



UNIVERSIDAD DE
TALCA

Facultad de Ciencias Forestales
Escuela de Ingeniería en Industrias de la Madera

Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de madera de Nothofagus glauca (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes.

PAOLA PATRICIA DÍAZ MÉNDEZ

**Memoria para optar al título de
INGENIERO EN INDUSTRIAS DE LA MADERA**

Profesora Guía: M.Sc. MARCIA VÁSQUEZ SANDOVAL.

TALCA-CHILE

2005

INDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVO.....	2
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 Aspectos Generales.....	3
3.2 Propiedades Físicas.....	4
3.2.1 Contenido de humedad.....	4
3.2.2 Densidad.....	6
3.2.3 Contracción.....	8
3.3 Propiedades Mecánicas.....	11
3.3.1 Factores que inciden sobre las propiedades mecánicas.....	12
3.3.2 Carga y esfuerzo.....	14
3.3.3 Diagrama esfuerzo – deformación.....	16
3.3.4 Ley de Hooke. Módulo de elasticidad.....	18
3.4 Ensayos para Determinar Propiedades Mecánicas.....	19
3.4.1 Compresión.....	20
3.4.2 Flexión estática.....	22
2. METODOLOGÍA.....	25
4.1 Obtención de Probetas.....	25
4.2 Materiales requeridos y Procedimientos para la Determinación de las diferentes Propiedades.....	32
4.2.1 Materiales.....	32
4.3 Determinación de la Humedad.....	33
4.3.1 Procedimiento.....	33
4.4 Densidad.....	33
4.4.1 Procedimiento.....	33
4.5 Contracción Radial y Tangencial.....	34
4.5.1 Procedimiento.....	34
4.6 Compresión Paralela a la Fibra.....	34
4.6.1 Procedimiento.....	34
4.7 Compresión Perpendicular a la Fibra.....	36
4.7.1 Procedimiento.....	36
4.8 Flexión Estática.....	38
4.8.1 Procedimiento.....	38
4.9 Características de <i>Nothofagus obliqua</i> (mirb.) Oerst.....	42
4.10 Análisis de Datos.....	43

5. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS..44

5.1 Propiedades Físicas de la Madera.....	44
5.1.1 Densidad.....	44
5.1.2 Contracción.....	49
5.2 Propiedades Mecánicas de la Madera.....	54
5.2.1 Compresión paralela.....	54
5.2.2 Compresión perpendicular.....	56
5.2.3 Flexión estática.....	57
5.3 Propiedades Físicas.....	60
5.3.1 Densidad normal.....	60
5.3.1.1 Clase diamétrica 25 cm.....	62
5.3.1.2 Clase diamétrica 35 cm.....	64
5.3.1.3 Clase diamétrica 45 cm.....	65
5.3.1.4 Zona cercana a la médula.....	66
5.3.1.5 Zona central.....	68
5.3.1.6 Zona central lateral.....	69
5.3.2 Densidad básica.....	70
5.3.2.1 Clase diamétrica 25 cm.....	72
5.3.2.2 Clase diamétrica 35 cm.....	73
5.3.2.3 Clase diamétrica 45 cm.....	74
5.3.2.4 Zona cercana a la médula.....	75
5.3.2.5 Zona central.....	77
5.3.2.6 Zona central lateral.....	78
5.3.3 Contracción radial.....	79
5.3.3.1 Clase diamétrica 25 cm.....	81
5.3.3.2 Clase diamétrica 35 cm.....	82
5.3.3.3 Clase diamétrica 45 cm.....	83
5.3.3.4 Zona cercana a la médula.....	84
5.3.3.5 Zona central.....	85
5.3.3.6 Zona central lateral.....	86
5.3.4 Contracción tangencial.....	87
5.3.4.1 Clase diamétrica 25 cm.....	89
5.3.4.2 Clase diamétrica 35 cm.....	90
5.3.4.3 Clase diamétrica 45 cm.....	91
5.3.4.4 Zona cercana a la médula.....	92
5.3.4.5 Zona central.....	93
5.3.4.6 Zona central lateral.....	94

5.4 Propiedades Mecánicas.....	95
5.4.1 Tensión de compresión paralela en el límite de proporcionalidad.....	96
5.4.2 Tensión máxima o rotura de compresión paralela.....	98
5.4.3 Módulo de elasticidad de compresión paralela.....	99
5.4.4 Tensión unitaria de compresión perpendicular.....	101
5.4.5 Tensión máxima o rotura de compresión perpendicular.....	102
5.4.6 Módulo de elasticidad de compresión perpendicular.....	104
5.4.7 Tensión unitaria de flexión en el límite proporcional.....	106
5.4.8 Módulo de elasticidad en flexión.....	107
5.4.9 Módulo de ruptura en flexión.....	109
6. CONCLUSIONES.....	113
7. BIBLIOGRAFÍA.....	115
8. APÉNDICES.....	118

INDICE DE TABLAS

Tabla N°	Contenido	Pág.
1.	Clasificación de la madera según método Sallenave.....	8
2.	Contracción radial y tangencial del Roble.....	10
3.	Clasificación de la madera según contracción volumétrica.....	11
4.	Clasificación de madera por clase.....	21
5.	Clasificación de la madera por clase, según MORf.....	23
6.	Clasificación según cota de flexión.....	24
7.	Clasificación según cota de tenacidad.....	24
8.	Dimensiones de probetas para ensayos físicos y mecánicos.....	28
9.	Cantidades de probetas para ensayos físicos por zona y clase diamétrica.....	29
10.	Cantidades de probetas para ensayos físicos y mecánicos.....	29
11.	Programa de Secado.....	30
12.	Densidades de la zona cercana a la médula (CM) de las 4 clases diamétricas.....	45
13.	Densidades de la zona central (C) de 3 clases diamétricas.....	46
14.	Densidades de la zona central lateral (CL) de 2 clases diamétricas.....	46
15.	Densidades de la zona lateral (L) de la mayor clase diamétrica.....	46
16.	Densidades promedio de las 4 zonas.....	46
17.	Contracciones de la zona CM de las 4 clases diamétricas.....	50
18.	Contracciones de la zona C de 3 clases diamétricas.....	50
19.	Contracciones de la zona CL de 2 clases diamétricas.....	50
20.	Contracciones de la zona L de la mayor clase diamétrica.....	51
21.	Contracción radial y tangencial promedio de las 4 zonas.....	51
22.	Contracción radial y tangencial del Roble.....	51
23.	Resultados del ensayo de compresión paralela.....	55
24.	Propiedades mecánicas del Roble.....	55
25.	Resultados del ensayo de compresión perpendicular.....	57
26.	Resultados del ensayo de flexión estática.....	58
27.	Resumen comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de Roble y Hualo.....	59
28.	Datos del análisis de varianza de densidad normal para la clase diamétrica 25 cm.....	62

29.	Análisis de varianza de densidad normal para la clase diamétrica 25 cm.....	63
30.	Datos del análisis de varianza de densidad normal para la clase diamétrica 35 cm.....	64
31.	Análisis de varianza de densidad normal para la clase diamétrica 35 cm.....	64
32.	Datos del análisis de varianza de densidad normal para la clase diamétrica 45 cm.....	65
33.	Análisis de varianza de densidad normal para la clase diamétrica 45 cm.....	65
34.	Datos del análisis de varianza de la densidad normal para la zona cercana a la médula.....	66
35.	Análisis de varianza de densidad normal para la zona cercana a la médula.....	66
36.	Prueba de Duncan de densidad normal para la zona cercana a la médula.....	67
37.	Datos del análisis de varianza de densidad normal para la zona central.....	68
38.	Análisis de varianza de densidad normal para la zona central.....	68
39.	Datos del análisis de varianza de densidad normal para la zona central lateral.....	69
40.	Análisis de varianza de densidad normal para la zona central lateral.....	69
41.	Datos del análisis de varianza de densidad básica para la clase diamétrica 25 cm.....	72
42.	Análisis de varianza de densidad básica para la clase diamétrica 25 cm.....	72
43.	Datos del análisis de varianza de densidad básica para la clase diamétrica 35 cm.....	73
44.	Análisis de varianza de densidad básica para la clase diamétrica 35 cm.....	73
45.	Datos del análisis de varianza de densidad básica para la clase diamétrica 45 cm.....	74
46.	Análisis de varianza de densidad básica para la clase diamétrica 45 cm.....	74
47.	Datos del análisis de varianza de densidad básica para la zona cercana a la médula.....	75
48.	Análisis de varianza de densidad básica para la zona cercana a la médula.....	75
49.	Prueba de Duncan de densidad básica para la zona cercana a la médula.....	76

50.	Datos del análisis de varianza de densidad básica para la zona central.....	77
51.	Análisis de varianza de densidad básica para la zona central.....	77
52.	Datos del análisis de varianza de densidad básica para la zona central lateral.....	78
53.	Análisis de varianza de densidad básica para la zona central lateral.....	78
54.	Datos del análisis de varianza de contracción radial para la clase diamétrica 25 cm.....	81
55.	Análisis de varianza de contracción radial para la clase diamétrica 25 cm.....	81
56.	Datos del análisis de varianza de contracción radial para la clase diamétrica de 35 cm.....	82
57.	Análisis de varianza de contracción radial para la clase diamétrica de 35 cm.....	82
58.	Datos del análisis de varianza de contracción radial para la clase diamétrica de 45 cm.....	83
59.	Análisis de varianza de contracción radial para la clase diamétrica de 45 cm.....	83
60.	Datos del análisis de varianza de contracción radial para la zona cercana a la médula.....	84
61.	Análisis de varianza de contracción radial para la zona cercana a la médula.....	84
62.	Prueba de Duncan de contracción radial para la zona cercana a la médula.....	85
63.	Datos del análisis de varianza de contracción radial para la zona central.....	85
64.	Análisis de varianza de contracción radial para la zona central....	86
65.	Datos del análisis de varianza de contracción radial para la zona central lateral.....	86
66.	Análisis de varianza de contracción radial para la zona central lateral.....	87
67.	Datos del análisis de varianza de contracción tangencial para la clase diamétrica 25 cm.....	89
68.	Análisis de varianza de contracción tangencial para la clase diamétrica 25 cm.....	90
69.	Datos del análisis de varianza de contracción tangencial para la clase diamétrica 35 cm.....	90
70.	Análisis de varianza de contracción tangencial para la clase diamétrica 35 cm.....	91

71.	Datos del análisis de varianza de contracción tangencial para la clase diamétrica 45 cm.....	91
72.	Análisis de varianza de contracción tangencial para la clase diamétrica 45 cm.....	92
73.	Datos del análisis de varianza de contracción tangencial para la zona cercana a la médula.....	92
74.	Análisis de varianza de contracción tangencial para la zona cercana a la médula.....	93
75.	Datos del análisis de varianza de contracción tangencial para la zona central.....	93
76.	Análisis de varianza de contracción tangencial para la zona central.....	94
77.	Datos del análisis de varianza de contracción tangencial para la zona central lateral.....	94
78.	Análisis de varianza de contracción tangencial para la zona central lateral.....	95
79.	Datos del análisis de varianza de F_c,lp	97
80.	Análisis de varianza de F_c,lp	97
81.	Datos del análisis de varianza de R_c	98
82.	Análisis de varianza de R_c	99
83.	Datos del análisis de varianza de $MOEc$	100
84.	Análisis de varianza de $MOEc$	100
85.	Datos del análisis de varianza de $F_{cn,lp}$	101
86.	Análisis de varianza de $F_{cn,lp}$	102
87.	Datos del análisis de varianza de R_{cn}	103
88.	Análisis de varianza de R_{cn}	103
89.	Datos del análisis de varianza de $MOEcn$	105
90.	Análisis de varianza de $MOEcn$	105
91.	Datos del análisis de varianza de F_{lp}	106
92.	Análisis de varianza de F_{lp}	107
93.	Datos del análisis de varianza de $MOEf$	108
94.	Análisis de varianza de $MOEf$	108
95.	Prueba de Duncan de $MOEf$	109
96.	Datos del análisis de varianza de $MORf$	110
97.	Análisis de varianza de $MORf$	110
98.	Resumen del ANOVA en las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Hualo.....	111

INDICE DE FIGURAS

Figura N°	Contenido	Pág.
1.	Rodela explicativa de contracción radial y tangencial.....	10
2 a.	Compresión paralela.....	20
2 b.	Compresión perpendicular.....	20
3.	Viga en ensayo de flexión estática.....	22
4.	Viga en flexión estática.....	23
5.	Distribución de probetas dentro de la semi-basa.....	27
6.	Distribución de probetas dentro de la semi-basa.....	28
7.	Fotografía de madera encastillada y secándose al aire.....	31
8.	Fotografía de madera encastillada en la cámara de secado experimental.....	31
9.	Fotografía del ensayo de compresión paralela.....	37
10.	Fotografía del ensayo de flexión estática.....	39

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°	Contenido	Pág.
1.	Diagrama esfuerzo – deformación.....	17
2.	Diagrama del ensayo de compresión paralela.....	18
3.	Densidad de la zona cercana a la médula en las 4 clases diamétricas.....	47
4.	Densidad de la zona central en 3 clases diamétricas.....	47
5.	Densidad de la zona central lateral en 2 clases diamétricas.....	48
6.	Densidad de la zona lateral de la mayor clase diamétrica.....	48
7.	Densidades promedios correspondiente a las 4 zonas.....	49
8.	Contracción radial y tangencial de las cuatro clases diamétricas y ubicación dentro de la semi-basa.....	52
9.	Contracción radial y tangencial de tres clases diamétricas y ubicación dentro de la semi-basa.....	53
10.	Contracción radial y tangencial de dos clases diamétricas y ubicación dentro de la semi-basa.....	53
11.	Contracción radial y tangencial promedio según zona de la semi-basa de las cuatro clases diamétricas.....	54
12.	Diagrama de caja, que muestra la variación de densidad normal relacionada con clase diamétrica versus zona de la semi- basa.....	61
13.	Diagrama de caja, que muestra la variación de densidad normal relacionada con zona de la semi-basa versus clase diámetro.....	62
14.	Diagrama de caja, que muestra la variación de densidad básica relacionada con clase diamétrica versus zona de la semi-basa.....	70
15.	Diagrama de caja, que muestra la variación de densidad básica relacionada con zona de la semi-basa versus zona de la clase diamétrica.....	71
16.	Diagrama de caja, que muestra la variación de la contracción radial relacionada con clase diamétrica versus zona de la semi-basa.....	79
17.	Diagrama de caja, que muestra la variación de la contracción radial relacionada con zona de la semi-basa versus clase diamétrica.....	80
18.	Diagrama de caja, que muestra la variación de la contracción tang. relacionada con clase diamétrica versus zona de la semi-basa.....	88
19.	Diagrama de caja, que muestra la variación de la contracción tang. relacionada con la zona semi-basa versus clase diamétrica.....	89
20.	Diagrama de caja de F_c, I_p , versus clases diamétricas.....	96

21.	Diagrama de caja de R_c , versus clases diamétricas.....	98
22.	Diagrama de caja de MOE_c , versus clases diamétricas.....	99
23.	Diagrama de caja de $F_{cn,lp}$, versus clases diamétricas.....	101
24.	Diagrama de caja de R_{cn} , versus clases diamétricas.....	102
25.	Diagrama de caja de MOE_{cn} , versus clases diamétricas.....	104
26.	Diagrama de caja de F_{lp} , versus clases diamétricas.....	106
27.	Diagrama de caja de MOE_f , versus clases diamétricas.....	107
28.	Diagrama de caja de R_f , versus clases diamétricas.....	109

RESUMEN

La presente investigación consiste en la Evaluación de propiedades Físicas y Mecánicas de madera de Nothofagus glauca (Hualo) proveniente del sector Cayurranquil, predio Las Yeguas, ubicado en la zona costera de la provincia de Cauquenes en la VII región. Este estudio surge por la necesidad de reivindicar la importancia de esta especie y a partir de su calidad, otorgar una mejor utilización en la elaboración de diferentes productos.

Se realizan estudios de propiedades físicas tales como densidad, contenido de humedad, contracción radial y contracción tangencial. Para esto, se ensayan 100 probetas obtenidas de 40 árboles de cuatro diámetros diferentes 15, 25, 35 y 45 cm. Los ensayos se realizan en el Laboratorio de Química de la Madera de la Universidad de Talca, campus Lircay, Talca.

Las propiedades mecánicas que se evalúan son flexión estática, compresión paralela y compresión perpendicular. Se utilizan 40 probetas para cada ensayo obtenidas de los 40 árboles, por lo que en total se utilizan 120 probetas. Estos ensayos se realizan en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca, campus Los Niches, Curicó.

La madera es procesada en el Centro Regional de Tecnología e Industria de la Madera (CERTIM). Los ensayos se ejecutan según la Norma Chilena, por lo que todas las probetas se acondicionan en la cámara de clima hasta un contenido de humedad de 12%. Además se utiliza como patrón de comparación las propiedades físico-mecánicas del Roble, Nothofagus obliqua, por que dadas sus propiedades, se utiliza en obras gruesas de edificios, tejuelas, puentes, muebles, durmientes, embarcaciones y otros.

Las propiedades físico-mecánicas del Hualo, resultan similares a las del Roble y según su densidad normal, se clasifica como una madera Semi-pesada. Los ensayos físico-mecánicos demuestran que el Hualo es una especie apta para la construcción pesada, tales como, vigas, pilares, entre otros.

Los análisis estadísticos de propiedades físicas y mecánicas demuestran que en cuanto a densidad, corresponde a una madera de densidad alta, la cual aumenta desde la zona cercana a la médula, hasta la zona lateral y desde la clase diamétrica menor hasta la clase diamétrica mayor. En cuanto a la contracción, se puede decir que se obtuvo una contracción no esperada.

Las propiedades mecánicas no presentan diferencias significativas entre clases diamétrica en cuanto a Tensión unitaria, Módulo de elasticidad y Módulo de rotura.

1. INTRODUCCIÓN

Nothofagus glauca (Phil.) Krasser, conocido con el nombre vulgar de Hualo o Roble maulino, se distribuye en la región del Maule, principalmente en la precordillera Andina y sectores de la cordillera de la Costa. En la actualidad es una especie de la cual su madera se conoce muy poco.

Antiguamente, su madera era de gran utilidad en la construcción de embarcaciones, puentes, mueblería e infraestructura vial, por esto, se puede decir que es una madera durable y con adecuadas propiedades de resistencia para estos productos.

Hoy en día, los bosques de Hualo existentes son escasos, debido a la sobreexplotación de la madera usada frecuentemente como material bioenergético, en consecuencia de esto, se encuentra en estado vulnerable.

Actualmente, su uso se limita a leña y carbón, por lo que determinar las propiedades físicas y mecánicas, permitirá reivindicar su importancia y tener un registro cuantificable de las características de la especie. De esta manera, se podrá dar a conocer su calidad y a partir de esta, asignar una mejor utilización en la elaboración de diferentes productos, lo que podría llevar a su industrialización y a un aumento en su valor agregado.

Cabe mencionar que este proyecto es de interés para CONAF (Corporación Nacional Forestal), ya que se encuentra dentro del marco de estudio “Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo” tendiente a buscar un aprovechamiento industrial del Bosque Nativo.

2. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas en madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) provenientes de la zona de Cauquenes.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar propiedades físicas provenientes de madera de Hualo: Densidad, Contracción radial y Contracción tangencial.
- Determinar propiedades mecánicas provenientes de madera de Hualo: Flexión estática, Compresión paralela y Compresión perpendicular.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 ASPECTOS GENERALES

Nothofagus glauca (Phil.) Krasser, es conocido vulgarmente como “Hualo”, “Roble”, “Roble Colorado” o “Roble Maulino”.

Se distribuye entre Alhué, en la provincia de Santiago y Norte del río Itata, por la Costa. Por los Andes, se le encuentra entre el río Teno y Sur del río Ñuble. Sin embargo, forma masas continuas sólo en su área sur hasta el río Mataquito por la Costa y hasta el Maule por los Andes, donde se desarrolla hasta los 1100 m. s. n. m. Hacia el Norte forma bosquetes aislados en las partes altas de las cordilleras, especialmente en la de la Costa.

Según un estudio realizado por CONAF (1999), los bosques de Nothofagus glauca (Hualo), se puede encontrar mezclado con otras especies de Nothofagus tales como, Nothofagus obliqua, pero dependiendo de la altitud, exposición y condiciones de humedad se encontrará acompañado por otras especies.

En la década del 60 se realizó un estudio (FNDR, 1990), en el que establece que los bosques de Hualo, eran bastantes densos y en la cordillera de la costa se le encontraba formando bosques puros. Según CONAF (1999), hoy en día presenta algún grado de alteración debido a la introducción de ganado, la tala para hacer leña y carbón, los incendios forestales los que son ocasionados por la fabricación de carbón. Junto con esto existe la necesidad de los propietarios de vender sus terrenos a empresas, las que utilizarán el terreno en plantaciones de pino.

Cabe destacar que el Hualo es una de las especies más utilizadas para la obtención de carbón vegetal. (FNDR, 1990).

3.2 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas de la madera son: contenido de humedad, densidad, y contracción.

3.2.1 Contenido de Humedad

Según Pérez (1983) y Cuevas (2003), se entiende por contenido de humedad “la masa de agua contenida en una pieza de madera, expresada como porcentaje de la masa de la pieza anhidra”. El peso anhidro es el peso que se obtiene cuando se coloca la madera en una estufa a 100 o 102° C, hasta que se obtiene un peso constante. Cuando el contenido de humedad es modificado, existirán variaciones dimensionales, las que se ven incrementadas mientras mayor sea la densidad de la madera.

Según Cuevas (2003), el contenido de humedad de la madera se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{C.H. (\%)} = \frac{P_i - P_0}{P_0} \times 100$$

Donde;

C.H (%) = Contenido de humedad, en porcentaje.

P_i = Peso inicial, en gramos

P₀ = Peso anhidro, en gramos

Campos et al, (1990), propuso utilizar una fórmula alternativa que resulta más cómoda:

$$\text{C.H. (\%)} = \frac{\text{Ph}}{\text{Ps}} - 1 \times 100$$

En que;

C.H.(%)= Contenido de humedad, en porcentaje.

Ph = Peso de la pieza de madera a un contenido de humedad H, en gramos.

Ps = Peso de la pieza de madera sin agua, es decir, en estado anhidro, en gramos.

Según Pérez (1983) y Campos et al, (1990) el contenido de humedad influye en la capacidad mecánica, es decir a menor contenido de humedad bajo el punto de saturación de las fibras (ó PSF, que corresponde a la eliminación total del agua libre del interior de las células y las paredes celulares permanecen saturadas, 28-30% C.H), en general aumenta la capacidad mecánica, es decir se incrementa la resistencia de la madera, tanto en flexión estática, compresión paralela y compresión perpendicular, y a partir del punto de saturación de la fibra, un aumento en el contenido de humedad no tendrá ninguna incidencia sobre la resistencia de la madera.

Los métodos existentes para determinar el contenido de humedad son, el método de pesada, método de destilación y el empleo de medidores eléctricos (Torres, 1971; NCh 176/1.Of84).

El método de secado en estufa o pesada, es el más exacto y confiable, excepto cuando se emplea en algunas maderas que contienen un porcentaje elevado de sustancias volátiles, ya que en este caso se debe utilizar otro proceso. El método de pesada consiste en pesar un trozo de madera a un contenido de

humedad X, para posteriormente someterla a temperaturas de 103 ± 2 °C, hasta obtener un peso constante.

Este método tiene desventajas, ya que es un método destructivo, teniendo que cortar la madera que se desea estudiar y la obtención de resultados no es inmediata, porque el tiempo mínimo requerido dependerá de la evaporación total de humedad de la madera.

Los medidores eléctricos, pueden funcionar conectados a la red eléctrica o con baterías. Posee varias ventajas, una de ellas es que no es destructivo, no siendo necesario cortar la madera para saber el contenido de humedad y es inmediato.

Una desventaja es su exactitud, ya que tienen como límite máximo un 25% de contenido de humedad de la madera (Cuevas, 2003).

El método de destilación se aplica a maderas con cualquier contenido de humedad y cualquier contenido de sustancias volátiles, el cual consiste en remover el agua de la madera mediante un solvente y su recolección por condensación en una trampa de agua, que permite medir su volumen (NCh 176/1.Of84).

3.2.2 Densidad

Es importante conocer la densidad, ya que de ella depende en gran parte el comportamiento de la madera, su adaptabilidad a eventuales tratamientos y modificaciones, así como la posibilidad de utilización que ofrece.

La densidad es el cociente entre la masa y el volumen de la madera, la cual varía con la humedad es decir, cuando la humedad crece, la densidad también crece (Karsulovic, 1982; Pérez, 1983; Cuevas, 2003).

$$\rho = \frac{m}{v}$$

En que:

- ρ = Densidad de la madera expresada en gr/cm³ ó kg/m³.
 m = Masa de la madera, en gramos ó Kilogramos.
 v = Volumen de la madera, en cm³ ó m³.

La Norma Chilena NCh176/2.Of86 modificada en 1988, hace referencia a distintos tipos de densidad.

- a) **Densidad de referencia:** relación entre la masa y el volumen de la probeta, determinados ambos a un mismo contenido de humedad, para este tipo de densidad se definen.
 - i) **Densidad anhidra;** relación entre la masa y el volumen de la probeta en el estado anhidro.
 - ii) **Densidad normal:** relación entre la masa y el volumen determinados ambos a un mismo contenido de humedad igual al 12%.

- b) **Densidad básica:** relación entre la masa de la probeta en estado anhidro y el volumen de la probeta en estado verde.

- c) **Densidad nominal:** relación entre la masa de la probeta en estado anhidro y el volumen de la probeta al contenido de humedad en el ensayo (generalmente 12% CH).

Cabe señalar que la clasificación de la madera de Hualo se realizará siguiendo las recomendaciones dadas por SALLENAVE (1955) (citado por Pérez, 1983).

Sallenave utiliza la densidad normal o aparente al 12% de contenido de humedad, existiendo las siguientes clases (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de la madera según método Sallenave.

Clase	Densidad Normal, en gr/cm ³	
	Coníferas	Latifoliadas
Muy livianas	< 0,400	< 0,500
Livianas	0,400 - 0,499	0,500 - 0,649
Semi-pesadas	0,500 - 0,599	0,650 - 0,799
Pesadas	0,600 - 0,700	0,800 - 0,950
Muy pesadas	> 0,700	> 0,950

Fuente: Campos et al, 1990.

Cabe mencionar para el posterior análisis, que la densidad normal del Roble corresponde a 0,778 gr/cm³ y la densidad básica 0,607 gr/cm³.

3.2.3 Contracción

Se entiende por contracción, a la disminución o pérdida de volumen de la madera, bajo el P.S.F y se expresa como porcentaje de la dimensión de la madera en estado verde (NCh 176/3.Of84).

La contracción es una de las características más indeseables de la madera y es la responsable en gran medida, de los inconvenientes y dificultades que se encuentran con ella en la construcción (Pérez, 1983).

La contracción se produce bajo el P.S.F, donde comienza a disminuir de volumen como consecuencia del adelgazamiento de las paredes celulares al perder masa la celulosa amorfa y aproximarse unas a otras las microfibrillas. La contracción es proporcional al descenso del contenido de humedad bajo el P.S.F (Torres, 1971; Cuevas, 2003).

$$C = \frac{D_i - D_f}{D_i} \times 100$$

Donde;

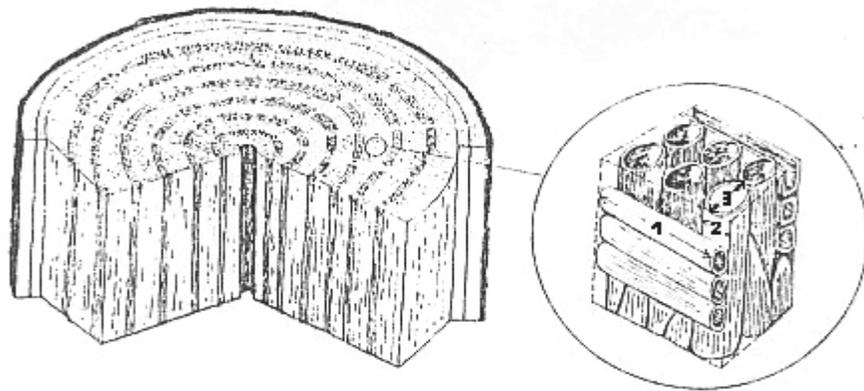
C (%) = Contracción, en porcentaje.

D_i = Dimensión inicial, en mm.

D_f = Dimensión final, en mm.

La Contracción tangencial es mayor que la contracción radial, una de las razones para explicar este fenómeno, es el efecto restrictivo de las células horizontales de los rayos medulares. La Figura 1 explica las diferencias en las contracciones. En el lado derecho se aprecia muy aumentada, la disposición de las células y de los radios medulares. La flecha 1 señala el sentido radial y en este caso, un radio de tres células verticales en el sentido radial. En cambio, en el sentido tangencial (flecha 3), el diámetro de la célula vertical se contraerá sin obstáculo.

Figura 1. Rodela explicativa de contracción radial y tangencial.



Fuente: Pérez, 1983.

Cabe destacar que en la mayoría de las especies la contracción radial es sólo un 50% del valor de la contracción tangencial. Proporcionalmente como un promedio de todas las especies, la contracción en las tres direcciones principales (tangencial, radial, longitudinal) tiene una razón de 100:50:1 aproximadamente (Pérez, 1983).

En la Tabla siguiente se muestra las contracciones radial y tangencial del Roble. Se asume que las contracciones pertenecen a un rodal Adulto.

Tabla 2. Contracción radial y tangencial del Roble.

Contracción Radial %	Contracción Tangencial %	Contracción Volumétrica %
4.6	8.3	12.9

Fuente: Pérez, 1983.

Existe además una relación entre los coeficientes de contracción en dirección tangencial y radial (R_{tr}). Cuanto más coincidentes sean las contracciones radial y tangencial, menos tensiones se producen en la madera y más estabilidad tendrá. Según norma UNE 56.840, maderas con relación entre

coeficientes $R_{tr} > 2$ presentan elevada tendencia a deformación, siendo problemática su utilización en muebles y carpintería (Vignote, 2000).

Sallenave, clasifica las maderas en base a la contracción volumétrica total (Cv), como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de la madera según contracción volumétrica.

Clase	Cv (%)	Tipo de Comparación
Gran contracción	20 a 15,1	Madera en trozos con grandes grietas de secado, que deberán aserrarse antes del secado.
Contracción mediana	15 a 10,1	Madera en trozos con grietas medianas, pudiendo ser conservada en trozos para estivación de minas y postes
Pequeña contracción	10 a 5	Madera en trozos con pequeñas grietas que se pueden secar antes de su aserreo o elaboración.

Fuente: Pérez, 1983.

3.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

La madera, cuerpo sólido, poroso y heterogéneo, tiene la capacidad de resistir a sollicitaciones externas, que tienden a deformarla o alterar sus dimensiones (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982).

Las propiedades mecánicas son las que determinan la capacidad que tienen los materiales de resistir fuerzas externas, con lo cual se puede controlar las formas más adecuadas (Karsulovic, 1982; Pérez, 1983).

3.3.1 Factores que inciden sobre las Propiedades Mecánicas

La madera, es un material heterogéneo, que se ve reflejado por la variabilidad que es posible encontrar en probetas extraídas de una misma especie maderera y de diferentes árboles, o aún más de probetas provenientes de un mismo árbol, lo que muestra una marcada diferencia en su densidad y resistencia. Ésta variabilidad responde a diferencias genéticas, de ambiente y/o ambas. Es por esto que posee valores de resistencia variables. Incluso pueden resultar más variables debido a que algunas de sus características no son controladas o controlables. Entre las más importantes cabe señalar:

- Contenido de humedad
- Densidad
- Angulo de fibras
- Nudosidad
- Temperatura
- Otras influencias

Contenido de humedad

El contenido de humedad en la madera afecta en general a propiedades mecánicas tales como, flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular, tracción, cizalle, dureza, clivaje. Sobre el P.S.F, la resistencia mecánica se mantiene constante y a medida que el contenido de humedad disminuye, desde el P.S.F hasta estado anhidro la resistencia mecánica de la madera aumenta (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982; Pérez, 1983; Cuevas, 2003), excepto en la propiedad mecánica de tenacidad, ya que disminuye.

Densidad

La densidad indica la cantidad de sustancia celular presente en una unidad de volumen de madera. Es por esto que especies con madera densa tienen resistencias altas y maderas livianas resisten menos que las anteriores.

Ángulo de fibras

La dirección de la carga que se aplica, puede coincidir o no con la dirección en que se encuentra el eje mayor de las células. El ángulo que se forma entre la carga aplicada y la fibra, se denomina ángulo de las fibras.

Las mayores resistencias se alcanzan en sollicitaciones paralelas a las fibras, por ser las resistencias mecánicas inversamente proporcionales al ángulo de las fibras.

Nudosidad

La presencia de nudos en la madera afecta a las propiedades mecánicas por:

- Variación de la dirección de las fibras,
- Diferencias de la densidad entre madera y nudo, y
- Presencia de grietas cuando la madera está seca.

Los nudos disminuyen la resistencia de la madera por inducir a una distribución irregular de las tensiones (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982).

Temperatura

El incremento de la temperatura provoca un aumento de la deformación disminuyendo la cohesión en el material.

Las resistencias estáticas disminuyen cuando la temperatura cambia de valores negativos a positivos. Para las resistencias dinámicas los cambios que se producen son irregulares y dependientes de la densidad y el contenido de humedad de la madera ensayada.

Otras influencias

Cabe destacar que los ataques patógenos de algún modo modifican o destruyen la pared celular, deterioran las resistencias mecánicas, especialmente las resistencias a sollicitaciones dinámicas. Cabe destacar que existen algunos hongos patógenos, como hongos y mohos cromógenos que no influyen por lo general en las resistencias, a no ser que estén acompañados de degradadores de la madera (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982).

3.3.2 Carga y Esfuerzo

Carga es toda fuerza externa que es aplicada sobre un miembro o estructura. Las fuerzas que resisten a las cargas son fuerzas internas que se desarrollan en un cuerpo cargado, denominadas tensiones internas (Véliz, 2003). Una fuerza puede ser medida en kilogramo (o en cualquier otra unidad de peso o fuerza).

A la tensión interna referida a una unidad de área resistente en una sección transversal de un cuerpo se le denomina esfuerzo unitario y queda expresado por:

$$\text{Esfuerzo unitario } (\sigma) = P/A,$$

Donde;

P = Es la carga y

A = Es el área de la sección.

En todos los materiales, los esfuerzos que actúan sobre un cuerpo producen un cambio de forma y tamaño. La distorsión que resulta del esfuerzo aplicado se conoce como deformación unitaria (ϵ) (Karsulovic, 1982; Cuevas, 2003). La deformación es medida en milímetro (o en cualquier unidad lineal).

$$\text{Deformación } (\epsilon) = \delta / l,$$

Donde;

δ = Es la deformación total y

l = Corresponde al largo del cuerpo en la dirección en el cual actúa la fuerza (Véliz, 2003).

Pérez (1983) define algunos conceptos básicos:

Deformación: desplazamiento de las partículas de un material, como resultado de la aplicación de una carga externa sobre él.

Fuerza externa: representa cualquier sollicitación que, actuando exteriormente, altere la forma y/o dimensión del material.

Límite de proporcionalidad: punto del gráfico carga - deformación, en el cual la curva se desvía de la línea recta inicial (ver gráfico 1).

Módulo de elasticidad: medida de la resistencia a la deformación axial de la probeta de ensayo cuando se la somete a una carga en dirección paralela a las

fibras de la madera. Se determina como la pendiente de la zona lineal del gráfico carga – deformación por debajo del límite de proporcionalidad.

Tensión máxima ó de rotura: es aquella que se determina con la carga máxima soportada por el cuerpo y se verifica cuando la carga que se aplica, más allá del límite elástico, provoca la rotura en el cuerpo.

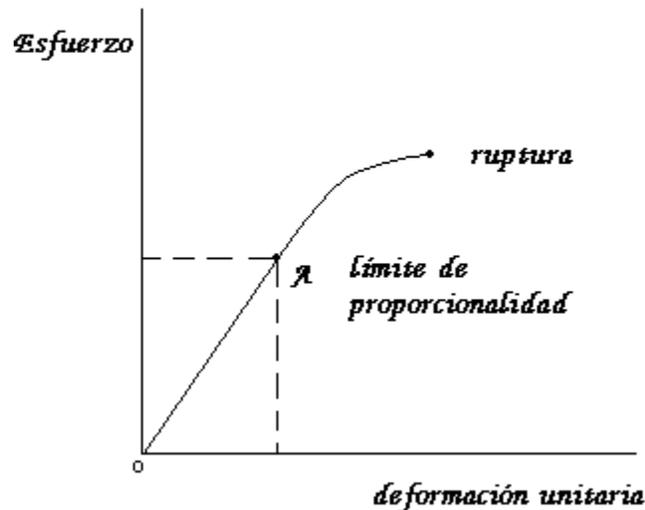
Tensión unitaria: es el esfuerzo que soporta un cuerpo por unidad de superficie.

Tensión en el límite de proporcionalidad: carga unitaria máxima a que se puede someter un material sin que se produzcan deformaciones permanentes.

3.3.3 Diagrama Esfuerzo - Deformación

En el Gráfico 1 se puede observar la relación que existe entre los incrementos de carga o esfuerzo a que se ve sometido un cuerpo (eje de las ordenadas) y sus correspondientes aumentos de deformación (eje de las abscisas). La línea resultante está formada por una recta hasta el límite elástico del material ensayado. Al seguir aumentando la carga se obtiene la ruptura del material (Pérez, 1983).

Grafico 1. Diagrama Esfuerzo-Deformación

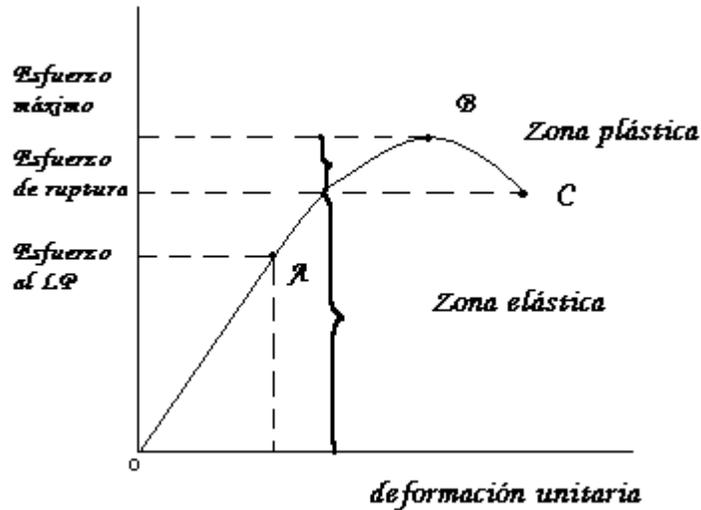


Fuente: Pérez, 1983.

Según Karsulovic (1982), cuando un cuerpo es aplastado o es cargado, este llega hasta un límite llamado *Límite de Proporcionalidad*, hasta este punto el cuerpo puede volver a recuperar su estado original, cuando la carga es suprimida, ésta zona es denominada con el nombre de zona elástica. Si se sigue aumentando la carga el material quedará permanentemente deformado, a esta zona se le denomina, zona plástica. En esta zona la carga y la deformación unitaria siguen creciendo, pero ahora la deformación sigue creciendo con mayor rapidez, (parte A – B de la curva del Gráfico 2), hasta alcanzar un esfuerzo máximo llamado también resistencia o esfuerzo máximo (punto B, de la Gráfico 2). El punto C del mismo Gráfico, corresponde a la tensión máxima o de rotura del material.

Cabe destacar que el Gráfico 2 corresponde aproximadamente al comportamiento que se obtiene en el ensayo de compresión axial de una probeta de madera.

Gráfico 2. Diagrama del ensayo de compresión paralela.



Fuente: Cuevas, 2003.

3.3.4 Ley de Hooke. Módulo de Elasticidad

La ley de Hooke establece que el “esfuerzo es proporcional a la deformación, hasta un determinado valor de la carga”. Esto se cumple sólo hasta el límite elástico o de proporcionalidad, es decir, corresponde a la línea recta de la figura anterior, si se sigue agregando carga la ley de Hooke ya no es válida (Karsulovic, 1982).

Ahora la Ley expresada matemáticamente es:

$$\frac{\sigma}{\epsilon} = \text{constante} \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

A la constante de proporcionalidad se le denomina Módulo de elasticidad de un material y se designa por el símbolo E, pero para estos efectos se utilizará la sigla MOE (Karsulovic, 1982). Cuando el esfuerzo y su respectiva deformación

son producidos por carga axial, la expresión del módulo de elasticidad puede ser escrita como sigue:

$$MOE = \frac{P/A}{\varepsilon / L} = \frac{P * L}{A \varepsilon} : \frac{Kg}{cm^2}$$

El módulo de elasticidad, es una medida de la rigidez de un material. Es aquella propiedad de la materia que le permite resistir una fuerza que tiende a cambiar su forma o volumen y que es responsable de la recuperación de su forma o volumen original cuando dicha fuerza deja de actuar (Karsulovic, 1982; Pérez, 1983; Cuevas, 2003). Cabe destacar la importancia de considerar los conceptos de Rigidez y Elasticidad. *Rigidez* es la característica de un cuerpo que solicitado por cargas externas mantiene su tamaño y su forma natural o resiste a la deformación. Por el contrario, *elasticidad* es la característica de ciertos materiales sólidos, los cuales admiten deformaciones mientras permanezca la sollicitación externa (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982).

Cabe señalar que el módulo de elasticidad no es una medida de resistencia y solo se aplica a condiciones dentro del límite de proporcionalidad, y se expresa en las mismas unidades que el esfuerzo unitario, ya que ε es adimensional y el MOE, toma las unidades de σ , es decir, kg/cm^2 (Karsulovic, 1982).

3.4 ENSAYOS PARA DETERMINAR PROPIEDADES MECÁNICAS

Según Cuevas (2003), las diferentes sollicitaciones a que puede estar sometida la madera son las siguientes:

- Flexión estática
- Compresión
- Tracción
- Cizalle
- Clivaje
- Dureza
- Tenacidad (Impacto, Flexión dinámica)

3.4.1 Compresión

Según Karsulovic (1982) y Campos et al (1990), se distinguen dos tipos de fuerzas de compresión según el sentido de aplicación de la fuerza; compresión paralela y compresión perpendicular a la fibra. La compresión paralela ocurre cuando una fuerza actúa de manera paralela a las fibras paralela y corresponde a “la resistencia que opone una viga a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de la fibra” (Figura 2 a). La compresión perpendicular, ocurre cuando la fuerza solicitante actúa en dirección perpendicular a las fibras, y corresponde a “la resistencia que opone la madera a una carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una cara radial de la probeta” (Figura 2 b).

Figura 2 a. Compresión paralela

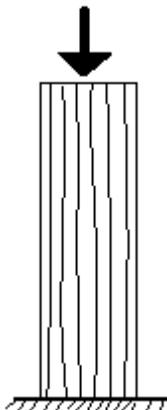
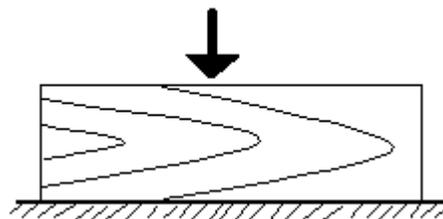


Figura 2 b. Compresión perpendicular



Con el valor de la Tensión máxima o de rotura de compresión paralela (Rc), Sallenave define la “cota de calidad”, mediante la fórmula:

$$\text{Cota de calidad estática} = R_c / (100 \times \rho_{12})$$

Donde;

Rc = Tensión máxima o de rotura para un 12% de CH, en Kg/cm².

ρ = Densidad aparente para un 12% de CH, en gr/cm³.

Se utiliza esta cota porque es bastante constante dentro de una misma especie y sirve para comparar entre sí, maderas con distinta resistencia a la compresión (Pérez, 1983).

De acuerdo a la tensión máxima o de rotura y a la “cota de calidad estática” se pueden definir las siguientes clases: (Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación de madera por clase.

	Ligera		Semi-pesada		Pesada		Muy pesada	
Clase	Rc	Rc/100ρ₁₂	Rc	Rc/100ρ₁₂	Rc	Rc/100ρ₁₂	Rc	Rc/100ρ₁₂
Inferior	208 - 312	< 7,3	286 - 390	< 6,2	416 - 520	< 6,2	520 - 624	< 7,3
Mediana	312- 416	7,3 - 8,3	390 - 494	6,2 - 7,3	520 - 728	6,2 - 7,3	624 - 832	7,3 - 8,3
Superior	416 - 624	> 8,3	494 - 624	> 7,3	728- 832	> 7,3	832 - 1040	> 8,3

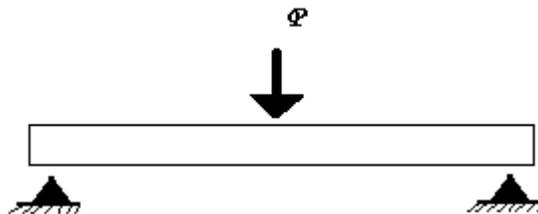
Fuente: Campos et Al, 1990

3.4.2 Flexión estática

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.

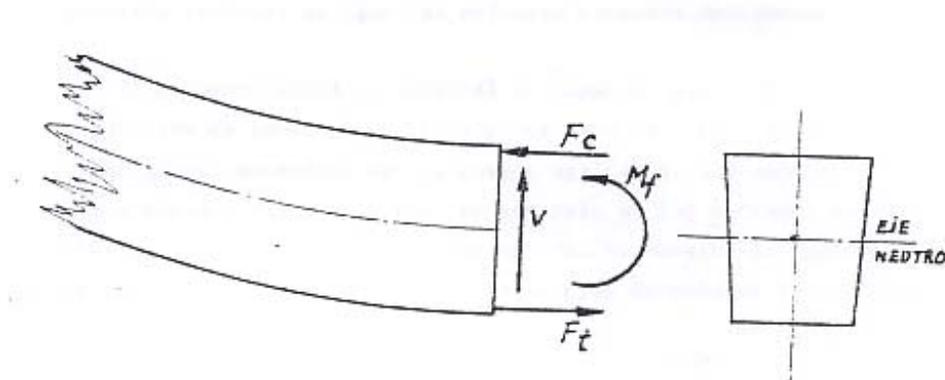
El ensayo de flexión estática mide la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz o distancia entre apoyos, aplicada en la cara radial de la probeta (Figura 3).

Figura 3. Viga en ensayo de Flexión estática.



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) (Figura 4). El plano donde se produce la inversión del sentido del esfuerzo, se denomina *plano neutro* y su traza sobre la sección transversal se denomina eje neutro (el esfuerzo de flexión es nulo). Además en la cara inferior de la viga se aprecia los esfuerzos máximo en tracción y en la cara superior el esfuerzo máximo en compresión (Karsulovic, 1982).

Figura 4. Viga en Flexión estática.



Fuente: Karsulovic, 1982.

Para clasificar la madera, se usará el módulo de ruptura (MORf). Según Campos et Al (1990), es posible definir las siguientes clases (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de la madera por Clase, según MORf.

Clase	MORf (Kg/cm ²)
Pequeña	< 784
Mediana	784 - 1283
Grande	> 1283

Fuente: Campos et al, 1990.

Al tomar la razón entre el MORf y la densidad aparente al 12% de contenido de humedad se obtiene la “cota de flexión”.

$$\text{Cota de Flexión} = \text{MORf}/(100 \times \rho_{12})$$

Donde;

MORf = Módulo de ruptura en flexión, en Kg/cm².

ρ = Densidad aparente al 12% de CH, en gr/cm³.

Según esta cota es posible distinguir las siguientes calidades (ver tabla 6):

Tabla 6. Clasificación según cota de flexión.

Calidad	Cota de Flexión	Aplicaciones
Pequeña	7,1 – 10,7	Madera impropia para carpintería.
Mediana	10,7 – 14,3	Madera mediana para carpintería.
Grande	14,3 – 17,8	Madera buena para carpintería.

Fuente: Pérez, 1983.

Por último, Sallenave, establece el cociente entre la cifra del módulo de ruptura (MORf) y la tensión máxima o de rotura de compresión paralela (Rc), dando origen a una nueva característica llamada *cota de tenacidad*.

$$\text{Cota de Tenacidad} = 1,459 \times \text{MORf/Rc}$$

Donde;

MORf = Módulo de ruptura en flexión, en Kg/cm².

Rc = Tensión máxima o de rotura de compresión paralela, en Kg/cm².

Se proponen de esta forma las siguientes calidades (Tabla 7).

Tabla 7. Clasificación según cota de tenacidad.

Calidad	Cota de Tenacidad
Poco tenaz	< 2
Medianamente tenaz	2 – 3
Muy tenaz	3 – 4

Fuente: Campos et al, 1990.

4. METODOLOGÍA

4.1 OBTENCIÓN DE PROBETAS.

La madera fue donada por CONAF, la cual fue obtenida del sector Cayurranquil, predio Las Yeguas, ubicado en la zona costera de la provincia de Cauquenes en la VII región. El predio consta de una superficie de 45 há.

La selección y obtención de probetas se realiza mediante NCh968.Of86.

Para la realización de los ensayos físico-mecánicos los árboles a seleccionar cumplen requisitos mínimos tales como, tronco recto, una altura sin ramas de mínimo 6 metros, diámetro estipulado, médula centrada con una tolerancia de no más de 10%.

Se extraen 40 árboles, con diferentes clases diamétricas 15, 25, 35 y 45 cm (DAP sin corteza), por cada clase diamétrica, se analizan 10 árboles. Se utiliza una nomenclatura para cada clase diamétrica, es decir, para los árboles con un DAP de 15 cm se le nombra como D1, la clase diamétrica de 25 cm se nombra como D2, la clase diamétrica de 35 cm como D3 y la clase diamétrica correspondiente a 45 cm de DAP como D4.

De estos 40 árboles se utiliza sólo la primera troza, con un largo de 2,4 mt. los que se transforman en semi-basas. Posteriormente se dimensionan a una altura equivalente al DAP (1,3 mt), para luego transformarlos en semi-basa.

Una vez obtenidos, estos se transportan inmediatamente a la Universidad de Talca, específicamente al Centro Regional de Tecnología e Industria de la Madera (CERTIM), para procesarlos y convertirlos en probetas

con los tamaños estipulados por norma para la realización de cada ensayo, utilizando para esto una sierra huincha horizontal y una sierra escuadradora.

Para la ejecución de los ensayos de propiedades físicas, es decir, contenido de humedad, densidad y contracción, se obtienen de cada clase diamétrica, y de la parte superior del árbol, es decir, de la zona cercana al DAP y con disposición norte, diferentes cantidades de probetas de médula a corteza. De la clase diamétrica D1, se obtiene 1 probeta, de la clase diamétrica D2 se obtienen 2 probetas, de la clase diamétrica D3 se obtienen 3 probetas y por último de la clase diamétrica D4 se obtienen 4 probetas. Las probetas se clasifican dependiendo del lugar de donde se obtienen dentro de la semi-basa, es decir se nombra con la letra CM a la probeta que se obtiene de la zona cercana a la médula, con la letra C se nombra a las probetas ubicadas en la zona central de la semi-basa, con la letra CL se nombra a las probetas que se obtienen de la zona central lateral de la semi-basa y con la letra L se nombra a las probetas que se obtienen de la zona lateral de la semi-basa, cercana a la corteza. Por ejemplo, si se obtiene una probeta de la zona lateral de un árbol de diámetro 45 cm, se nombra como D4L.

De la parte más cercana a la corteza siguiendo a la ubicación de las probetas de ensayos físicos se obtiene una probeta para los ensayos mecánicos, específicamente el de compresión paralela.

De la parte superior, correspondiente al mismo árbol, pero con disposición sur y cercana a la corteza se obtiene una probeta para el ensayo de flexión. En la parte basal, cercana al DAP y cercana a la corteza, pero con disposición norte, se obtiene una probeta para el ensayo de compresión perpendicular. Cabe destacar que las probetas deben estar libres de corteza y defectos. (NCh176/1, 1984).

Para un mejor entendimiento de la distribución de las probetas dentro de las semi-basas, de ensayos físicos y mecánicos según clase diamétrica (Figura 5 y 6).

Figura 5. Distribución de probetas dentro de la semi-basa.

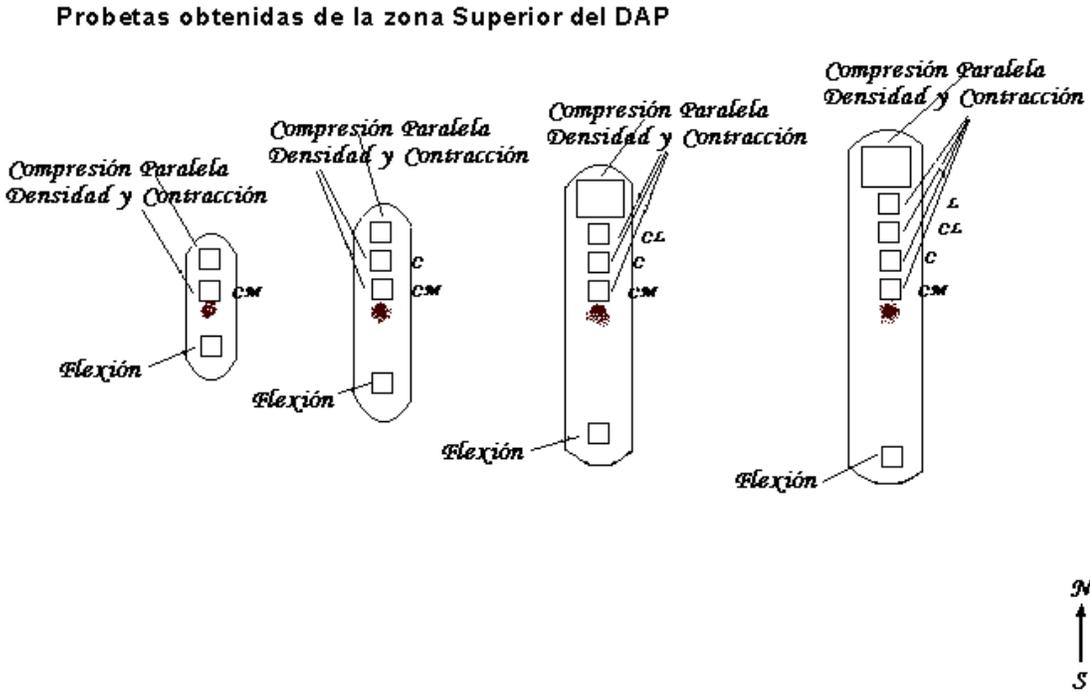
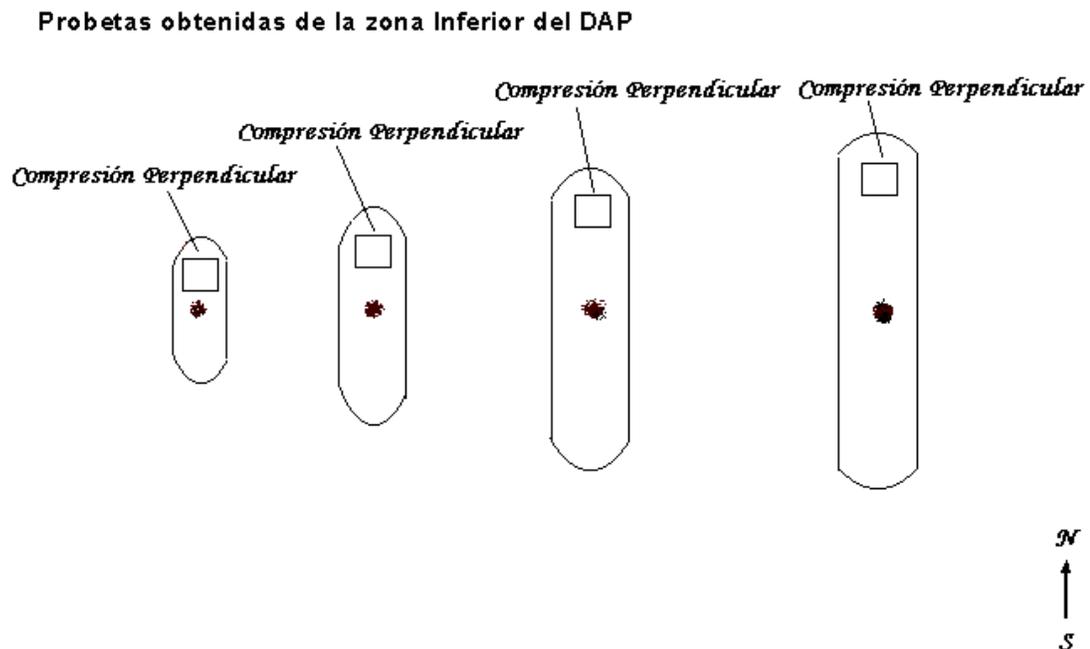


Figura 6. Distribución de probetas dentro de la semi-basa.



Las dimensiones de las probetas correspondientes a cada ensayo se muestran en la en la Tabla 8.

Tabla 8. Dimensiones de probetas para ensayos físicos y mecánicos.

Ensayos	Dimensiones (mm)
Propiedades Físicas	
Densidad, Contracción radial y tangencial y Contenido de humedad	25 x 25 x 100
Propiedades Mecánicas	
Compresión paralela	50x50x200 ó 25x25x100 (método alternativo para diámetros menores de 300)
Compresión perpendicular	50 x 50 x 150
Flexión	25 x 25 x 410

En la Tabla 9, se muestra en detalle las cantidades de probetas que se utilizan para determinar densidad y contracción por zona y clase diamétrica.

Tabla 9. Cantidades de probetas para ensayos físicos por zona y clase diamétrica.

Zona/Clase Diamétrica	D1	D2	D3	D4	Total
CM	10	10	10	10	40
C	---	10	10	10	30
CL	---	---	10	10	20
L	---	---	---	10	10
Total	10	20	30	40	100

La Tabla 10 muestra las cantidades de probetas correspondientes a los ensayos físicos y mecánicos por clase diamétrica. Cabe destacar que para los ensayos mecánicos se utilizan 10 probetas de cada clase diamétrica.

Tabla 10. Cantidades de probetas para ensayos físicos y mecánicos.

Ensayos Físicos	D1	D2	D3	D4	Totales
Densidad, Contracción, Contenido de Humedad	10	20	30	40	
Total Probetas Ensayos Físicos	10	20	30	40	100
Ensayos Mecánicos					
Flexión	10	10	10	10	40
Compresión paralela	10	10	10	10	40
Compresión perpendicular	10	10	10	10	40
Total Probetas Ensayos Mecánicos	30	30	30	30	120

En la tabla anterior, se puede observar la cantidad de probetas utilizadas, en resumen, para los ensayos físicos se ensayan 100 y para ensayos mecánicos 120.

Una vez que se obtienen las probetas, éstas son encastillas y para evitar su deformación, se le aplica carga a través de bloques de cemento, y se mantuvo secando al aire hasta terminar todas las probetas, las que luego fueron secadas en un horno de 1 m³ de capacidad, para esto se utiliza el programa de secado que se observa en la Tabla 4, hasta un contenido de humedad de 50%, para posteriormente llevarlo a la cámara de clima y llegar a un contenido de humedad de aproximadamente 12%, que es lo que exige la NCh 968Of.86 del INN para realizar los ensayos de propiedades físico- mecánicas. En la Foto 1 se puede observar las probetas encastilladas al aire y en la Foto 2 las probetas encastilladas en la cámara de secado experimental.

Tabla 11. Programa de Secado.

Paso	T° bulbo seco °C	T° bulbo húmedo °C	CH %	HR %
1	40	37.5	Verde	85
2	40	36.5	60	80
3	45	40.5	40	75
4	45	39.5	35	70
5	45	38.5	30	65
6	50	42	25	60
7	60	47.5	20	51
8	65	48.5	15	40

Foto 1. Madera encastillada y secándose al aire.



Foto 2. Madera encastillada en la cámara de secado experimental.



Los ensayos de propiedades físicas se realizan en el Laboratorio de Química de la Madera de la Universidad de Talca, campus Lircay, Talca. En este laboratorio se procede a pesar, secar hasta peso anhidro y medir dimensión de las probetas.

Los ensayos de propiedades mecánicas se realizan en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca, campus Los Niches, Curicó.

4.2 MATERIALES REQUERIDOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENTES PROPIEDADES

4.2.1 Materiales

- Balanza analytical plus, marca OHAUS
- Cámara de clima, marca Heraeus Votsch
- Desecador
- Estufa de secado, marca memmert
- Cámara de secado experimental NARDI (1 m³ de capacidad)
- Extensómetro
- Micrómetro con dial, marca Helius
- Máquina de ensayo universal, marca Schenck Trebel
- Pie de metro
- Probetas (25x25x100, 50x50x200, 50x50x150, 25x25x410 mm)
- Xilohigrómetro
- Pinzas

4.3 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

4.3.1 Procedimiento

El contenido de humedad de las probetas se determina según lo establecido en la norma NCh176/1.Of84, a través del método de secado en estufa. Las probetas son de sección cuadrada de 25mm por lado y 100 mm de longitud, estas probetas se utilizan además, para determinar densidad normal y densidad básica, contracción radial y contracción tangencial.

Cabe destacar, que todas las probetas, tanto para los ensayos físicos como mecánicos, tienen los anillos de crecimiento paralelos a las dos caras opuestas de la probeta, no presentan defectos y se acondicionan en la cámara de clima, hasta un 12% de contenido de humedad.

4.4 DENSIDAD

4.4.1 Procedimiento

La densidad normal y densidad básica, se determina según lo establecido en la norma NCh176/2.Of86. La masa se obtuvo utilizando una balanza digital y el volumen se obtuvo por medición directa. Las probetas eran de sección cuadrada de 25 mm por lado y 100 mm de longitud.

4.5 CONTRACCIÓN RADIAL Y TANGENCIAL.

4.5.1 Procedimiento

La determinación de la contracción radial y tangencial se efectúa mediante la norma NCh176/3.Of84. Las probetas son prismas rectos de sección cuadrada de 25 mm por lado y 100 mm de largo.

El ensayo consiste en medir dimensión en estado verde de las 100 probetas correspondiente a los ensayos físicos, posteriormente se mide dimensión al 12% de contenido de humedad y finalmente se efectúa la toma de dimensión de las probetas en estado anhidro.

4.6 COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

4.6.1 Procedimiento

El ensayo de compresión se realiza mediante la norma NCh973.Of85 y las probetas se seleccionan de acuerdo a la norma NCh968.Of896. Éstas no presentan fallas ni defectos, presentan un contenido de humedad de 12 %, y el eje longitudinal de la probeta es paralelo a la dirección de la fibra con dos de sus caras opuestas paralelas a los anillos de crecimiento. Las dimensiones de las probetas corresponden a una sección cuadrada de 25 mm por lado y 100mm de largo para las clases diamétricas D1 y D2, correspondiente a un método alternativo y las probetas de 50 mm por lado y 200mm de largo, para las clases diamétricas D3 y D4.

El ensayo consiste en aplicar sobre una sección extrema de la probeta y en dirección paralela a las fibras de la madera una carga continua, en la cual se

miden las deformaciones producidas por la aplicación de la carga hasta llegar a un punto de falla de la probeta.

Posteriormente para la expresión de los resultados, se realiza un gráfico con las cargas y las deformaciones, esto se realiza para la determinación del límite de proporcionalidad de la curva y la carga correspondiente a este límite, y junto con esto la deformación que a él le corresponde.

4.7 COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

4.7.1 Procedimiento

El ensayo de compresión perpendicular o normal se realiza según la norma NCh974.Of86, las probetas se seleccionan de acuerdo a la norma NCh968.Of86, estas probetas tienen dimensiones de 50 x 50 x 150 mm, sin defectos y a un contenido de humedad de 12% aproximadamente.

Foto 3. Ensayo de compresión paralela.



4.8 FLEXIÓN ESTÁTICA

4.8.1 Procedimiento

El ensayo se ejecuta según norma NCh937.Of85. Las probetas se seleccionan de acuerdo a la norma NCh968.Of86 y el contenido de humedad y densidad se determina según las respectivas normas. Las probetas no presentan fallas ni defectos y su eje longitudinal es paralelo a la dirección de la fibra con dos de sus caras opuestas paralelas a los anillos de crecimiento. Las probetas corresponden a un paralelepípedo recto de 25 x 25 x 410 mm de largo, para todas las clases diamétricas.

Cabe destacar que estas probetas no corresponden a las probetas que se utilizan para los ensayos físicos, además, de cada probeta se determina densidad de referencia y contenido de humedad al momento de realizar del ensayo. El contenido de humedad se obtiene cortando una sección de 25 mm de la zona cercana de falla de la probeta.

Foto 4. Ensayo de flexión estática.



Una vez que se realizan los ensayos se procede a obtener los cálculos de densidad, contracción (de acuerdo a lo señalado en el capítulo 3), compresión paralela, compresión perpendicular y flexión estática de acuerdo al siguiente procedimiento.

4.8.1.1 Compresión paralela;

a) Tensión de compresión paralela en el límite de proporcionalidad, $F_{c,lp}$

$$F_{c,lp} = (P_{lp} / (a \times e)) \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde;

P_{lp} = Carga en el límite proporcional, en Kg.

a = Promedio de los anchos de la probeta, en cm.

e = Promedio de los espesores de la probeta, en cm.

b) Tensión máxima o de rotura de compresión paralela, R_c

$$R_c = (Q / (a \times e)) \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Q = Carga máxima aplicada, en Kg.

a = Promedio de los anchos de la probeta, en cm.

e = Promedio de los espesores de la probeta, en cm.

c) Módulo de elasticidad de compresión paralela, MOE_c

$$MOE_c^* = (P_{lp} \times L) / (D_{lp} \times a \times e) \text{ (Ton/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Plp = Carga en el límite proporcional, en Kg.

a = Promedio de los anchos de la probeta, en cm.

e = Promedio de los espesores de la probeta, en cm.

L = Longitud de la probeta, en cm.

Dlp = Deformación en el límite proporcional, en cm.

* Queda expresado en Kg/cm², por lo que es transformada a Ton/cm².

4.8.1.2 Compresión perpendicular;

a) Tensión unitaria de compresión perpendicular, Fcn,lp

$$F_{cn,lp} = P_{lp} / (a \times z) \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Plp = Carga en el límite proporcional, en Kg.

a = Promedio de los anchos de la probeta, en cm.

z = Ancho de la placa metálica rígida (igual a 5cm), en cm.

b) Tensión máxima o de rotura de compresión perpendicular, Rcn

$$R_{cn} = Q / (a \times z) \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Q = Carga máxima aplicada, en Kg.

a = Promedio de los anchos de la probeta, en cm.

z = Ancho de la placa metálica rígida (igual a 5cm), en cm.

c) Módulo de elasticidad de compresión perpendicular, MOEcn

$$\text{MOEcn}^* = (\text{Plp} \times h) / (\text{Dlp} \times a \times z) \text{ (Ton/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Plp = Carga en el límite proporcional, en Kg.

a = Promedio de los anchos de la probeta, en cm.

z = Ancho de la placa metálica rígida (igual a 5 cm), en cm.

Dlp = Deformación en el límite proporcional, en cm.

h = Altura de la probeta (dimensión de la cara tangencial paralela a la carga), en cm.

* Queda expresado en Kg/cm², por lo que es transformado a Ton/cm².

4.8.1.3 Flexión estática;

a) Tensión unitaria de flexión en el límite proporcional, Flp

$$\text{Flp} = (3 \times \text{Plp} \times L') / (2 \times a \times h^2) \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Plp = Carga en el límite proporcional, en Kg.

L' = Luz del ensayo, en cm.

a = Ancho de la probeta, en cm.

h = Altura de la probeta, en cm.

b) Módulo de elasticidad en flexión, MOEf

$$\text{MOEf}^* = (\text{Plp} \times L'^3) / (4 \times \text{Dlp} \times a \times h^3) \text{ (Ton/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Plp = Carga en el límite proporcional, en Kg.

L' = Luz del ensayo, en cm.

a = Ancho de la probeta, en cm.

h = Altura de la probeta, en cm.

Dlp = Deformación en el límite proporcional, en cm.

* Queda expresado en Kg/cm², por lo que es transformado a Ton/cm².

c) Módulo de ruptura en flexión, Rf

$$Rf = (3 \times Q \times L') / (2 \times a \times h^2) \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Q = Carga máxima aplicada, en Kg.

L' = Luz del ensayo, en cm.

a = Ancho de la probeta, en cm.

h = Altura de la probeta, en cm.

Un ejemplo del cálculo de Fc,lp se observa a continuación, para esto se toman los valores del gráfico de compresión paralela D11, que se encuentra en el apéndice III, el ancho y espesor que se encuentra en la tabla "Datos de ensayo de compresión paralela" del mismo apéndice.

$$Fc,lp = (Plp / (a \times e)) \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Plp = Carga en el límite proporcional, en Kg.

a = Promedio de los anchos de la probeta, en cm.

e = Promedio de los espesores de la probeta, en cm.

$$F_c,lp = (2856 \text{ kg} / (2,44 \text{ cm} \times 2,46 \text{ cm})) = 475,81 \text{ Kg/cm}^2$$

Los datos de carga en el límite proporcional, ancho, espesor, deformación en el límite proporcional, carga máxima, etc. y resultados de F_c,lp , R , MOE y MOR se encuentran en el apéndice III, junto con esto se encuentran los pesos y resultados de la deformación de cada probeta en ejecución de los ensayos de compresión paralela, compresión perpendicular y flexión.

4.9 CARACTERÍSTICAS DE Nothofagus obliqua (ROBLE)

Se distribuye desde Colchagua (33^a lat. Sur) hasta Puerto Montt (41^a 30' lat. Sur) por la cordillera de los Andes y desde el sur del río Aconcagua hasta Puerto Montt por la cordillera de la Costa.

La madera de roble se usa en obra gruesa de edificios, tejuelas, puentes, muebles, postes y rodrigones, estacas para minas, durmientes, embarcaciones, etc. También es apto para la fabricación de tableros de partículas, tanto para interiores como para exteriores. También se utiliza en productos directos de la cosecha al igual que el Hualo tales como leña, carbón y actualmente los renovales son explotados para la producción de astillas.

El Roble posee una madera semi pesada, dura, de alta resistencia mecánica y durable de la cual se espera una vida útil superior a los 15 años.

4.10 ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de los datos de ensayos físicos, Se tendrán dos factores: clase diamétrica y ubicación de las probetas dentro de la semi-basa, además se comparan las propiedades del Hualo con las del Roble.

En el caso de los ensayos mecánicos, se comparan nuevamente las propiedades del Hualo, con las propiedades del Roble, determinando de esta manera su factibilidad para diferentes usos.

Cabe destacar que ambas propiedades se analizan siguiendo las recomendaciones dadas por Sallenave.

Para el análisis estadístico se utiliza el programa SPSS, en el cual se realiza comparación de medias, utilizando análisis de varianza ó ANOVA de un factor y diagrama de caja, ya que resulta importante analizar de manera gráfica los datos provenientes de cada ensayo. Además se realiza pruebas de homogeneidad de varianza y se realizan pruebas Post hoc, el cual es un procedimiento para comparar las medias de cada tratamiento posterior al análisis de varianza, conocida como *Método de Comparación Múltiple* ó de *Separación de Medias*, en este caso el procedimiento que se realiza es la prueba de rangos múltiples de Duncan, esta última, logra detectar más fácilmente las diferencias que puedan existir, por ser la más sensible.

5. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

5.1.1 Densidad

Las densidades normales y básicas promedio, aumentaron de médula a corteza en las cuatro clases diamétricas. Para la densidad normal, el aumento desde la zona CM hasta la zona C y luego de la zona CL hasta la zona L es de un 5.1, 1.5 y 1.5% respectivamente. En la densidad básica el aumento desde la zona CM hasta la zona C y luego de la zona CL hasta la zona L es de un 6.4, 1.7 y 1.5% respectivamente (ver Tabla 16).

Las Tablas 12, 13, 14 y 15, muestran las densidades por clase diamétrica y zona dentro del árbol. El número de observaciones, por clase diamétrica varía, por lo que se podría pensar que los resultados no son certeros, aún así, las densidades mostraron un comportamiento favorable y esperado.

En el apéndice I se muestra en detalle todos los valores de densidad normal y básica de cada una de las probetas, además los pesos en verde, seco y estado anhidro.

Cabe destacar que los valores que se obtienen para comparar propiedades físicas y mecánicas de Hualo con el Roble pueden incluir valores que podrían variar dentro de un rango al ensayar las distintas especies, algunos parámetros de variación son; el origen de la madera, la densidad, edad, norma de ensayo o procedimientos y otros.

En la Tabla 16, se muestran los valores de densidad normal promedio de las cuatro clases diamétricas, y al compararla con la Tabla 1 se puede observar que la madera de Hualo correspondió a una madera Semi-pesada.

Como se mencionó anteriormente la densidad normal del Roble corresponde a $0,778 \text{ gr/cm}^3$ y la densidad básica $0,607 \text{ gr/cm}^3$. Se asume que estos valores corresponden a los obtenidos de un rodal adulto, por lo que las comparaciones se realizan con la clase diamétrica mayor del Hualo, es decir D4 (ver Tabla 15).

Según la densidad normal y básica del Hualo, se puede observar que la densidad del Roble supera a la del Hualo en un 3,7 y 0,3 % respectivamente, por lo que ambas especies se encontraron dentro de la clase Semi-pesada. De acuerdo a esto, se puede decir que la madera de Hualo puede tener usos similares que los del Roble.

Tabla 12. Densidades de la zona cercana a la médula (CM) de las 4 clases diamétricas.

Clase Diamétrica	N° Obs.	Densidad Normal (gr/cm^3)	Densidad Básica (gr/cm^3)
D1	10	0,675	0,524
D2	10	0,667	0,532
D3	10	0,700	0,562
D4	10	0,731	0,587
Promedio		0,693	0,551
Desviación estándar		0,02877	0,02884

Tabla 13. Densidades de la zona central (C) de 3 clases diamétricas

Clase Diamétrica	N° Obs.	Densidad Normal (gr/cm^3)	Densidad Básica (gr/cm^3)
D2	10	0,715	0,576
D3	10	0,715	0,577
D4	10	0,754	0,605
Promedio		0,728	0,586
Desviación estándar		0,02263	0,01661

Tabla 14. Densidades de la zona central lateral (CL) de 2 clases diamétricas.

Clase Diamétrica	N° Obs.	Densidad Normal (gr/cm ³)	Densidad Básica (gr/cm ³)
D3	10	0,719	0,582
D4	10	0,758	0,610
Promedio		0,739	0,596
Desviación estándar		0,0276	0,0195

Tabla 15. Densidades de la zona lateral (L) de la mayor clase diamétrica.

Clase Diamétrica	N° Obs.	Densidad Normal (gr/cm ³)	Densidad Básica (gr/cm ³)
D4	10	0,750	0,605

Tabla 16. Densidades promedio de las 4 zonas.

Zona dentro del árbol	N° Obs.	Densidad Normal Promedio (gr/cm ³)	Densidad Básica Promedio (gr/cm ³)
CM	40	0,693	0,551
C	30	0,728	0,586
CL	20	0,739	0,596
L	10	0,750	0,605

A continuación, en los Gráficos 3, 4, 5 y 6, correspondiente a las piezas obtenidas de la zona cercana a la médula, zona central, zona central lateral y zona lateral respectivamente, se observó un aumento de densidad normal y básica de menor a mayor clase diamétrica. En el Gráfico 7 se puede apreciar las densidades normales y básicas promedio correspondiente a las cuatro zonas en estudio, observándose claramente un aumento de estas densidades desde la zona cercana a la médula hasta la zona lateral.

Gráfico 3. Densidad de la zona cercana a la médula en las 4 clases diamétricas.

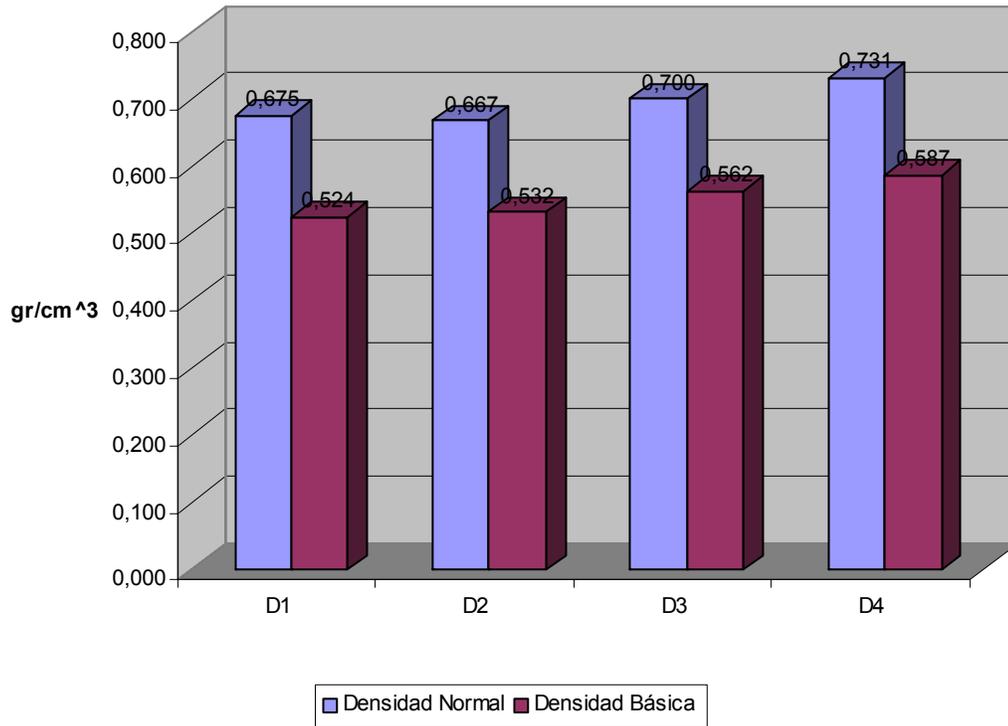


Gráfico 4. Densidad de la zona central en 3 clases diamétricas.

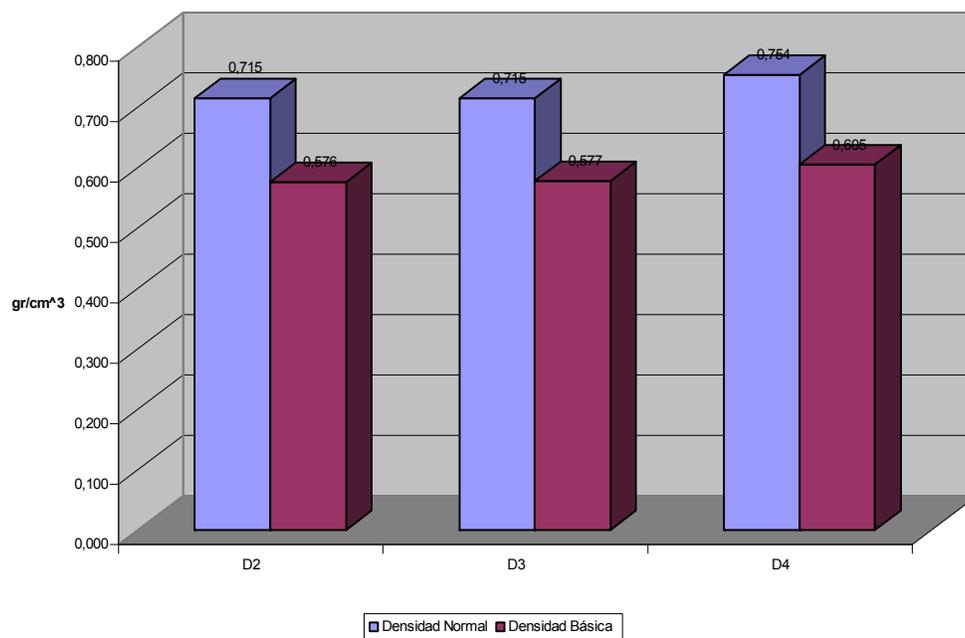


Gráfico 5. Densidad de la zona central lateral en 2 clases diamétricas.

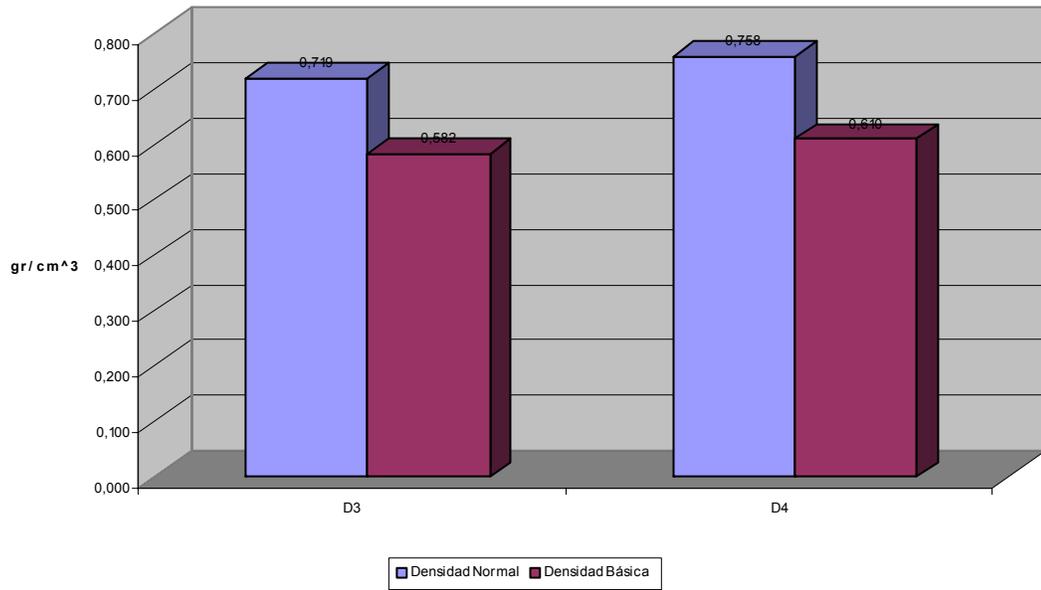


Gráfico 6. Densidad de la zona lateral de la mayor clase diamétrica.

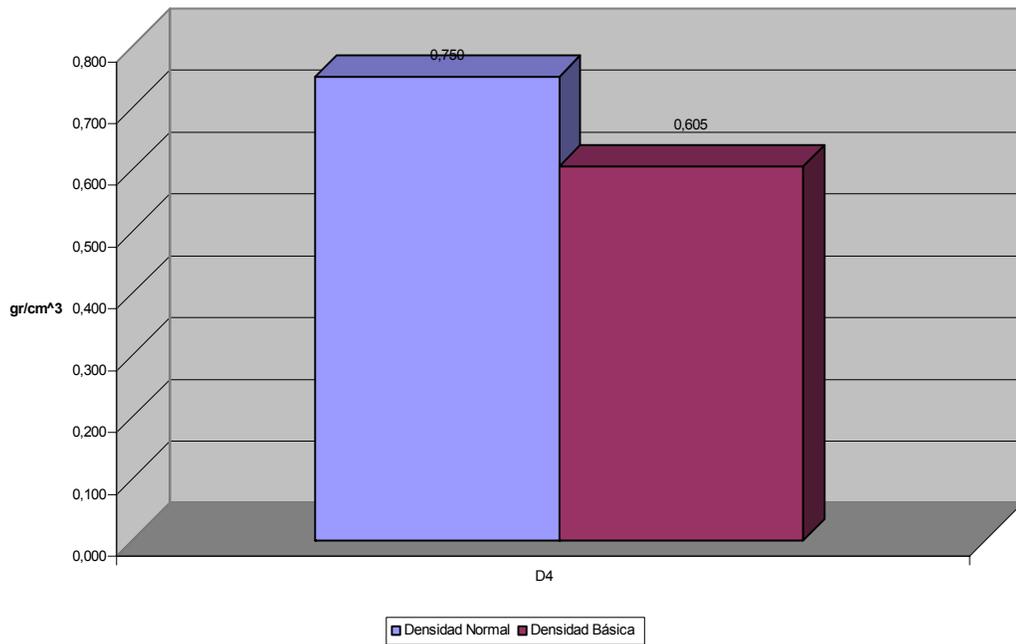
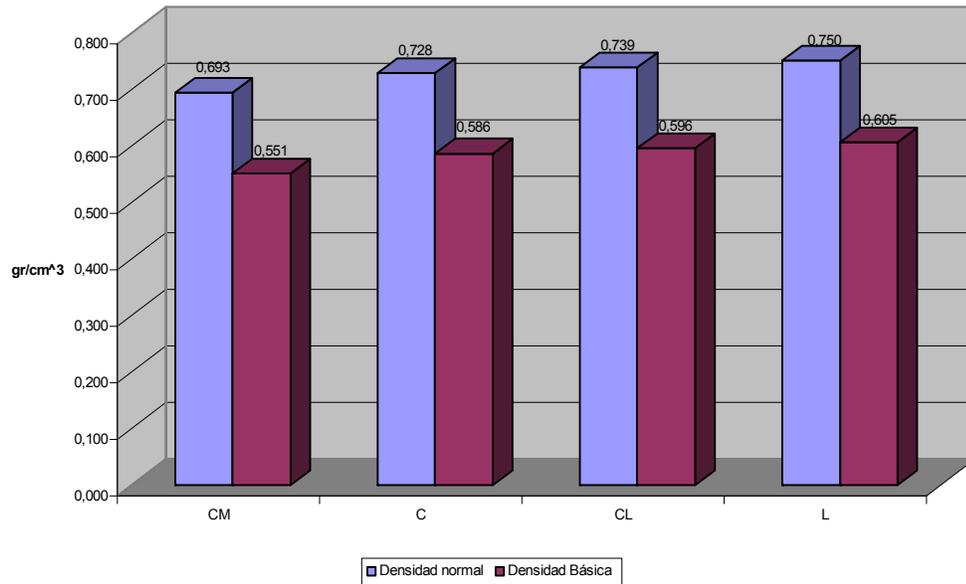


Gráfico 7. Densidades promedios correspondiente a las 4 zonas.



5.1.2 Contracción

La contracción tangencial resultó ser mayor que la contracción radial, cumpliéndose de esta manera lo esperado, ya que como se mencionó en la revisión bibliográfica, en la mayoría de las especies la contracción tangencial es mayor que la contracción radial.

En las Tablas 17, 18, 19 y 20 se muestran las contracciones según zona dentro de la semi-basa.

La Tabla 21 muestra los promedios de las contracciones radial y tangencial, según zona dentro del árbol. Se aprecia los valores irregulares desde la zona CM hasta la zona L.

Si bien estos valores de contracción no son los esperados, es decir, se contradicen con la teoría, ya que lo que se esperaba, era que a mayor densidad de la madera, mayor contracción de ella.

Es dificultoso explicar estos resultados, solamente decir que el comportamiento obtenido de la madera de Hualo, corrobora lo que ya es sabido y es que la madera es un material heterogéneo.

En el apéndice II se encuentran las dimensiones y contracciones de cada probeta.

Tabla 17. Contracciones de la zona CM de las 4 clases diamétricas.

Clase Diamétrica	N° Obs.	Contracción Radial (%)	Contracción Tangencial (%)
D1	10	8,01	10,00
D2	10	6,52	9,59
D3	10	6,14	9,42
D4	10	5,99	10,63
Promedio		6,67	9,91
Desviación estándar		0,92461	0,53839

Tabla 18. Contracciones de la zona C de 3 clases diamétricas.

Clase Diamétrica	N° Obs.	Contracción Radial (%)	Contracción Tangencial (%)
D2	10	5,82	9,45
D3	10	5,77	9,64
D4	10	5,63	10,40
Promedio		5,74	9,83
Desviación estándar		0,09859	0,50549

Tabla 19. Contracciones de la zona CL de 2 clases diamétricas.

Clase Diamétrica	N° Obs.	Contracción Radial (%)	Contracción Tangencial (%)
D3	10	6,33	9,11
D4	10	5,43	10,39
Promedio		5,88	9,75
Desviación estándar		0,63615	0,90497

Tabla 20. Contracciones de la zona L de la mayor clase diamétrica.

Clase Diamétrica	Nº Obs.	Contracción Radial (%)	Contracción Tangencial (%)
D4	10	5,70	9,52

Tabla 21. Contracción radial y tangencial promedio de las 4 zonas.

Zona dentro del árbol	Nº Obs.	Promedio Contr. Radial (%)	Promedio Contr. Tangencial (%)	Contracción Volumétrica Cv (%)
CM	40	6,67	9,91	16,58
C	30	5,74	9,83	15,57
CL	20	5,88	9,75	15,63
L	10	5,70	9,52	15,22

En la Tabla 22, se encuentra la contracción radial y contracción tangencial del Roble desde estado verde a 0% de contenido de humedad.

Tabla 22. Contracción radial y tangencial del Roble.

Contracción Radial %	Contracción Tangencial %	Contracción Volumétrica %
4.6	8.3	12.9

Fuente: Pérez, 1983.

Según la Tabla 20 y la Tabla 22, se puede decir, que es una especie que se contrae más que el Roble, un 23.9% para la contracción radial y un 14.6% la contracción tangencial.

Al calcular la relación entre los coeficientes de contracción en dirección tangencial y radial, se obtuvo que la relación del Hualo es menor que 2, lo que significa que puede ser utilizado en muebles y carpintería.

Como se mencionó anteriormente en la revisión bibliográfica, Sallenave, clasifica las maderas en base a la contracción volumétrica total (Cv), como se observa en la Tabla 3.

A partir de la Tabla 3 y la Tabla 20 se puede decir que el Hualo, posee Gran contracción, en cambio el roble posee Contracción mediana (ver Tabla 3 y 22).

En los Gráficos 8, 9 y 10, se muestran las contracciones radiales y tangenciales, en ellos se aprecia con mayor claridad lo mencionado anteriormente. En el Gráfico 11 se aprecia los promedios de las contracciones radial y tangencial correspondiente a cada zona dentro de la semi-basa.

Gráfico 8. Contracción radial y tangencial por clase diamétrica y ubicación dentro de la semi-basa.

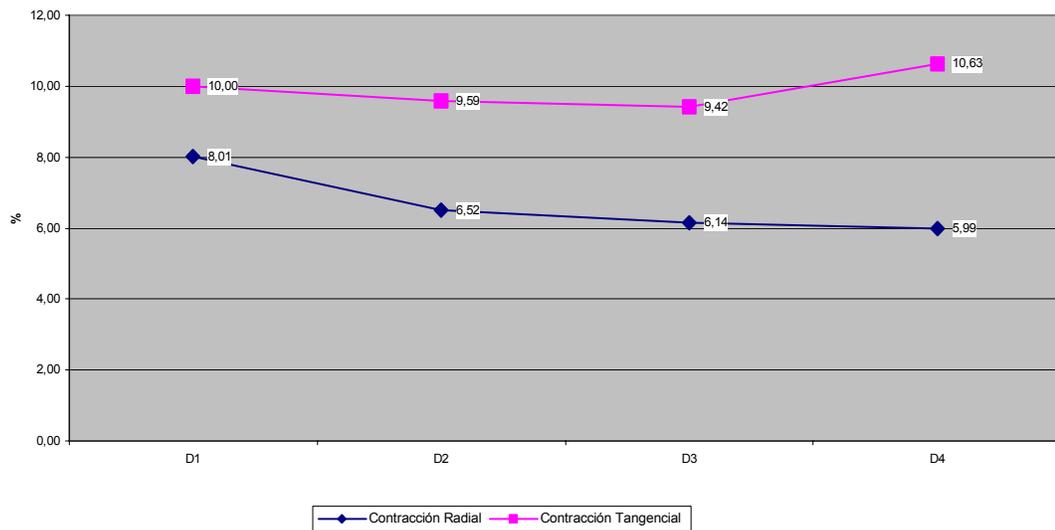


Gráfico 9. Contracción radial y tangencial por clase diamétrica y ubicación dentro de la semi-basa.

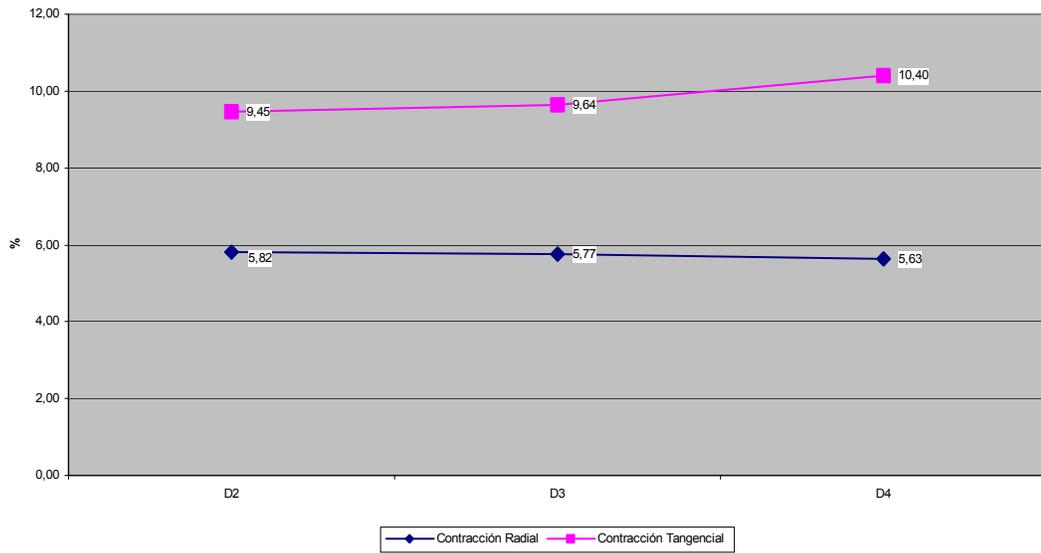


Gráfico 10. Contracción radial y tangencial por clase diamétrica y ubicación dentro de la semi-basa.

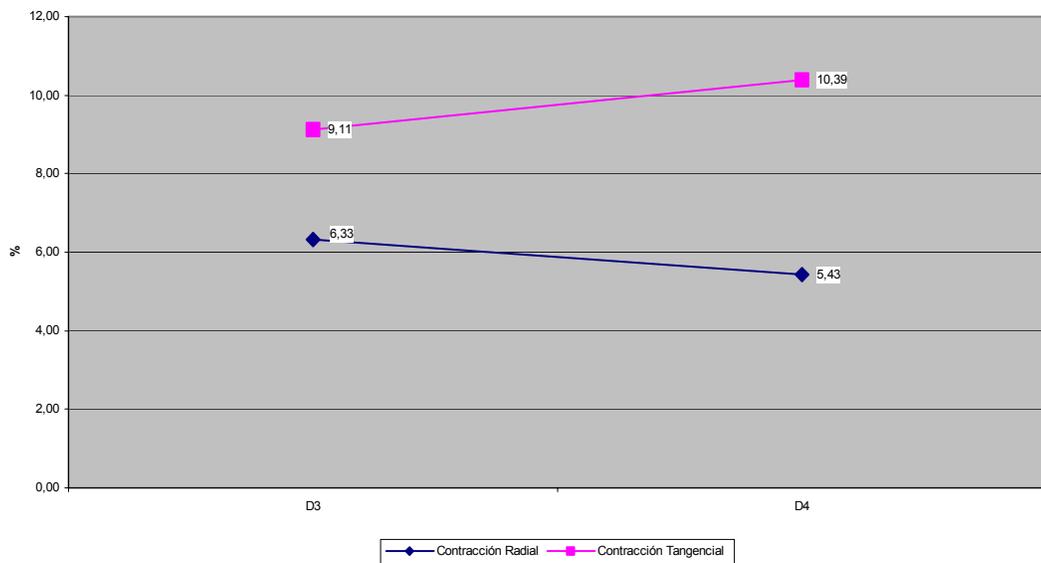
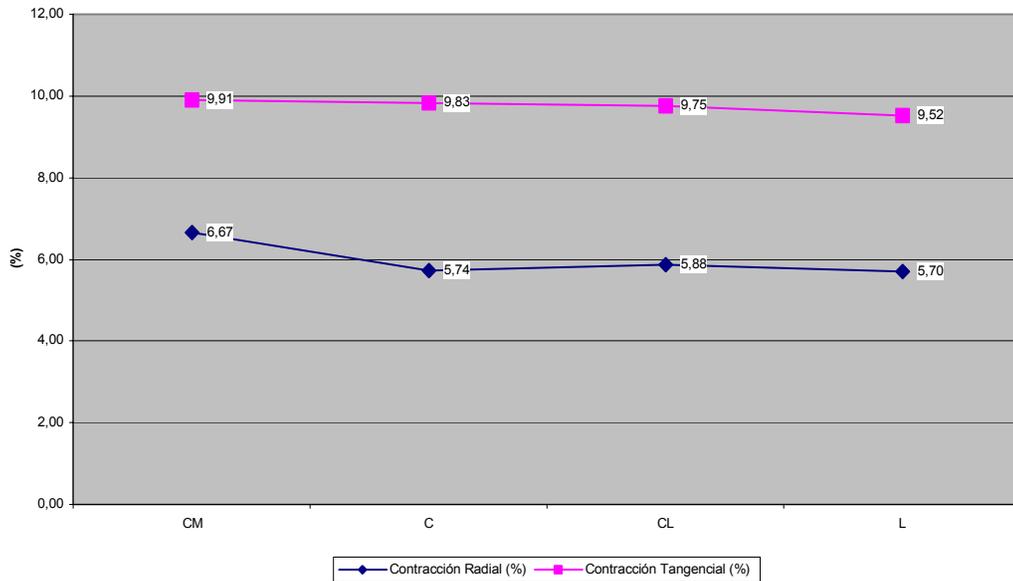


Gráfico 11. Contracción radial y tangencial promedio según zona de la semi-basa.



5.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

5.2.1 Compresión Paralela

En la Tabla 23, se puede observar los valores de Tensión de compresión paralela en el Límite de proporcionalidad (F_c, I_p), Tensión máxima o de rotura de compresión paralela (R_c) y Módulo de elasticidad de compresión paralela (MOE_c).

La diferencia que existe entre las clases diamétricas es baja, no es suficiente evidencia para decir con exactitud que una clase diamétrica soporta mayor carga que otra.

Tabla 23. Resultados del ensayo de Compresión paralela.

Compresión Paralela	N° Obs.	Fc,lp (Kg/cm ²)	Rc (Kg/ cm ²)	MOEc (Ton/ cm ²)
D1	10	473,6627791	567,8658491	82,30348776
D2	10	498,3117342	589,822038	79,12224626
D3	9	491,3420158	589,9344967	84,15365884
D4	10	494,1609135	561,244789	85,78067953
Promedio		489,3693607	577,2167932	82,8400181
Desviación estándar		10,85530739	14,86805583	2,856736714

En la Tabla 24 se muestran las propiedades mecánicas del Roble a un 12% de contenido de humedad, y bajo la norma de ensayo, ASTM.

Tabla 24. Propiedades mecánicas del Roble.

Ensayo y Propiedad	Promedio (Kg/cm ²)
Compresión Paralela	
Tensión Límite de Proporcionalidad	338,0
Tensión Máxima o de Rotura	472,0
Módulo de Elasticidad	130,5 Ton/cm ²
Compresión Normal	
Tensión Límite de Proporcionalidad	80,0
Tensión Máxima	
Flexión Estática	
Tensión Límite de Proporcionalidad	650,0
Módulo de Rotura	850,0
Módulo de Elasticidad	123,5 Ton/cm ²

Fuente: Pérez, 1983 (datos provenientes de Torricelli, 1941).

Cabe destacar que existen gran cantidad de datos de propiedades mecánicas del Roble, provenientes de diferentes autores, pero se eligió los datos provenientes de Torricelli, por presentar los datos más completos, y de esta manera evaluar las propiedades del Hualo.

Al comparar las propiedades del Roble con las del Hualo, resultó que el Hualo soporta mayor carga sin que se produzcan deformaciones permanentes, además soporta mayor carga hasta que se produce la rotura del material, pero el Roble es más rígido, por lo que resiste más a la deformación.

Al realizar el cálculo de la cota de calidad del Hualo se obtiene:

$$\text{Cota de calidad} = 577.2167932 \text{ Kg/cm}^2 / 100 \times 0,750^* \text{ gr/cm}^3 = 7,7$$

* Se utiliza la densidad de la mayor clase diamétrica.

Según la Tabla 4, se puede decir que el Hualo es una especie que pertenece a la clase superior y según su cota estática, corresponde a una madera Semi-pesada.

En el apéndice III se encuentran en detalle los resultados de ensayos mecánicos y gráficos.

5.2.2 Compresión Perpendicular

En la Tabla 25 se muestra la Tensión unitaria de compresión perpendicular ($F_{cn,lp}$), Tensión máxima o de rotura de compresión perpendicular (R_{cn}) y Módulo de elasticidad de compresión perpendicular (MOE_{cn}).

Tabla 25. Resultados del ensayo de Compresión perpendicular.

Compresión Perpendicular	N° Obs.	Fcn,lp (Kg/cm ²)	Rcn (Kg/cm ²)	MOEcn (Ton/cm ²)
D1	9	95,4439142	134,582087	6,175647756
D2	10	108,470264	139,714046	6,071368365
D3	10	104,261144	149,515425	7,044252905
D4	10	110,392439	157,605594	7,047234245
Promedio		104,6419403	145,354288	6,584625818
Desviación estándar		6,645123215	10,25121463	0,5341535

Al comparar la tensión unitaria de compresión perpendicular con la tensión unitaria del Roble (ver Tabla 24), se puede decir, es posible someter al Hualo a mayor carga en compresión perpendicular, sin que se produzcan deformaciones permanentes. Como se mencionó anteriormente los datos faltantes del Roble, no fue posible encontrarlos.

5.2.3 Flexión Estática

En la Tabla 26, se puede observar que la tensión unitaria de flexión en el límite de proporcionalidad (Flp) del Hualo correspondiente a todas las clases diamétricas fue mayor que la tensión unitaria del Roble, esto se traduce en que el Hualo soportó mayor carga lo cual, esto es, que la carga que resiste el Hualo es mayor que la que resiste el Roble antes de que se produzca deformación permanente. Al comparar el Módulo de elasticidad en flexión (MOEf), se puede apreciar que el Roble posee mayor valor, lo que se traduce en que resiste más a la deformación. Por último al comparar el Módulo de ruptura en flexión (Rf), resultó que el Hualo posee mayor valor, por lo tanto soporta mayor carga antes que ocurra ruptura.

Tabla 26. Resultados del ensayo de Flexión estática.

Flexión Estática	N° Obs.	Flp (Kg/cm ²)	MOEf (Ton/cm ²)	MORf (Kg/cm ²)
D1	8	1050,311948	134,739224	1359,99822
D2	10	873,8115788	111,23186	1175,16539
D3	10	939,956748	119,390828	1346,56741
D4	10	817,5269203	98,8076581	1133,59295
Promedio		920,4017988	116,0423925	1253,830993
Desviación estándar		100,0215513	15,06608577	116,2138649

La cota de flexión y de tenacidad del Hualo se calcularon de la siguiente manera;

$$\text{Cota de Flexión} = 1253,830993 \text{ Kg/cm}^2 / (100 \times 0,750 \text{ gr/cm}^3) = 16.7$$

Según el MORf el Hualo pertenece a la clase de madera Mediana. Según la cota de flexión el Hualo es de calidad Grande, por lo que es madera buena para carpintería.

$$\text{Cota de Tenacidad} = 1,459 \times 1253,830993 \text{ (Kg/cm}^2\text{)} / 577,2167932 \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 3,2$$

Según la cota de tenacidad, es de calidad Muy tenaz.

Tabla 27. Resumen comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de Roble y Hualo.

Clasificada con Criterio Sallenave	Hualo	Roble*
Densidad	Semi-pesada	Semi-pesada
Contracción radial y tangencial	Gran contracción	Contracción mediana
Compresión paralela	Clase Superior Calidad Semi-pesada	Clase Mediana Calidad Pesada
Compresión perpendicular		
Flexión estática	Clase Mediana Calidad Grande Muy tenaz	Clase Mediana Calidad Mediana

* Datos obtenidos de Pérez, 1983.

Según las propiedades del Hualo, algunos usos que se le puede asignar son: construcción pesada, postes de transmisión, postes de cerco, durmientes, estructura de construcciones, vigas, techos, cerchas, revestimiento de exteriores, embarcaciones, madera para minas, pilotes, tejuelas y para carpintería (Pérez, 1983).

Como una forma de evaluar la variabilidad de las propiedades calculadas en las distintas clases diamétricas y evaluar si estas influyen en la calidad de la madera se realiza un análisis de varianza, para cada uno de los ensayos.

5.3 PROPIEDADES FÍSICAS

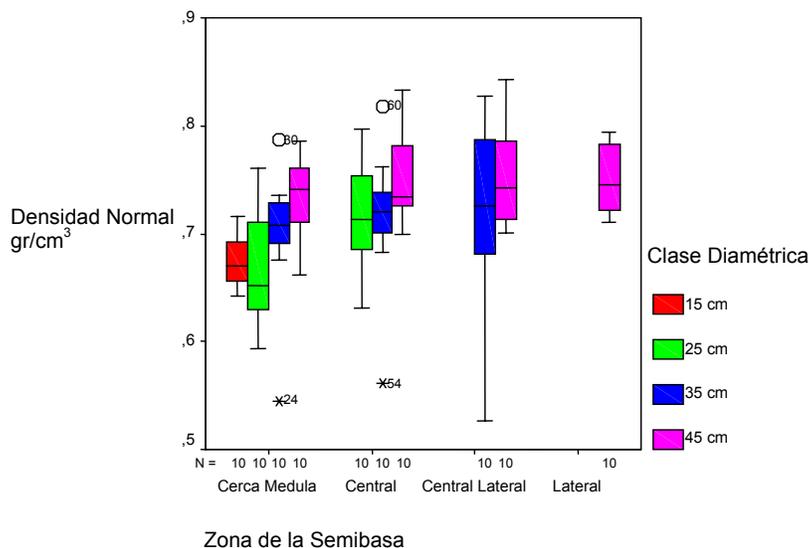
Para los análisis estadísticos, se realizaron dos Gráficos llamados diagramas de caja, en los cuales se puede apreciar la variación de estas propiedades por zona y por clase diamétrica. En el primer diagrama, se muestra,

clase diamétrica versus zona de la semi-basa y en el segundo zona de la semi-basa versus clase diamétrica.

5.3.1 Densidad Normal

En el Gráfico 12 se puede observar que la densidad de las piezas obtenidas de la zona cercana a la médula, de las cuatro clases diamétricas, fue en aumento de menor a mayor diámetro, y además las densidades normales promedios correspondientes a los diámetros 15, 35 y 45 cm, resultaron más estables que el obtenido en la clase diamétrica de 25 cm. En las densidades de la zona central, se obtuvo en la clase diamétrica D2, mayor variabilidad que en las clases diamétricas de 32 y 45 cm, cabe destacar que no se observa diferencia significativa entre estos diámetros respecto a la densidad de la zona central. En el diámetro de 35 y 45 cm, la zona central lateral se observó bastante variabilidad de las densidades obtenidas.

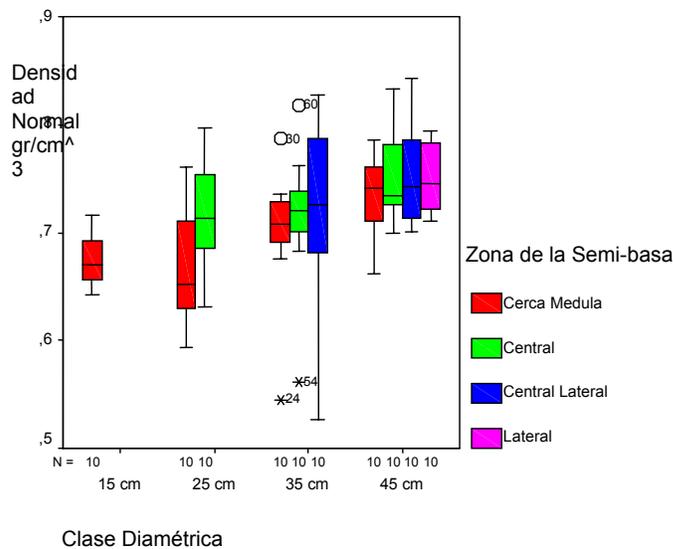
Gráfico 12. Diagrama de caja, variación de clase diamétrica versus zona de la semi-basa.



En el segundo diagrama (ver Gráfico 13) se muestra, zona de la semi-basa versus zona clase diamétrica.

En el se observa que las densidades las zonas correspondientes a la clase diamétrica de 25 cm, va en aumento, mientras más alejada la pieza de la zona cercana a la médula, lo mismo ocurre con las otras zonas de las clases diamétricas 35 y 45 cm. Cabe destacar que no existe diferencia significativa de las densidades normales promedios en los diámetros de 25, 35 y 45 cm.

Gráfico 13. Diagrama de caja, variación de la zona de la semi-basa versus clase diamétrica.



En las siguientes Tablas se analizó como varía la densidad normal según zona de la semi-basa correspondiente a cada clase diamétrica.

5.3.1.1 Clase Diamétrica 25 cm

Tabla 28. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Densidad Normal gr/cm³

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Cerca Medula	10	.66730	.054400	.017203	.62838	.70622	.594	.761
Central	10	.71470	.051996	.016443	.67750	.75190	.631	.797
Total	20	.69100	.057216	.012794	.66422	.71778	.594	.797

a. Clase Diamétrica = 25 cm

Tabla 29. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Densidad Normal gr/cm³

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.011	1	.011	3.968	.062
Intra-grupos	.051	18	.003		
Total	.062	19			

a. Clase Diamétrica = 25 cm

Según la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene no existe diferencia significativa de las densidades normales de las piezas obtenidas de la zona cercana a la médula y la zona central de la clase diamétrica en estudio (valor de significación=0.956).

La ANOVA establece que no existe diferencia significativa de las densidades normales promedio de las piezas obtenidas de esta semi-basa. Esto quiere decir que, la densidad de las zonas en estudio posee densidad normal similar. No se han realizado las pruebas Post hoc para Densidad Normal de la clase diamétrica de 25 cm porque hay menos de tres grupos y además no existe diferencia significativa de las medias entre las zonas de la clase diamétrica en estudio.

5.3.1.2 Clase Diamétrica 35 cm

Tabla 30. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Densidad Normal gr/cm³

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Cerca Medula	10	.70020	.062423	.019740	.65555	.74485	.545	.787
Central	10	.71450	.065867	.020829	.66738	.76162	.561	.818
Central Lateral	10	.71910	.085874	.027156	.65767	.78053	.527	.828
Total	30	.71127	.070081	.012795	.68510	.73744	.527	.828

a. Clase Diamétrica = 35 cm

Tabla 31. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Densidad Normal gr/cm³

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.002	2	.001	.187	.831
Intra-grupos	.140	27	.005		
Total	.142	29			

a. Clase Diamétrica = 35 cm

Al igual que en caso anterior, la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, no establece diferencia significativa entre las varianzas de las zonas cercana a la médula, central y central lateral (valor de significación=0,446).

La ANOVA tampoco establece diferencia significativa entre las densidades normales promedios de las piezas de las diferentes zonas en estudio.

5.3.1.3 Clase Diamétrica 45 cm

Tabla 32. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Densidad Normal gr/cm³

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Cerca Medula	10	.73120	.041276	.013053	.70167	.76073	.662	.786
Central	10	.75380	.046238	.014622	.72072	.78688	.700	.833
Central Lateral	10	.75820	.051676	.016341	.72123	.79517	.701	.843
Lateral	10	.75030	.031805	.010058	.72755	.77305	.711	.794
Total	40	.74838	.042955	.006792	.73464	.76211	.662	.843

a. Clase Diamétrica = 45 cm

Tabla 33. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Densidad Normal gr/cm³

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.004	3	.001	.753	.528
Intra-grupos	.068	36	.002		
Total	.072	39			

a. Clase Diamétrica = 45 cm

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, resolvió que no existe diferencia significativa entre las piezas de la cuatro zonas de la clase diamétrica en estudio (valor $p=0,360$)

En la ANOVA se observa que no existe diferencia significativa entre las densidades normales promedios de las piezas distribuidas dentro de la semi-basa, lo cual significa que la densidad normal de este diámetro es similar.

En las siguientes Tablas se analizó como varía la densidad normal según clase diamétrica según zona de la semi-basa.

5.3.1.4 Zona Cercana a la Médula

Tabla 34. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Densidad Normal gr/cm³

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
15 cm	10	.67530	.024811	.007846	.65755	.69305	.642	.716
25 cm	10	.66730	.054400	.017203	.62838	.70622	.594	.761
35 cm	10	.70020	.062423	.019740	.65555	.74485	.545	.787
45 cm	10	.73120	.041276	.013053	.70167	.76073	.662	.786
Total	40	.69350	.052481	.008298	.67672	.71028	.545	.787

a. Zona de la Semi-basa = Cerca Medula

Tabla 35. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Densidad Normal gr/cm³

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.025	3	.008	3.610	.022
Intra-grupos	.083	36	.002		
Total	.107	39			

a. Zona de la Semi-basa = Cerca Medula

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene resolvió que no existe diferencia significativa entre las varianzas de las densidades normales promedio de cada clase diamétrica (valor de significación=0.402).

La Tabla ANOVA resolvió que existe diferencia significativa de la densidad normal promedio entre las cuatro clases diamétricas correspondiente a la zona cercana a la médula.

Por el resultado obtenido en la ANOVA, se realizan pruebas Post hoc (ver Tabla 36).

Tabla 36. Prueba de Duncan

Densidad Normal gr/cm³			
Clase Diamétrica	N	Subconjunto para 1	alfa 0.05 2
25 cm	10	0.66730	
15cm	10	0.67530	
35 cm	10	0.70020	0.70020
45 cm	10		0.73120
Sig.		0.155	0.156

Se puede observar que la prueba de Duncan, logra separar en dos grupos las densidades, y se observaron diferencia significativas entre los diámetros 25 y 15 cm con el diámetro de 45 cm. Además se puede observar que el diámetro con menor densidad resultó ser el de 25 cm.

5.3.1.5 Zona Central

Tabla 37. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a								
Densidad Normal gr/cm ³								
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
25 cm	10	.71470	.051996	.016443	.67750	.75190	.631	.797
35 cm	10	.71450	.065867	.020829	.66738	.76162	.561	.818
45 cm	10	.75380	.046238	.014622	.72072	.78688	.700	.833
Total	30	.72767	.056588	.010332	.70654	.74880	.561	.833

a. Zona de la Semi-basa = Central

Tabla 38. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Densidad Normal gr/cm³

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.010	2	.005	1.674	.206
Intra-grupos	.083	27	.003		
Total	.093	29			

a. Zona de la Semi-basa = Central

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, resolvió que no existe diferencia significativa de las piezas obtenidas de la zona central entre cuatro clases diamétricas en estudio (valor $p=0.950$).

La ANOVA, no logra establecer diferencia significativa de las piezas obtenidas de la zona central, entre los diámetros 25, 35, y 45 cm, esto quiere decir que poseen densidades similares, o si existe diferencia significativa, esta no logra ser captada por el programa por ser ínfima. Por el resultado obtenido, no se realizan pruebas Post hoc.

5.3.1.6 Zona Central Lateral

Tabla 39. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos

Densidad Normal gr/cm³

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
35 cm	10	.71910	.085874	.027156	.65767	.78053	.527	.828
45 cm	10	.75820	.051676	.016341	.72123	.79517	.701	.843
Total	20	.73865	.071836	.016063	.70503	.77227	.527	.843

a. Zona de la Semi-basa = Central Lateral

Tabla 40. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Densidad Normal gr/cm³

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.008	1	.008	1.522	.233
Intra-grupos	.090	18	.005		
Total	.098	19			

a. Zona de la Semi-basa = Central Lateral

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, estableció que no existe diferencia significativa entre las varianzas de las densidades normales de las piezas obtenidas de las zona central lateral entre las clases diamétricas de 35 y 45 cm (valor de significación=0.257).

En la ANOVA tampoco se observa diferencia significativa de las densidades promedio de las piezas pertenecientes a la zona central lateral entre los diámetros 35 y 45 cm. Por esto, no se han realizado pruebas Post hoc y además porque hay menos de tres grupos.

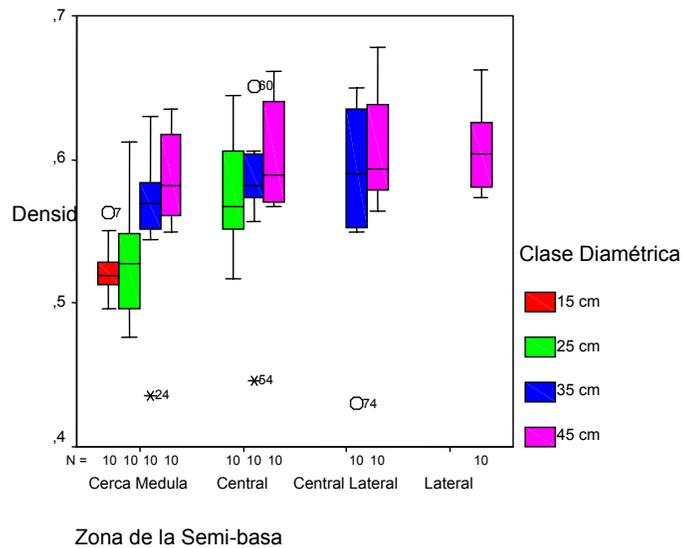
A continuación se analizó como varía la densidad normal de las piezas obtenidas dentro de cada clase diamétrica.

5.3.2 Densidad Básica

Para dar a conocer los resultados de densidad básica se presentan a continuación dos diagramas con diferente representación de los datos, el primero muestra clase diamétrica versus zona de la semi-basa, y el segundo muestra zona de la semi-basa versus clase diamétrica.

En el primero de ellos (Gráfico 14), resultó que existe diferencia significativa entre las densidades básicas promedios de las piezas correspondientes a la zona cercana a la médula, entre los diámetros 15 cm, 25 cm con 35 cm y 45 cm, junto con esto cabe destacar que se existe un aumento de la densidad de menor a mayor diámetro. En las piezas de la zona central, correspondientes a las clases diamétricas 25, 35 y 45 cm, no se aprecia diferencia significativa de las densidades entre estos diámetros. En las clases diamétrica de 35 y 45 cm, se aprecia que las piezas obtenidas de la zona central lateral de la semi-basa, resultaron con alta variabilidad.

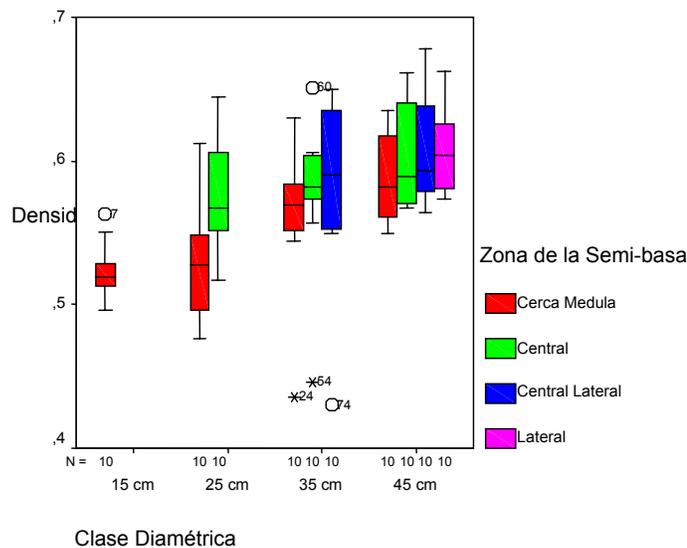
Gráfico 14. Diagrama de caja, variación de clase diamétrica versus zona de la semi-basa.



En el diagrama de caja siguiente (ver Gráfico 15) en el cual se muestra zona de la semi-basa versus clase diamétrica, se puede apreciar que en el diámetro de 25 cm existe diferencia significativa de las densidades de las piezas obtenidas de la zona cercana a la médula y la zona central, además se aprecia alta variabilidad de las densidades en ambas dos zonas. En la clase diamétrica de 35 cm, se distingue un aumento de la densidad desde la zona cercana a la

médula a la zona central lateral, siendo esta última la que presentó mayor variabilidad, pero aún así, no existe diferencia significativa entre las densidades entre las piezas de las diferentes zonas de la clase diamétrica de 35 cm. En la mayor clase diamétrica, se observa bastante variabilidad dentro de la semi-basa. Cabe destacar que no existe diferencia significativa entre ellas.

Gráfico 15. Diagrama de caja, variación de zona de la semi-basa verus zona de la clase diamétrica.



5.3.2.1 Clase Diamétrica 25 cm

Tabla 41. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Densidad Básica gr/cm³

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Cerca Medula	10	.53160	.040355	.012761	.50273	.56047	.476	.612
Central	10	.57610	.039498	.012490	.54784	.60436	.517	.645
Total	20	.55385	.045072	.010078	.53276	.57494	.476	.645

a. Clase Diamétrica = 25 cm

Tabla 42. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Densidad Básica gr/cm³

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.010	1	.010	6.210	.023
Intra-grupos	.029	18	.002		
Total	.039	19			

a. Clase Diamétrica = 25 cm

No existe diferencia significativa entre las varianzas de las piezas obtenidas del diámetro en estudio (valor $p=0,797$).

La ANOVA estableció que hay diferencia significativa entre las zonas cercanas a la médula y central de la semi-basa, al contrario de lo que ocurrió con el resultado de la densidad normal de igual clase diamétrica. No se realizan las pruebas Post hoc para densidad básica de la clase diamétrica de 25 cm porque hay menos de tres grupos.

5.3.2.2 Clase Diamétrica 35 cm

Tabla 43. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Densidad Básica gr/cm³

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Cerca Medula	10	.56230	.050678	.016026	.52605	.59855	.436	.630
Central	10	.57720	.052994	.016758	.53929	.61511	.446	.651
Central Lateral	10	.58210	.065249	.020634	.53542	.62878	.430	.650
Total	30	.57387	.055346	.010105	.55320	.59453	.430	.651

a. Clase Diamétrica = 35 cm

Tabla 44. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Densidad Básica gr/cm³

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.002	2	.001	.331	.721
Intra-grupos	.087	27	.003		
Total	.089	29			

a. Clase Diamétrica = 35 cm

No existe diferencia significativa en la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, entre las varianzas piezas obtenidas de la clase diamétrica en estudio (valor p=0,581).

La ANOVA resolvió que no existe diferencia significativa de las densidades, entre la zona cercana a la médula, zona central y zona central lateral de esta semi-basa.

5.3.2.3 Clase Diamétrica 45 cm

Tabla 45. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Densidad Básica gr/cm³

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Cerca Medula	10	.58660	.030137	.009530	.56504	.60816	.549	.635
Central	10	.60540	.036743	.011619	.57912	.63168	.567	.661
Central Lateral	10	.60970	.041045	.012980	.58034	.63906	.564	.678
Lateral	10	.60540	.027921	.008829	.58543	.62537	.573	.662
Total	40	.60178	.034230	.005412	.59083	.61272	.549	.678

a. Clase Diamétrica = 45 cm

Tabla 46. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Densidad Básica gr/cm³

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.003	3	.001	.902	.450
Intra-grupos	.043	36	.001		
Total	.046	39			

a. Clase Diamétrica = 45 cm

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, no presentó diferencia significativa de las varianzas entre las zonas dentro de la semi-basa, vale decir, zona cercana a la médula, zona central, zona central lateral y zona lateral (valor p=0,198).

La ANOVA, estableció que no existe diferencia significativa de las densidades entre las cuatro zonas de la clase diamétrica en estudio.

5.3.2.4 Zona Cercana a la Medula

Tabla 47. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Densidad Básica gr/cm³

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
15 cm	10	.52410	.019886	.006288	.50987	.53833	.496	.563
25 cm	10	.53160	.040355	.012761	.50273	.56047	.476	.612
35 cm	10	.56230	.050678	.016026	.52605	.59855	.436	.630
45 cm	10	.58660	.030137	.009530	.56504	.60816	.549	.635
Total	40	.55115	.043693	.006908	.53718	.56512	.436	.635

a. Zona de la Semi-basa = Cerca Medula

Tabla 48. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Densidad Básica gr/cm³

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.025	3	.008	6.048	.002
Intra-grupos	.050	36	.001		
Total	.074	39			

a. Zona de la Semi-basa = Cerca Medula

En la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, no se observa diferencia significativa de las varianzas de las piezas obtenidas de la zona cercana a la médula entre los cuatro diámetros en estudio (valor $p=0,477$).

La ANOVA establece que existe diferencia significativa de la densidad de la zona cercana a la médula entre las cuatro clases diamétricas. Al existir diferencia significativa, se realizan pruebas Post hoc, las que logran establecer de igual manera diferencias significativas de las densidades de las piezas de la zona en estudio entre las clases diamétricas. En la Tabla 49 se muestra la prueba de Duncan la cual estableció diferencias significativas entre los diámetros 15 con 35 cm y 45 cm, y el diámetro de 25 con 45 cm.

Tabla 49. Prueba de Duncan.

Densidad Básica gr/cm³

Clase Diamétrica	N	Subconjunto para		
		1	2	3
15 cm	10	0.52410		
25cm	10	0.53160	0.53160	
35 cm	10		0.56230	0.56230
45 cm	10			0.58660
Sig.		0.654	0.072	0.152

5.3.2.5 Zona Central

Tabla 50. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Densidad Básica gr/cm³

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
25 cm	10	.57610	.039498	.012490	.54784	.60436	.517	.645
35 cm	10	.57720	.052994	.016758	.53929	.61511	.446	.651
45 cm	10	.60540	.036743	.011619	.57912	.63168	.567	.661
Total	30	.58623	.044328	.008093	.56968	.60279	.446	.661

a. Zona de la Semi-basa = Central

Tabla 51. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Densidad Básica gr/cm³

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.006	2	.003	1.447	.253
Intra-grupos	.051	27	.002		
Total	.057	29			

a. Zona de la Semi-basa = Central

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, resolvió que no hay diferencia significativa de las varianzas de las piezas de la zona central entre las clases diamétricas de 25, 35, y 45 cm (valor $p=0,999$).

Según la ANOVA, no existe diferencia significativa de las densidades de la zona central entre las clases diamétricas correspondientes. Cabe destacar que no se realiza prueba Post hoc, por el resultado obtenido.

5.3.2.6 Zona Central Lateral

Tabla 52. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Densidad Básica gr/cm³

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
35 cm	10	.58210	.065249	.020634	.53542	.62878	.430	.650
45 cm	10	.60970	.041045	.012980	.58034	.63906	.564	.678
Total	20	.59590	.054910	.012278	.57020	.62160	.430	.678

a. Zona de la Semi-basa = Central Lateral

Tabla 53. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Densidad Básica gr/cm³

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.004	1	.004	1.282	.272
Intra-grupos	.053	18	.003		
Total	.057	19			

a. Zona de la Semi-basa = Central Lateral

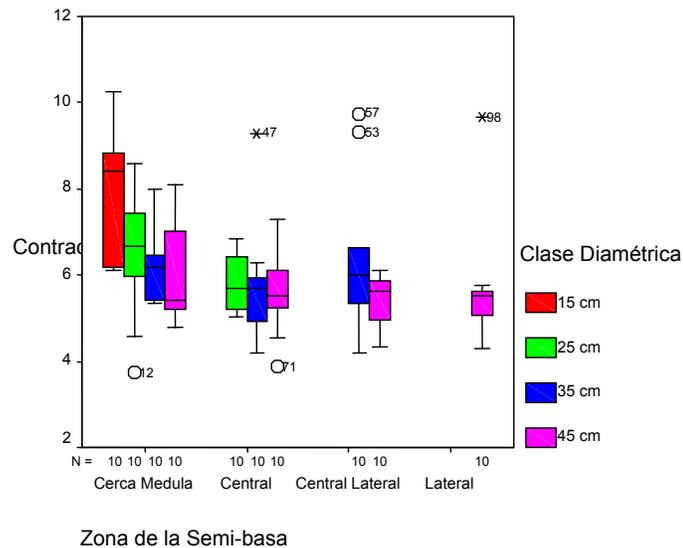
La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, estableció que no hay diferencia significativa de las varianzas de las piezas de la zona central lateral entre las clases diamétricas de 35, y 45 cm (valor $p=0.369$).

La ANOVA, no establece diferencia significativa de las densidades entre los diámetros 35 y 45 cm, que corresponde a las piezas obtenidas de la zona central lateral.

5.3.3 Contracción Radial

Al igual que en los análisis anteriores, se realizan 2 diagramas para representar la contracción radial, en el primero se observa clase diamétrica versus zona de la semi-basa, en él, (ver Gráfico 16) resultó que las piezas obtenidas de la zona cercana a la médula correspondiente a las cuatro clases diamétricas, presentaron un comportamiento irregular, ya que como se mencionó anteriormente en la revisión bibliográfica, la contracción radial aumenta de menor a mayor diámetro, y como se observa en el diagrama resultó mayor la contracción en el diámetro menor, disminuyendo la contracción en los diámetros de 25 y 35 cm y aumentando en el diámetro de 45 cm. Se puede observar que en todas las clases diamétricas, se obtuvo contracciones irregulares no esperadas.

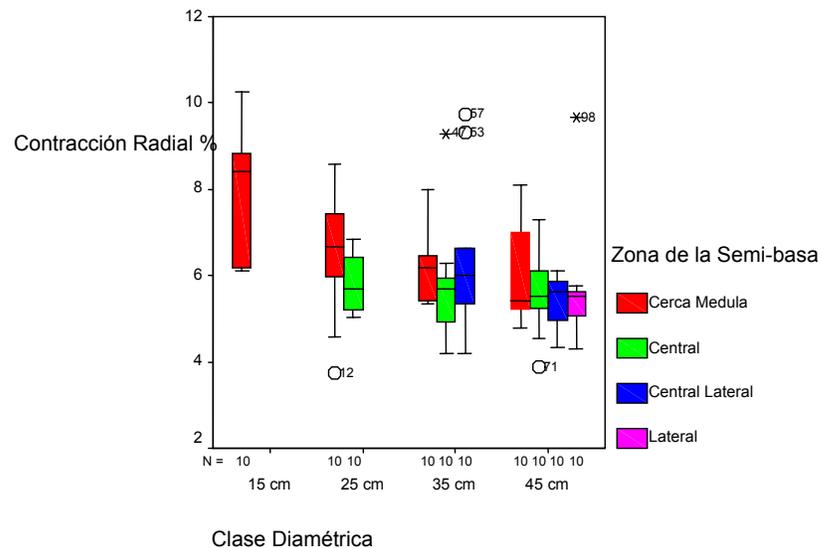
Gráfico 16. Diagrama de caja, variación de clase diamétrica versus zona de la semi-basa.



En el diagrama siguiente (Gráfico 17), se puede observar zona de la semi-basa versus clase diamétrica. En el se observa que la contracción radial, en la clase diamétrica de 25 y 45 cm., disminuye a medida que se la pieza se aleja de la zona cercana a la médula, y en el diámetro de 35 cm resultó de manera irregular.

Cabe destacar, que no es posible dar una razón o motivo para que la madera haya tenido este comportamiento, simplemente, corroborar que la madera es material heterogéneo.

Gráfico 17. Diagrama de caja, variación de zona de la semi-basa versus clase diamétrica.



5.3.3.1 Clase Diamétrica 25 cm

Tabla 54. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Contracción Radial %

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Cerca Medula	10	6.519	1.5241	.4820	5.429	7.609	3.7	8.6
Central	10	5.814	.6624	.2095	5.340	6.288	5.0	6.9
Total	20	6.167	1.1995	.2682	5.605	6.728	3.7	8.6

a. Clase Diamétrica = 25 cm

Tabla 55. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Contracción Radial %

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	2.485	1	2.485	1.800	.196
Intra-grupos	24.854	18	1.381		
Total	27.339	19			

a. Clase Diamétrica = 25 cm

Según la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, no existe diferencia significativa entre las contracciones de ambas zonas, correspondientes a la clase diamétrica en estudio (valor $p=0,093$).

La ANOVA, resolvió que no existe diferencia significativa entre las contracciones de ambas zonas de la clase diamétrica en estudio. Cabe destacar que no se realizaron pruebas Post hoc para esta clase diamétrica por que hay menos de tres grupos.

5.3.3.2 Clase Diamétrica 35 cm

Tabla 56. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Contracción Radial %

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Cerca Medula	10	6.145	.8155	.2579	5.562	6.728	5.3	8.0
Central	10	5.767	1.3900	.4396	4.773	6.761	4.2	9.3
Central Lateral	10	6.330	1.8291	.5784	5.022	7.638	4.2	9.7
Total	30	6.081	1.3788	.2517	5.566	6.596	4.2	9.7

a. Clase Diamétrica = 35 cm

Tabla 57. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Contracción Radial %

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1.647	2	.823	.416	.664
Intra-grupos	53.485	27	1.981		
Total	55.132	29			

a. Clase Diamétrica = 35 cm

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, estableció que no existe diferencia significativa entre las contracciones obtenidas de las diferentes zonas de esta clase diamétrica (valor de significación=0,222).

La ANOVA, estableció que no existe diferencia significativa de las contracciones entre las piezas correspondientes a las zonas cercana a la médula, zona central y zona central lateral al diámetro de 35 cm.

5.3.3.3 Clase Diamétrica 45 cm

Tabla 58. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Contracción Radial %

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Cerca Medula	10	5.986	1.1271	.3564	5.180	6.792	4.8	8.1
Central	10	5.625	1.0308	.3260	4.888	6.362	3.9	7.3
Central Lateral	10	5.429	.5606	.1773	5.028	5.830	4.3	6.1
Lateral	10	5.699	1.4600	.4617	4.655	6.743	4.3	9.7
Total	40	5.685	1.0695	.1691	5.343	6.027	3.9	9.7

a. Clase Diamétrica = 45 cm

Tabla 59. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Contracción Radial %

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1.599	3	.533	.446	.721
Intra-grupos	43.008	36	1.195		
Total	44.607	39			

a. Clase Diamétrica = 45 cm

La prueba de homogeneidad de varianzas, resolvió que no existe diferencia significativa de las varianzas entre las piezas de las diferentes zonas obtenidas de esta clase diamétrica (valor $p=0,482$).

La ANOVA resolvió que no existe diferencia significativa de las contracciones entre las piezas correspondientes a cada zona del diámetro en análisis.

5.3.3.4 Zona Cercana a la Médula

Tabla 60. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Contracción Radial %

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
15 cm	10	8.007	1.4022	.4434	7.004	9.010	6.1	10.3
25 cm	10	6.519	1.5241	.4820	5.429	7.609	3.7	8.6
35 cm	10	6.145	.8155	.2579	5.562	6.728	5.3	8.0
45 cm	10	5.986	1.1271	.3564	5.180	6.792	4.8	8.1
Total	40	6.664	1.4461	.2286	6.202	7.127	3.7	10.3

a. Zona de la Semi-basa = Cerca Medula

Tabla 61. Análisis de varianza.

ANOVA^a

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	25.537	3	8.512	5.470	.003
Intra-grupos	56.018	36	1.556		
Total	81.555	39			

a. Zona de la Semi-basa = Cercana a la Médula

En la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, no se observa diferencia significativa de las varianzas de las piezas obtenidas de la zona cercana a la médula entre los diámetros en estudio (valor $p=0,301$).

La ANOVA, establece diferencia significativa de las contracciones entre las cuatro clases diamétricas correspondiente a la zona cercana a la médula.

Esta diferencia significativa, es coherente si se piensa que a mayor diámetro, mayor contracción, pero observando los resultados obtenidos en la

Tabla ANOVA, la cual muestra un resultado diferente, es decir, ocurre lo contrario, ya que en este caso la contracción radial disminuye a mayor clase diamétrica. Por obtener este resultado, se realizó prueba Post hoc, en el que Duncan estableció diferencia significativa entre las contracciones obtenidas de las piezas del diámetro de 15 cm con las contracciones obtenidas de las piezas de diámetro 45 cm.

Tabla 62. Prueba de Duncan.

Densidad Básica gr/cm³

Clase Diamétrica	N	Subconjunto para	
		1	2
45 cm	10	5.986	
35cm	10	6.145	
25 cm	10	6.519	
15 cm	10		8.007
Sig.		0.375	1.000

5.3.3.5 Zona Central

Tabla 63. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Contracción Radial %

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
25 cm	10	5.814	.6624	.2095	5.340	6.288	5.0	6.9
35 cm	10	5.767	1.3900	.4396	4.773	6.761	4.2	9.3
45 cm	10	5.625	1.0308	.3260	4.888	6.362	3.9	7.3
Total	30	5.735	1.0355	.1891	5.349	6.122	3.9	9.3

a. Zona de la Semi-basa = Central

Tabla 64. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Contracción Radial %

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.194	2	.097	.085	.919
Intra-grupos	30.901	27	1.144		
Total	31.095	29			

a. Zona de la Semi-basa = Central

Al igual como ocurrió con la zona cercana a la médula, la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, estableció que no existe diferencia significativa entre las varianzas correspondiente a las piezas obtenidas de la zona central entre los diferentes diámetros (valor de significación=0,686).

La ANOVA estableció que no existe diferencia significativa de la contracción radial entre clases diamétricas.

5.3.3.6 Zona Central Lateral

Tabla 65. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Contracción Radial %

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
35 cm	10	6.330	1.8291	.5784	5.022	7.638	4.2	9.7
45 cm	10	5.429	.5606	.1773	5.028	5.830	4.3	6.1
Total	20	5.880	1.3955	.3120	5.226	6.533	4.2	9.7

a. Zona de la Semitroza = Central Lateral

Tabla 66. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Contracción Radial %					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	4.059	1	4.059	2.218	.154
Intra-grupos	32.940	18	1.830		
Total	36.999	19			

a. Zona de la Semitroza = Central Lateral

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, resolvió que existe diferencia significativa en las piezas obtenidas de la zona en estudio entre las clases diamétricas D3 y D4 (valor de significación=0,032).

En la ANOVA se observa claramente que no existe diferencia significativa de las contracciones entre las clases diamétricas 35 y 45 cm. No se realizaron pruebas Post hoc para contracción radial de la zona central lateral porque hay menos de tres grupos.

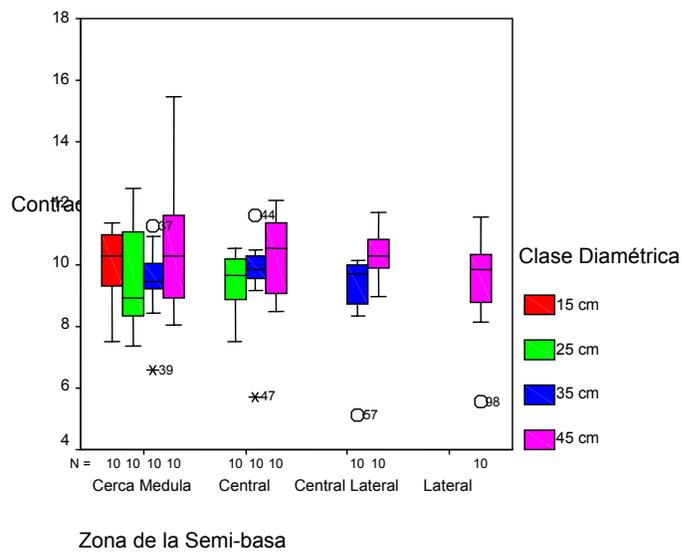
5.3.4 Contracción Tangencial

Por último se analizó la contracción tangencial, y para esto, al igual que en las propiedades anteriores, se realizaron dos diagramas de caja, el primero muestra la clase diamétrica versus zona de la semi-basa, mientras que el segundo diagrama muestra zona de la semi-basa versus clase diamétrica.

En el primero de ellos (Gráfico 18), se observa que las contracciones obtenidas de la zona cercana a la médula, de las clases diamétricas, resultaron con variaciones. Las piezas de la zona central y zona central lateral resultaron con un leve aumento de contracción a mayor diámetro. Cabe destacar que no

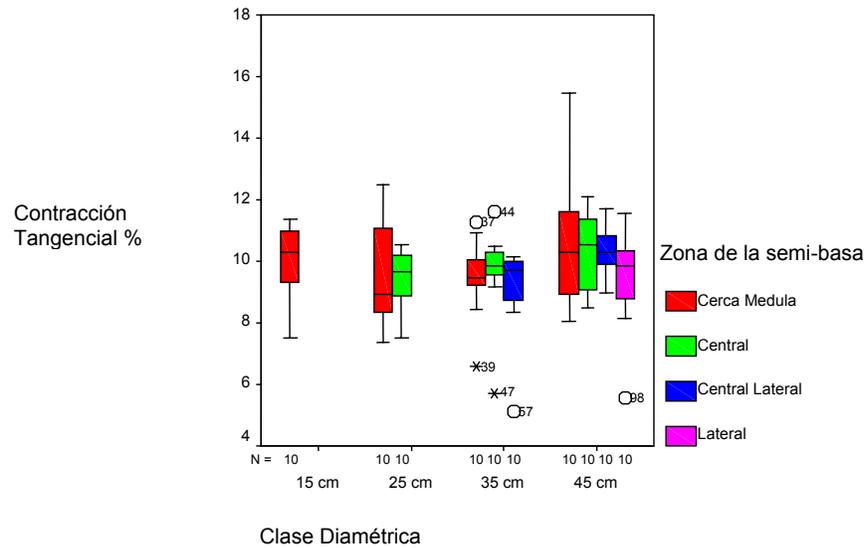
existe diferencia significativa entre las clases diamétricas correspondiente a cada zona de la semi-basa.

Gráfico 18. Diagrama de caja, variación de clase diamétrica versus zona de la semi-basa.



En el diagrama de caja siguiente (Gráfico 19), se puede observar que no existe diferencia significativa entre las medias de las piezas obtenidas de las diferentes zonas correspondiente a cada diámetro, pero se aprecia irregularidad en las contracciones obtenidas.

Gráfico 19. Diagrama de caja, variación de la zona semi-basa versus clase diamétrica.



5.3.4.1 Clase Diamétrica 25 cm

Tabla 67. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos

Contracción Tangencial %

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Cerca Medula	10	9.5900	1.77289	.56064	8.3218	10.8582	7.37	12.50
Central	10	9.4530	.94629	.29924	8.7761	10.1299	7.51	10.54
Total	20	9.5215	1.38490	.30967	8.8733	10.1697	7.37	12.50

a. Clase Diamétrica = 25 cm

Tabla 68. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Contracción Tangencial %					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.094	1	.094	.046	.832
Intra-grupos	36.347	18	2.019		
Total	36.441	19			

a. Clase Diamétrica = 25 cm

Según la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, no existe diferencia significativa entre las varianzas de ambas zonas, correspondientes a la clase diamétrica en estudio (valor $p=0.059$).

Según la ANOVA, no existe diferencia significativa entre las contracciones de las piezas obtenidas de las zonas cercana a la médula y zona central correspondientes al diámetro de 25 cm. Además no se realizaron pruebas Post hoc para la clase diamétrica de 25 cm porque hay menos de tres grupos.

5.3.4.2 Clase Diamétrica 35 cm

Tabla 69. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos

Contracción Tangencial %								
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Cerca Medula	10	9.4160	1.29199	.40856	8.4918	10.3402	6.58	11.25
Central	10	9.6350	1.52451	.48209	8.5444	10.7256	5.72	11.60
Central Lateral	10	9.1120	1.52180	.48124	8.0234	10.2006	5.11	10.15
Total	30	9.3877	1.41620	.25856	8.8588	9.9165	5.11	11.60

a. Clase Diamétrica = 35 cm

Tabla 70. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Contracción Tangencial %					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1.380	2	.690	.328	.723
Intra-grupos	56.783	27	2.103		
Total	58.163	29			

a. Clase Diamétrica = 35 cm

No existe diferencia significativa en la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, en la contracción tangencial de las piezas obtenidas de las tres primeras zonas correspondiente a la clase diamétrica D3 (valor $p=0,907$).

La ANOVA, establece que no existe diferencia significativa de la contracción tangencial entre las piezas obtenidas de esta semi-basa.

5.3.4.3 Clase Diamétrica 45 cm

Tabla 71. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Contracción Tangencial %								
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Cerca Medula	10	10.6250	2.08624	.65973	9.1326	12.1174	8.04	15.45
Central	10	10.4030	1.24587	.39398	9.5118	11.2942	8.51	12.09
Central Lateral	10	10.3940	.86895	.27479	9.7724	11.0156	8.98	11.71
Lateral	10	9.5230	1.73726	.54937	8.2802	10.7658	5.56	11.56
Total	40	10.2362	1.55436	.24577	9.7391	10.7334	5.56	15.45

a. Clase Diamétrica = 45 cm

Tabla 72. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Contracción Tangencial %					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	7.125	3	2.375	.982	.412
Intra-grupos	87.100	36	2.419		
Total	94.225	39			

a. Clase Diamétrica = 45 cm

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, resolvió que no existe diferencia significativa entre las varianzas de las piezas obtenidas de las cuatro zonas de la clase diamétrica en estudio (valor $p=0,382$).

La ANOVA resolvió que no existe diferencia significativa entre los promedios de las contracciones de las piezas obtenidas de las cuatro zonas estudiadas en la clase diamétrica D4.

5.3.4.4 Zona Cerca Medula

Tabla 73. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos

Contracción Tangencial %								
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
15 cm	10	10.0050	1.20778	.38193	9.1410	10.8690	7.49	11.35
25 cm	10	9.5900	1.77289	.56064	8.3218	10.8582	7.37	12.50
35 cm	10	9.4160	1.29199	.40856	8.4918	10.3402	6.58	11.25
45 cm	10	10.6250	2.08624	.65973	9.1326	12.1174	8.04	15.45
Total	40	9.9090	1.63518	.25854	9.3860	10.4320	6.58	15.45

a. Zona de la Semi-basa = Cerca Medula

Tabla 74. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Contracción Tangencial %

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	8.667	3	2.889	1.088	.367
Intra-grupos	95.612	36	2.656		
Total	104.279	39			

a. Zona de la Semi-basa = Cerca Medula

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, resolvió que no existe diferencia significativa entre las varianzas de las piezas obtenidas de los cuatro diámetros en estudio (valor $p=0,438$).

La ANOVA resolvió que no existe diferencia significativa entre las medias de la contracción de las piezas obtenidas de la zona en estudio entre las cuatro clases diamétricas.

5.3.4.5 Zona Central

Tabla 75. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos^a

Contracción Tangencial %

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
25 cm	10	9.4530	.94629	.29924	8.7761	10.1299	7.51	10.54
35 cm	10	9.6350	1.52451	.48209	8.5444	10.7256	5.72	11.60
45 cm	10	10.4030	1.24587	.39398	9.5118	11.2942	8.51	12.09
Total	30	9.8303	1.28695	.23496	9.3498	10.3109	5.72	12.09

a. Zona de la Semi-basa = Central

Tabla 76. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Contracción Tangencial %

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	5.085	2	2.542	1.598	.221
Intra-grupos	42.946	27	1.591		
Total	48.031	29			

a. Zona de la Semi-basa = Central

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, estableció que no existe diferencia significativa entre las varianzas de las piezas de la zona central entre las clases diamétricas D2, D3 y D4 (valor $p=0,781$).

La ANOVA, resolvió que no existe diferencia significativa entre las medias de las contracciones tangenciales de las piezas obtenidas de la zona central entre cada clase diamétrica.

5.3.4.6 Zona Central Lateral

Tabla 77. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos

Contracción Tangencial %

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
35 cm	10	9.1120	1.52180	.48124	8.0234	10.2006	5.11	10.15
45 cm	10	10.3940	.86895	.27479	9.7724	11.0156	8.98	11.71
Total	20	9.7530	1.37374	.30718	9.1101	10.3959	5.11	11.71

a. Zona de la Semi-basa = Central Lateral

Tabla 78. Análisis de varianza.

ANOVA^a

Contracción Tangencial %

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	8.218	1	8.218	5.352	.033
Intra-grupos	27.639	18	1.535		
Total	35.856	19			

a. Zona de la Semi-basa = Central Lateral

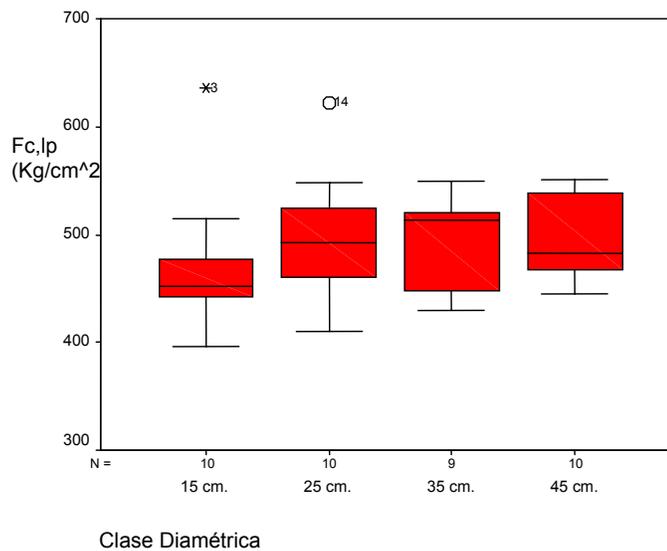
La prueba de homogeneidad varianzas de Levene, resolvió que no existe diferencia significativa entre las varianzas de las piezas correspondientes a la zona central lateral entre las clases D3 y D4 (valor de significación=0,333).

En la ANOVA se observa que existe diferencia significativa entre las medias de las contracciones tangenciales de las piezas de la zona en estudio entre los diámetros de 35 y 45 cm. Cabe destacar que no se realizaron pruebas Post hoc porque hay menos de tres grupos.

5.4 PROPIEDADES MECÁNICAS

5.4.1 Tensión de Compresión Paralela en el Límite de Proporcionalidad

Gráfico 20. Diagrama de caja.



En el diagrama de caja, se muestra la tensión de compresión paralela para las cuatro clases diamétricas, en el cual se observa que no hay diferencia significativa en cuanto a la carga unitaria máxima que pueden soportar las clases diamétricas sin que se produzca deformaciones permanentes. En D1 se observa que una menor variabilidad, pero en general, no existe diferencia entre la valores promedio de las Fc,lp de las clases diamétricas.

Tabla 79. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos

Fc,lp (Kg/cm²)

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
15 cm.	10	473.659	64.5043	20.3980	427.515	519.802	396.5	635.3
25 cm.	10	498.300	57.9206	18.3161	456.866	539.734	409.8	622.6
35 cm.	9	491.333	46.3046	15.4349	455.740	526.926	429.7	549.7
45 cm.	10	494.150	38.3026	12.1123	466.750	521.550	444.3	550.5
Total	39	489.310	51.6889	8.2768	472.554	506.065	396.5	635.3

Tabla 80. Análisis de varianza.

ANOVA

Fc,lp (Kg/cm²)

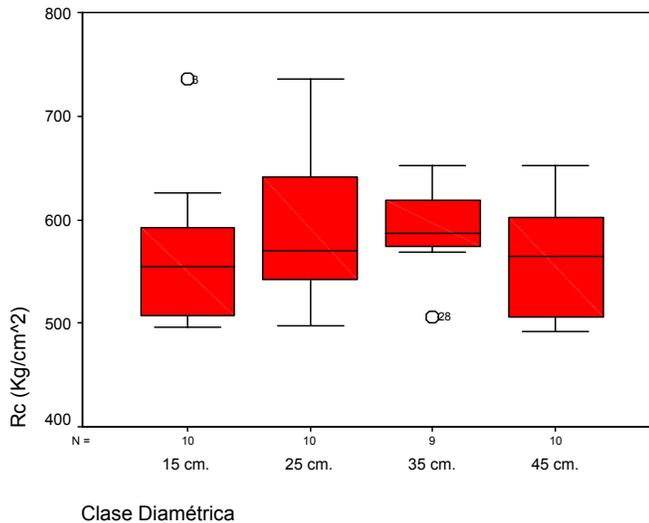
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	3528.988	3	1176.329	.420	.740
Intra-grupos	97997.071	35	2799.916		
Total	101526.059	38			

La prueba de homogeneidad de varianza de Levene, estableció que no hay diferencia significativa entre las varianzas de las distintas clases diamétricas (Valor de significación = 0.906).

Según la Tabla ANOVA, no hay diferencia significativa entre las medias en compresión paralela, es decir, las clases diamétricas soportan carga similar, antes de que se produzcan deformaciones permanentes. Debido al resultado de la ANOVA, no es necesario en este caso realizar comparaciones múltiples.

5.4.2 Tensión Máxima o Rotura de Compresión Paralela

Gráfico 21. Diagrama de caja.



No se observa diferencia significativa entre las clases diamétricas en el diagrama, pero en D1, D2 y D4, existe mayor variabilidad de tensión máxima, esto significa que existen valores heterogéneos en cuanto a la carga que soporta el cuerpo, hasta provocar rotura del pieza.

Tabla 81. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos								
Rc (Kg/cm ²)								
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
15 cm.	10	567.867	74.1749	23.4562	514.805	620.928	495.6	735.6
25 cm.	10	589.830	75.7116	23.9421	535.669	643.991	497.6	735.8
35 cm.	9	589.933	42.2645	14.0882	557.446	622.421	506.4	652.7
45 cm.	10	561.230	54.0143	17.0808	522.590	599.870	492.2	652.1
Total	39	576.889	62.4348	9.9976	556.650	597.128	492.2	735.8

Tabla 82. Análisis de varianza.

ANOVA

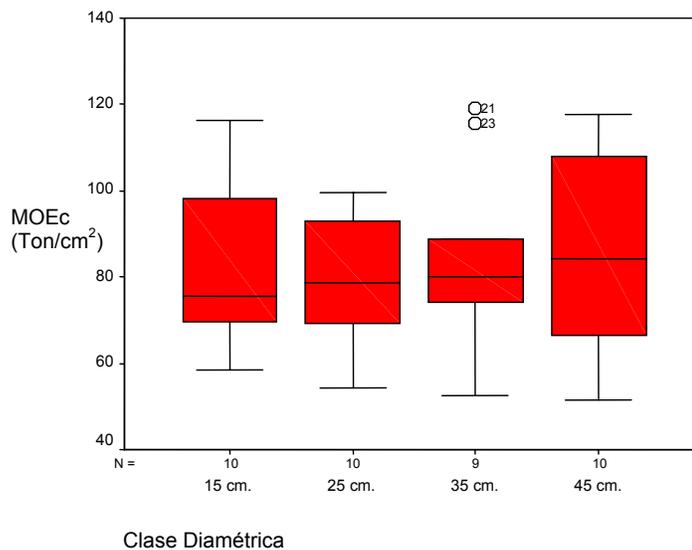
Rc (Kg/cm ²)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	6472.114	3	2157.371	.533	.663
Intra-grupos	141655.690	35	4047.305		
Total	148127.804	38			

La prueba de homogeneidad de varianza de Levene, no rechaza el supuesto de varianzas iguales (valor $p = 0.307$).

La Tabla ANOVA muestra que no hay diferencia significativa entre las medias, esto quiere decir, que las semi-basas estudiados correspondientes a las cuatro clases diamétricas presentan valores promedios similares, de la carga que puede soportar el la pieza.

5.4.3 Módulo de Elasticidad de Compresión Paralela

Gráfico 22. Diagrama de caja.



En el diagrama de caja se observa que no hay suficiente evidencia para decir que las varianzas son diferentes, además se observa que existe bastante variabilidad en la clase diamétrica D1 y D4.

Tabla 83. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos

MOEc (Kg/cm²)

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
					15 cm.	10		
25 cm.	10	79.130	14.5618	4.6049	68.713	89.547	54.4	99.5
35 cm.	9	84.144	21.7569	7.2523	67.421	100.868	52.6	119.0
45 cm.	10	85.780	24.3286	7.6934	68.376	103.184	51.6	117.6
Total	39	82.806	19.6797	3.1513	76.426	89.185	51.6	119.0

Tabla 84. Análisis de varianza.

ANOVA

MOEc (Ton/cm²)

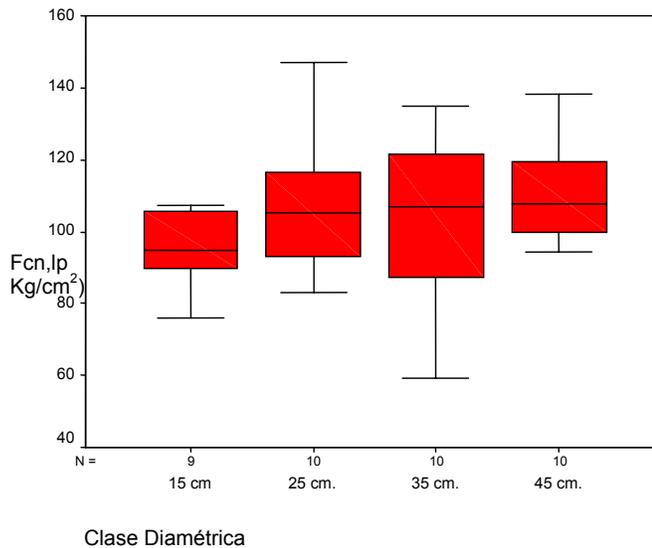
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	242.239	3	80.746	.195	.899
Intra-grupos	14474.859	35	413.567		
Total	14717.098	38			

Según la prueba de homogeneidad de varianza no hay diferencia significativa (valor de significación=0.157).

Según la ANOVA tampoco hay diferencia significativa, esto quiere decir, que todos los diámetros estudiados presentan comportamiento similar en cuanto a que resisten aproximadamente igual carga en dirección paralela a las fibras.

5.4.4 Tensión Unitaria de Compresión Perpendicular

Gráfico 23. Diagrama de caja.



Según el diagrama no se observa diferencia significativa de las varianzas entre las clases diamétricas de la carga máxima que pueden soportar, sin que se produzcan deformaciones permanentes. Pero en D3 se aprecia una mayor variabilidad en tensión en compresión perpendicular entre las clases diamétricas.

Tabla 85. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos									
Fcn,lp (Kg/cm ²)									
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
15 cm	9	95.444	10.5610	3.5203	87.327	103.562	76.1	107.4	
25 cm.	10	108.470	20.1930	6.3856	94.025	122.915	83.1	146.9	
35 cm.	10	104.270	24.7356	7.8221	86.575	121.965	59.2	135.0	
45 cm.	10	110.400	14.4950	4.5837	100.031	120.769	94.4	138.2	
Total	39	104.882	18.6366	2.9842	98.841	110.923	59.2	146.9	

Tabla 86. Análisis de varianza.

ANOVA

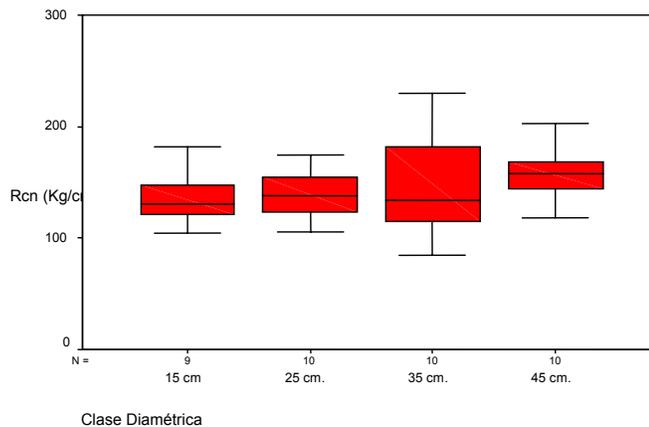
Fcn,lp (Kg/cm ²)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1238.573	3	412.858	1.208	.321
Intra-grupos	11959.664	35	341.705		
Total	13198.237	38			

La prueba de homogeneidad de varianza, establece que no existe diferencia significativa entre las varianzas de las clases diamétricas (valor $p=0.214$).

La ANOVA establece que no existe diferencia significativa entre los promedios de los diámetros respecto a la carga unitaria máxima soportada por cada clase diamétrica sin que se produzcan deformaciones permanentes.

5.4.5 Tensión Máxima o Rotura de Compresión Perpendicular

Gráfico 24. Diagrama de caja.



En el diagrama se puede observar que no existe diferencia significativa de las varianzas entre las clases diamétricas, pero en la clase diamétrica de 35 cm se

aprecia con mayor variabilidad o más inestable, mientras que las restantes clases diamétricas se observan más bien homogéneas en cuanto a la carga máxima que pueden soportar.

Tabla 87. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos

Rcn (Kg/cm²)

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
15 cm	9	134.589	23.7114	7.9038	116.363	152.815	104.7	181.8
25 cm.	10	139.710	22.5042	7.1165	123.611	155.809	105.2	175.0
35 cm.	10	149.520	47.1833	14.9207	115.767	183.273	84.5	230.3
45 cm.	10	157.616	26.6011	8.4120	138.587	176.645	118.0	203.3
Total	39	145.635	31.8286	5.0967	135.317	155.953	84.5	230.3

Tabla 88. Análisis de varianza.

ANOVA

Rcn (Kg/cm²)

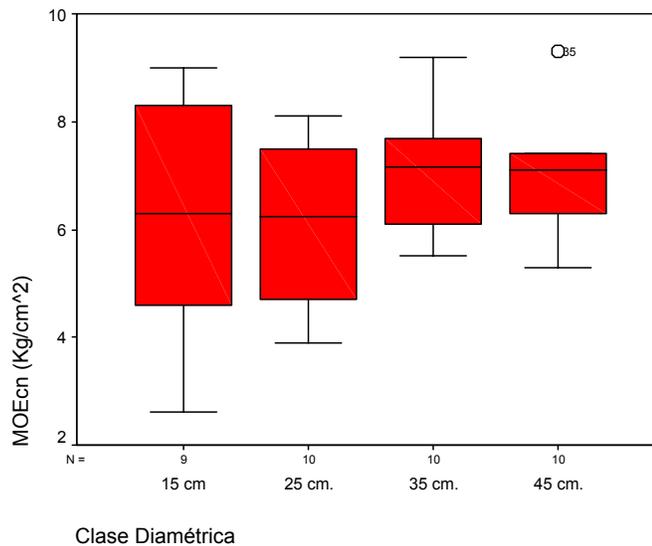
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	3035.581	3	1011.860	.999	.405
Intra-grupos	35460.741	35	1013.164		
Total	38496.322	38			

La prueba de homogeneidad de varianza demostró que no existe diferencia significativa entre las varianzas de las clases diamétricas (valor de significación=0.016).

La ANOVA muestra que no existe diferencia significativa entre las medias de las clases diamétricas. Por lo tanto, se puede decir que todas las clases diamétricas soportan aproximadamente igual carga máxima, hasta antes de que produzca la rotura del cuerpo.

5.4.6 Módulo de Elasticidad de Compresión Perpendicular

Gráfico 25. Diagrama de caja.



En el diagrama se observa que a mayor diámetro existe menor variabilidad y se hace más estable en cuanto a la resistencia a la deformación. Además, no existe diferencia significativa entre las varianzas de los diámetros estudiados.

Tabla 89. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos

	MOEcn (Kg/cm ²)							
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
15 cm	9	6.167	2.4310	.8103	4.298	8.035	2.6	9.0
25 cm.	10	6.060	1.4886	.4707	4.995	7.125	3.9	8.1
35 cm.	10	7.050	1.1346	.3588	6.238	7.862	5.5	9.2
45 cm.	10	7.028	1.0542	.3334	6.274	7.782	5.3	9.3
Total	39	6.587	1.5999	.2562	6.068	7.105	2.6	9.3

Tabla 90. Análisis de varianza.

ANOVA

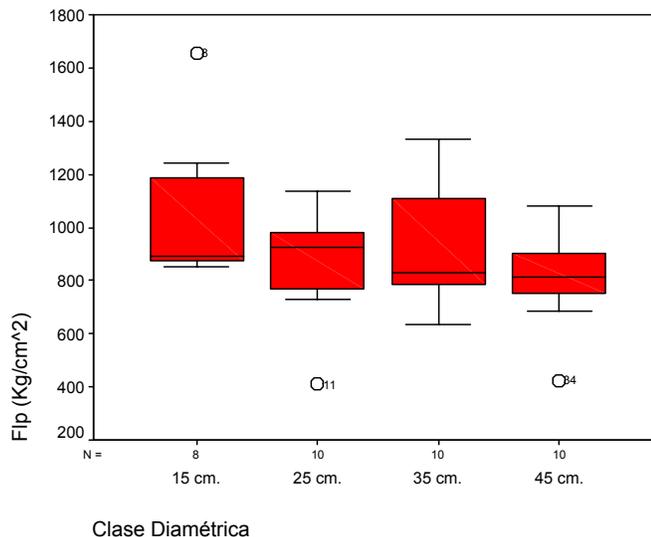
MOEcn (Kg/cm ²)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	8.456	3	2.819	1.111	.358
Intra-grupos	88.812	35	2.537		
Total	97.267	38			

Al contrario la prueba de homogeneidad de varianzas resolvió que existe diferencia significativa de las varianzas entre las clases diamétricas con un valor de significación de 0.003.

En la ANOVA, no se observa diferencia significativa entre las medias de las clases diamétricas, lo cual significa que todas las clases diamétricas resisten cargas similares hasta que pueda retomar su estado original.

5.4.7 Tensión Unitaria de Flexión en el Límite Proporcional

Gráfico 26. Diagrama de caja.



Al igual que los otros diagramas de caja, no existe suficiente evidencia para decir que hay diferencia significativa entre las varianzas de las clases diamétricas.

Tabla 91. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos

Flp (Kg/cm²)

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
15 cm.	8	1050.313	283.2188	100.1330	813.536	1287.089	852.5	1655.2
25 cm.	10	873.800	199.3850	63.0511	731.169	1016.431	411.6	1136.0
35 cm.	10	939.960	228.2077	72.1656	776.710	1103.210	635.0	1332.7
45 cm.	10	817.530	183.7133	58.0952	686.109	948.951	425.6	1079.3
Total	38	913.563	229.9441	37.3019	837.982	989.144	411.6	1655.2

Tabla 92. Análisis de varianza.

ANOVA

Flp (Kg/cm²)

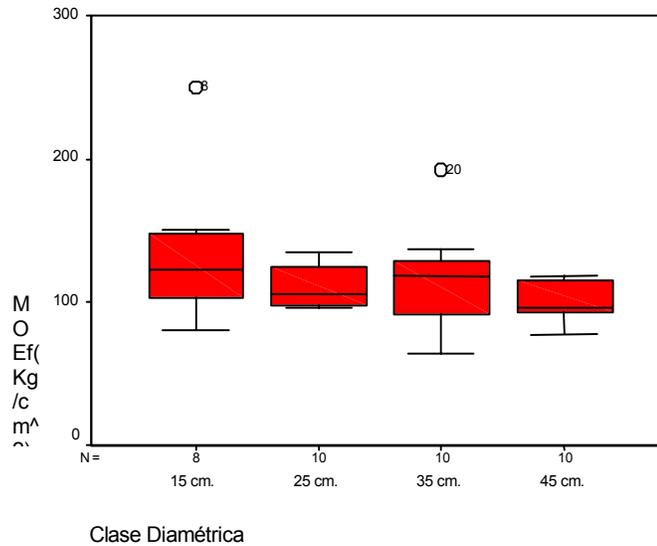
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	264605.755	3	88201.918	1.773	.171
Intra-grupos	1691743,1	34	49757.150		
Total	1956348,8	37			

En la prueba de homogeneidad de varianza, no se obtuvo diferencia significativa entre las varianzas de las clases diamétricas (valor de significación=0,432).

En la ANOVA no se observa diferencia significativa entre las medias de las clases diamétricas, por lo que en flexión todas las muestras estudiadas soportan carga unitaria máxima similar, sin que se produzcan deformaciones permanentes.

5.4.8 Módulo de Elasticidad en Flexión

Gráfico 27. Diagrama de caja.



En el diagrama de caja, no se observa diferencia significativa entre las varianzas de los diferentes diámetros, además se observa que existe bastante estabilidad en todas las clases diamétricas en MOE.

Tabla 93. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos									
MOEf(Kg/cm ²)									
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
15 cm.	8	134.750	52.3269	18.5004	91.004	178.496	80.1	250.3	
25 cm.	10	111.230	14.2896	4.5188	101.008	121.452	96.5	134.5	
35 cm.	10	116.090	35.5809	11.2517	90.637	141.543	64.0	192.3	
45 cm.	10	98.810	13.8484	4.3793	88.903	108.717	77.0	118.0	
Total	38	114.192	32.8779	5.3335	103.385	124.999	64.0	250.3	

Tabla 94. Análisis de varianza.

ANOVA

MOEf(Kg/cm²)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	5870.869	3	1956.956	1.950	.140
Intra-grupos	34124.519	34	1003.662		
Total	39995.388	37			

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, resolvió que no existe diferencia significativa entre las varianzas de las cuatro clases diamétricas (valor de significación=0,063).

En la tabla ANOVA, tampoco se observa diferencia significativa entre las medias de las clases diamétricas en cuanto a la carga unitaria máxima que pueden soportar las muestras. Al contrario, la prueba de Duncan, resolvió que existe diferencia significativa entre las medias de las clases diamétricas. En la Tabla 95 se observa que existe diferencia entre las clases diamétricas 15 y 45 cm, este resultado se debe a que como se mencionó anteriormente, la prueba de Duncan tiene un grado de sensibilidad alto.

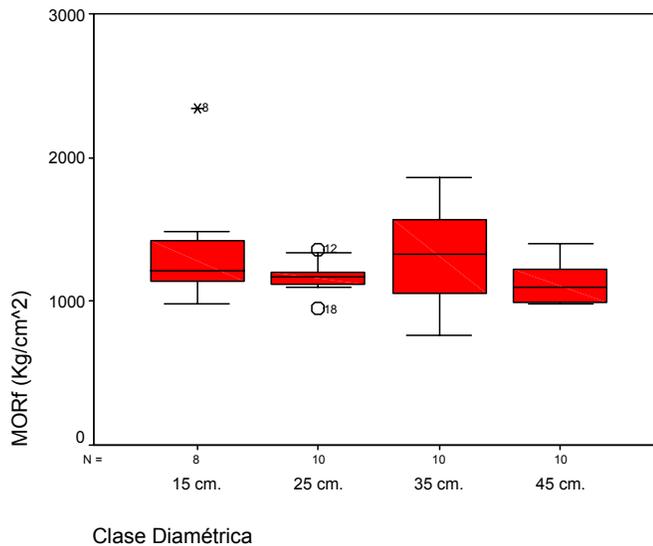
Tabla 95. Prueba de Duncan.

Modulo de Elasticidad en Flexión Ton/cm²

Clase Diamétrica	N	Subconjunto para 1	alfa 0.05 2
45 cm	10	98.810	
25cm	10	111.230	111.230
35 cm	10	116.090	116.090
15 cm	8		134.750
Sig.		0.273	0.137

5.4.9 Módulo de Ruptura en Flexión.

Gráfico 28. Diagrama de caja.



Se observa en el diagrama que no existe suficiente evidencia para decir que existe diferencia significativa de las varianzas entre las clases diamétricas, se observa que el diámetro de 25 cm presenta menor variabilidad que los restantes diámetros, pero a pesar de esta mayor estabilidad, se puede que todos los diámetros soportan carga máxima similar hasta provocar ruptura del cuerpo.

Tabla 96. Datos del análisis de varianza.

Descriptivos

MORf (Kg/cm ²)								
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
15 cm.	8	1359.985	426.6562	150.8457	1003.291	1716.679	983.9	2346.0
25 cm.	10	1175.180	117.0322	37.0088	1091.460	1258.900	949.9	1361.1
35 cm.	10	1314.560	333.0496	105.3195	1076.311	1552.809	762.0	1865.4
45 cm.	10	1133.590	139.6049	44.1469	1033.723	1233.457	986.9	1396.6
Total	38	1239.821	279.8277	45.3940	1147.843	1331.798	762.0	2346.0

Tabla 97. Análisis de varianza.

ANOVA

MORf (Kg/cm²)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	326009.119	3	108669.706	1.437	.249
Intra-grupos	2571221,4	34	75624.159		
Total	2897230,5	37			

La prueba de homogeneidad de varianza de Levene, resolvió que existe diferencia significativa entre las varianzas de las cuatro clases diamétricas (valor de significación=0,025)

La Tabla ANOVA, establece que no existe diferencia significativa entre las medias de MORf, de las diferentes clases diamétricas. Por esto se puede decir, que la carga máxima que pueden soportar las diferentes clases diamétricas hasta que ocurre ruptura de la pieza es similar.

En la siguiente Tabla resumen de las propiedades físicas y mecánicas, se da a conocer si la ANOVA logra detectar diferencias significativas y su probable causa.

Tabla 98. Resumen propiedades físicas y mecánicas.

Propiedad Física	Diferencia Significativa	Observación
Densidad Normal		
D2	NO	Dentro de la semi-basa la densidad es similar.
D3	NO	La densidad dentro de la semi-basa es similar ya que el diámetro es mayor y se asume que corresponder a un árbol adulto.
D4	NO	A mayor diámetro mayor densidad y mayor estabilidad dentro de la semi-basa.
Zona CM	SI	A mayor diámetro mayor densidad.
Zona C	NO	Mientras más alejado de la médula mayor estabilidad entre cada clase diamétrica.
Zona CL	NO	Mientras más alejado de la médula mayor estabilidad entre cada clase diamétrica.
Densidad Básica		
D2	SI	Al contrario de lo ocurrido en la densidad normal, se puede deber a la presencia de madera juvenil.
D3	NO	La densidad dentro de la semi-basa es similar ya que el diámetro es mayor y se asume que corresponder a un árbol adulto.
D4	NO	A mayor diámetro mayor densidad y mayor estabilidad dentro de la semi-basa.
Zona CM	SI	A mayor diámetro mayor densidad.
Zona C	NO	Mientras más alejado de la médula mayor estabilidad entre cada clase diamétrica.
Zona CL	NO	Mientras más alejado de la médula mayor estabilidad entre cada clase diamétrica.
Contracción Radial		
D2	NO	Independiente de si existe diferencia significativa o no de los resultados, cabe recordar que estos no son los esperados, y estas diferencias se puede originar por no realizar un manejo a tiempo, o quizás no hay justificación, ya que la madera es un material heterogéneo y este resultado no se repitió con la otra propiedad física en estudio.
D3	NO	Como recomendación, probablemente aumentar el número de probetas podría cambiar estos resultados.
D4	NO	
Zona CM	SI	
Zona C	NO	
Zona CL	NO	

Contracción Tangencial		
D2	NO	
D3	NO	
D4	NO	
Zona CM	NO	
Zona C	NO	
Zona CL	SI	
Propiedad Mecánica		
Compresión paralela		
Fc,lp	NO	Todas las clases diamétricas soportan carga similar antes de que se produzcan deformaciones permanentes.
Rc	NO	La carga máxima soportada por cada clase diamétrica es similar.
MOEc	NO	Resisten carga similar en dirección paralela a las fibras.
Compresión perpendicular		
Fcn,lp	NO	Todas las clases diamétricas soportan carga similar antes de que se produzcan deformaciones permanentes.
Rcn	NO	La carga máxima soportada por cada clase diamétrica es similar.
MOEcn	NO	Resisten igual carga similar.
Flexión estática		
Ffp	NO	Todas las clases diamétricas soportan carga similar antes de que se produzcan deformaciones permanentes.
MOEf	NO	Resisten carga similar.
Rf	NO	La carga máxima soportada por cada clase diamétrica es similar.

6. CONCLUSIONES

Según las propiedades físicas se puede concluir que el Hualo posee una madera de alta densidad correspondiendo a una madera semi-pesada, y con gran contracción, según la compresión paralela, pertenece a la clase superior con calidad semi-pesada, y en flexión pertenece a la clase mediana y corresponde a una madera de gran calidad y muy tenaz.

La densidad normal y básica del Hualo resultó ser menor que la densidad del Roble en un 3,7 y 0,3 %, respectivamente. Ambas densidades van en aumento desde la zona cercana a la médula, hasta la zona lateral, y desde el diámetro D1 hasta el D4.

La contracción radial y tangencial, resultó con valores no concordantes con la teoría, ya que lo que se esperaba, era que aumentara desde la zona cercana a la médula hasta la zona lateral y desde la clase diamétrica de 15 cm, hasta la clase diamétrica de 45 cm. Es por esto, que es difícil dar una justificación, probablemente el manejo que se le realizó fue muy tardío, o quizás aumentar el número de muestras podría cambiar este resultado, o simplemente porque la madera es un material heterogéneo.

Se resolvió que es una madera semi-pesada y de gran contracción. De esta última propiedad se puede decir que el Hualo supera al Roble en un 23.9 y 14.7% en contracción radial y tangencial respectivamente.

Con respecto a la tensión de compresión en el límite de proporcionalidad, tensión máxima y módulo de elasticidad de compresión paralela, no presentaron diferencia entre clases diamétricas, es decir, genera un comportamiento favorable si se piensa que este estudio se realizó con la finalidad de otorgar una mejor utilización a esta especie y resulta que por sus características es adecuada en la construcción pesada, es decir pilares, vigas, durmientes, entre otros. Además se logró detectar que el Hualo supera en $F_{cl,p}$ y en R_c , no así en MOE, es decir es menos resistente en compresión paralela que el Roble.

En cuanto a la tensión unitaria de compresión perpendicular, se puede decir que todas las clases diamétricas soportan carga similar antes de que se produzcan deformaciones permanentes y todas ellas superan al Roble. No se pudo realizar la comparación con las otras propiedades, pero si se puede decir, que por los valores obtenidos, que además no presentan diferencia entre clases diamétricas, se ha de suponer que en R_{cn} y MOE_{cn} es apta para la construcción e infraestructura vial.

En flexión, la tensión unitaria y el módulo de ruptura en flexión obtenidos, resultaron similares entre las clases diamétricas, y además con valores mayores que el Roble. No ocurre lo mismo en MOE_f , ya que en este caso el Roble supera al Hualo, a pesar que entre clases diamétricas no se aprecia diferencia, el Roble resiste mayor carga.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Campos, A; Cubillos, G; Morales, F; Pastene, A. 1990. Propiedades y usos de especies madereras de corta rotación. Santiago, Chile. Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). 87 p.
- CONAF. (Corporación Nacional Forestal). 1999. Guía para el manejo del bosque nativo de Roble y Hualo. Región del Maule, Chile. 29 p.
- Cuevas, E. 2003. Propiedades físicas y mecánicas de la madera. Material de apoyo en propiedades físicas y mecánicas. Talca, Chile. Universidad de Talca, Escuela de Ingeniería en Industrias de la Madera. 68p. (No Publicado).
- Díaz-Vaz, J; Cuevas, H. 1982. Ensayos mecánicos de la madera. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias Forestales. 44p.
- Donoso, C. 1978. Dendrología: árboles y arbustos chilenos. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, departamento de Silvicultura. 138p.
- FNDR. 1990. Estudio del carbón vegetal y activo obtenido de maderas de especies nativas e introducidas de la VII región. Región del Maule, Chile. 166 p.
- INFOR-CONAF. 1998. Potencialidad de especies y sitios para una diversificación silvícola nacional. Monografía de Roble *Nothofagus obliqua*. Santiago, Chile. 90 p.
- INN (Instituto Nacional de Normalización, Chile). 1984. Determinación de la humedad. Santiago, Chile. NCh176/1. Of84.

- INN (Instituto Nacional de Normalización, Chile). 1988. Determinación de la densidad. Santiago, Chile. NCh176/2.Of 86 modificada en 1988.
- INN (Instituto Nacional de Normalización, Chile). 1984. Determinación de la contracción radial y tangencial. NCh176/3.Of84.
- INN (Instituto Nacional de Normalización, Chile). 1985. Ensayo de compresión paralela. NCh973.
- INN (Instituto Nacional de Normalización, Chile). 1986. Ensayo de compresión perpendicular. NCh974.
- INN (Instituto Nacional de Normalización, Chile). 1985. Ensayo de flexión estática. NCh987.
- INN (Instituto Nacional de Normalización, Chile). 1986. Selección, obtención y acondicionamiento de muestras y probetas para la determinación de propiedades físicas y mecánicas. NCh968.Of86.
- 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.
- Pérez, V. 1983. Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Santiago, Chile. Corporación Nacional Forestal. 451 p.
- Torres, H.1971. Maderas. Santiago, Chile. Corporación Chilena de la Madera. 263 p.

- Véliz, G. 2003. Determinación de propiedades físicas y mecánicas en maderas de híbridos de Populus (I-488, I-63/51). Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de ciencias Forestales. 66p.
- Vignote, S. 2000. Tecnología de la Madera en Construcción Arquitectónica. Madrid, España. Ed. Mundi-prensa. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 277p.

8. APÉNDICES

APÉNDICE I

Pesos de Probetas para Ensayos Físicos.

PROBETAS (D1=15 cm)	Peso Verde (gramos)	Peso CH 12% (gramos)	Peso Seco CH 0% (gramos)
D11CM	57,8376	31,46	27,5832
D12CM	59,4743	32,35	27,7149
D13CM	63,8277	34,72	29,3473
D14CM	60,8273	33,09	30,2212
D15CM	61,6550	33,53	31,0916
D16CM	66,8928	36,38	32,2021
D17CM	56,8679	30,93	30,4439
D18CM	62,3778	33,93	29,7860
D19CM	61,4504	33,42	29,6479
D110CM	56,3730	30,66	25,5337
PROBETAS (D2=25 cm)			
D21CM	61,0427	31,7297	28,3417
D21C	60,1364	34,3075	30,6442
D22CM	57,4075	33,7503	30,3040
D22C	56,0813	34,5150	31,3489
D23CM	69,9083	36,4440	32,8458
D23C	68,7539	37,9293	34,5157
D24CM	64,0585	35,6536	32,5865
D24C	62,1280	37,1498	33,9404
D25CM	62,4038	33,2114	30,3624
D25C	65,1666	37,0650	33,8873
D26CM	61,7339	33,4153	30,2767
D26C	66,0550	35,9257	32,5253
D27CM	67,5045	39,1843	35,3333
D27C	67,7202	39,0423	34,9936
D28CM	65,9397	32,7978	29,5301
D28C	71,2819	40,6217	37,1244
D29CM	67,1354	38,4387	35,0678
D29C	74,5904	44,0442	40,1769
D210CM	60,3885	32,1913	29,4065
D210C	65,7693	33,7511	30,6537
PROBETAS (D3=35 cm)			
D31CM	69,2719	40,1655	36,0165
D31C	70,5027	41,9115	37,7275
D31CL	71,4045	43,8674	39,6330
D32CM	74,2068	39,1227	35,6492
D32C	77,1039	42,9893	39,3143
D32CL	74,4843	41,6949	38,1025
D33CM	69,1313	39,0748	35,6766
D33C	71,7461	40,4844	36,9819
D33CL	64,8370	37,4408	34,1923
D34CM	55,0570	31,1496	27,9960
D34C	64,9847	31,7619	28,7244
D34CL	59,8467	27,9082	25,2699

D35CM	75,4024	38,8442	35,2314
D35C	71,9349	39,3254	35,7226
D35CL	64,6139	38,3099	34,9569
D36CM	73,8250	39,4424	36,0021
D36C	68,1617	37,2674	33,9858
D36CL	70,3024	38,9687	35,5282
D37CM	65,6360	39,9620	36,4006
D37C	72,4096	39,1593	35,7036
D37CL	71,8012	39,2050	35,7554
D38CM	68,0351	40,4681	36,9639
D38C	73,5349	41,5030	37,7009
D38CL	70,6133	43,8934	40,1092
D39CM	72,3363	39,4651	35,3579
D39C	69,2835	40,1353	36,3669
D39CL	70,9037	43,1232	39,2114
D310CM	74,1062	43,8299	39,8868
D310C	72,0696	44,0491	40,1022
D310CL	75,8058	46,2047	41,9929
PROBETAS (D4=45 cm)			
D41CM	58,0038	41,7258	38,0232
D41C	70,6272	39,4612	35,9709
D41CL	70,9673	41,1026	37,5876
D41L	73,7033	40,2356	36,7905
D42CM	68,1538	39,6248	36,2244
D42C	67,7306	43,0656	39,3541
D42CL	68,6523	43,8648	40,0867
D42L	70,3296	45,6662	41,8393
D43CM	63,9368	38,9964	35,6291
D43C	69,0345	41,0277	37,4672
D43CL	70,5494	40,6175	36,7850
D43L	70,1414	41,1703	36,7726
D44CM	66,3693	40,5126	36,8971
D44C	70,3611	41,7121	37,7572
D44CL	72,1629	42,3001	37,8893
D44L	69,2433	41,3859	37,3634
D45CM	71,5608	45,8138	41,4377
D45C	75,0249	44,7069	40,7954
D45CL	75,7996	44,8367	40,6783
D45L	76,1318	43,2582	38,6565
D46CM	74,7897	43,2203	39,2171
D46C	75,0504	45,3080	41,4330
D46CL	76,0205	46,9619	42,8282
D46L	75,6109	43,5336	39,7134
D47CM	74,7177	38,9910	36,0675
D47C	67,7237	39,9227	36,6442
D47CL	66,7000	40,5849	37,0512

D47L	66,0914	43,2457	39,5036
D48CM	64,5391	38,0461	34,5222
D48C	74,6579	42,2794	38,2532
D48CL	74,3816	42,7482	38,6242
D48L	72,0993	41,0673	37,3820
D49CM	67,4409	42,3098	38,4340
D49C	66,2150	45,8750	40,9746
D49CL	71,7890	49,5642	44,6456
D49L	69,4594	44,3765	39,9545
D410CM	57,1627	39,8612	36,9545
D410C	67,5190	39,6804	35,9526
D410CL	66,1541	40,8415	36,9434
D410L	65,7888	41,4862	37,5928

Contenido de Humedad Inicial, Densidad Normal y Básica de probetas para Ensayos Físicos.

PROBETAS (D1=15cm)	Contenido de Humedad Inicial (%)	Densidad Normal (gr/cm³)	Densidad Básica (gr/cm³)
D11CM	110	0,670	0,513
D12CM	115	0,692	0,518
D13CM	117	0,716	0,529
D14CM	101	0,660	0,527
D15CM	98	0,642	0,521
D16CM	108	0,712	0,551
D17CM	87	0,654	0,563
D18CM	109	0,670	0,514
D19CM	107	0,656	0,509
D110CM	121	0,681	0,496
PROBETAS (D2=25cm)			
D21CM	115	0,621	0,496
D21C	96	0,653	0,531
D22CM	89	0,652	0,532
D22C	79	0,752	0,552
D23CM	113	0,658	0,536
D23C	99	0,692	0,567
D24CM	97	0,710	0,548
D24C	83	0,756	0,604
D25CM	106	0,650	0,524
D25C	92	0,686	0,567
D26CM	104	0,652	0,519
D26C	103	0,693	0,562
D27CM	91	0,761	0,612
D27C	94	0,753	0,606
D28CM	123	0,629	0,496
D28C	92	0,734	0,610
D29CM	91	0,746	0,577
D29C	86	0,797	0,645
D210CM	105	0,594	0,476
D210C	115	0,631	0,517
PROBETAS (D3=35cm)			
D31CM	92	0,729	0,584
D31C	87	0,762	0,606
D31CL	80	0,791	0,639
D32CM	108	0,701	0,562
D32C	96	0,739	0,604
D32CL	95	0,749	0,604
D33CM	94	0,701	0,569
D33C	94	0,705	0,574
D33CL	90	0,695	0,562
D34CM	97	0,545	0,436

D34C	126	0,561	0,446
D34CL	137	0,527	0,430
D35CM	114	0,676	0,544
D35C	101	0,712	0,573
D35CL	85	0,681	0,553
D36CM	105	0,714	0,577
D36C	101	0,683	0,557
D36CL	98	0,667	0,549
D37CM	80	0,722	0,570
D37C	103	0,701	0,573
D37CL	101	0,703	0,576
D38CM	84	0,736	0,599
D38C	95	0,728	0,589
D38CL	76	0,763	0,623
D39CM	105	0,691	0,552
D39C	91	0,736	0,599
D39CL	81	0,787	0,635
D310CM	86	0,787	0,630
D310C	80	0,818	0,651
D310CL	81	0,828	0,650
PROBETAS (D4=45cm)			
D41CM	53	0,754	0,601
D41C	96	0,726	0,567
D41CL	89	0,737	0,587
D41L	100	0,711	0,581
D42CM	88	0,715	0,577
D42C	72	0,777	0,627
D42CL	71	0,782	0,630
D42L	68	0,790	0,662
D43CM	79	0,662	0,550
D43C	84	0,730	0,589
D43CL	92	0,701	0,564
D43L	91	0,727	0,573
D44CM	80	0,731	0,572
D44C	86	0,734	0,586
D44CL	90	0,722	0,579
D44L	85	0,721	0,580
D45CM	73	0,786	0,635
D45C	84	0,781	0,640
D45CL	86	0,786	0,638
D45L	97	0,750	0,607
D46CM	91	0,760	0,617
D46C	81	0,819	0,655
D46CL	78	0,837	0,678
D46L	90	0,770	0,632

D47CM	107	0,751	0,561
D47C	85	0,705	0,569
D47CL	80	0,712	0,572
D47L	67	0,783	0,605
D48CM	87	0,672	0,549
D48C	95	0,733	0,590
D48CL	93	0,749	0,600
D48L	93	0,740	0,602
D49CM	75	0,771	0,618
D49C	62	0,833	0,661
D49CL	61	0,843	0,668
D49L	74	0,794	0,626
D410CM	55	0,710	0,586
D410C	88	0,700	0,570
D410CL	79	0,713	0,581
D410L	75	0,717	0,586

APÉNDICE II

Contracción Radial y Tangencial de probetas para Ensayos Físicos.

PROBETAS (D1=15cm)	Contracción Radial (%)	Contracción Tangencial (%)
D11CM	8,40	7,49
D12CM	10,25	9,32
D13CM	8,54	11,06
D14CM	6,13	10,97
D15CM	8,22	11,35
D16CM	6,19	10,48
D17CM	6,12	10,89
D18CM	8,43	10,14
D19CM	8,83	9,37
D110CM	8,98	8,98
PROBETAS (D2=25 cm)		
D21CM	5,98	9,48
D21C	5,46	8,70
D22CM	3,74	8,85
D22C	6,43	8,95
D23CM	4,59	8,36
D23C	5,10	9,46
D24CM	7,42	12,36
D24C	6,60	10,54
D25CM	6,71	8,58
D25C	6,85	7,51
D26CM	8,58	8,33
D26C	5,19	9,90
D27CM	6,13	9,00
D27C	5,45	10,01
D28CM	6,65	11,07
D28C	6,13	10,38
D29CM	6,94	12,50
D29C	5,90	10,21
D210CM	8,45	7,37
D210C	5,03	8,87
PROBETAS (D3=35cm)		
D31CM	6,60	9,50
D31C	6,28	9,74
D31CL	6,65	9,73
D32CM	6,21	9,40
D32C	5,23	10,30
D32CL	6,01	10,15
D33CM	5,37	9,53
D33C	5,65	9,55
D33CL	9,31	9,66
D34CM	6,41	8,45
D34C	4,20	11,60
D34CL	4,20	8,32

D35CM	5,34	10,03
D35C	5,93	10,48
D35CL	5,33	10,00
D36CM	6,45	9,29
D36C	4,66	9,19
D36CL	4,66	8,73
D37CM	5,40	11,25
D37C	9,29	5,72
D37CL	9,74	5,11
D38CM	5,54	9,22
D38C	5,79	9,68
D38CL	5,97	9,74
D39CM	8,00	6,58
D39C	4,93	9,95
D39CL	5,41	10,00
D310CM	6,13	10,91
D310C	5,71	10,14
D310CL	6,02	9,68
PROBETAS (D4=45cm)		
D41CM	5,37	11,59
D41C	3,88	12,09
D41CL	4,34	10,41
D41L	4,31	10,35
D42CM	4,91	10,15
D42C	6,11	10,18
D42CL	5,23	11,68
D42L	5,61	11,56
D43CM	5,19	10,43
D43C	5,34	11,38
D43CL	5,58	10,05
D43L	5,60	9,74
D44CM	4,79	12,01
D44C	4,54	11,54
D44CL	4,97	10,66
D44L	4,72	9,98
D45CM	5,37	10,62
D45C	5,69	8,82
D45CL	5,90	8,98
D45L	5,50	8,14
D46CM	5,44	10,13
D46C	7,00	10,80
D46CL	5,67	9,88
D46L	5,25	9,79
D47CM	8,10	15,45
D47C	5,90	10,32
D47CL	5,86	10,83

D47L	5,53	9,90
D48CM	7,13	8,04
D48C	7,29	8,51
D48CL	6,11	10,20
D48L	9,65	5,56
D49CM	7,02	8,95
D49C	5,26	11,31
D49CL	5,77	11,71
D49L	5,75	11,44
D410CM	6,54	8,88
D410C	5,24	9,08
D410CL	4,86	9,54
D410L	5,07	8,77

Dimensiones en Verde de probetas para Ensayos Físicos.

PROBETAS (D1=15cm)	Dimensión Promedio Radial (mm)	Dimensión Promedio Tangencial (mm)	Largo (mm)	Volumen (cm ³)
D11CM	23,84	22,80	98,84	53,72
D12CM	23,16	23,04	100,22	53,46
D13CM	23,25	23,79	100,25	55,44
D14CM	23,75	24,49	98,63	57,37
D15CM	24,64	24,03	100,8	59,70
D16CM	24,12	23,59	102,65	58,41
D17CM	23,86	23,05	98,31	54,06
D18CM	23,85	24,14	100,57	57,89
D19CM	24,08	24,08	100,46	58,27
D110CM	22,30	23,34	98,84	51,43
PROBETAS (D2=25cm)				
D21CM	23,81	24,27	98,84	57,11
D21C	23,87	24,38	99,11	57,69
D22CM	23,88	24,15	98,86	57,00
D22C	23,57	24,32	99	56,76
D23CM	24,67	25,05	99,21	61,33
D23C	24,71	24,80	99,32	60,86
D24CM	23,94	25,25	98,33	59,44
D24C	23,77	23,88	98,91	56,16
D25CM	24,13	24,27	98,87	57,90
D25C	24,51	24,51	99,46	59,74
D26CM	24,28	24,22	99,22	58,35
D26C	23,84	24,18	100,44	57,89
D27CM	24,07	24,07	99,56	57,69
D27C	24,16	24,15	98,88	57,70
D28CM	24,80	24,32	98,7	59,52
D28C	24,74	24,79	99,24	60,87
D29CM	24,85	24,70	99,11	60,83
D29C	24,81	25,20	99,67	62,31
D210CM	25,16	24,65	99,71	61,84
D210C	24,31	24,58	99,27	59,31
PROBETAS (D3=35cm)				
D31CM	24,92	24,94	99,29	61,69
D31C	24,94	25,01	99,77	62,23
D31CL	24,76	25,00	100,17	61,99
D32CM	24,86	25,44	100,23	63,39
D32C	25,49	25,62	99,58	65,04
D32CL	24,89	25,43	99,71	63,12
D33CM	25,02	25,35	98,88	62,72
D33C	25,38	25,55	99,39	64,46
D34CM	25,31	25,60	99,01	64,15
D34C	25,26	25,69	99,19	64,35
D34CL	23,90	24,75	99,25	58,71

D35CM	25,48	25,50	99,75	64,81
D35C	24,83	25,17	99,81	62,39
D35CL	24,96	25,47	99,51	63,27
D36CM	24,86	25,01	100,3	62,35
D36C	24,76	24,81	99,3	61,01
D36CL	25,09	25,69	100,5	64,77
D37CM	25,18	25,40	99,86	63,88
D37C	25,25	24,86	99,17	62,27
D37CL	25,19	24,80	99,4	62,09
D38CM	24,86	25,13	98,8	61,72
D38C	25,41	25,35	99,3	63,97
D38CL	25,19	25,66	99,52	64,34
D39CM	25,47	25,14	100,07	64,08
D39C	24,54	24,96	99,17	60,74
D39CL	24,44	25,22	100,1	61,71
D310CM	25,28	25,21	99,35	63,32
D310C	24,88	24,98	99,08	61,58
D310CL	25,16	25,65	100,1	64,58
PROBETAS (D4=45 cm)				
D41CM	25,00	25,25	100,25	63,29
D41C	25,00	25,28	100,31	63,39
D41CL	25,18	25,33	100,32	63,99
D41L	25,12	24,98	100,88	63,32
D42CM	24,98	25,13	100,08	62,82
D42C	24,99	25,04	100,38	62,81
D42CL	25,11	25,29	100,26	63,68
D42L	25,13	25,16	99,88	63,17
D43CM	25,25	25,24	101,59	64,74
D43C	24,89	25,19	101,49	63,62
D43CL	25,31	25,25	102	65,19
D43L	25,12	25,17	101,58	64,23
D44CM	25,24	25,36	100,71	64,48
D44C	25,27	25,21	101,17	64,47
D44CL	25,42	25,45	101,17	65,46
D44L	25,08	25,32	101,35	64,37
D45CM	25,63	25,43	100,1	65,24
D45C	25,35	25,07	100,3	63,73
D45CL	25,20	25,13	100,68	63,76
D45L	25,25	25,30	99,77	63,74
D46CM	25,27	25,19	99,93	63,61
D46C	25,09	25,09	100,49	63,24
D46CL	25,03	25,10	100,48	63,14
D46L	25,02	25,10	100,06	62,85
D47C	25,32	25,28	100,66	64,45
D47CL	25,37	25,40	100,42	64,72
D47L	25,44	25,50	100,76	65,35

D48CM	24,95	25,07	100,58	62,91
D48C	25,26	25,45	100,89	64,85
D48CL	25,48	25,22	100,16	64,37
D48L	25,05	24,72	100,28	62,10
D49CM	24,99	24,90	99,93	62,18
D49C	24,96	24,78	100,26	62,02
D49CL	25,71	25,84	100,59	66,83
D49L	25,20	25,22	100,42	63,84
D410CM	25,14	25,04	100,13	63,03
D410C	25,13	25,14	99,78	63,03
D410CL	25,23	25,27	99,76	63,59
D410L	25,16	25,43	100,21	64,13

Dimensión al 12% de Contenido de Humedad de probetas para Ensayos Físicos.

PROBETAS (D1=15cm)	Dimensión Promedio Radial (mm)	Dimensión Promedio Tangencial (mm)	Largo (mm)	Volumen (cm ³)
D11CM	22,65	21,20	97,85	46,99
D12CM	22,00	21,43	99,22	46,78
D13CM	22,08	22,12	99,25	48,47
D14CM	22,56	22,77	97,64	50,16
D15CM	23,41	22,35	99,79	52,21
D16CM	22,91	21,94	101,62	51,08
D17CM	22,67	21,44	97,33	47,31
D18CM	22,66	22,45	99,56	50,65
D19CM	22,87	22,39	99,45	50,92
D110CM	21,18	21,71	97,85	44,99
PROBETAS (D2=25 cm)				
D21CM	22,94	22,65	98,41	51,13
D21C	23,16	22,98	98,66	52,51
D22CM	23,25	22,70	98,15	51,80
D22C	22,54	22,82	89,20	45,87
D23CM	24,06	23,31	98,81	55,42
D23C	23,94	23,09	99,19	54,84
D24CM	22,64	22,66	97,92	50,22
D24C	22,72	21,98	98,41	49,14
D25CM	22,94	22,65	98,35	51,10
D25C	23,53	23,17	99,16	54,06
D26CM	22,81	22,67	99,11	51,26
D27CM	23,16	22,27	99,89	51,52
D27C	23,41	22,50	98,42	51,83
D28CM	23,68	22,37	98,40	52,14
D28C	23,70	23,54	99,26	55,37
D29CM	23,57	22,18	98,55	51,52
D29C	23,87	23,25	99,60	55,26
D210CM	23,44	23,27	99,40	54,23

D210C	23,46	22,97	99,20	53,46
PROBETAS (D3=35 cm)				
D31CM	23,89	23,23	99,30	55,11
D31C	23,97	23,31	98,41	54,99
D31CL	23,75	23,33	100,08	55,45
D32CM	24,05	23,22	99,88	55,78
D32C	24,54	23,88	99,35	58,20
D32CL	23,87	23,49	99,30	55,69
D33CM	24,05	23,52	98,60	55,77
D33C	24,42	23,70	99,16	57,39
D33CL	23,95	22,93	98,07	53,86
D34CM	24,18	23,89	98,93	57,14
D34C	24,55	23,28	98,98	56,57
D34CL	23,19	23,07	99,06	53,00
D35CM	24,55	23,53	99,44	57,44
D35C	23,94	23,13	99,74	55,22
D35CL	24,08	23,55	99,26	56,28
D36CM	23,70	23,23	100,28	55,22
D36C	23,96	22,97	99,07	54,52
D36CL	24,29	24,01	100,14	58,40
D37CM	23,96	23,15	99,81	55,38
D37C	23,54	23,95	99,06	55,85
D37CL	23,24	24,15	99,32	55,76
D38CM	23,89	23,30	98,74	54,95
D38C	24,45	23,56	98,98	57,00
D38CL	24,22	23,87	99,50	57,52
D39CM	23,89	23,94	99,94	57,15
D39C	23,86	23,05	99,12	54,51
D39CL	23,49	23,32	100,06	54,80
D310CM	24,22	23,14	99,38	55,70
D310C	23,57	23,07	98,98	53,82
D310CL	24,15	23,11	99,98	55,79
PROBETAS (D4=45 cm)	0,00	0,00	0,00	0,00
D41CM	24,08	22,92	100,30	55,36
D41C	23,36	23,21	100,21	54,35
D41CL	23,74	23,35	100,57	55,75
D41L	24,41	23,04	100,56	56,56
D42C	23,93	23,04	100,55	55,43
D42CL	24,25	23,09	100,15	56,07
D42L	24,19	23,90	99,97	57,80
D43CM	24,29	23,84	101,69	58,88
D43C	24,06	23,00	101,61	56,23
D43CL	24,41	23,41	101,40	57,94
D43L	23,68	23,51	101,76	56,66
D44CM	24,02	22,89	100,79	55,42
D44C	24,55	22,99	100,70	56,85

D44CL	24,69	23,47	101,15	58,61
D44L	24,33	23,38	100,98	57,43
D45CM	24,83	23,42	100,25	58,31
D45C	24,35	23,41	100,39	57,23
D45CL	24,23	23,50	100,23	57,08
D45L	24,12	23,99	99,66	57,68
D46CM	24,41	23,28	100,04	56,87
D46C	24,03	22,92	100,37	55,29
D46CL	24,09	23,23	100,26	56,10
D46L	24,23	23,30	100,14	56,53
D47CM	23,51	22,06	100,10	51,92
D47C	24,28	23,16	100,66	56,62
D47CL	24,39	23,29	100,35	57,00
D47L	23,89	22,99	100,55	55,23
D48CM	23,94	23,57	100,36	56,63
D48C	24,08	23,93	100,12	57,68
D48CL	24,46	23,32	100,12	57,11
D48L	23,24	23,87	100,06	55,51
D49CM	23,67	23,24	99,73	54,85
D49C	24,19	22,82	99,83	55,10
D49CL	24,80	23,65	100,29	58,81
D49L	24,22	23,00	100,39	55,92
D410CM	24,01	23,42	99,81	56,12
D410C	24,25	23,47	99,62	56,69
D410CL	24,47	23,53	99,48	57,27
D410L	24,38	23,84	99,55	57,84

Dimensión Anhidra de Probetas para Ensayos Físicos.

PROBETAS (D1=15cm)	Dimensión Promedio Radial (mm)	Dimensión Promedio Tangencial (mm)	Largo (mm)	Volumen (cm ³)
D11CM	21,84	21,09	98,46	45,35
D12CM	20,78	20,89	100,22	43,51
D13CM	21,26	21,16	100,22	45,09
D14CM	22,29	21,81	98,67	47,97
D15CM	22,62	21,31	100,55	48,45
D16CM	22,63	21,12	102,52	48,98
D17CM	22,40	20,54	97,99	45,08
D18CM	21,84	21,69	100,50	47,61
D19CM	21,96	21,83	100,36	48,10
D110CM	20,29	21,24	98,73	42,56
PROBETAS (D2=25 cm)				
D21CM	22,38	21,97	98,16	48,27
D21C	22,57	22,26	98,55	49,51
D22CM	22,98	22,01	97,83	49,50

D22C	22,05	22,15	98,91	48,31
D23CM	23,54	22,96	98,60	53,29
D23C	23,45	22,46	98,99	52,12
D24CM	22,17	22,13	97,65	47,89
D24C	22,20	21,37	98,05	46,52
D25CM	22,51	22,19	98,06	48,97
D25C	22,83	22,67	98,89	51,17
D26CM	22,20	22,20	98,70	48,64
D26C	22,60	21,79	99,91	49,19
D27CM	22,59	21,91	99,41	49,20
D27C	22,85	21,73	98,27	48,79
D28CM	23,15	21,63	98,30	49,21
D28C	23,22	22,22	98,81	50,99
D29CM	23,12	21,61	98,40	49,18
D29C	23,35	22,62	99,45	52,53
D210CM	23,03	22,84	99,24	52,19
D210C	23,08	22,40	98,87	51,12
PROBETAS (D3=35 cm)				
D31CM	23,27	22,57	99,17	52,08
D31C	23,37	22,57	98,30	51,86
D31CL	23,11	22,56	100,00	52,14
D32CM	23,32	23,05	99,77	53,62
D32C	24,16	22,98	99,40	55,19
D32CL	23,40	22,85	99,36	53,12
D33CM	23,68	22,93	98,57	53,53
D33C	23,95	23,11	99,13	54,87
D33CL	22,58	22,51	97,79	49,70
D34C	24,20	22,71	98,86	54,32
D34CL	22,90	22,69	98,95	51,41
D35CM	24,12	22,94	99,27	54,93
D35C	23,36	22,53	99,74	52,50
D35CL	23,63	22,92	99,17	53,73
D36CM	23,25	22,69	100,17	52,84
D36C	23,61	22,53	98,95	52,63
D36CL	23,92	23,44	100,15	56,16
D37CM	23,82	22,54	99,71	53,55
D37C	22,91	23,44	98,95	53,13
D37CL	22,74	23,53	99,21	53,08
D38CM	23,48	22,81	98,44	52,73
D38C	23,94	22,90	99,05	54,30
D38CL	23,69	23,16	99,46	54,58
D39CM	23,43	23,49	99,72	54,89
D39C	23,33	22,48	98,95	51,89
D39CL	23,12	22,70	99,86	52,40
D310CM	23,73	22,46	99,21	52,88
D310C	23,46	22,44	98,80	52,03

D310CL	23,64	23,16	99,78	54,65
PROBETAS (D4=45 cm)				
D41C	24,03	22,22	100,20	53,50
D41CL	24,09	22,69	100,17	54,76
D41L	24,04	22,40	100,52	54,12
D42CM	23,75	22,58	100,06	0,00
D42C	23,46	22,49	100,33	52,94
D42CL	23,80	22,34	100,15	53,24
D42L	23,72	22,25	99,92	52,75
D43CM	23,94	22,60	101,38	54,86
D43C	23,56	22,32	101,47	53,36
D43CL	23,90	22,71	102,96	55,89
D43L	23,72	22,72	101,35	54,60
D44CM	24,03	22,32	100,62	53,97
D44C	24,13	22,30	100,31	53,98
D44CL	24,16	22,74	100,99	55,48
D44L	23,90	22,80	100,86	54,94
D45CM	24,25	22,73	100,07	55,17
D45C	23,90	22,86	100,06	54,67
D45CL	23,71	22,88	100,06	54,27
D45L	23,86	23,24	99,56	55,21
D46CM	23,89	22,64	100,20	54,20
D46C	23,33	22,38	100,20	52,31
D46CL	23,61	22,62	100,11	53,48
D46L	23,71	22,65	100,37	53,89
D47C	23,83	22,67	100,17	54,12
D47CL	23,89	22,65	100,29	54,26
D47L	24,03	22,97	100,60	55,54
D48CM	23,17	23,05	100,10	53,47
D48C	23,42	23,28	99,87	54,45
D48CL	23,92	22,65	99,98	54,18
D48L	22,63	23,35	99,96	52,82
D49CM	23,23	22,67	99,52	52,42
D49C	23,65	21,98	99,69	51,81
D49CL	24,23	22,81	100,18	55,37
D49L	23,75	22,34	100,18	53,15
D410CM	23,49	22,82	99,66	53,43
D410C	23,81	22,85	99,33	54,06
D410CL	24,00	22,86	99,56	54,61
D410L	23,89	23,20	99,58	55,19

APÉNDICE III

Pesos de la sección de probetas de Ensayos de Compresión Paralela.

PROBETAS (D1=15cm)	Pesos CH 12% (gr)	Pesos anhidro CH 0% (gr)
D11	8,30484	7,61243
D12	10,14535	9,16534
D13	10,73546	9,81454
D14	12,67563	11,57104
D15	9,33059	8,52738
D16	11,08869	10,10174
D17	13,60700	12,29953
D18	11,87325	10,68663
D19	11,57752	10,57699
D110	8,37101	7,60560
PROBETAS (D2=25cm)		
D21	11,52098	10,52710
D22	12,73992	11,56053
D23	12,95278	11,81462
D24	11,11428	10,16137
D25	12,69339	11,56583
D26	13,33836	12,19548
D27	13,80310	12,53375
D28	14,29789	13,06613
D29	14,97584	13,52776
D210	11,30779	10,21686
PROBETAS (D3=35cm)		
D31	44,46970	39,72016
D32	49,12753	43,97266
D33	46,99960	42,10371
D34	52,25060	46,23438
D35	48,42310	43,03996
D36	42,44211	38,10528
D37	43,65455	39,19693
D38	No ensayada	No ensayada
D39	45,66936	41,45132
D310	43,89078	39,29542
PROBETAS (D4=45cm)		
D41	45,10940	40,19905
D42	48,11529	43,31892
D43	47,44144	42,68732
D44	48,55865	43,58485
D45	48,58102	43,50677
D46	47,06335	42,06467
D47	54,10860	48,28241
D48	40,55587	36,56104
D49	56,88110	50,59861
D410	49,60634	44,16381

Pesos de la sección de probetas de ensayos de Compresión Perpendicular.

PROBETAS (D1=15cm)	Peso CH 12% (gr)	Peso anhidro CH 0% (gr)
D11	41,00626	36,92253
D12	34,72660	31,33971
D13	41,60660	37,18256
D14	42,62816	38,54809
D15	40,78877	36,71590
D16	36,59448	32,92558
D17	41,87713	37,53057
D18	37,05060	33,27339
D19	38,91620	35,07698
D110	No ensayada	No ensayada
PROBETAS (D2=25cm)		
D21	39,92402	35,85040
D22	37,48312	34,17134
D23	42,56195	38,56398
D24	45,45663	40,98073
D25	43,84506	39,91256
D26	42,40491	38,12314
D27	45,45805	40,88058
D28	44,58531	39,98736
D29	46,51274	42,37880
D210	36,91945	33,40757
PROBETAS (D3=35cm)		
D31	51,65107	46,92815
D32	46,90159	42,40414
D33	43,97168	39,80570
D34	35,33911	31,80104
D35	43,81213	39,36119
D36	42,18481	37,87912
D37	44,59484	40,41123
D38	46,74357	42,14518
D39	49,68166	44,57282
D310	52,89815	48,21603
PROBETAS (D4=45cm)		
D41	43,49221	39,22677
D42	45,50935	40,91002
D43	43,06182	38,90392
D44	46,22621	41,64198
D45	50,20141	45,62432
D46	45,14680	40,54211
D47	42,20971	38,11888
D48	37,62324	33,99485
D49	51,18924	45,86821
D410	44,52763	40,12231

Pesos de la sección de probetas de ensayos de Flexión Estática.

PROBETAS (D1=15cm)	Pesos CH 12% (gr)	Peso anhidro CH 0% (gr)
D11	9,455280	8,63463
D12	9,140140	8,37398
D13	10,45570	9,55395
D14	13,21164	12,08140
D15	12,52627	11,52096
D16	No ensayada	No ensayada
D17	13,01925	11,88919
D18	14,41328	13,11116
D19	12,55054	11,44583
D110	No ensayada	No ensayada
PROBETAS (D2=25cm)		
D21	12,54196	11,45265
D22	12,98412	11,90048
D23	12,70791	11,68245
D24	14,01539	12,82742
D25	11,90136	10,91063
D26	12,56624	11,52606
D27	13,63634	12,46464
D28	11,93881	10,97308
D29	13,90031	12,72890
D210	11,39384	10,49314
PROBETAS (D3=35cm)		
D31	14,82183	13,54763
D32	14,13410	12,96432
D33	13,71865	12,65598
D34	10,82431	9,93818
D35	10,49776	9,65761
D36	13,66011	12,46518
D37	14,14026	12,96950
D38	14,35191	13,20817
D39	14,91471	13,62283
D310	14,53265	13,34865
PROBETAS (D4=45cm)		
D41	13,35139	12,26009
D42	15,20889	13,85293
D43	13,42365	12,29075
D44	14,72552	13,45717
D45	15,24799	14,02096
D46	15,09544	13,89918
D47	11,47432	10,53027
D48	13,97324	12,86110
D49	15,42712	14,11193
D410	14,03582	12,90258

Datos de ensayos de Compresión paralela.

PROBETAS (D1)	Carga en el límite proporcional P_{lp} (Kg)	Ancho a (cm)	Espesor e (cm)	Longitud L (cm)	Deformación en el límite proporcional D_{lp} (cm)	Carga máxima Q (kg)
D11	2856	2,44	2,46	10	0,0665	3468
D12	2652	2,41	2,43	10	0,041	3468
D13	3876	2,48	2,46	10	0,097	4488
D14	3468	2,71	2,68	10	0,06	4284
D15	2856	2,36	2,35	10	0,063	3468
D16	2448	2,72	2,27	10	0,057	3060
D17	3264	2,64	2,74	10	0,046	3672
D18	3060	2,67	2,59	10	0,038	3672
D19	3060	2,64	2,64	10	0,075	3468
D110	2448	2,34	2,32	10	0,063	2856
PROBETAS (D2)						
D21	3672	2,69	2,72	10	0,065	3876
D22	3468	2,67	2,74	10	0,057	4692
D23	3672	2,71	2,78	10	0,061	4080
D24	4488	2,65	2,72	10	0,067	5304
D25	4080	2,72	2,74	10	0,055	4284
D26	3468	2,67	2,84	10	0,084	4284
D27	3672	2,68	2,75	10	0,052	4284
D28	3876	2,68	2,76	10	0,0755	5100
D29	3468	2,71	2,78	10	0,06	4080
D210	2856	2,62	2,66	10	0,066	3468
PROBETAS (D3)						
D31	12240	4,73	5	20	0,087	13872
D32	13056	4,76	4,99	20	0,14	15504
D33	12444	4,75	5,04	20	0,09	15096
D34	10608	4,75	4,98	20	0,141	13464
D35	12852	4,71	5,04	20	0,146	14688
D36	11832	4,66	4,95	20	0,128	13260
D37	11832	4,93	5,15	20	0,105	15096
D38	No Ensayada					
D39	10200	4,72	4,95	20	0,166	11832
D310	10200	4,71	5,04	20	0,101	13668
PROBETAS (D4)						
D41	11832	4,86	5,06	20	0,099	13464
D42	13260	4,77	5,05	20	0,102	15708
D43	12852	5,07	5,25	20	0,187	13464
D44	12240	5,08	5,36	20	0,151	14280
D45	13464	4,92	5,06	20	0,092	14484
D46	12852	5,13	5,22	20	0,0855	16116
D47	12036	5,16	5,25	20	0,125	13668
D48	12240	4,7	4,84	20	0,104	13872
D49	13464	5,06	5,24	20	0,153	15708

D410	11220	4,77	5,04	20	0,132	11832
------	-------	------	------	----	-------	-------

Datos de ensayo de Compresión perpendicular.

PROBETAS (D1)	Carga en el límite proporcional Plp (Kg)	Ancho a (cm)	Ancho de placa metálica z (cm)	Altura h (cm)	Deformación en el límite proporcional Dlp (cm)	Carga máxima Q (kg)
D11	2244	4,99	5	4,91	0,132	3265,3
D12	2040,8	4,46	5	4,38	0,083	2449
D13	2449	4,6	5	4,61	0,078	2857,1
D14	2040,8	4,71	5	4,73	0,155	3469,4
D15	2653,1	4,94	5	4,92	0,061	4489,8
D16	2244,9	4,73	5	4,74	0,054	2857,1
D17	2449	4,63	5	4,58	0,054	3469,4
D18	1632,7	4,29	5	4,28	0,041	2244,9
D19	2449	4,89	5	4,82	0,106	3469,4
D110	No ensayada					
PROBETAS (D2)						
D21	2040,8	4,91	5	4,9	0,05	2857,1
D22	2449	4,83	5	4,8	0,124	3673,5
D23	2244,9	5,04	5	4,98	0,074	2653,1
D24	2653,1	4,85	5	4,79	0,067	3469,4
D25	2857,1	5,15	5	5,05	0,11	4285,7
D26	2244,9	4,83	5	4,79	0,095	3061,2
D27	3673,5	5	5	4,94	0,111	3877,6
D28	2857,1	4,9	5	4,83	0,075	3265,3
D29	3469,4	5,13	5	5,12	0,157	4489,8
D210	2449	4,95	5	4,99	0,075	3061,2
PROBETAS (D3)						
D31	3469,4	5,16	5	5,23	0,122	5306,1
D32	2653,1	4,95	5	4,95	0,066	4489,8
D33	2653,1	4,99	5	4,95	0,074	3265,3
D34	1428,6	4,83	5	4,79	0,044	2040,8
D35	2244,9	5,15	5	5,03	0,059	2653,1
D36	1836	4,99	5	4,87	0,065	2857,1
D37	2653,1	5,04	5	5,05	0,058	4489,8
D38	3061,2	5,04	5	5,13	0,081	3265,3
D39	2857,1	5,06	5	5,07	0,08	3469,4
D310	3469,4	5,14	5	5,17	0,114	5918,4
PROBETAS (D4)						
D41	2449	4,86	5	4,71	0,069	4081,6
D42	2653,1	4,81	5	4,79	0,073	3469,4
D43	2449	5,09	5	5,01	0,069	4081,6
D44	2449	5,19	5	5,1	0,065	3061,2
D45	3469,4	5,02	5	5,07	0,131	5102
D46	3060	4,75	5	4,7	0,065	3673,5

D47	2857,1	5,15	5	5,03	0,075	4898
D48	2449	4,92	5	4,87	0,077	3061,2
D49	2653,1	5,05	5	5,15	0,073	3673,5
D410	3061,2	5,12	5	5,14	0,1	4285,7

Datos de ensayo de flexión estática.

PROBETAS (D1)	Carga en el límite proporcional Pip (Kg)	Ancho a (cm)	Altura h (cm)	Luz del ensayo L' (cm)	Deformación en el límite proporcional Dip (cm)	Carga máxima Q (kg)
D11	229,6	2,31	2,45	35	0,48	306,1
D12	255,1	2,41	2,22	35	0,918	306,1
D13	255,1	2,33	2,53	35	0,502	357,1
D14	382,7	2,55	2,52	35	0,784	459,2
D15	331,6	2,74	2,73	35	0,796	382,7
D16	No ensayada					
D17	306,1	2,62	2,64	35	0,722	408,2
D18	280,6	2,66	2,51	35	0,612	357,1
D19	306	2,18	2,11	35	0,64	433,7
D110	No ensayada					
PROBETAS (D2)						
D21	357,1	2,73	2,65	35	0,74	433,7
D22	331,6	2,71	2,66	35	0,636	433,7
D23	153,1	2,76	2,66	35	0,255	408,2
D24	382,7	2,74	2,68	35	0,654	510,2
D25	331,6	2,68	2,68	35	0,701	408,2
D26	306,1	2,75	2,76	35	0,56	459,2
D27	433,7	2,77	2,69	35	0,641	510,2
D28	357,1	2,72	2,71	35	0,721	459,2
D29	331,6	2,71	2,61	35	0,57	408,2
D210	255,1	2,67	2,62	35	0,59	331,6
PROBETAS (D3)						
D31	306,1	2,79	2,72	35	0,472	484,7
D32	382,7	2,73	2,35	35	0,602	535,7
D33	408,2	2,77	2,74	35	0,705	561,2
D34	255,1	2,83	2,73	35	0,615	306,1
D35	229,5	2,52	2,42	35	0,746	280,6
D36	382,7	2,88	2,89	35	0,922	484,7
D37	459,2	2,73	2,66	35	0,745	586,7
D38	433,7	2,75	2,73	35	0,666	586,7
D39	331,6	2,78	2,75	35	0,549	459,2
D310	306,1	2,71	2,75	35	0,425	612,2
PROBETAS (D4)						
D41	331,6	2,84	2,61	35	0,61	433,7
D42	433,7	2,81	2,74	35	0,7	561,2
D43	280,6	2,84	2,75	35	0,533	408,2

D44	382,7	2,93	2,76	35	0,715	459,2
D45	306,1	2,82	2,72	35	0,49	433,7
D46	178,6	2,83	2,79	35	0,305	459,2
D47	408,2	2,84	2,71	35	0,808	484,7
D48	331,6	2,83	2,77	35	0,632	408,2
D49	331,6	2,82	2,86	35	0,651	433,7
D410	357,1	2,86	2,81	35	0,784	561,2

Datos de probetas para ensayos de Compresión Paralela.

PROBETAS (D1)	Promedio Espesor (mm)	Promedio Ancho (mm)	Largo (mm)	Peso (gr)	Volumen de la sección (cm ³)	C.H (%)	Densidad (gr/cm ³)
D11	24,63	24,37	99	8,30	15,01	9	0,553
D12	24,33	24,1	99	10,15	14,66	11	0,692
D13	24,57	24,8	101	10,74	15,23	9	0,705
D14	26,77	27,17	101	12,68	18,18	10	0,697
D15	23,47	23,63	98	9,33	13,86	9	0,673
D16	22,73	27,17	98	11,09	15,44	10	0,718
D17	27,37	26,4	97	13,61	18,06	11	0,753
D18	25,90	26,73	97	11,87	17,31	11	0,686
D19	26,42	26,37	97	11,58	17,42	9	0,665
D110	23,23	23,43	97	8,37	13,61	10	0,615
D21	27,23	26,87	97	11,52	18,29	9	0,630
D22	27,43	26,7	97	12,74	18,31	10	0,696
D23	27,80	27,13	97	12,95	18,86	10	0,687
D24	27,23	26,53	98	11,11	18,06	9	0,615
D25	27,37	27,2	97	12,69	18,61	10	0,682
D26	28,37	26,67	99	13,34	18,92	9	0,705
D27	27,50	26,83	97	13,80	18,45	10	0,748
D28	27,63	26,77	101	14,30	18,49	9	0,773
D29	27,80	27,1	98	14,98	18,83	11	0,795
D210	26,57	26,23	98	11,31	17,42	11	0,649
PROBETAS (D3)							
D31	50,03	47,3	198	44,47	59,16	12	0,752
D32	49,93	47,57	197	49,13	59,38	12	0,827
D33	50,40	47,53	197	47,00	59,89	12	0,785
D34	49,80	47,47	198	52,25	59,10	13	0,884
D35	50,40	47,07	198	48,42	59,31	13	0,816
D36	49,50	46,57	197	42,44	57,63	11	0,736
D37	51,53	49,33	198	43,65	63,55	11	0,687
D38	No ensayada						
D39	49,47	47,2	199	45,67	58,37	10	0,782

D310	50,38	47,13	196	43,89	59,36	12	0,739
PROBETAS (D4)							
D41	50,63	48,63	198	45,11	61,55	12	0,733
D42	50,50	47,7	200	48,12	60,22	11	0,799
D43	52,47	50,67	197	47,44	66,47	11	0,714
D44	53,58	50,83	200	48,56	68,09	11	0,713
D45	50,60	49,17	198	48,52	62,20	12	0,780
D46	52,20	51,27	197	47,06	66,91	12	0,703
D47	52,50	51,63	197	54,11	67,76	12	0,798
D48	48,43	46,97	198	40,56	56,87	11	0,713
D49	52,40	50,55	198	56,88	66,22	12	0,859
D410	50,37	47,68	197	49,61	60,04	12	0,826

Obs: El peso y largo corresponde a la sección de la probeta ya ensayada de 25 mm.

Datos de probetas para ensayo de Compresión Perpendicular.

PROBETAS (D1)	Promedio Ancho (mm)	Largo (mm)	Altura (mm)	Peso (gr)	Volumen de sección (cm ³)	C.H (%)	Densidad (gr/cm ³)
D11	49,95	150	49,1	41,00626	61,31	11	0,669
D12	44,55	150	43,8	34,72660	48,78	11	0,712
D13	46	150	46,1	41,60660	53,02	12	0,785
D14	47,1	150	47,3	42,62816	55,70	11	0,765
D15	49,4	150	49,2	40,78877	60,76	11	0,671
D16	47,3	150	47,4	36,59448	56,05	11	0,653
D17	46,3	150	45,8	41,87713	53,01	12	0,790
D18	42,85	150	42,8	37,05060	45,85	11	0,808
D19	48,9	150	48,2	38,91620	58,92	11	0,660
D110	No Ensayada	150	No Ensayada	No Ensayada	No Ensayada	No Ensayada	No Ensayada
PROBETAS (D2)							
D21	49,05	150	49	39,92402	60,09	11	0,664
D22	48,3	150	48	37,48312	57,96	10	0,647
D23	50,4	150	49,8	42,56195	62,75	10	0,678
D24	48,5	150	47,9	45,45663	58,08	11	0,783
D25	51,5	150	50,5	43,84506	65,02	10	0,674
D26	48,25	150	47,9	42,40491	57,78	11	0,734
D27	49,65	150	49,4	45,45805	61,32	11	0,741
D28	48,95	150	48,3	44,58531	59,11	11	0,754
D29	51,25	150	51,2	46,51274	65,60	10	0,709
D210	49,45	150	49,9	36,91945	61,69	11	0,598
PROBETAS (D3)							
D31	51,55	150	52,3	51,65107	67,40	10	0,766
D32	49,5	150	49,5	46,90159	61,26	11	0,766
D33	49,85	150	49,5	43,97168	61,69	10	0,713
D34	48,25	150	47,9	35,33911	57,78	11	0,612
D35	51,45	150	50,3	43,81213	64,70	11	0,677

D36	49,9	150	48,7	42,18481	60,75	11	0,694
D37	50,35	150	50,5	44,59484	63,57	10	0,702
D38	50,4	150	51,3	46,74357	64,64	11	0,723
D39	50,6	150	50,7	49,68166	64,14	11	0,775
D310	51,375	150	51,7	52,89815	66,40	10	0,797
PROBETAS (D4)							
D41	48,6	150	47,1	43,49221	57,23	11	0,760
D42	48,1	150	47,9	45,50935	57,60	11	0,790
D43	50,9	150	50,1	43,06182	63,75	11	0,675
D44	51,9	150	51	46,22621	66,17	11	0,699
D45	50,15	150	50,7	50,20141	63,57	10	0,790
D46	47,5	150	47	45,14680	55,81	11	0,809
D47	51,5	150	50,3	42,20971	64,76	11	0,652
D48	49,15	150	48,7	37,62324	59,84	11	0,629
D49	50,5	150	51,5	51,18924	65,02	12	0,787
D410	51,2	150	51,4	44,52763	65,79	11	0,677

Datos de probetas de ensayos de Flexión Estática.

PROBETAS (D1)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Altura (mm)	Peso (gr)	Volumen de sección (cm ³)	C.H (%)	Densidad (gr/cm ³)
D11	23,10	410	25	9,5	14,15	10	0,668
D12	24,10	411	22	9,1	13,38	9	0,683
D13	23,30	416	25	10,5	14,74	9	0,709
D14	25,50	410	25	13,2	16,07	9	0,822
D15	27,40	413	27	12,5	18,70	9	0,670
D16	No ensayada	No ensayada	No ensayada				
D17	26,20	411	26	13,0	17,29	10	0,753
D18	26,60	411	25	14,4	16,69	10	0,864
D19	24,80	410	23	12,6	14,32	10	0,876
D110	No ensayada	No ensayada	No ensayada				
PROBETAS (D2)							
D21	27,3	410	27	12,5	18,09	10	0,693
D22	27,1	390	27	13,0	18,02	9	0,720
D23	27,6	409	27	12,7	18,35	9	0,692
D24	27,4	390	27	14,0	18,36	9	0,763
D25	26,8	410	27	11,9	17,76	9	0,670
D26	27,5	390	28	12,6	18,98	9	0,662
D27	27,7	410	27	13,6	18,63	9	0,732
D28	27,2	380	27	11,9	18,43	9	0,648
D29	27,1	410	26	13,9	17,68	9	0,786
D210	26,7	409	26	11,4	17,49	9	0,652
PROBETAS (D3)							
D31	27,9	410	27	14,8	18,97	9	0,781
D32	27,3	380	27	14,1	18,09	9	0,781

D33	27,7	390	27	13,7	18,97	8	0,723
D34	28,3	390	27	10,8	19,31	9	0,560
D35	25,2	411	24	10,5	15,25	9	0,689
D36	28,8	410	29	13,7	20,81	10	0,656
D37	27,3	410	27	14,1	18,15	9	0,779
D38	27,45	410	27	14,4	18,73	9	0,766
D39	27,8	411	28	14,9	19,11	9	0,780
D310	27,1	380	28	14,5	18,63	9	0,780
PROBETAS (D4)							
D41	28,4	410	26	13,4	18,53	9	0,720
D42	28,1	410	27	15,2	19,25	10	0,790
D43	28,4	410	28	13,4	19,53	9	0,688
D44	29,3	410	28	14,7	20,22	9	0,728
D45	28,2	409	27	15,2	19,18	9	0,795
D46	28,3	380	28	15,1	19,74	9	0,765
D47	28,4	408	27	11,5	19,24	9	0,596
D48	28,3	410	28	14,0	19,60	9	0,713
D49	28,2	408	29	15,4	20,16	9	0,765
D410	28,6	419	28	14,0	20,09	9	0,699

Densidades promedio de ensayos mecánicos.

Clase diamétrica	Compresión paralela (gr/m ³)	Compresión perpendicular (gr/m ³)	Flexión estática (gr/m ³)
D1	0.676	0.724	0.756
D2	0.698	0.698	0.702
D3	0.779	0.722	0.730
D4	0.764	0.727	0.726

Resultados de ensayo de Compresión Paralela.

PROBETAS (D1=15cm)	Fc,lp (Kg/cm ²)	Rc (Kg/cm ²)	MOEc (Ton/cm ²)
D11	475,8096761	577,7688924	71,55032724
D12	452,8456534	592,1827775	110,4501594
D13	635,3265146	735,6412274	65,49757882
D14	477,5017899	589,8551523	79,58363166
D15	514,9657411	625,3155427	81,74059382
D16	396,4757709	495,5947137	69,55715279
D17	451,2276045	507,6310551	98,0929575
D18	442,4970717	530,9964861	116,4465978
D19	439,0495868	497,5895317	58,5399449
D110	450,928382	526,0831123	71,57593364
PROBETAS (D2=25cm)			
D21	501,8587361	529,739777	77,20903632

D22	474,0424834	641,3515952	83,16534796
D23	487,4034352	541,5593724	79,90220249
D24	622,6415094	735,8490566	92,93156857
D25	547,4452555	574,8175182	99,535501
D26	457,3508467	564,9628106	54,44652936
D27	498,2360923	581,275441	95,81463313
D28	524,0103829	689,4873459	69,40534872
D29	460,3254666	541,5593724	76,72091109
D210	409,8031338	497,618091	62,09138391
PROBETAS (D3=35cm)			
D31	517,5475687	586,5539112	118,9764526
D32	549,6707701	652,7340395	78,52439573
D33	519,7994987	630,5764411	115,5109997
D34	448,4464172	569,1819911	63,60942089
D35	541,4012739	618,744313	74,16455807
D36	512,9405644	574,8471843	80,14696319
D37	466,0194175	594,5764982	88,76560333
D38	No ensayada	No ensayada	No ensayada
D39	436,5690806	506,4201335	52,59868441
D310	429,6835507	575,7759579	85,08585162
PROBETAS (D4=45 cm)			
D41	481,1399014	547,5040258	97,19998009
D42	550,4701414	652,0953982	107,9353218
D43	482,8402367	505,8326289	51,64066703
D44	449,5240334	524,4447056	59,53960707
D45	540,8271474	581,798901	117,571119
D46	479,9354709	601,8238444	112,2656072
D47	444,2967885	504,5404208	71,08748616
D48	538,0692808	609,8118516	103,4748617
D49	507,7995353	592,4327912	66,37902423
D410	466,7065988	492,1633224	70,71312103

Resultados de ensayos de Compresión perpendicular.

PROBETAS (D1=15cm)	Fcn,lp (Kg/cm ²)	Rcn (Kg/cm ²)	MOEcn (Ton/cm ²)
D11	89,93987976	130,8737475	3,345490982
D12	91,51569507	109,8206278	4,829382463
D13	106,4782609	124,2217391	6,293138239
D14	86,6581741	147,3205945	2,644472022
D15	107,4129555	181,7732794	8,663471162
D16	94,9217759	120,807611	8,332022551
D17	105,7883369	149,8660907	8,972418207
D18	76,11655012	104,6573427	7,945825232
D19	100,1635992	141,8977505	4,554608944
D110	No ensayada	No ensayada	No ensayada

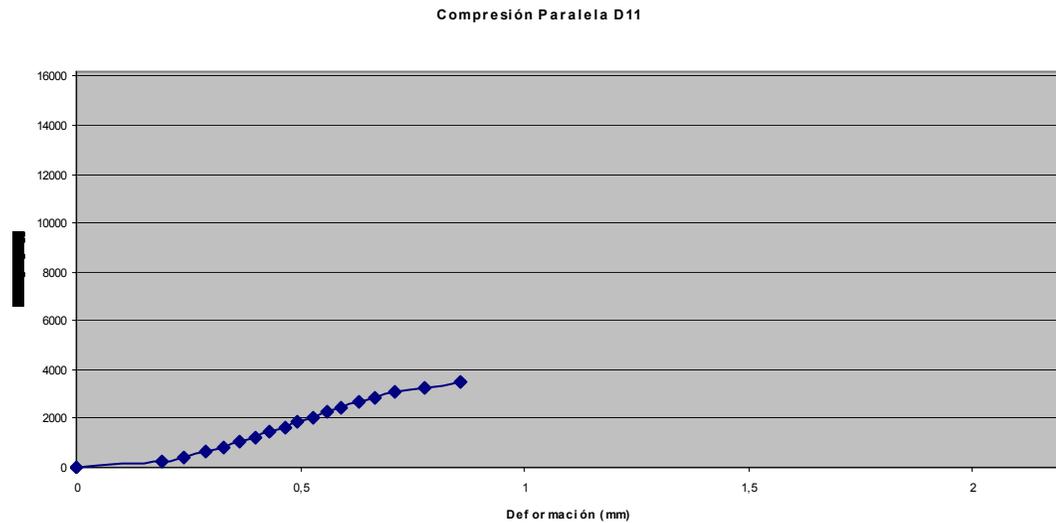
PROBETAS (D2=25cm)			
D21	83,12830957	116,3788187	8,146574338
D22	101,4078675	152,1118012	3,925465839
D23	89,08333333	105,281746	5,995067568
D24	109,4061856	143,0680412	7,821725804
D25	110,9553398	166,4349515	5,093858782
D26	92,95652174	126,757764	4,686965675
D27	146,94	155,104	6,539491892
D28	116,6163265	133,277551	7,510091429
D29	135,2592593	175,0409357	4,411002595
D210	98,94949495	123,6848485	6,583439731
PROBETAS (D3=35 cm)			
D31	134,4728682	205,6627907	5,764697547
D32	107,1959596	181,4060606	8,03969697
D33	106,3366733	130,8737475	7,113061258
D34	59,1552795	84,50517598	6,439858837
D35	87,18058252	103,0330097	7,432514069
D36	73,58717435	114,5130261	5,513377524
D37	105,281746	178,1666667	9,166772715
D38	121,4761905	129,5753968	7,693492063
D39	112,9288538	137,1304348	7,156866107
D310	134,9961089	230,2879377	6,122191958
PROBETAS (D4=45cm)			
D41	100,781893	167,9670782	6,879459653
D42	110,3160083	144,2577963	7,238543559
D43	96,22789784	160,3772102	6,986982147
D44	94,37379576	117,9653179	7,404713206
D45	138,2231076	203,2669323	5,349550804
D46	128,8421053	154,6736842	9,316275304
D47	110,9553398	190,2135922	7,44140479
D48	99,55284553	124,4390244	6,296394256
D49	105,0732673	145,4851485	7,412703106
D410	119,578125	167,4101563	6,146315625

Resultados de ensayos de Flexión estática.

PROBETAS (D1)	Flp (Kg/cm ²)	MOEf (Ton/cm ²)	MORf (Kg/cm ²)
D11	869,3347469	150,9261713	1158,986786
D12	1127,578459	112,9629312	1353,005748
D13	897,9926844	144,355521	1257,048952
D14	1240,727773	128,2167424	1488,743646
D15	852,5070288	80,09531098	983,8794931
D16	No ensayada	No ensayada	No ensayada
D17	880,0624435	94,26646077	1173,608263
D18	879,0587284	116,8362435	1118,716578

D19	1655,233722	250,2544073	2345,996292
D110	No ensayada	No ensayada	No ensayada
PROBETAS (D2)			
D21	977,9007038	101,8127114	1187,666019
D22	907,9067839	109,5689115	1187,452268
D23	411,5874641	123,8868356	1097,387347
D24	1020,933876	118,9241102	1361,067321
D25	904,4185123	98,28821988	1113,34028
D26	767,1349602	101,3350076	1150,827748
D27	1135,963551	134,5051538	1336,335263
D28	938,5159716	98,06678789	1206,851118
D29	943,0256808	129,4174967	1160,865751
D210	730,7282845	96,51336401	949,8608355
PROBETAS (D3)			
D31	778,5394459	123,8096675	1232,793432
D32	1332,660097	192,3268324	1865,445555
D33	1030,508098	108,9172249	1416,759296
D34	634,9770552	77,21561021	761,9226836
D35	816,4145209	92,32968745	998,1957061
D36	835,2752102	64,00083894	1057,898862
D37	1248,05942	128,5825965	1594,591598
D38	1110,940342	124,7494673	1502,856118
D39	828,0634996	111,980768	1146,703133
D310	784,1297917	136,9781098	1568,259583
PROBETAS (D4)			
D41	899,8590123	115,3955248	1176,926579
D42	1079,297771	114,888753	1396,591904
D43	685,9038529	95,54064697	997,8116634
D44	900,1854337	93,13259318	1080,128433
D45	770,2571114	117,9928173	1091,344362
D46	425,643412	102,1237401	1094,375447
D47	1027,484743	95,80310142	1220,043741
D48	801,7294773	93,50091106	986,9299536
D49	754,7318029	82,76190285	987,1145444
D410	830,1765862	76,93659051	1304,66284

Ejemplo de gráfico y cálculo de las propiedades de compresión paralela.



Tensión de compresión paralela en el límite de proporcionalidad, $F_{c,lp}$

$$F_{c,lp} = (P_{lp} / (a \times e)) \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde;

P_{lp} = Carga en el límite proporcional, en Kg.

a = Promedio de los anchos de la probeta, en cm.

e = Promedio de los espesores de la probeta, en cm.

$$F_{c,lp} = (2856 \text{ Kg} / (2,44 \text{ cm} \times 2,46 \text{ cm})) = 475,81 \text{ Kg/cm}^2$$

Tensión máxima o de rotura de compresión paralela, R_c

$$R_c = (Q / (a \times e)) \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Q = Carga máxima aplicada, en Kg.

a = Promedio de los anchos de la probeta, en cm.

e = Promedio de los espesores de la probeta, en cm.

$$R_c = (3468 \text{ Kg} / (2.44 \text{ cm} \times 2,46 \text{ cm})) = 577,77 \text{ Kg/cm}^2$$

Módulo de elasticidad de compresión paralela, MOEc

$$MOEc^* = (Plp \times L) / (Dlp \times a \times e) \text{ (Ton/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Plp = Carga en el límite proporcional, en Kg.

a = Promedio de los anchos de la probeta, en cm.

e = Promedio de los espesores de la probeta, en cm.

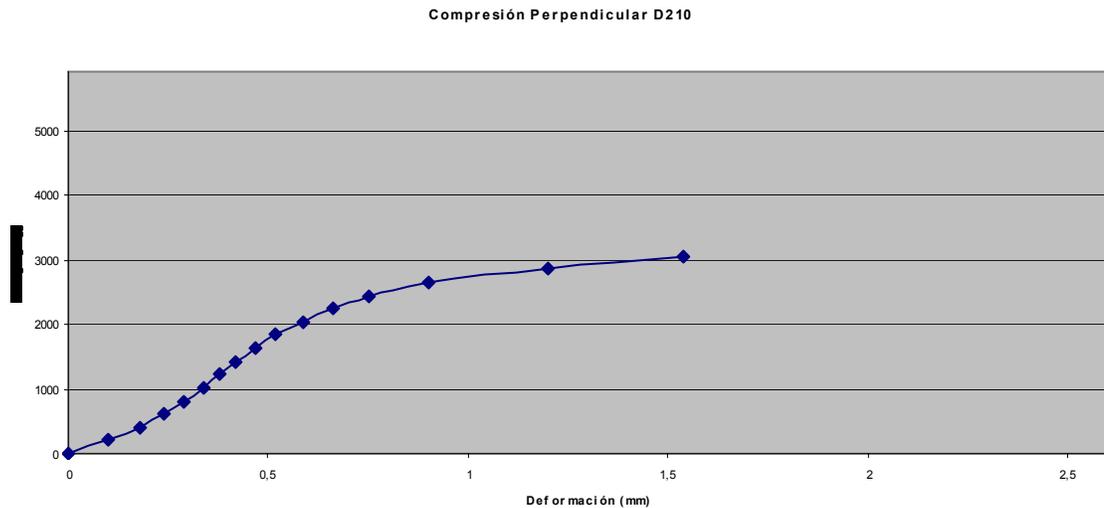
L = Longitud de la probeta, en cm.

Dlp = Deformación en el límite proporcional, en cm.

* Queda expresado en Kg/cm², por lo que es transformada a Ton/cm².

$$MOEc = (2856 \text{ Kg} \times 10 \text{ cm}) / (0,0665 \text{ cm} \times 2,44 \text{ cm} \times 2,46 \text{ cm}) = 71550,32 \text{ Kg/cm}^2$$
$$71550,32 \text{ Kg/cm}^2 / 0,001 \text{ Ton/Kg} = 71,55 \text{ Ton/cm}^2$$

Ejemplo de gráfico y cálculo de las propiedades de compresión perpendicular.



Tensión unitaria de compresión perpendicular, $F_{cn,lp}$

$$F_{cn,lp} = P_{lp} / (a \times z) \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde;

P_{lp} = Carga en el límite proporcional, en Kg.

a = Promedio de los anchos de la probeta, en cm.

z = Ancho de la placa metálica rígida (igual a 5cm), en cm.

$$F_{cn,lp} = 2449 \text{ Kg} / (4,95 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}) = 98,95 \text{ Kg/cm}^2$$

Tensión máxima o de rotura de compresión perpendicular, Rcn

$$R_{cn} = Q / (a \times z) \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Q = Carga máxima aplicada, en Kg.

a = Promedio de los anchos de la probeta, en cm.

z = Ancho de la placa metálica rígida (igual a 5cm), en cm.

$$R_{cn} = 3061,2 \text{ Kg} \times (4,95 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}) = 123,68 \text{ Kg/cm}^2$$

Módulo de elasticidad de compresión perpendicular, MOEcn

$$MOE_{cn}^* = (Plp \times h) / (Dlp \times a \times z) \text{ (Ton/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Plp = Carga en el límite proporcional, en Kg.

a = Promedio de los anchos de la probeta, en cm.

z = Ancho de la placa metálica rígida (igual a 5 cm), en cm.

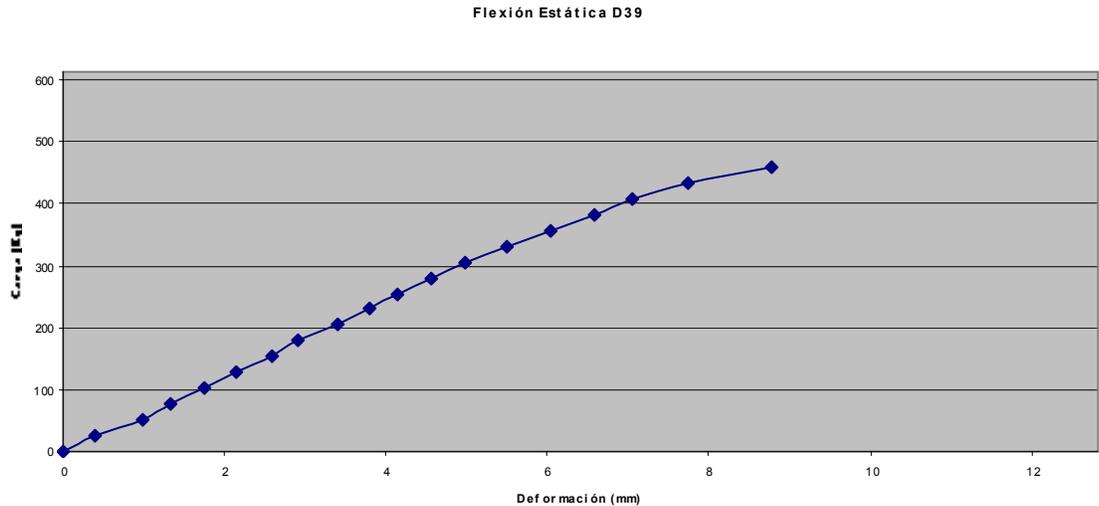
Dlp = Deformación en el límite proporcional, en cm.

h = Altura de la probeta (dimensión de la cara tangencial paralela a la carga), en cm.

$$MOE_{cn} = (2449 \text{ kg} \times 4,99 \text{ cm}) / (0,075 \text{ cm} \times 4,95 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}) = 6583,43 \text{ Kg/cm}^2$$
$$6583 \text{ Kg/cm}^2 \times 0,001 \text{ Ton/Kg} = 6,58 \text{ Ton/cm}^2$$

* Queda expresado en Kg/cm², por lo que es transformado a Ton/cm²

Ejemplo de gráfico y cálculo de las propiedades de flexión estática.



Tensión unitaria de flexión en el límite proporcional, F_{lp}

$$F_{lp} = (3 \times P_{lp} \times L') / (2 \times a \times h^2) \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde;

P_{lp} = Carga en el límite proporcional, en Kg.

L' = Luz del ensayo, en cm.

a = Ancho de la probeta, en cm.

h = Altura de la probeta, en cm.

$$F_{lp} = (3 \times 331,6 \text{ Kg} \times 35 \text{ cm}) / (2 \times 2,78 \text{ cm} \times (2,75 \text{ cm})^2) = 828,06 \text{ Kg/cm}^2$$

Módulo de elasticidad en flexión, MOEf

$$\text{MOEf}^* = (P_{lp} \times L'^3) / (4 \times D_{lp} \times a \times h^3) \text{ (Ton/cm}^2\text{)}$$

Donde;

P_{lp} = Carga en el límite proporcional, en Kg.

L' = Luz del ensayo, en cm.

a = Ancho de la probeta, en cm.

h = Altura de la probeta, en cm.

D_{lp} = Deformación en el límite proporcional, en cm.

$$\text{MOEf} = ((331,6 \text{ Km} \times (35\text{cm})^3) / (4 \times 0,549 \text{ cm} \times 2,78 \times 2,75^3)) = 111980,77 \text{ Kg/cm}^2$$
$$111980,77 \text{ Kg/cm}^2 \times 0,001 \text{ Ton/Kg} = 111,98 \text{ Ton/cm}^2$$

*Queda expresado en Kg/cm², por lo que es transformado a Ton/cm².

Módulo de ruptura en flexión, Rf

$$R_f = (3 \times Q \times L') / (2 \times a \times h^2) \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde;

Q = Carga máxima aplicada, en Kg.

L' = Luz del ensayo, en cm.

a = Ancho de la probeta, en cm.

h = Altura de la probeta, en cm.

$$R_f = (3 \times 459,2 \text{ Kg} \times 35 \text{ cm}) / (2 \times 2,78 \text{ cm} \times (2,75 \text{ cm})^2) = 1146,70 \text{ Kg/cm}^2$$

Resultados de Ensayo de Compresión Paralela

PROBETAS (D1=15 cm)	Deformación (mm)									
Carga (Kg)	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D110
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
204	0,19	0,05	0,21	0,045	0,038	0,14	0,07	0,04	0,179	0,16
408	0,24	0,09	0,32	0,10	0,09	0,2	0,11	0,07	0,25	0,22
612	0,29	0,12	0,39	0,15	0,15	0,24	0,14	0,1	0,3	0,27
816	0,33	0,15	0,44	0,19	0,19	0,28	0,16	0,13	0,34	0,32
1020	0,365	0,19	0,49	0,22	0,23	0,3	0,19	0,15	0,38	0,35
1224	0,4	0,22	0,53	0,25	0,27	0,34	0,21	0,17	0,41	0,39
1428	0,43	0,24	0,57	0,285	0,31	0,38	0,235	0,19	0,44	0,44
1632	0,465	0,27	0,60	0,32	0,345	0,41	0,255	0,22	0,48	0,47
1836	0,495	0,3	0,64	0,345	0,385	0,45	0,28	0,24	0,51	0,51
2040	0,53	0,33	0,67	0,38	0,43	0,49	0,305	0,26	0,55	0,55
2244	0,56	0,35	0,70	0,41	0,465	0,53	0,33	0,28	0,59	0,59
2448	0,59	0,38	0,73	0,44	0,51	0,57	0,35	0,3	0,62	0,63
2652	0,63	0,41	0,76	0,47	0,56	0,62	0,38	0,33	0,66	0,7
2856	0,665	0,45	0,79	0,50	0,63	0,68	0,41	0,35	0,7	0,76
3060	0,71	0,48	0,82	0,54	0,69	0,75	0,44	0,38	0,75	*
3264	0,78	0,53	0,86	0,57	0,76		0,46	0,42	0,82	
3468	0,86	0,58	0,89	0,60	0,87	*	0,51	0,46	0,92	
3672		*	0,93	0,68			0,56	0,53		
3876			0,97	0,74						
4080			1,03	0,82				*		
4284			1,13	1,00				*		
4488			1,35							

Observación: (*) y último valor en negrita, ocurre ruptura de la probeta

	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D110
Densidad (gr/cm ³)	0,553	0,692	0,705	0,697	0,673	0,719	0,753	0,686	0,665	0,615
C.H (%)	9	11	9	10	9	10	11	11	9	10

PROBETAS (D2=25 cm)		Deformación (mm)								
Carga (Kg)	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D210
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
204	0,11	0,11	0,11	0,032	0,05	0,16	0,083	0,28	0,11	0,18
408	0,15	0,17	0,16	0,12	0,09	0,265	0,13	0,33	0,17	0,26
612	0,19	0,22	0,21	0,17	0,12	0,34	0,17	0,39	0,21	0,31
816	0,215	0,26	0,24	0,21	0,14	0,395	0,2	0,425	0,25	0,35
1020	0,24	0,3	0,28	0,24	0,17	0,44	0,23	0,455	0,28	0,39
1224	0,26	0,32	0,3	0,27	0,19	0,49	0,25	0,48	0,3	0,42
1428	0,3	0,35	0,33	0,30	0,22	0,525	0,279	0,50	0,34	0,45
1632	0,33	0,38	0,35	0,33	0,24	0,56	0,295	0,53	0,37	0,48
1836	0,36	0,4	0,38	0,35	0,26	0,595	0,32	0,55	0,39	0,51
2040	0,38	0,42	0,4	0,38	0,29	0,63	0,34	0,575	0,42	0,54
2244	0,42	0,45	0,43	0,40	0,32	0,66	0,36	0,60	0,44	0,57
2448	0,45	0,47	0,45	0,42	0,33	0,69	0,38	0,62	0,46	0,6
2652	0,48	0,49	0,48	0,45	0,36	0,72	0,4	0,64	0,49	0,63
2856	0,5	0,51	0,5	0,46	0,39	0,74	0,42	0,655	0,51	0,66
3060	0,54	0,53	0,53	0,48	0,41	0,77	0,45	0,68	0,54	0,7
3264	0,57	0,55	0,56	0,50	0,44	0,80	0,475	0,695	0,57	0,74
3468	0,61	0,57	0,59	0,53	0,46	0,84	0,51	0,71	0,6	0,79
3672	0,65	0,6	0,61	0,55	0,49	0,89	0,52	0,73	0,64	
3876	0,79	0,63	0,66	0,58	0,52	0,95	0,59	0,755	0,68	
4080		0,64	0,7	0,61	0,55	1,02	0,63	0,79	0,72	*
4284	*	0,7		0,64	0,61	1,12	0,72	0,83		
4488		0,74		0,67	*			0,88		
4692		0,8	*	0,71			*	0,94		
4896		*		0,75				1,04	*	
5100				0,81				1,19		
5304				0,88						

Observación: (*) y último valor en negrita, ocurre ruptura de la probeta

	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D210
Densidad (gr/cm ³)	0,630	0,696	0,687	0,615	0,682	0,705	0,748	0,773	0,795	0,649
C.H (%)	9	10	10	9	10	9	10	9	11	11

PROBETAS (D3=35 cm)

Deformación (mm)

Carga (Kg)	D31	D32	D33	D34	D35	D36	D37	D38	D39	D310
0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
204	0,06	0,09	0,038	0,4	0,06	0,08	0,1		0,11	0,072
408	0,09	0,14	0,07	0,49	0,11	0,13	0,15		0,19	0,125
612	0,11	0,19	0,092	0,54	0,15	0,18	0,19		0,33	0,17
816	0,13	0,23	0,11	0,58	0,19	0,22	0,22		0,35	0,2
1020	0,15	0,27	0,129	0,62	0,22	0,25	0,25		0,42	0,23
1224	0,16	0,3	0,145	0,65	0,25	0,29	0,27	No	0,47	0,26
1428	0,17	0,32	0,165	0,68	0,28	0,32	0,3	ensayada	0,52	0,28
1632	0,19	0,35	0,18	0,71	0,31	0,35	0,32		0,55	0,301
1836	0,2	0,37	0,19	0,73	0,33	0,37	0,34		0,59	0,32
2040	0,21	0,39	0,195	0,76	0,36	0,39	0,36		0,63	0,341
2244	0,23	0,41	0,207	0,78	0,39	0,41	0,38		0,655	0,365
2448	0,24	0,43	0,219	0,8	0,4	0,44	0,39		0,68	0,385
2652	0,25	0,45	0,23	0,82	0,42	0,47	0,41		0,71	0,401
2856	0,26	0,47	0,24	0,84	0,44	0,49	0,425		0,73	0,42
3060	0,28	0,49	0,253	0,86	0,47	0,51	0,44		0,76	0,44
3264	0,29	0,5	0,263	0,88	0,49	0,54	0,45		0,79	0,451
3468	0,3	0,52	0,28	0,9	0,51	0,56	0,47		0,82	0,47
3672	0,32	0,54	0,29	0,91	0,53	0,58	0,49		0,845	0,49
3876	0,33	0,55	0,3	0,92	0,55	0,6	0,5		0,875	0,505
4080	0,34	0,57	0,315	0,94	0,57	0,62	0,51		0,9	0,52
4284	0,36	0,59	0,325	0,96	0,59	0,63	0,53		0,93	0,535
4488	0,37	0,61	0,34	0,97	0,61	0,65	0,54		0,95	0,55
4692	0,38	0,63	0,352	0,99	0,62	0,67	0,55		0,975	0,57
4896	0,395	0,65	0,369	1	0,64	0,69	0,57		1,0	0,585
5100	0,41	0,66	0,38	1,01	0,66	0,71	0,58		1,02	0,6
5304	0,42	0,68	0,392	1,03	0,67	0,72	0,6		1,04	0,62
5508	0,44	0,7	0,41	1,04	0,7	0,74	0,615		1,06	0,635
5712	0,45	0,72	0,42	1,05	0,72	0,76	0,63		1,09	0,65
5916	0,46	0,73	0,43	1,07	0,73	0,77	0,64		1,11	0,67
6120	0,47	0,75	0,445	1,08	0,75	0,79	0,66		1,13	0,682
6324	0,49	0,77	0,46	1,09	0,77	0,8	0,67		1,155	0,7
6528	0,5	0,79	0,47	1,1	0,78	0,82	0,68		1,18	0,713
6732	0,51	0,8	0,49	1,11	0,8	0,83	0,7		1,21	0,73
6936	0,52	0,82	0,5	1,12	0,82	0,84	0,715		1,23	0,74
7140	0,53	0,84	0,512	1,14	0,83	0,86	0,73		1,256	0,76
7344	0,55	0,86	0,529	1,15	0,85	0,87	0,74		1,28	0,775
7548	0,56	0,87	0,54	1,16	0,87	0,89	0,75		1,31	0,79
7752	0,57	0,89	0,555	1,18	0,89	0,9	0,77		1,32	0,805
7956	0,58	0,91	0,57	1,19	0,91	0,94	0,78		1,36	0,82
8160	0,6	0,92	0,58	1,21	0,92	0,95	0,8		1,39	0,84
8364	0,61	0,94	0,598	1,22	0,95	0,97	0,81		1,41	0,856
8568	0,62	0,95	0,61	1,24	0,97	0,98	0,82		1,44	0,875
8772	0,63	0,97	0,62	1,25	0,99	1	0,838		1,47	0,89

8976	0,64	0,98	0,63	1,27	1,01	1,01	0,85		1,5	0,91
9180	0,65	1	0,645	1,29	1,03	1,03	0,87		1,51	0,925
9384	0,66	1,01	0,66	1,3	1,05	1,05	0,88		1,55	0,933
9588	0,67	1,03	0,672	1,31	1,07	1,06	0,895		1,58	0,96
9792	0,69	1,04	0,685	1,33	1,09	1,08	0,91		1,61	0,98
9996	0,7	1,06	0,7	1,35	1,11	1,1	0,92		1,63	1
10200	0,71	1,08	0,71	1,37	1,13	1,11	0,93		1,66	1,01
10404	0,72	1,1	0,729	1,4	1,16	1,13	0,95		1,70	1,04
10608	0,74	1,12	0,74	1,41	1,18	1,15	0,96		1,73	1,07
10812	0,75	1,14	0,76	1,44	1,21	1,17	0,97		1,76	1,09
11016	0,76	1,16	0,78	1,46	1,23	1,19	0,99		1,80	1,11
11220	0,78	1,18	0,795	1,47	1,25	1,21	1,01		1,84	1,13
11424	0,8	1,2	0,81	1,5	1,28	1,24	1,02		1,89	1,15
11628	0,82	1,22	0,82	1,52	1,3	1,26	1,04		1,94	1,18
11832	0,84	1,24	0,84	1,55	1,32	1,28	1,05		2,0	1,2
12036	0,86	1,27	0,853	1,58	1,35	1,31	1,07		2,06	1,25
12240	0,87	1,28	0,878	1,6	1,38	1,34	1,09		2,12	1,27
12444	0,9	1,31	0,9	1,63	1,41	1,39	1,11		2,17	1,29
12648	0,92	1,34	0,92	1,66	1,43	1,45	1,13		2,23	1,34
12852	0,95	1,37	0,95	1,7	1,46	1,515	1,15		2,3	1,37
13056	0,96	1,4	0,978	1,73	1,51	1,605	1,17		2,39	1,41
13260	0,99	1,44	1	1,76	1,54	1,675	1,19		2,45	1,46
13464	1,02	1,46	1,04	1,82	1,58		1,215		2,53	1,56
13668	1,1	1,49	1,07		1,63		1,24		2,65	1,64
13872	1,18	1,52	1,1		1,67		1,27		2,79	
14076	*	1,56	1,152		1,74	*	1,3			
14280		1,6	1,2		1,8		1,33			
14484		1,64	1,26	*	1,89		1,37			
14688		1,67	1,33		1,96		1,42			
14892		1,73	1,4				1,5			
15096		1,79	1,52				1,54			
15300		1,85								
15504		1,92			*					
15708										
15912										
16116										
16320										
16524										
16728		*								

Observación: (*) y último valor en negrita, ocurre ruptura de la probeta

	D31	D32	D33	D34	D35	D36	D37	D38	D39	D310
Densidad (gr/cm ³)	0,752	0,827	0,785	0,884	0,816	0,736	0,687	No	0,782	0,739
C.H (%)	12	12	12	13	13	11	11	ensayada	10	12
PROBETAS						Deformación (mm)				

(D4=45 cm)										
Carga (Kg)	D41	D42	D43	D44	D45	D46	D47	D48	D49	D410
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
204	0,07	0,03	0,19	0,12	0,08	0,06	0,09	0,12	0,14	0,2
408	0,1	0,07	0,32	0,21	0,15	0,12	0,14	0,2	0,24	0,25
612	0,14	0,1	0,4	0,27	0,2	0,16	0,2	0,25	0,33	0,293
816	0,17	0,13	0,46	0,3	0,23	0,2	0,24	0,3	0,38	0,321
1020	0,19	0,16	0,51	0,35	0,27	0,23	0,28	0,33	0,45	0,345
1224	0,21	0,18	0,55	0,385	0,29	0,26	0,31	0,37	0,49	0,375
1428	0,24	0,2	0,59	0,42	0,31	0,29	0,34	0,4	0,54	0,4
1632	0,26	0,225	0,63	0,45	0,33	0,31	0,365	0,42	0,57	0,42
1836	0,28	0,25	0,67	0,479	0,35	0,33	0,39	0,44	0,61	0,44
2040	0,3	0,27	0,7	0,50	0,37	0,35	0,419	0,46	0,64	0,46
2244	0,31	0,28	0,74	0,53	0,38	0,36	0,44	0,47	0,66	0,48
2448	0,33	0,30	0,77	0,55	0,39	0,38	0,46	0,49	0,7	0,5
2652	0,34	0,32	0,8	0,57	0,4	0,39	0,48	0,5	0,72	0,51
2856	0,36	0,34	0,84	0,6	0,42	0,41	0,5	0,51	0,74	0,52
3060	0,37	0,355	0,87	0,62	0,43	0,42	0,516	0,52	0,76	0,54
3264	0,39	0,375	0,9	0,64	0,44	0,44	0,53	0,54	0,78	0,556
3468	0,4	0,39	0,93	0,662	0,45	0,45	0,55	0,55	0,8	0,57
3672	0,41	0,41	0,96	0,68	0,47	0,46	0,57	0,56	0,82	0,58
3876	0,43	0,425	0,99	0,7	0,48	0,48	0,585	0,57	0,84	0,6
4080	0,44	0,442	1,02	0,721	0,49	0,49	0,6	0,59	0,85	0,61
4284	0,45	0,46	1,05	0,74	0,5	0,5	0,613	0,6	0,87	0,635
4488	0,47	0,475	1,08	0,76	0,51	0,51	0,63	0,61	0,88	0,64
4692	0,48	0,49	1,1	0,779	0,52	0,52	0,645	0,62	0,9	0,65
4896	0,49	0,502	1,13	0,79	0,53	0,53	0,66	0,63	0,91	0,669
5100	0,5	0,52	1,15	0,81	0,55	0,543	0,67	0,64	0,93	0,68
5304	0,52	0,54	1,17	0,825	0,56	0,555	0,693	0,65	0,94	0,7
5508	0,54	0,55	1,19	0,84	0,57	0,57	0,709	0,66	0,96	0,728
5712	0,55	0,565	1,21	0,86	0,58	0,575	0,72	0,67	0,97	0,74
5916	0,56	0,579	1,23	0,87	0,59	0,59	0,74	0,68	0,98	0,75
6120	0,58	0,59	1,24	0,89	0,6	0,6	0,75	0,7	1	0,765
6324	0,59	0,6	1,26	0,9	0,61	0,605	0,76	0,71	1,01	0,78
6528	0,6	0,612	1,28	0,92	0,62	0,615	0,773	0,72	1,03	0,8
6732	0,62	0,625	1,3	0,94	0,625	0,625	0,8	0,73	1,04	0,81
6936	0,63	0,64	1,32	0,955	0,635	0,63	0,815	0,74	1,05	0,82
7140	0,65	0,65	1,33	0,97	0,65	0,64	0,83	0,75	1,07	0,84
7344	0,66	0,66	1,35	0,99	0,66	0,65	0,84	0,76	1,08	0,855
7548	0,68	0,67	1,37	1	0,67	0,66	0,86	0,77	1,1	0,87
7752	0,69	0,683	1,38	1,01	0,675	0,67	0,873	0,78	1,11	0,89
7956	0,7	0,693	1,4	1,04	0,68	0,68	0,881	0,8	1,13	0,91
8160	0,72	0,7	1,42	1,055	0,69	0,69	0,901	0,81	1,14	0,93
8364	0,73	0,719	1,43	1,08	0,7	0,695	0,919	0,82	1,15	0,945
8568	0,75	0,73	1,45	1,1	0,71	0,7	0,93	0,83	1,16	0,965
8772	0,76	0,74	1,47	1,11	0,712	0,71	0,941	0,84	1,18	0,988

8976	0,77	0,75	1,49	1,14	0,72	0,715	0,965	0,85	1,2	1
9180	0,79	0,76	1,5	1,16	0,73	0,72	0,99	0,86	1,21	1,03
9384	0,8	0,77	1,52	1,175	0,74	0,73	1	0,87	1,22	1,05
9588	0,81	0,783	1,54	1,195	0,742	0,74	1,02	0,88	1,24	1,07
9792	0,83	0,795	1,56	1,21	0,75	0,745	1,04	0,89	1,25	1,1
9996	0,85	0,810	1,58	1,23	0,76	0,75	1,05	0,91	1,26	1,12
10200	0,86	0,812	1,6	1,255	0,77	0,76	1,06	0,92	1,28	1,15
10404	0,88	0,82	1,62	1,28	0,78	0,77	1,08	0,93	1,29	1,18
10608	0,89	0,835	1,63	1,3	0,79	0,775	1,1	0,95	1,31	1,21
10812	0,91	0,85	1,65	1,325	0,8	0,78	1,12	0,96	1,32	1,24
11016	0,92	0,86	1,67	1,35	0,802	0,79	1,14	0,97	1,34	1,3
11220	0,94	0,87	1,7	1,38	0,81	0,795	1,16	0,99	1,36	1,32
11424	0,96	0,88	1,72	1,4	0,82	0,8	1,18	1	1,37	1,56
11628	0,98	0,89	1,74	1,43	0,83	0,81	1,21	1,01	1,39	1,63
11832	0,99	0,9	1,76	1,45	0,84	0,82	1,23	1,02	1,4	1,66
12036	1,02	0,919	1,78	1,485	0,85	0,825	1,25	1,03	1,42	
12240	1,05	0,93	1,8	1,51	0,86	0,83	1,28	1,04	1,44	
12444	1,07	0,95	1,82	1,56	0,87	0,843	1,31	1,06	1,46	
12648	1,1	0,966	1,84	1,59	0,88	0,85	1,34	1,07	1,48	
12852	1,15	0,98	1,87	1,61	0,89	0,855	1,38	1,08	1,49	
13056	1,2	1	1,91	1,7	0,9	0,88	1,409	1,1	1,51	
13260	1,3	1,02	2,05	1,72	0,91	0,89	1,45	1,11	1,52	*
13464	1,4	1,04	2,2	1,77	0,92	0,91	1,51	1,13	1,53	
13668		1,06		1,84	0,95	0,92	1,6	1,15	1,56	
13872	*	1,089		1,9	0,97	0,94		1,18	1,57	
14076		1,12		2,02	1	0,95			1,59	
14280		1,16		2,13	1,02	0,955			1,61	
14484		1,21			1,06	0,973	*		1,63	
14688		1,27	*			0,99		*	1,65	
14892		1,35				1,01			1,66	
15096		1,46				1,06			1,68	
15300		1,61				1,09			1,7	
15504		1,71			*	1,14			1,74	
15708		2,00				1,19			1,78	
15912						1,25				
16116						1,33				
16320										
16524										
16728										
16932									*	

Observación: (*) y último valor en negrita, ocurre ruptura de la probeta

	D41	D42	D43	D44	D45	D46	D47	D48	D49	D410
Densidad (gr/cm ³)	0,733	0,799	0,714	0,713	0,780	0,703	0,798	0,713	0,859	0,826
C.H (%)	12	11	11	11	12	12	12	11	12	12

Resultados de Ensayo de Compresión Perpendicular

PROBETAS (D1=15 cm)		Deformación (mm)								
Carga (Kg)	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D110
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
204	0,18	0,15	0,11	0,15	0,1	0,07	0,07	0,05	0,34	
408	0,33	0,26	0,19	0,3	0,15	0,13	0,12	0,1	0,44	
612	0,48	0,35	0,26	0,52	0,2	0,18	0,18	0,15	0,53	
816	0,6	0,43	0,34	0,7	0,24	0,23	0,22	0,2	0,59	
1020	0,72	0,49	0,4	0,85	0,27	0,28	0,26	0,24	0,65	
1224	0,84	0,55	0,45	1	0,31	0,32	0,3	0,29	0,71	
1428	0,93	0,62	0,51	1,14	0,34	0,35	0,34	0,35	0,76	
1632	1,07	0,68	0,56	1,3	0,37	0,39	0,38	0,41	0,81	
1836	1,14	0,75	0,62	1,42	0,41	0,43	0,42	0,49	0,86	No
2040	1,22	0,83	0,67	1,55	0,45	0,48	0,46	0,59	0,92	ensayada
2244	1,32	0,93	0,72	1,66	0,5	0,54	0,5	0,7	0,99	
2448	1,47	1,04	0,78	1,72	0,55	0,63	0,54		1,06	
2652	1,5		0,85	1,78	0,61	0,75	0,61		1,15	
2856	1,7		0,94	1,85	0,7	1,08	0,66		1,26	
3060	2,22			1,92	0,79		0,72		1,45	
3264	2,5			1,96	0,91		0,82		1,72	
3468				2	1,11		1,01		1,99	
3672					2,06					
3876					2,12					
4080					2,2					
4284					2,3					
4488					2,41					
4692										

	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D110
Densidad (gr/cm ³)	0,669	0,712	0,785	0,765	0,671	0,653	0,790	0,808	0,660	No
C.H (%)	11	11	12	11	11	11	12	11	11	ensayada

PROBETAS (D2=25 cm)		Deformación (mm)								
Carga (Kg)	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D210
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
204	0,07	0,38	0,11	0,11	0,2	0,26	0,11	0,09	0,21	0,1
408	0,11	0,53	0,21	0,18	0,31	0,36	0,19	0,15	0,39	0,18
612	0,17	0,66	0,28	0,24	0,42	0,45	0,27	0,2	0,53	0,24
816	0,22	0,75	0,34	0,29	0,48	0,52	0,34	0,26	0,64	0,29
1020	0,26	0,82	0,4	0,33	0,54	0,6	0,4	0,3	0,73	0,34

1224	0,3	0,9	0,44	0,38	0,62	0,67	0,45	0,35	0,81	0,38
1428	0,35	0,95	0,5	0,41	0,68	0,73	0,5	0,41	0,88	0,42
1632	0,4	1	0,56	0,46	0,72	0,78	0,54	0,45	0,95	0,47
1836	0,45	1,06	0,61	0,5	0,76	0,85	0,59	0,5	1,02	0,52
2040	0,5	1,12	0,67	0,54	0,83	0,91	0,64	0,55	1,09	0,59
2244	0,57	1,18	0,74	0,58	0,88	0,95	0,7	0,59	1,15	0,66
2448	0,66	1,24	0,84	0,62	0,94	1,06	0,75	0,64	1,2	0,75
2652	0,8	1,33	1,01	0,67	1,02	1,15	0,8	0,69	1,27	0,9
2856	1,01	1,45		0,72	1,1	1,25	0,85	0,75	1,34	1,2
3060		1,6		0,8	1,2	1,4	0,91	0,85	1,4	1,54
3264		1,9		0,91	1,35		0,98	0,92	1,48	
3468		2,1		1,1	1,55		1,04		1,57	
3672		2,5			1,8		1,11		1,72	
3876					2,08		1,3		1,89	
4080					2,4				2,1	
4284					2,5				2,35	
4488									2,5	

	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D210
Densidad (gr/cm ³)	0,664	0,647	0,678	0,783	0,674	0,734	0,741	0,754	0,709	0,598
C.H (%)	11	10	10	11	10	11	11	11	10	11

PROBETAS

(D3=35 cm)

Deformación (mm)

Carga (kg)	D31	D32	D33	D34	D35	D36	D37	D38	D39	D310
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
204	0,24	0,09	0,11	0,09	0,09	0,13	0,04	0,12	0,15	0,19
408	0,37	0,14	0,16	0,15	0,16	0,22	0,09	0,2	0,24	0,34
612	0,48	0,19	0,19	0,21	0,23	0,29	0,13	0,27	0,31	0,45
816	0,55	0,23	0,31	0,26	0,29	0,31	0,19	0,32	0,36	0,52
1020	0,62	0,28	0,36	0,32	0,33	0,42	0,22	0,38	0,41	0,61
1224	0,68	0,32	0,41	0,38	0,37	0,49	0,25	0,43	0,46	0,68
1428	0,72	0,37	0,45	0,44	0,42	0,55	0,29	0,48	0,5	0,73
1632	0,77	0,41	0,5	0,52	0,45	0,6	0,325	0,52	0,54	0,79
1836	0,81	0,46	0,54	0,64	0,49	0,65	0,36	0,57	0,57	0,83
2040	0,86	0,51	0,59	0,8	0,54	0,71	0,41	0,61	0,62	0,88
2244	0,9	0,56	0,64		0,59	0,72	0,46	0,65	0,66	0,9
2448	0,94	0,61	0,68		0,67	0,84	0,52	0,69	0,7	0,94
2652	0,99	0,66	0,74		0,8	0,89	0,58	0,73	0,75	0,97
2856	1,04	0,74	0,8			1,01	0,68	0,77	0,8	1,01
3060	1,1	0,84	0,85				0,8	0,81	0,86	1,05
3264	1,16	0,95	0,94				0,95	0,87	0,92	1,09

3468	1,22	1,13					1,18		1,02	1,14
3672	1,3	1,29					1,38			1,22
3876	1,39	1,49					1,63			1,27
4080	1,48	1,75					1,9			1,32
4284	1,62	2,04					2,2			1,41
4488	1,78	2,5					2,5			1,49
4692	1,92									1,59
4896	2,1									1,7
5100	2,3									1,83
5304	2,5									2
5508										2,15
5712										2,35
5916										2,5

	D31	D32	D33	D34	D35	D36	D37	D38	D39	D310
Densidad (gr/cm ³)	0,766	0,766	0,713	0,612	0,677	0,694	0,702	0,723	0,775	0,797
C.H (%)	10	11	10	11	11	11	10	11	11	10

**PROBETAS
(D4=45 cm)**

Deformación (mm)

Carga (Kg)	D41	D42	D43	D44	D45	D46	D47	D48	D49	D410
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
204	0,06	0,14	0,08	0,06	0,28	0,1	0,13	0,09	0,09	0,12
408	0,13	0,23	0,16	0,13	0,44	0,11	0,19	0,17	0,16	0,19
612	0,18	0,29	0,22	0,19	0,55	0,21	0,25	0,24	0,24	0,26
816	0,24	0,34	0,27	0,25	0,64	0,26	0,3	0,3	0,3	0,31
1020	0,29	0,39	0,32	0,3	0,72	0,29	0,34	0,36	0,36	0,36
1224	0,34	0,44	0,37	0,35	0,78	0,32	0,39	0,41	0,41	0,41
1428	0,39	0,47	0,42	0,4	0,84	0,35	0,43	0,48	0,46	0,47
1632	0,44	0,52	0,47	0,45	0,89	0,39	0,465	0,54	0,51	0,52
1836	0,5	0,57	0,51	0,5	0,93	0,42	0,5	0,6	0,55	0,56
2040	0,55	0,61	0,57	0,55	0,97	0,45	0,55	0,66	0,59	0,63
2244	0,62	0,65	0,62	0,61	1,02	0,49	0,59	0,71	0,64	0,68
2448	0,69	0,69	0,69	0,65	1,06	0,52	0,64	0,77	0,68	0,73
2652	0,81	0,73	0,78	0,72	1,1	0,56	0,69	0,85	0,73	0,79
2856	0,95	0,78	0,94	0,79	1,15	0,6	0,75	0,95	0,79	0,89
3060	1,14	0,83	1,15	0,88	1,2	0,65	0,83	1,1	0,84	1
3264	1,35	0,89	1,4		1,25	0,7	0,91		0,89	1,2
3468	1,52	0,98	1,68		1,31	0,71	1,03		0,94	1,41
3672	1,8		1,95		1,38	0,84	1,13		0,98	1,61
3876	2,14		2,25		1,47		1,27			1,85
4080	2,5		2,5		1,56		1,49			2,11

4284					1,68		1,7			2,5
4488					1,82		1,97			
4692					1,98		2,21			
4896					2,18		2,5			
5100					2,5					

	D41	D42	D43	D44	D45	D46	D47	D48	D49	D410
Densidad (gr/cm ³)	0,760	0,790	0,675	0,699	0,790	0,809	0,652	0,629	0,787	0,677
C.H (%)	11	11	11	11	10	11	11	11	12	11

Resultados de ensayos de Flexión Estática

PROBETAS (D1=15 cm)

Deformación (mm)

Carga (Kg)	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D110
0	0	0	0	0	0		0	0	0	
25,5	0,65	1,43	0,52	0,2	0,02		0,9	0,32	0,42	
51	0,86	2,01	0,62	0,75	0,07		1,35	0,82	1,15	
76,5	1,04	2,68	0,73	1,15	1,2		1,89	1	1,54	
102	1,72	3,45	0,91	1,65	1,8		2,53	1,45	2,04	
127,5	2,11	4,18	1,55	2,15	2,33		3,1	2,11	2,57	
153	2,77	4,85	1,95	2,64	2,82		3,61	2,8	3,02	
178,5	3,31	5,68	2,54	3,05	3,42	No	4,07	3,29	3,47	No
204	3,91	6,84	3,15	3,6	4	ensayaa	4,65	3,93	4,05	ensayada
229,5	4,8	7,9	3,9	4,05	4,75		5,23	4,68	4,57	
255	5,63	9,18	5,02	4,5	5,52		5,88	5,31	5,46	
280,5	6,335	10,8	5,47	5,14	6,15		6,5	6,12	5,89	
306	7	11,6	6,45	5,68	6,95		7,22	7,02	6,4	
331,5			7,5	6,35	7,96		8,3	7,93	7,16	
357	*		8,84	7,08	8,95		8,93	9,035	7,2	
382,5				7,84	9,2		9,22		7,74	
408				9,68			10,38	*	8,8	
433,5				10,5					9	
459				11,5						
484,5							*			

Observación: (*) y último valor en negrita, ocurre ruptura de la probeta

	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D110
Densidad (gr/cm ³)	0,668	0,683	0,709	0,822	0,670	No	0,753	0,864	0,876	No
C.H (%)	10	9	9	9	9	ensayada	10	10	10	ensayada

**PROBETAS
(D2=25 cm)**

Carga (kg)	Deformación (mm)									
	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D210
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,5	0,19	0,56	0,49	0,65	0,2	0,35	0,2	0,30	0,45	0,68
51	0,97	1,04	0,81	1,1	0,63	0,66	0,5	0,50	0,79	1,21
76,5	1,44	1,4	1,35	1,52	1,07	1,63	0,82	1,0	1,14	1,7
102	1,76	1,76	1,75	1,85	1,66	2,21	1,2	1,47	1,58	2,11
127,5	2,37	2,24	2,15	2,19	2,16	2,90	1,56	1,95	2,06	2,7
153	2,58	2,87	2,55	2,59	2,8	3,10	1,89	2,40	2,47	3,17
178,5	3,08	3,14	2,66	2,91	3,18	3,4	2,13	2,92	2,8	3,84
204	3,69	3,68	2,78	3,31	3,5	3,75	2,62	3,48	3,36	4,5
229,5	4,18	4,16	2,99	3,67	4,36	4,05	2,98	3,91	3,68	5,21
255	4,75	4,76	3,5	4,05	4,95	4,83	3,32	4,51	4,15	5,9
280,5	5,23	5,09	4,1	4,51	5,58	5,2	3,72	5,12	4,6	7
306	5,8	5,75	4,7	5,14	6,43	5,6	4,04	5,72	5,21	7,81
331,5	6,56	6,36	5,48	5,52	7,01	6,38	4,39	6,38	5,7	8,92
357	7,4	6,94	6,2	6,03	8,33	7,11	4,86	7,21	8,33	
382,5	8,68	7,72	7,16	6,54	9	7,81	5,46	8,65	9,12	*
408	9,33	8,78	8,05	7,55	10,77	8,8	5,85	8,98	9,76	
433,5	10,25	10,2		7,93		9,85	6,41	9,8		
459				8,68		10,4	7,48	11,5		
484,5			*	9,72			8,51			
510				10,6			9,465		*	
535,5										
561										
586,5										
612							*			

Observación: (*) y último valor en negrita, ocurre ruptura de la probeta

	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D210
Densidad (gr/cm ³)	0,693	0,720	0,692	0,763	0,670	0,662	0,732	0,648	0,786	0,652
C.H (%)	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9

**PROBETAS
(D3=35 cm)**

Carga (Kg)	Deformación (mm)									
	D31	D32	D33	D34	D35	D36	D37	D38	D39	D310
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,5	0,22	0,3	0,3	0,4	0,34	0,81	0,38	0,28	0,4	0,4
51	0,67	0,7	0,65	0,96	0,625	1,15	0,71	0,5	0,98	0,7
76,5	1,14	1,15	1,05	1,54	0,72	2,58	1,09	0,9	1,32	1
102	1,55	1,54	1,5	2,05	2,59	3,16	1,41	1,25	1,75	1,5
127,5	1,94	1,94	1,98	2,69	3,69	3,47	1,81	1,65	2,15	1,8

153	2,23	2,3	2,32	3,23	4,35	3,85	2,21	2	2,58	2,1
178,5	2,65	2,68	2,78	3,75	5,2	4,31	2,49	2,38	2,9	2,5
204	3,08	3,1	3,16	4,56	6,68	4,86	2,92	2,8	3,41	2,85
229,5	3,5	3,45	3,58	5,4	7,46	5,04	3,28	3,12	3,79	3,25
255	3,93	3,85	3,99	6,15	7,92	5,57	3,75	3,51	4,15	3,6
280,5	4,35	4,24	4,52	7,21	10,16	6,24	4,11	3,91	4,56	3,95
306	4,72	4,6	4,97	8,16		6,67	4,5	4,32	4,98	4,25
331,5	5,42	5	5,6			7,33	5	4,74	5,49	4,68
357	5,86	5,5	5,89	*		8,15	5,47	5,18	6,05	5,1
382,5	6,6	6,02	6,56			9,22	6,15	5,64	6,59	5,55
408	7,18	7,6	7,05			9,71	6,51	6,12	7,05	6,05
433,5	7,84	8,1	8			10,54	7,12	6,66	7,74	6,5
459	8,31	8,9	8,7			11,07	7,45	7,35	8,78	7,1
484,5	8,39	9,5	9,27			12,41	8,2	8,2		7,65
510		10,4	10,3				9,77	8,8		8,25
535,5	*	11,4	11,2				10,81	9,7		9
561			12				11,94	10	*	9,85
586,5							12,81	12,25		10,4
612,0										11,4

Observación: (*) y último valor en negrita, ocurre ruptura de la probeta

	D31	D32	D33	D34	D35	D36	D37	D38	D39	D310
Densidad (gr/cm ³)	0,781	0,781	0,723	0,560	0,689	0,656	0,779	0,766	0,780	0,780
C.H (%)	9	9	8	9	9	10	9	9	9	9

PROBETAS
(D4=45 cm)

Carga (Kg)	Deformación (mm)									
	D41	D42	D43	D44	D45	D46	D47	D48	D49	D410
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,5	0,3	0,37	0,31	0,34	0,4	0,4	0,4	0,9	0,9	0,5
51	0,69	0,69	0,72	1,02	0,72	0,85	0,56	1,26	1,09	0,95
76,5	1,21	1,04	1,15	1,48	1,17	1,28	0,9	1,6	1,56	1,38
102	1,6	1,5	1,65	1,58	1,54	1,70	1,23	2,13	2,19	1,84
127,5	1,98	1,73	2,08	1,63	1,98	2,20	2,05	2,56	2,51	2,2
153	2,05	2,23	2,54	1,79	2,37	2,55	2,35	3	3,02	2,61
178,5	3	2,53	2,95	2,18	2,73	3,05	2,65	3,37	3,43	3,0
204	3,66	2,59	3,63	2,63	3,17	4,5	3,4	3,99	3,92	3,44
229,5	4,01	3,41	4,05	3,08	3,57	4,98	3,75	4,45	4,5	3,79
255	4,54	3,82	4,67	3,63	4,05	5,44	4,22	5,1	4,81	4,21
280,5	5,02	4,14	5,33	4,18	4,47	5,98	4,91	5,64	5,22	4,7
306	5,6	4,6	5,8	4,73	4,9	6,45	5,24	6,08	5,71	5,05
331,5	6,1	4,95	6,58	5,3	5,55	7,0	6,26	6,35	6,51	5,52
357	6,86	5,48	7,56	6,12	6,01	7,64	6,94	7,55	6,81	6

382,5	7,73	6,03	8,78	7,15	6,67	8,38	7,38	8,39	7,58	6,1
408	8,83	6,57	9,85	7,56	7,4	8,98	8,08	9,02	8,46	6,20
433,5	9,75	7		8,22	8,02	9,7	9,24		9,05	6,7
459		7,85		9		10,4	10,3			7,25
484,5		8,38					11,12			7,9
510		9,79								8,6
535,5		10,5							*	9,7
561		11,9								10,5

Observación: (*) y último valor en negrita, ocurre ruptura de la probeta

	D41	D42	D43	D44	D45	D46	D47	D48	D49	D410
Densidad (gr/cm ³)	0,720	0,790	0,688	0,728	0,785	0,765	0,596	0,713	0,785	0,699
C.H (%)	9	10	9	9	9	9	9	9	9	9