV	0.149846

Fuente: Elaboración propia.

3.6.7.3 Análisis de la prueba

Se encontró resultados que no cumplían el criterio de Chauvenet, por tanto, estas fueron descartadas; y se procedió con el cálculo estadístico aplicando el criterio de Chauvenet con los datos que cumplieron el primer análisis.

3.6.8 Límite de Confianza (t de Student)

3.6.8.1 Procesamiento o cálculo de la prueba.

Para escoger el dato representativo de la muestra se aplicó la distribución estadística de Student (t) especial para pequeñas muestras, se escoge el límite inferior, y con $V=N-1$ y $t_{0.95}$ entramos a la tabulación de la función (t) en el anexo.

El Percentil 5% equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t) y está dado por la siguiente fórmula:

$$PER\ 5\% = \mu \pm t_{0.95} (S/\sqrt{(N-1)})$$

N= Numero de datos

S= Desviación estándar

μ = Media aritmética

Ahora calculamos el límite inferior para los resultados de todos los ensayos:

3.6.8.2 Diagramas y tablas

Tabla 80 Limite de confianza (PER 5%) para cada ensayo

Ensayo	Tipo de Tratamiento	Magnitud	N	V=N-1	S	t _{0.95}	PER 5%
DENSIDAD BÁSICA (gr/cm ³)	sin tratamiento	0.8373	20	19	0.03631	1.73	0.8229
	sumergido en cola sintética blanca	0.9115	18	17	0.03120	1.74	0.8983
	sumergido en aceite quemado automotriz	0.8819	18	17	0.03174	1.74	0.8685
DUREZA DE BRINELL (kg/mm ²)	sin tratamiento	4.8745	18	17	0.36711	1.74	4.7196
	sumergido en cola sintética blanca	5.1265	19	18	0.46365	1.73	4.9374
	sumergido en aceite quemado automotriz	4.9269	19	18	0.47844	1.73	4.7318
CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (kg/cm ²)	sin tratamiento	136.4772	19	18	10.33212	1.73	132.2642
	sumergido en cola sintética blanca	149.4199	19	18	12.26638	1.73	144.4181
	sumergido en aceite quemado automotriz	153.6825	18	17	12.63810	1.74	148.3491
COMPRESION AXIAL (kg/cm ²)	sin tratamiento	304.7312	20	19	31.19851	1.73	292.3488
	sumergido en cola sintética blanca	352.8521	19	18	21.58005	1.73	344.0525
	sumergido en aceite quemado automotriz	365.6172	20	19	23.15900	1.73	356.4256
COMPRESION PERPENDICULAR (kg/cm ²)	sin tratamiento	154.5548	19	18	11.01079	1.73	150.0650
	sumergido en cola sintética blanca	180.489	19	18	14.13781	1.73	174.7241
	sumergido en aceite quemado automotriz	157.9835	20	19	9.62190	1.73	154.1647
FLEXION ESTATICA (kg/cm ²)	sin tratamiento	745.536	20	19	101.75203	1.73	705.1517
	sumergido en cola sintética blanca	740.8106	19	18	66.77720	1.73	713.5812
	sumergido en aceite quemado automotriz	871.1082	20	19	130.53241	1.73	819.3013

Fuente: Elaboración propia.

3.6.9 Esfuerzos admisibles

3.6.9.1 Procesamiento o cálculo de la prueba.

Los esfuerzos admisibles se calcularon de acuerdo a lo consignado en la NTP E.010 y se aplicó la siguiente expresión:

$$\text{ESFUERZOS ADMISIBLES} = \text{F.C.} \times \text{F.T.} \times \text{Esfuerzos Básicos} / \text{F.S.} \times \text{F.D.C.}$$

F.C.= Coeficiente de reducción por calidad (defectos)

F.T.= Coeficiente de reducción por tamaño

F.S.= Coeficiente de seguridad

F.D.C.= Coeficiente de duración de carga

Los valores de cada coeficiente se consignan en la Tabla N°

Tabla 81 Coeficientes de reducción, seguridad y duración de la carga

	FLEXION	COMPRESION PARALELA	CORTE PARALELO	COMPRESION PERPENDICULAR
F.C.	0.80	*	*	*
F.T.	0.90	*	*	*
F.S.	2.00	1.60	4.00**	1.60
F.D.C.	1.15	1.25	*	*

(*) Incluido en F.S.

(**) Incluye un coeficiente por concentración de esfuerzos = 2.00 debido a la posible presencia de rajaduras por secado en los extremos de la pieza

Fuente: Norma Técnica Peruana E.010

3.6.9.2 Diagramas y tablas

Tabla 82 Resultados del cálculo del coeficientes de reducción, seguridad y duración de la carga

Ensayo	Tipo de Tratamiento	per 5%	F.C.	F.T.	F.S.	F.D.C.	Esfuerzo Admisible
CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (kg/cm ²)	sin tratamiento	132.2642	*	*	4.00**	*	33.07
	sumergido en cola sintética blanca	144.4181	*	*	4.00**	*	36.10
	sumergido en aceite quemado automotriz	148.3491	*	*	4.00**	*	37.09
COMPRESION AXIAL (kg/cm ²)	sin tratamiento	292.3488	*	*	1.6	1.25	146.17
	sumergido en cola sintética blanca	344.0525	*	*	1.6	1.25	172.03
	sumergido en aceite quemado automotriz	356.4256	*	*	1.6	1.25	178.21
COMPRESION PERPENDICULAR (kg/cm ²)	sin tratamiento	150.0650	*	*	1.6	*	93.79
	sumergido en cola sintética blanca	174.7241	*	*	1.6	*	109.20
	sumergido en aceite quemado automotriz	154.1647	*	*	1.6	*	96.35
FLEXION ESTATICA (kg/cm ²)	sin tratamiento	705.1517	0.8	0.9	2	1.15	220.74
	sumergido en cola sintética blanca	713.5812	0.8	0.9	2	1.15	223.38
	sumergido en aceite quemado automotriz	819.3013	0.8	0.9	2	1.15	256.48

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV: RESULTADOS

En la Tabla 83, se muestra el resumen de los resultados obtenidos de las propiedades evaluadas.

Tabla 83 Resumen de los resultados obtenidos de las propiedades evaluadas

Ensayo	Tipo de Tratamiento	Magnitud	Unidades
DENSIDAD BÁSICA	sin tratamiento	0.8228	(gr/cm ³)
	sumergido en cola sintética blanca	0.8983	
	sumergido en aceite requemado automotriz	0.8685	
DUREZA DE BRINELL	sin tratamiento	4.7195	(kg/mm ²)
	sumergido en cola sintética blanca	4.9374	
	sumergido en aceite requemado automotriz	4.7318	
CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO	sin tratamiento	33.07	(kg/cm ²)
	sumergido en cola sintética blanca	36.10	
	sumergido en aceite requemado automotriz	37.09	
COMPRESION AXIAL	sin tratamiento	146.17	(kg/cm ²)
	sumergido en cola sintética blanca	172.03	
	sumergido en aceite requemado automotriz	178.21	
COMPRESION PERPENDICULAR	sin tratamiento	93.79	(kg/cm ²)
	sumergido en cola sintética blanca	109.20	
	sumergido en aceite requemado automotriz	96.35	
FLEXION ESTATICA	sin tratamiento	220.74	(kg/cm ²)
	sumergido en cola sintética blanca	223.38	
	sumergido en aceite requemado automotriz	256.48	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 84 : Esfuerzos admisibles

GRUPO	ESFUERZOS ADMISIBLES MPa (KG/CM ²)				
	FLEXIÓN (fm)	TRACCIÓN (ft)	COMPRESIÓN PARALELA (fc//)	COMPRESIÓN PERPENDICULAR (fc⊥)	CORTE PARALELO (fv)
A	20.6(210)	14.2 (145)	14.2 (145)	3.9 (40)	1.5 (15)
B	14.7 (150)	10.3 (105)	10.8 (110)	2.7 (28)	1.2 (12)
C	9.8 (100)	7.8 (80)	7.8 (80)	1.5 (15)	0.8 (8)

Fuente: Norma Técnica Peruana E.010

4.1 Resultados de los ensayos de las Propiedades Físicas

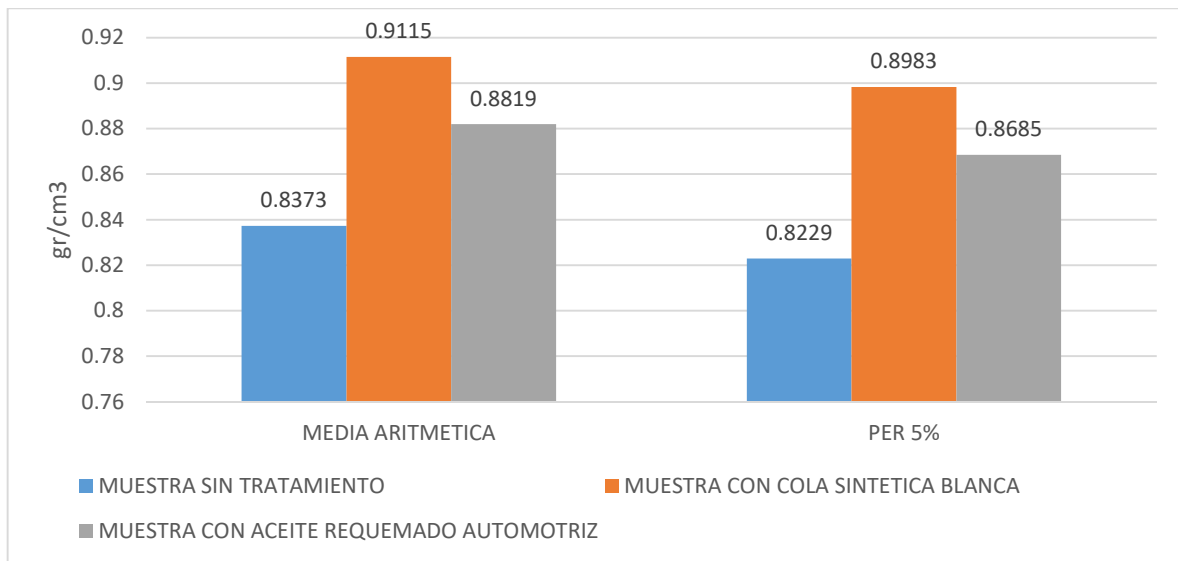
4.1.1 Resultados del ensayo de densidad básica

Tabla 85 Análisis comparativo de los resultados del ensayo de densidad básica

		MUESTRAS NO TRATADAS	MUESTRA CON COLA SINTETICA BLANCA	MUESTRA CON ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ
MEDIA ARITMETICA	gr/cm ³	0.8373	0.9115	0.8819
DESVIACION ESTANDAR	gr/cm ³	0.03631	0.03120	0.03120
COEFICIENTE DE VARIACION	gr/cm ³	0.043371	0.034224	0.035984
PER 5%	gr/cm ³	0.8229	0.8983	0.8685

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 19 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de densidad básica



Fuente: Elaboración propia.

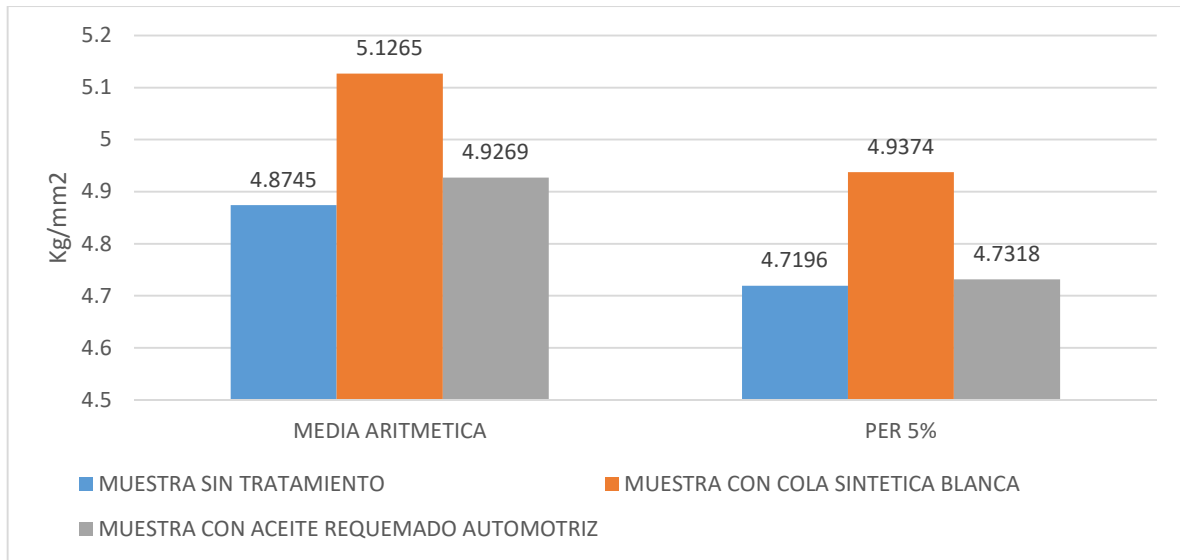
4.1.2 Resultados del ensayo de dureza de Brinell

Tabla 86 Análisis comparativo de los resultados del ensayo de dureza de Brinell
Brinell

		MUESTRAS NO TRATADAS	MUESTRA CON COLA SINTETICA BLANCA	MUESTRA CON ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ
MEDIA ARITMETICA	Kg/mm ²	4.8745	5.1265	4.9269
DESVIACION ESTANDAR	Kg/mm ²	0.36711	0.46365	0.47844
COEFICIENTE DE VARIACION	Kg/mm ²	0.075312	0.090441	0.097107
PER 5%	Kg/mm ²	4.7196	4.9374	4.7318

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 20 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de dureza de Brinell



Fuente: Elaboración propia.

4.2 Resultados de los ensayos de las Propiedades Mecánicas

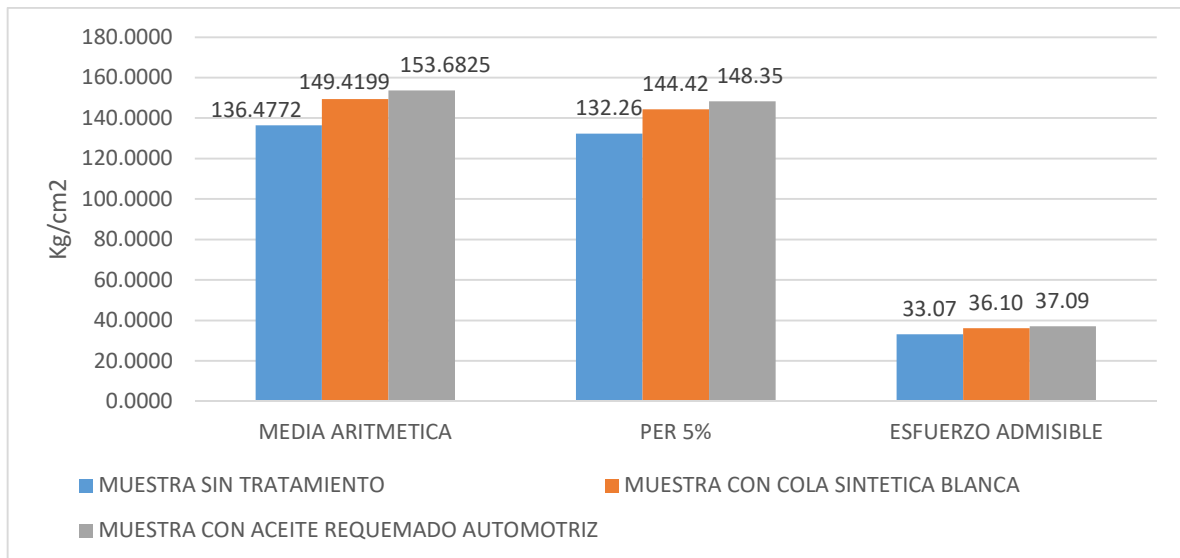
4.2.1 Resultados del ensayo de Corte por cizallamiento paralelo al grano

Tabla 87 Análisis comparativo de los resultados del ensayo de cizallamiento paralelo

		MUESTRAS NO TRATADAS	MUESTRA CON COLA SINTETICA BLANCA	MUESTRA CON ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ
MEDIA ARITMETICA	Kg/cm ²	136.4772	149.4199	153.6825
DESVIACION ESTANDAR	Kg/cm ²	10.33212	12.26638	12.63810
COEFICIENTE DE VARIACION	Kg/cm ²	0.075705	0.082093	0.082235
PER 5%	Kg/cm ²	132.26	144.42	148.35
ESFUERZO ADMISIBLE	Kg/cm ²	33.07	36.10	37.09

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 21 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de cizallamiento paralelo



Fuente: Elaboración propia.

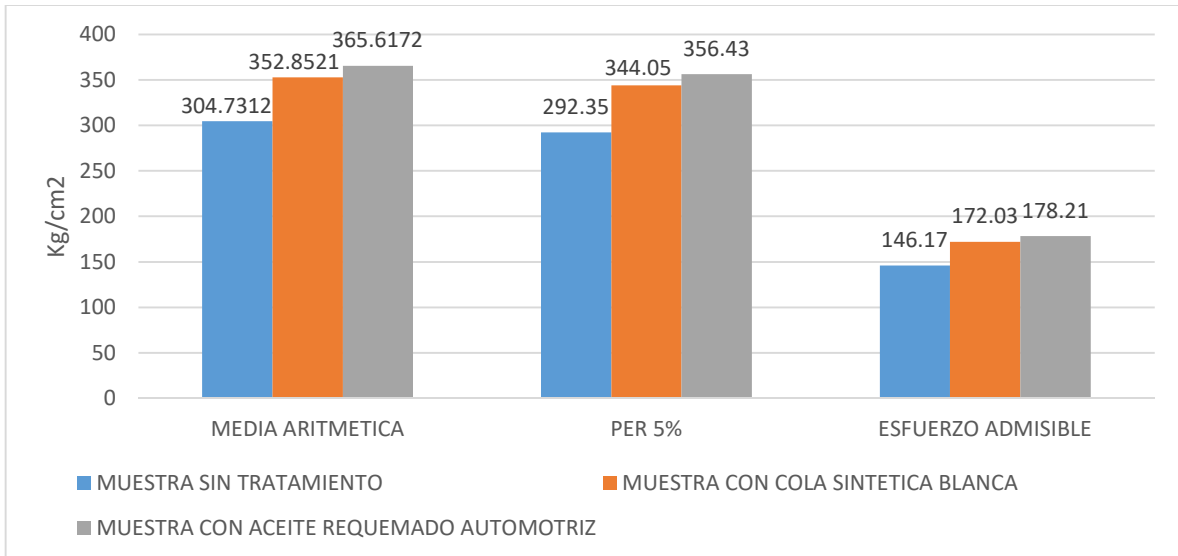
4.2.2 Resultados del ensayo de Compresión axial o paralela al grano

Tabla 88 Análisis comparativo de los resultados del ensayo de compresión axial

		MUESTRAS NO TRATADAS	MUESTRA CON COLA SINTETICA BLANCA	MUESTRA CON ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ
MEDIA ARITMETICA	Kg/cm2	304.7312	352.8521	365.6172
DESVIACION ESTANDAR	Kg/cm2	31.19851	21.58005	23.15900
COEFICIENTE DE VARIACION	Kg/cm2	0.102380	0.061159	0.063342
PER 5%	Kg/cm2	292.35	344.05	356.43
ESFUERZO ADMISIBLE	Kg/cm2	146.17	172.03	178.21

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 22 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de compresión axial



Fuente: Elaboración propia.

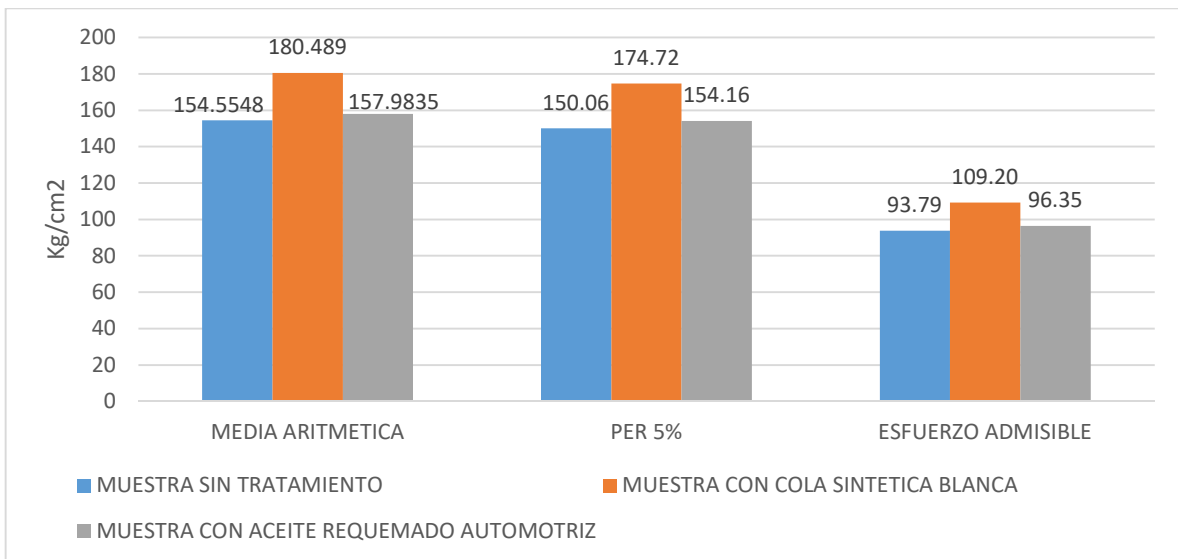
4.2.1 Resultados del ensayo de Compresión perpendicular al grano

Tabla 89 Análisis comparativo de los resultados del ensayo de compresión perpendicular

		MUESTRAS NO TRATADAS	MUESTRA CON COLA SINTETICA BLANCA	MUESTRA CON ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ
MEDIA ARITMETICA	Kg/cm ²	154.5548	180.489	157.9835
DESVIACION ESTANDAR	Kg/cm ²	11.01079	14.13781	9.62190
COEFICIENTE DE VARIACION	Kg/cm ²	0.071242	0.078331	0.060904
PER 5%	Kg/cm ²	150.06	174.72	154.16
ESFUERZO ADMISIBLE	Kg/cm ²	93.79	109.20	96.35

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 23 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de compresión perpendicular



Fuente: Elaboración propia.

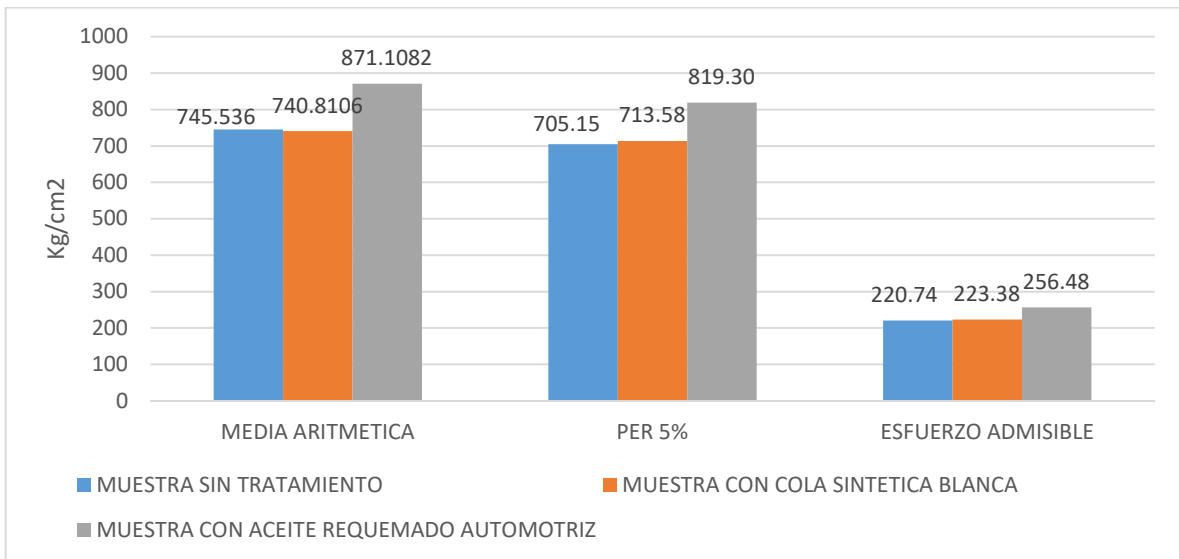
4.2.2 Resultados del ensayo de Flexión estática

Tabla 90 Análisis comparativo de los resultados del ensayo de flexión estática

		MUESTRAS NO TRATADAS	MUESTRA CON COLA SINTETICA BLANCA	MUESTRA CON ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ
MEDIA ARITMETICA	Kg/cm ²	745.536	740.8106	871.1082
DESVIACION ESTANDAR	Kg/cm ²	101.75203	66.77720	130.53241
COEFICIENTE DE VARIACION	Kg/cm ²	0.136482	0.090141	0.149846
PER 5%	Kg/cm ²	705.15	713.58	819.30
ESFUERO ADMISIBLE	Kg/cm ²	220.74	223.38	256.48

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 24 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de flexión estática



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V: DISCUSIÓN

Al ser tratada la madera con cola sintética blanca y aceite requemado automotriz. ¿Cuál de los 2 tratamientos beneficio más a la madera?

El tratamiento más beneficioso para la madera fue la de inmersión en aceite requemado automotriz, ya que con este tratamiento se evidenció un mayor incremento en las magnitudes de las propiedades mecánicas comparado con el tratamiento en cola sintética blanca; el uso de este aditivo resulta más económico en comparación al tratamiento que se realizo con la cola sintética blanca ya que este es un material reutilizado; por otro lado con la aplicación de este aditivo disminuimos la contaminación del agua y el suelo ya que normalmente el aceite requemado es desechado irresponsablemente y este produce un impacto ambiental negativo.

¿Por qué razón se utiliza el método de Inmersión prolongada en el tratamiento de la madera eucalipto?

Para la presente investigación, se eligió el método de inmersión prolongado debido a que este método es el de mayor viabilidad en cuanto a su eficiencia y costo; ya que se obtiene una penetración muy alta a un bajo costo.

No se consideró realizar el tratamiento de la madera con una maquina autoclave, debido al alto costo del tratamiento y que no se encuentra disponible en nuestro medio.

¿Por qué razón se utilizó como aditivos para el tratamiento de la madera, la cola sintética blanca y el aceite requemado automotriz?

Se eligió la cola sintética blanca como aditivo para el tratamiento de la madera porque actualmente este material se utiliza para el tratamiento superficial contra agentes externos y la preservación en el tiempo de la madera.

Se eligió el aceite requemado automotriz como aditivo para el tratamiento de la madera porque este, además de ser un elemento desechable que contamina el medio ambiente (el agua) y no tiene costo para adquirirlo; el aceite requemado automotriz posee propiedades anticorrosivas, así como también es un aislante de la humedad, por lo que ayudan a la madera a proteger de bichos e insectos por un lado y se comprobó que mejora las propiedades tanto físicas como mecánicas de la madera.

Al realizar el tratamiento en cola sintética blanca y aceite requemado automotriz ¿En qué porcentaje aumentaron las magnitudes de las propiedades con respecto a las probetas que no fueron tratadas?

En la siguiente tabla podemos evidenciar los porcentajes de aumento en todas las propiedades que se evaluaron tanto para las probetas tratadas como para las probetas no tratadas, interpretado de la siguiente manera:

Tabla 91 Análisis comparativo de los resultados y su porcentaje de aumento

Ensayo	Tipo de Tratamiento	Magnitud	% de incremento	Unidades
DENSIDAD BÁSICA	sin tratamiento	0.8228	100.00%	(gr/cm3)
	sumergido en cola sintética blanca	0.8983	109.18%	
	sumergido en aceite requemado automotriz	0.8685	105.55%	
DUREZA DE BRINELL	sin tratamiento	4.7195	100.00%	(kg/mm2)
	sumergido en cola sintética blanca	4.9374	104.62%	
	sumergido en aceite requemado automotriz	4.7318	100.26%	
CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO	sin tratamiento	33.07	100.00%	(kg/cm2)
	sumergido en cola sintética blanca	36.1	109.16%	
	sumergido en aceite requemado automotriz	37.09	112.16%	
COMPRESION AXIAL	sin tratamiento	146.17	100.00%	(kg/cm2)
	sumergido en cola sintética blanca	172.03	117.69%	
	sumergido en aceite requemado automotriz	178.21	121.92%	
COMPRESION PERPENDICULAR	sin tratamiento	93.79	100.00%	(kg/cm2)
	sumergido en cola sintética blanca	109.2	116.43%	
	sumergido en aceite requemado automotriz	96.35	102.73%	
FLEXION ESTATICA	sin tratamiento	220.74	100.00%	(kg/cm2)
	sumergido en cola sintética blanca	223.38	101.20%	
	sumergido en aceite requemado automotriz	256.48	116.19%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 92 : Esfuerzos admisibles

GRUPO	ESFUERZOS ADMISIBLES MPa (KG/CM ²)				
	FLEXIÓN (fm)	TRACCIÓN (ft)	COMPRESIÓN PARALELA (fc//)	COMPRESIÓN PERPENDICULAR (fc \perp)	CORTE PARALELO (fv)
A	20.6(210)	14.2 (145)	14.2 (145)	3.9 (40)	1.5 (15)
B	14.7 (150)	10.3 (105)	10.8 (110)	2.7 (28)	1.2 (12)
C	9.8 (100)	7.8 (80)	7.8 (80)	1.5 (15)	0.8 (8)

Fuente: Norma Técnica Peruana E.010

Por ser el mejor tratamiento con aceite quemado automotriz realizado por el método de inmersión prolongada; en caso se utilice este procedimiento para construcciones estructurales ¿Qué pasaría en caso hubiera un incendio?

En caso se utilice la madera con aceite quemado automotriz para uso estructural, no se recomienda para construcciones las cuales sean propensas constantemente a incendios como pueden ser fábricas, laboratorios, etc., debido a que el aceite es un elemento combustible, al igual que la madera.

Por otro lado la madera tiene un buen comportamiento frente al fuego gracias a su forma de arder, la carbonización de la madera es la principal estrategia, dificulta la transmisión de la temperatura hacia el interior de la pieza sirviendo como retardante, además, mientras su contenido de densidad sea más alto de la madera, arden con más dificultad y su combustión es más lenta.

Pese a esto como está tratado con aceite quemado automotriz, se recomienda en caso se utilice para usos estructurales la aplicación de aditivos retardantes de fuego como barnices especiales, pinturas, etc.

Los tratamientos realizados en la madera para esta investigación ¿Se puede afirmar que también ayuda a preservar en el tiempo?

La cola sintética blanca ayuda a la madera a preservar en el tiempo por las propiedades que esta posee, al ser tratada por el método de inmersión prolongada, la madera duerme durante varios días en cola, lo cual al momento de sacarlas y ponerlas a secar, se endurecen formando visiblemente una capa superficial, el cual ayuda a no solo proteger a agentes externos la

madera sino también a preservar y conservar en el tiempo de la misma, muy aparte que también mejora las propiedades físicas y mecánicas de la madera. El aceite requemado automotriz por su lado trabaja de la misma manera, a diferencia de la cola, este no forma una capa dura superficial, pero si una capa aceitosa que por los antecedentes leídos también ayuda a preservar en el tiempo.

¿Cuáles fueron los grupos en los que se clasificó el eucalipto globulus según los resultados de esfuerzos admisibles?

El Eucalipto Globulus sin tratamiento se clasificó en:

- Cizallamiento Párelo al Grano 34.119 kg/cm², grupo “A”.
- Compresión Axial o Paralela al Grano 152.3656 kg/cm², grupo “A”.
- Compresión Perpendicular al Grano 96.5967 kg/cm², grupo “A”.
- Flexión Estática 233.385 kg/cm², grupo “A”.

Mientras que el Eucalipto Globulus tratado con cola sintética blanca se clasificó en:

- Cizallamiento Párelo al Grano 37.3549 kg/cm², grupo “A”.
- Compresión Axial o Paralela al Grano 176.426 kg/cm², grupo “A”.
- Compresión Perpendicular al Grano 112.8056 kg/cm², grupo “A”.
- Flexión Estática 231.9059 kg/cm², grupo “A”.

Mientras que el Eucalipto Globulus tratado con aceite requemado automotriz se clasificó en:

- Cizallamiento Párelo al Grano 38.4206 kg/cm², grupo “A”.
- Compresión Axial o Paralela al Grano 182.8086 kg/cm², grupo “A”.
- Compresión Perpendicular al Grano 98.7396 kg/cm², grupo “A”.
- Flexión Estática 272.6947 kg/cm², grupo “A”.

De acuerdo a la norma E-010 para que la madera se clasifique dentro del grupo “A” tiene que encontrarse por encima de los siguientes valores:

- Cizallamiento Párelo al Grano >15.00 kg/cm².



- Compresión Axial o Paralela al Grano $>145.00 \text{ kg/cm}^2$.
- Compresión Perpendicular al Grano $> 40.00 \text{ kg/cm}^2$.
- Flexión Estática $> 210.00 \text{ kg/cm}^2$.

POR TANTO, LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA INVESTIGACION DE ACUERDO A LOS VALORES PERTENECEN AL GRUPO “A”

¿Por qué utilizamos como métodos estadísticos el criterio de Chauvenet y la distribución t de Student?

Ya que el criterio de Chauvenet es un método para calcular si un dato experimental de un conjunto de datos experimentales, es probable que sea un valor atípico, de esta manera eliminamos datos que eran muy dispersos.

El manual de maderas para el grupo andino (1987) propone que el valor de exclusión sea de 5%, para obtener el percentil 5% en nuestra investigación se utilizó la función probabilística (t) Student, el percentil 5% quiere decir que se espera que de toda la población existente de dicha especie solamente el 5% tenga una resistencia menor que este valor.

¿Por qué motivo no se consideró el cálculo del Módulo de Elasticidad en esta investigación?

En un inicio se registró los datos de deformación utilizando el dial del Laboratorio de Concreto y Materiales, y al procesar los datos se observó que los datos de deformación no eran coherentes debido a que el instrumento se encuentra descalibrado, por tanto, no se consideró realizar el cálculo del Módulo de Elasticidad.

¿Por qué no se consideran en los antecedentes alguna fuente en las que se hayan realizado mejoramiento estructural en madera?

No se encontró una fuente que haya realizado alguna investigación en el tratamiento de madera para uso estructural, ya que el tratamiento en madera se realiza normalmente para protegerla de agentes externos; por esta razón los antecedentes que se tomaron en cuenta para la investigación se refieren en cómo realizar el tratamiento y la forma como aplicarla en diferentes tipos de madera.



GLOSARIO

ANISOTRÓPICO: Que tiene propiedades diferentes en diferentes ejes.

ACANALADURA: O abarquillado es un alabeo en dirección transversal a las fibras.

ASTM: Es una norma propuesta, en sus abreviaciones es Sociedad Americana para prueba de Materiales Es la mayor organización científica y técnica para el establecimiento y la difusión de normas relativas a las características y prestaciones de materiales, productos, sistemas, servicios y publicaciones de ingeniería.

BLOQUE: Es la superficie mínima que constituye el centro de actividad, del cual serán seleccionados los arboles

CONÍFEROS: Arboles con estructuras reproductivas denominadas conos o más comúnmente piñas. Las plantas que forman esta colección son las especies forestales dominantes en los climas fríos y de altas montañas.

DENDROCRONOLOGÍA: Parte de la botánica que establece la edad de un árbol y los cambios climáticos a los que ha estado sometido mediante la observación de los anillos de crecimiento anual.

ESFUERZOS BÁSICOS: Es el esfuerzo mínimo obtenido de ensayos de propiedades mecánicas que sirven de base para la determinación de esfuerzos admisibles.

ESFUERZOS ADMISIBLES: Son los esfuerzos de diseño del material para cargas de servicio, definidos para los grupos estructurales.

ENCORVADURA: O curvatura lateral corresponde al alabeo de los cantos en el sentido de las fibras.

FUERZA DE ROTURA: carga aplicada sobre la probeta con un coeficiente de corrección que relaciona la distancia entre apoyos y el ancho de la probeta.

HIGROSCÓPICO: Sustancias que cambian como un resultado directo de atraer y absorber agua.

HEMICELULOSAS: Cualquier elemento de un grupo de polisacáridos que constituyen la parte principal de los componentes esqueléticos de las paredes celulares de las plantas y se parecen a la celulosa.



HUMEDAD DE EQUILIBRIO: Se denomina, al porcentaje de agua que alcanza una madera sometida durante un lapso determinado a condiciones de temperatura y humedad en su medio ambiente. 191

ISOTRÓPICO: Que tiene propiedades que son idénticas en todas direcciones.

LIGNINA: Es una sustancia que aparece en los tejidos leñosos de los vegetales y que mantiene unidas las fibras de celulosa que los componen, la lignina constituye el 25% de la madera.

MADERA SECA: Es aquella cuyo contenido de humedad es menor o igual que el correspondiente al equilibrio higroscópico.

MADERA HÚMEDA: Es aquella cuyo contenido de humedad es superior al del equilibrio higroscópico.

MADERA CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL: Madera que no ha sufrido ningún proceso de secado.

MADERA CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO: Madera que ha sido secado por algún proceso más o menos controlado.

MADERA ASERRADA: Piezas de madera maciza obtenidas por aserrado del árbol, generalmente escuadradas, es decir con caras paralelas entre sí y cantos perpendiculares a las mismas.

MATERIAL HOMOGÉNEO: Es el que presenta una composición uniforme, en la cual no se pueden distinguir a simple vista sus componentes; en muchos casos, no se distinguen ni con instrumentos como el microscopio.

MADERA VERDE: Madera con un contenido de humedad por encima del punto de saturación de fibra.

MADERA ANHIDRA: Es aquella en la que se ha eliminado todo su contenido de humedad
NTP: Norma Técnica Peruana.

PARAMETRO: Se conoce como parámetro al dato que se considera como imprescindible y orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación. A partir de un parámetro, una cierta circunstancia puede comprenderse o ubicarse en perspectiva.

PROPIEDADES FÍSICAS: Son aquellas que se pueden medir sin que se afecte la composición o la identidad de la sustancia.



PROPIEDADES MECÁNICAS: Son aquellas propiedades de los sólidos que se manifiestan cuando aplicamos una fuerza, se refieren a la capacidad de los mismos de resistir acciones de cargas: las cargas o fuerzas actúan momentáneamente, tienen carácter de choque.

PUNTO DE SATURACIÓN DE LA FIBRA: Estado de humedad de la madera, en el cual las paredes celulares se encuentran saturadas de agua. Oscila entre 28 y el 40% según las especies, aunque a efectos prácticos se puede tomar el 30%.

PROBETA: Es la pieza de dimensiones y formas especificadas que se preparan a partir de la vigueta seleccionada para el estudio de las propiedades de la madera.

TORCEDURA: O revirado es el alabeo helicoidal en dirección longitudinal y transversal de las fibras.

TROZA: Es la parte del fuste de longitud variable y libre de ramas obtenida por corte transversal.

VIGUETA: Es la parte seleccionada de la troza de sección suficiente a partir de la cual se preparan las probetas.

XILEMA: Tejido especializado en la conducción de agua y minerales desde la raíz al resto de la planta.



CONCLUSIONES

CONCLUSIÓN N° 1

Se demostró parcialmente la Hipótesis General que enuncia que *“La madera eucalipto Globulus para uso estructural con contenido de humedad seco al ser sumergida en aceite requemado automotriz produce un mayor incremento en las magnitudes de las propiedades físico mecánicas, en comparación a madera sumergida en cola sintética blanca.”*, ya que según la tabla N° 83 (pag. 168), Las probetas sumergidas en aceite requemado automotriz obtuvieron mejores resultados en las magnitudes de las propiedades mecánicas en comparación con las probetas sumergidas en cola sintética blanca, a excepción del ensayo a compresión perpendicular al grano, en el cual se obtuvo un mejor resultado en las probetas sumergidas en cola sintética blanca; por otro lado en cuanto a las magnitudes de las características físicas de la madera se obtuvo un mejor resultado en las probetas sumergidas en cola sintética blanca.

CONCLUSIÓN N° 2

Se logró demostrar la Sub Hipótesis N°1 que indica *“Las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco de acuerdo a la norma e-0.10. se encuentran en los parámetros permisibles para su uso estructural.”* ya que mediante la tabla N° 02 (pag. 23) y N° 83 (pag. 168), al realizar los diferentes ensayos, la magnitud que alcanzaron las características físicas de la madera, están dentro de los parámetros permisibles para el uso estructural de acuerdo a la norma e – 010.

CONCLUSIÓN N° 3

Se logró demostrar la Sub Hipótesis N°2 que indica *“Las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco de acuerdo a la norma e-0.10. se encuentran en los parámetros permisibles para su uso estructural.”* ya que mediante la tabla N° 03 (pag. 24) y N° 83 (pag. 168), al realizar los diferentes ensayos, la magnitud que alcanzaron las características físicas de la madera, están dentro de los parámetros permisibles para el uso estructural de acuerdo a la norma e – 010.

CONCLUSIÓN N° 4

Se demostró parcialmente la Sub Hipótesis N°3 que indica *“Mejora las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con*

contenido de humedad seco al sumergir en aceite requemado automotriz.”, ya que mediante la tabla N° 84 (pag. 169) y 85 (pag. 170), se observa que las características de la madera tratada con aceite requemado automotriz no mejoran en todos los casos, la magnitud de la densidad se apega a este postulado, por otro lado, la propiedad de dureza no mejora de manera considerable.

CONCLUSIÓN N° 5

Se demostró parcialmente la Sub Hipótesis N°4 que indica *“Produce un incremento en la magnitud de las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en aceite requemado automotriz en el ámbito estructural.”*, ya que mediante la tabla N° 86 (pag. 171), N° 87 (pag. 172), N° 88 (pag. 173) y N° 89 (pag. 174), se observa que las propiedades mecánicas de la madera tratada con aceite requemado automotriz no mejoran en todos los casos, la mayoría de propiedades se apega a este postulado, a excepción de la resistencia a compresión perpendicular, la cual no aumenta de manera considerable frente a la madera eucalipto no tratada.

CONCLUSIÓN N° 6

Se logra demostrar la Sub Hipótesis N°5 que indica *“Mejora las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca”*., ya que mediante la tabla N° 84 (pag. 169) y 85 (pag. 170), se observa que las características de la madera tratada con cola sintética blanca mejora, aumentando de forma considerable frente a la madera no tratada.

CONCLUSIÓN N° 7

Se demostrar parcialmente la Sub Hipótesis N°6 que indica *“Produce un incremento en la magnitud de las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca en el ámbito estructural.”*, ya que mediante la tabla N° 86 (pag. 171), N° 87 (pag. 172), N° 88 (pag. 173) y N° 89 (pag. 174), se observa que las propiedades mecánicas de la madera tratada con cola sintética blanca no mejoran en todos los casos, la mayoría de propiedades se apega a este postulado, a excepción de la resistencia a flexión estática, el cual no aumenta de manera considerable frente a la madera eucalipto no tratada.



RECOMENDACIONES

RECOMENDACIÓN N° 01

Se recomienda el uso de nuestra tesis, para futuras referencias con respecto al tratamiento de maderas para uso estructural, dado que en nuestra tesis especificamos la forma de trabajo óptima respecto al método por inmersión prolongada.

RECOMENDACIÓN N° 02

Se recomienda para futuras investigación realizar el cálculo de módulo de elasticidad para la madera tratada para uso estructural.

RECOMENDACIÓN N° 03

Se recomienda probar otros métodos para el tratamiento de madera, como hubiera sido la autoclave para saturar los poros de la madera; ya que este método es el más efectivo.

RECOMENDACIÓN N° 04

Se recomienda secar la madera a una temperatura no mayor de 103 °C para así evitar abarquillamientos y resquebrajamientos en las probetas.

RECOMENDACIÓN N° 05

Se recomienda preservar las trozas de madera en un ambiente fresco donde no haya mucha humedad, no llegue el sol y cubirlas las trozas con plástico, antes de cortar las probetas necesarias.

RECOMENDACIÓN N° 06

Se recomienda la madera tratada con aceite requemado automotriz para el uso en elementos estructurales sometidos a cargas de compresión y flexión, ya que en este tipo de tratamiento se obtuvieron los mejores resultados.

RECOMENDACIÓN N° 07

Se recomienda para el manejo del aceite requemado automotriz en el tratamiento de la madera usar los siguientes equipos de protección personal: gafas de seguridad (protección de ojos y la cara), guantes protectores impermeables de PVC (Protección de la piel), mascarilla (protección respiratoria) y mameluco.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Society for Testing and Materials. (1995). Annual book of ASTM standards, Estados Unidos
- Ananías, (1993), “Apuntes de Anatomía de la madera”, Universidad del Bío-Bío,
- Bernal Torres, C. (2006). Metodología de la investigación. México D. F: Pearson.
- Departamento de ingeniería en maderas, facultad de ingeniería.
- Comisión Panamericana De Normas Técnicas. (1972). Maderas: Métodos para realizar el análisis estadístico de las propiedades de las maderas. Esquema 1° de Norma COPANT 30:1-012. 8 p.
- Díaz-Vaz, J; Cuevas, H. (1982). Ensayos mecánicos de la madera. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias Forestales. 44p.
- Fritz, (2004), Manual de construcción viviendas en madera – Corma, Chile. Corporación Chilena de la Madera, Cap. 1 y 2.
- Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT (1984). Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino. Lima, Sección 1, Capítulo 1 1-21 p.
- Gil, X. L. (1978). La gramática de port-royal: fuentes, contenido e interpretación. Barcelona:: Universidad de Barcelona.
- J. D. Bermúdez (2002). Manual de la madera de Eucalipto Glóbulos. Madrid.
- Karsulovic, J. (1982). Propiedades mecánicas de la madera. Santiago, Chile. Editorial Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, departamento de Tecnología de la Madera. 101p.
- Keyser, C. (1972). *Ciencia de materiales para ingeniería*. México: Editorial Limusa S.A. .
- Kollmann, F. (1959). Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Física de la madera. Teoría de la impregnación de maderas a presión, capítulo 3.3.5. 675 p.
- Lages Elon [2000], La matemática de la Enseñanza media
- León, W. y Espinoza, N. (2001). Anatomía de la Madera. Universidad de los Andes. Consejo de Publicaciones. Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico. Mérida-Venezuela. 396 p.
- Mangium, A. (1994). Comportamiento Potencial en Panamá. Panamá.
- Norma E.010 (2006). Estructuras: Norma Técnica E.010. Lima: El Peruano. 1-5 p.



- Norma Técnica Peruana 251.008 (2015), Selección y colección de muestras.
- Norma Técnica Peruana 251.009 (2015), Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecánicos. 198
- Norma Técnica Peruana 251.010 (2015), Métodos para determinar el contenido de humedad.
- Norma Técnica Peruana 251.011 (2015), Métodos para determinar la densidad.
- Norma Técnica Peruana 251.013 (2015), Método para determinar el cizallamiento paralelo al grano.
- Norma Técnica Peruana 251.014 (2015), Método para determinar la compresión axial o paralela al grano.
- Norma Técnica Peruana 251.016 (2015), Método para determinar la compresión perpendicular al grano.
- Norma Técnica Peruana 251.017 (2004), Método para determinar la flexión estática.
- Pérez., A. (1986). Apuntes de anatomía de la madera Universidad Nacional de los Andrés. Mérida Venezuela.
- Sales de Lopez (2005). Estadística del conteo Radiactivo. Tucumán: UNT.
- Sampieri Hernandez, R. (2010). Metodología de la investigación. Mexico: McGRAW-HILL.
- SAMPIERI. (1991). Metodología de la Investigación.
- SPIEGEL, M. R. 1973. Estadística, México, Libros McGRAW-HILL DE México.
- Singer Ferdinand L., Pytel Andrew (1994). Resistencia de Materiales. New York: Oxford University Press.
- Voigt A. (2006). Anatomia comparada do lenho da especie.
- Wavedeck, S. (2008). Madera. Toronto Ontario: West 8.

ANEXOS

a) Anexo fotográfico

ENSAYOS PARA DENSIDAD

PROBETAS EN ESTADO NATURAL



PROBETAS TRATADAS CON COLA SINTETICA BLANCA



ENSAYOS PARA DENSIDAD

PROBETAS TRATADAS CON ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ



ENSAYOS PARA DUREZA DE BRINELL

PROBETAS EN ESTADO NATURAL



PROBETAS TRATADAS CON COLA SINTETICA BLANCA



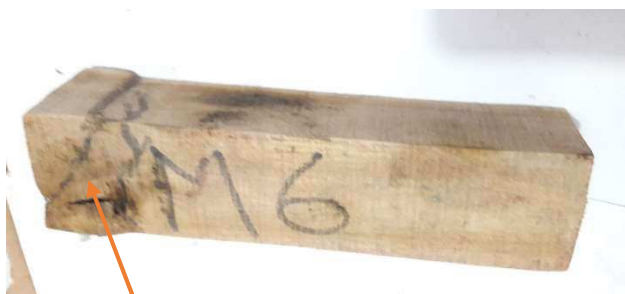
ENSAYOS PARA DUREZA DE BRINELL

PROBETAS TRATADAS CON ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ



ENSAYOS PARA COMPRESION PARALELA AL GRANO

PROBETAS EN ESTADO NATURAL



FALLA



FALLA

PROBETAS TRATADAS CON COLA SINTETICA BLANCA



FALLA

FALLA

FALLA

ENSAYOS PARA COMPRESION PARALELA AL GRANO

PROBETAS TRATADAS CON ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ



ENSAYOS PARA COMPRESION PERPENDICULAR AL GRANO

PROBETAS EN ESTADO NATURAL



PROBETAS TRATADAS CON COLA SINTETICA BLANCA





ENSAYO PARA COMPRESION PERPENDICULAR AL GRANO

PROBETAS TRATADAS CON ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ



ENSAYO PARA CORTE POR CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO

PROBETAS EN ESTADO NATURAL



PROBETAS TRATADAS CON COLA SINTETICA BLANCA



ENSAYO PARA CORTE POR CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO

PROBETAS TRATADAS CON ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ



ENSAYOS PARA FLEXION

PROBETAS EN ESTADO NATURAL



PROBETAS TRATADAS CON COLA SINTETICA BLANCA





ENSAYOS PARA FLEXION

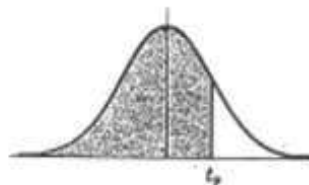
PROBETAS TRATADAS CON ACEITE REQUEMADO AUTOMOTRIZ



b) Función t de Student

TABLA DE STUDENT (t)

Valores percentiles (t_p) para la distribución t de Student con ν grados de libertad (área en sombra = p)



ν	$t_{.995}$	$t_{.99}$	$t_{.975}$	$t_{.95}$	$t_{.90}$	$t_{.80}$	$t_{.75}$	$t_{.70}$	$t_{.60}$	$t_{.55}$
1	63.66	31.82	12.71	6.31	3.08	1.376	1.000	.727	.325	.158
2	9.92	6.96	4.30	2.92	1.89	1.061	.816	.617	.289	.142
3	5.84	4.54	3.18	2.35	1.64	.978	.765	.584	.277	.137
4	4.60	3.75	2.78	2.13	1.53	.941	.741	.569	.271	.134
5	4.03	3.36	2.57	2.02	1.48	.920	.727	.559	.267	.132
6	3.71	3.14	2.45	1.94	1.44	.906	.718	.553	.265	.131
7	3.50	3.00	2.36	1.90	1.42	.896	.711	.549	.263	.130
8	3.36	2.90	2.31	1.86	1.40	.889	.706	.546	.262	.130
9	3.25	2.82	2.26	1.83	1.38	.883	.703	.543	.261	.129
10	3.17	2.76	2.23	1.81	1.37	.879	.700	.542	.260	.129
11	3.11	2.72	2.20	1.80	1.36	.876	.697	.540	.260	.129
12	3.06	2.68	2.18	1.78	1.36	.873	.695	.539	.259	.128
13	3.01	2.65	2.16	1.77	1.35	.870	.694	.538	.259	.128
14	2.98	2.62	2.14	1.76	1.34	.868	.692	.537	.258	.128
15	2.95	2.60	2.13	1.75	1.34	.866	.691	.536	.258	.128
16	2.92	2.58	2.12	1.75	1.34	.865	.690	.535	.258	.128
17	2.90	2.57	2.11	1.74	1.33	.863	.689	.534	.257	.128
18	2.88	2.55	2.10	1.73	1.33	.862	.688	.534	.257	.127
19	2.86	2.54	2.09	1.73	1.33	.861	.688	.533	.257	.127
20	2.84	2.53	2.09	1.72	1.32	.860	.687	.533	.257	.127
21	2.83	2.52	2.08	1.72	1.32	.859	.686	.532	.257	.127
22	2.82	2.51	2.07	1.72	1.32	.858	.686	.532	.256	.127
23	2.81	2.50	2.07	1.71	1.32	.858	.685	.532	.256	.127
24	2.80	2.49	2.06	1.71	1.32	.857	.685	.531	.256	.127
25	2.79	2.48	2.06	1.71	1.32	.856	.684	.531	.256	.127
26	2.78	2.48	2.06	1.71	1.32	.856	.684	.531	.256	.127
27	2.77	2.47	2.05	1.70	1.31	.855	.684	.531	.256	.127
28	2.76	2.47	2.05	1.70	1.31	.855	.683	.530	.256	.127
29	2.76	2.46	2.04	1.70	1.31	.854	.683	.530	.256	.127
30	2.75	2.46	2.04	1.70	1.31	.854	.683	.530	.256	.127
40	2.70	2.42	2.02	1.68	1.30	.851	.681	.529	.255	.126
60	2.66	2.39	2.00	1.67	1.30	.848	.679	.527	.254	.126
120	2.62	2.36	1.98	1.66	1.29	.845	.677	.526	.254	.126
∞	2.58	2.33	1.96	1.645	1.28	.842	.674	.524	.253	.126



c) Matriz de consistencia

Tabla 93: Matriz de consistencia

Tesis: Evaluación comparativa de los efectos que produce el aceite requemado automotriz y la cola sintética blanca en las propiedades físico mecánicas de la madera Eucalipto Glóbulos con contenido de humedad seco procedente de la zona de Paucartambo-Cusco aplicada por inmersión prolongada para uso estructural					
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADOR	INSTRUMENTO
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENEARL	VARIABLES INDEPENDIENTES		
¿Cual sera la evaluacion comparativa de los efectos que produce el aceite requemado automotriz y la cola sintetica blanca en las propiedades físico mecánicas de la madera Eucalipto Globulus con contenido de humedad seco procedente Paucartambo – Cusco apliacada por inmersion prolongada para uso estructural?	Evaluar comparativamente los efectos que produce el aceite requemado automotriz y la cola sintetica blanca en las propiedades físico mecánicas de la madera Eucalipto Globulus con contenido de humedad seco procedente de Paucartambo – Cusco realizada por el metodo de inmersion prolongada para uso estructural.	La madera eucalipto Globulus para uso estructural con contenido de humedad seco al ser sumergida en aceite requemado automotriz produce un mayor incremento en las magnitudes de las propiedades físico mecánicas, en comparación a madera sumergida en cola sintética blanca.	<ul style="list-style-type: none"> Listones de madera eucalipto Globulus proveniente de Paucartambo – Cusco. Aceite requemado automotriz. Cola sintética blanca. 	1) Edad (años) 2) Altura (metros) 3) Volumen (m3). <ul style="list-style-type: none"> Cantidad de aceite requemado automotriz (galones). Cola sintética (litros). 	1) Guías de observación de campo 2) Normativa
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	VARIABLES DEPENDIENTES		
1. ¿Cuáles son las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco? 2. ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de la zona de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco? 3. ¿Qué efectos produce en las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en aceite requemado automotriz? 4. ¿Qué efectos produce en las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en aceite requemado automotriz? 5. ¿Qué efectos produce en las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca? 6. ¿Qué efectos produce en las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca?	1. Determinar las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco. 2. Determinar las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco. 3. Determinar los efectos que produce en las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en aceite requemado automotriz. 4. Determinar los efectos que produce en las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en aceite requemado automotriz. 5. Determinar los efectos que produce en las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca. 6. Determinar los efectos que produce en las propiedades mecanicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca.	1. Las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco de acuerdo a la Normativa, se encuentran en los parámetros permisibles para su uso estructural. 2. Las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco de acuerdo a la normativa. se encuentran en los parámetros permisibles para su uso estructural. 3. Se mejora las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en aceite requemado automotriz. 4. Se produce un incremento en la magnitud de las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en aceite requemado automotriz en el ámbito estructural. 5. Mejora las características físicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca. 6. Produce un incremento en la magnitud de las propiedades mecánicas de la madera Eucalipto Globulus procedente de Paucartambo – Cusco con contenido de humedad seco al sumergir en cola sintética blanca en el ámbito estructural.	<ul style="list-style-type: none"> Propiedades físicas. Propiedades mecánicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de agua encontrada en la muestra (%) Densidad db (gr/cm3) Dureza (kg/mm2) Resistencia Compresión Paralela fc// (kg/cm2) Resistencia Compresión Perpendicular fd (kg/cm2) Resistencia Flexión fm (kg/cm2) Resistencia Corte Paralelo fv (kg/cm2) 	1) Fichas 2) Hojas de calculo 3) Normativa

Fuente propia



d) **Normas**