



# ANÁLISIS GENERAL DE RESULTADOS

---

## RESUMEN

---

El empleo de la madera en la construcción de estructuras en Argentina adolecía de la existencia de procedimientos de cálculo normalizados. La reciente adopción y publicación del “Reglamento INTI CIRSOC 601” obliga al empleo de los valores característicos del material en el cálculo estructural de la madera.

Se presentan los resultados de la caracterización mecánica de la madera aserrada de distinto tamaño y usos estructurales del “Álamo” de diferentes aserraderos dentro de la Ciudad de San Rafael, llevada a cabo en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional San Rafael. Se aportan los valores característicos y clases de resistencia que corresponden a las clases de calidad definidas en la norma IRAM 9662.

Se efectúa una comparación y análisis de los resultados obtenidos, extrayendo conclusiones respecto del diferente comportamiento observado para las cuatro muestras.

Se analiza la adecuación de la norma de clasificación visual de la madera aserrada IRAM 9662 para la especie en cuestión.

---

## MATERIAL Y MÉTODOS

---

La madera se caracteriza por poseer elevados coeficientes de variación en sus propiedades elasto-mecánicas, que alcanzan, con frecuencia, valores del 25% al 30%.

Para evitar conseguir que los valores característicos que se asignen a cada clase de calidad de la madera de Álamo sean realmente representativos, es necesario efectuar intensos muestreos, basados en un profundo conocimiento de cualquier variable que se presuma pueda tener influencia en las propiedades de la madera.



Es por esto que se adopta como muestreo mínimo a aquel formado por un conjunto de 40 piezas de iguales dimensiones y misma procedencia para poder ser considerado como muestreo representativo, homogéneo y factible de poder ser analizado en sus propiedades indicadoras de valores característicos.

Las piezas seleccionadas para cada una de las 4 muestras a analizar fueron cepilladas en sus cuatro caras, hasta lograr dimensiones homogéneas (similares), facilitando, con ello, el posterior manejo y clasificación visual de la madera.

Posteriormente, se procedió a inventariar en cada una de ellas los defectos más sobresalientes y la ubicación de las secciones críticas. Toda esta información, junto con alguna otra accesorio como la presencia de médula, ataque biológico por insectos, etc., fue recogida en una ficha por pieza, de forma que, en el futuro, cada pieza individual pudiera ser reclasificada por cualquier otra norma visual que se plantease.

Secas, medidas y cepilladas las piezas e inventariados los defectos, se procedió a efectuar los ensayos a flexión de las mismas según norma IRAM 9663, determinando el valor del módulo de elasticidad en flexión (MOE) y el módulo de rotura en flexión (MOR).

Sobre las piezas rotas se procedió a la valoración de las secciones de rotura y al corte de las probetas transversales, en las que se determinaron la densidad. Las secciones de rotura fueron clasificadas de acuerdo con la norma IRAM 9662, la cual, considera dos únicas clases de calidad, denominadas como Clase 1 y Clase 2, respectivamente. Denominaremos a la madera rechazada, no apta para el uso estructural, aquella no incluida en las clases precedentes, como RECHAZO.

El cálculo de los valores de resistencia (MOR), rigidez (MOE) y de densidad de cada pieza y de los característicos y medios de la población se efectuó de acuerdo con la norma IRAM 9664.

---

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Ensayadas las piezas y con todos los datos obtenidos de cada una de ellas (MOR, MOE y DENSIDAD) se procedió a la evaluación estadística de los resultados.

Es necesario, ante todo, volver a recordar cuáles son las características del producto que tratamos.



*Nos encontramos ante un material natural, fruto de un proceso de formación influido por multitud de factores (clima, suelo, etc.), que condicionan el producto final. Esta es la razón principal por la que la madera presenta una heterogeneidad inherente a su naturaleza que no se encuentra en ningún otro material de construcción y por eso, no es suficiente efectuar el estudio de sus propiedades en probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos, las cuales no incorporan las condiciones reales de uso de la madera, sino que se debe tener en cuenta la variabilidad que le es propia, y que sólo se hace patente en probetas de grandes dimensiones, conocidas también como piezas de tamaño estructural.*

*Precisamente esta variabilidad obliga a que el número de ensayos a realizar deba ser elevado y a tener en cuenta la procedencia del material como un parámetro más, con el fin de establecer valores comunes de la madera y minorar los riesgos de equívocos.*

*EVA HERMOSO PRIETO. (2001).*

En los apartados siguientes se presenta el análisis de datos para probetas de tamaño estructural de madera de álamo según tres criterios, primero en relación a su clasificación visual, después por los resultados de las propiedades físico-mecánicas del material y por último, se muestran las relaciones entre esas variables. Finalmente, se exponen los valores característicos y se proponen las clases resistentes de esta madera.

## 1. DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS – ANÁLISIS DE LA CLASIFICACIÓN VISUAL

En total se estudian 398 piezas de madera estructural de Álamo de diferentes secciones y especies obtenidas de distintos aserraderos de la zona que garantizan la procedencia de los especímenes dentro de los límites geográficos del Departamento de San Rafael, Provincia de Mendoza.

Estas 398 piezas se agrupan en 4 muestras según tamaño y proveedor, siendo la más numerosa la muestra N°2 (TR) compuesta por 160 especímenes de 1" x 5". Luego le sigue en cantidad de probetas, la muestra N°4 (TD) compuestas por tablas de iguales dimensiones pero provistas por otro aserradero. Finalmente tenemos las muestras N°3 (AAD) y N°4 (AR) de 80 y 60 alfajías respectivamente, con dimensiones de 2" x 3". Todas ellas provenientes de aserraderos de San Rafael.

Luego de clasificar visualmente los especímenes correspondientes a cada muestra según norma IRAM 9662, se obtuvieron las cantidades correspondientes a cada clase resistente y sus porcentajes de incidencia tanto en la muestra como en el total. Se observan estos resultados en la Tabla 11 y/o en el Gráfico 2.

CLASIFICACIÓN VISUAL DE LA MADERA DE ACUERDO CON IRAM 9662									
MUESTRA	DIMENSIONES DE ESPECÍMENES	CLASIFICACIÓN VISUAL						TOTAL	% DE INCIDENCIA
		CLASE I		CLASE II		RECHAZOS			
		CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%		
<b>1 (A.R.)</b>	2" x 3"	17	28.33	32	53.33	11	18.33	<b>60</b>	15.08
<b>2 (T.R.)</b>	1" x 5"	68	42.50	83	51.88	9	5.63	<b>160</b>	40.20
<b>3 (AAD)</b>	2" x 3"	38	47.50	37	46.25	5	6.25	<b>80</b>	20.10
<b>4 (TD)</b>	1" x 5"	68	69.39	26	26.53	4	4.08	<b>98</b>	24.62
TOTAL		191	47.99	178	44.72	29	7.29	<b>398</b>	100

Tabla 11 – Clasificación Visual de Muestras

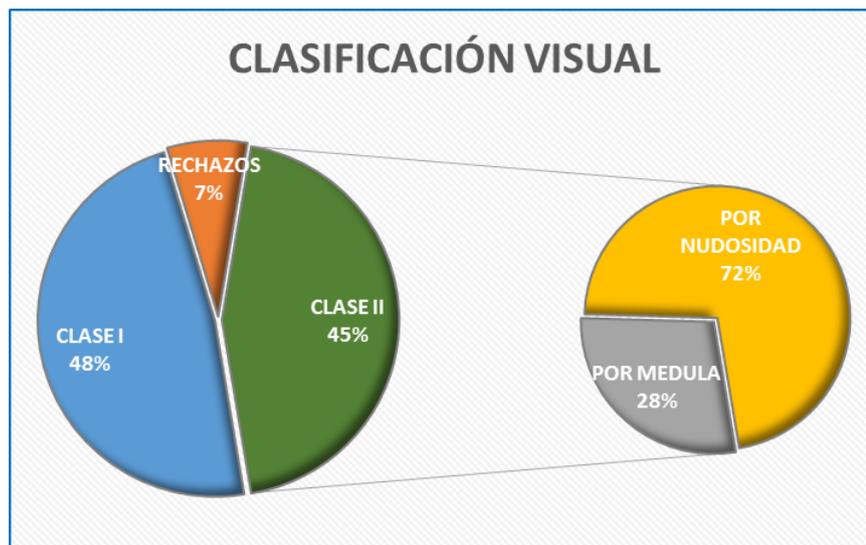


Gráfico 2 – Clasificación Visual de Muestras

De dichos datos se puede concluir que el porcentaje de madera clasificada para el total de la especie (Clase 1 + Clase 2) supone un 93%, mientras que los Rechazos alcanzan el 7%, valor que se considera bajo.

El porcentaje medio del total de las muestras para las maderas clasificadas como CLASE 1 es del 48%, mientras se observa que el porcentaje medio del total de las muestras correspondientes a CLASE 2 es del 45%.

El porcentaje de madera evaluado como RECHAZO alcanza un porcentaje medio de 7% del rendimiento total.



De lo precedente resulta una distribución de datos caracterizada por poseer aproximadamente la mitad de la muestra correspondiente a Clase 1 (48%), mientras que el resto se distribuye entre el 45% de Clase 2 y el 7% de Rechazos.

No se observan diferencias significativas entre los rendimientos de las muestras 2 y 3. En cambio en la muestra 1 se aprecia un aumento en la cantidad de Rechazos y una disminución de la Clase 1 bastante significativa; mientras que para la muestra 4 se observa un gran aumento de la Clase 1 y su correspondiente disminución en la Clase 2, mientras que los Rechazos parecen mantenerse similares a los de las muestras 2 y 3.

## 2. ANÁLISIS DE VALORES DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL

La norma IRAM 9664 para la determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad para las distintas clases resistentes considera como variables que permiten la asignación de estas clases de resistencia a poblaciones a los módulos de rotura (MOR) y de elasticidad a flexión (MOE) y la Densidad. En el caso del MOR y la densidad la norma considera el valor característico (5° percentil) y en el del MOE el valor medio.

Al igual que en el caso del análisis de la clasificación visual, la discusión de los resultados puede ser hecha considerando el efecto de diversas variables "externas", tales como la procedencia del material, su calidad visual, el tamaño, etc.

Si bien existe la evidencia de que los factores climáticos, edáficos, orográficos, etc., influyen de forma clara en el desarrollo de las masas. Para comprobar si estos factores intervienen también en los resultados de las variables, se deberían analizar las diferencias observadas entre los valores que toman en las distintas regiones de procedencia muestreadas, pero su análisis resulta imposible ya que las 4 muestras corresponden a cultivos de la zona de San Rafael, según declaran sus proveedores. Es por esto que no se pueden establecer comparaciones, y se las debe incluir a todas ellas en un mismo grupo homogéneo en cuanto a la procedencia geográfica.

En las tablas 12, 13 y 14 se recogen los valores de la densidad corregida a la humedad de referencia del 12%; del módulo de rotura a flexión, corregido para la dimensión de referencia de 150 mm; del módulo de elasticidad local y global corregidos a la humedad de referencia del 12%, de acuerdo con IRAM 9663.

MUESTRA	GRUPO		MOR [N/mm <sup>2</sup> ]					
			MIN	MEDIO	MAX	S	CV	Percentil 5%
<b>1</b> <b>(A.R.)</b>	CLASE I		28.82	40.35	52.26	7.09	17.57%	29.60
	CLASE II		10.97	26.64	41.28	7.63	28.65%	14.23
	RECHAZOS		12.55	21.54	30.14	6.23	28.93%	12.84
	TOTAL		10.97	29.59	52.26	10.05	33.97%	13.12
<b>2</b> <b>(T.R.)</b>	CLASE I		21.93	41.94	58.91	8.70	20.74%	29.20
	CLASE II		22.44	37.78	58.65	7.96	21.08%	26.54
	RECHAZOS		23.68	36.48	44.67	6.83	18.73%	25.97
	SUB-TOTAL		21.93	39.48	58.91	8.46	21.42%	26.45
<b>3</b> <b>(AAD)</b>	CLASE I		17.26	42.49	77.5	10.66	25.09%	24.94
	CLASE II		17.35	39.15	59.96	10.27	26.24%	23.31
	RECHAZOS		24.07	41.42	65.1	16.02	38.67%	25.92
	TOTAL		17.26	40.88	77.5	10.81	26.46%	23.69
<b>4</b> <b>(TD)</b>	CLASE I		19.41	40.53	53.47	6.92	17.08%	29.34
	CLASE II	POR NUDOS.	25.97	34.85	46.19	5.75	16.50%	27.63
		POR MEDULA	26.64	37.98	49.49	7.76	20.44%	26.74
		TOTAL	25.97	36.06	49.49	6.63	18.38%	26.69
	RECHAZOS		36.4	43.34	49.54	6.01	13.87%	37.00
	TOTAL		19.41	39.46	53.47	7.08	17.93%	26.82

Tabla 12 – Resumen Global de Variables – MOR



MUESTRA	GRUPO	MOE [N/mm <sup>2</sup> ]							
		DETERM.	MIN	MEDIO	MAX	S	CV	Percentil 5%	
<b>1</b> <b>(A.R.)</b>	CLASE I	<b>LOCAL</b>	6729	9664	13417	2044	21.15%	6752	
	CLASE II		4096	8256	13353	2163	26.19%	4770	
	RECHAZOS		4422	8419	17134	3648	43.32%	4553	
	TOTAL		4096	8685	17134	2497	28.75%	4671	
<b>2</b> <b>(T.R.)</b>	CLASE I	<b>GLOBAL</b>	4207	8329	12866	1730	20.77%	5413	
	CLASE II		5330	8192	11835	1667	20.35%	6256	
	RECHAZOS		5919	8210	10408	1442	17.56%	6480	
	SUB-TOTAL		4207	8251	12866	1674	20.29%	6061	
<b>3</b> <b>(AAD)</b>	CLASE I	<b>GLOBAL</b>	6705	10194	15734	1919	18.82%	7995	
	CLASE II		4842	9822	14553	2247	22.88%	5510	
	RECHAZOS		8426	10651	14796	2556	24.00%	8521	
	TOTAL		4842	10050	15734	2101	20.90%	6771	
<b>4</b> <b>(TD)</b>	CLASE I	<b>GLOBAL</b>	7377	10061	12225	914	9.08%	8282	
	CLASE II		POR NUDOS.	7470	9348	10711	1026	10.98%	7692
			POR MEDULA	8575	10084	12228	984	9.76%	8900
			TOTAL	7470	9631	12228	1055	10.96%	7872
	RECHAZOS		8956	10218	11362	985	9.64%	9149	
	TOTAL		7377	9953	12228	966	9.70%	8137	

Tabla 13 – Resumen Global de Variables – MOE

MUESTRA	GRUPO		DENSIDAD [kgf/m <sup>3</sup> ]					
			MIN	MEDIO	MAX	S	CV	Percentil 5%
<b>1 (A.R.)</b>	CLASE I		363	421	567	50.1	11.89%	369
	CLASE II		338	430	622	58.1	13.53%	352
	RECHAZOS		344	424	564	62.1	14.65%	354
	TOTAL		338	426	622	55.9	13.11%	356
<b>2 (T.R.)</b>	CLASE I		333	430	582	53.3	12.40%	360
	CLASE II		330	409	547	50.2	12.29%	343
	RECHAZOS		370	438	538	54.6	12.47%	377
	SUB-TOTAL		330	419	582	52.7	12.55%	348
<b>3 (AAD)</b>	CLASE I		331	420	639	66.3	15.79%	360
	CLASE II		335	431	564	56.8	13.18%	353
	RECHAZOS		371	423	556	77.0	18.20%	372
	TOTAL		331	425	639	62.1	14.61%	353
<b>4 (TD)</b>	CLASE I		392	430	514	25.0	5.82%	400
	CLASE II	POR NUDOS.	382	426	497	28.6	6.72%	392
		POR MEDULA	406	435	478	25.2	5.78%	408
		TOTAL	382	429	497	27.2	6.34%	397
	RECHAZOS		404	433	452	21.9	5.06%	408
	TOTAL		382	430	514	25.3	5.88%	400

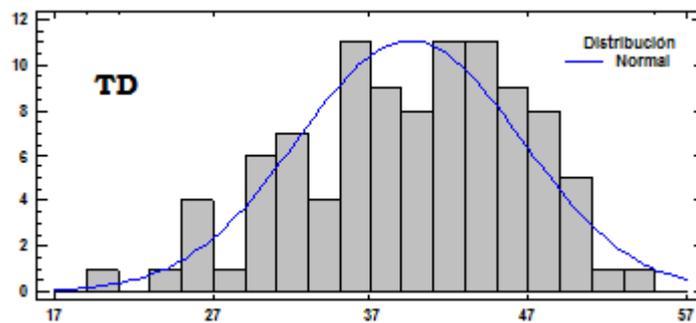
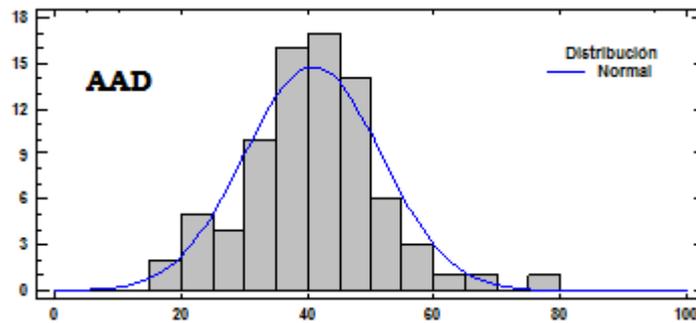
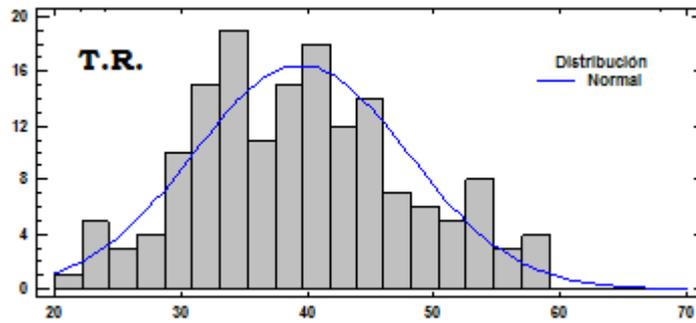
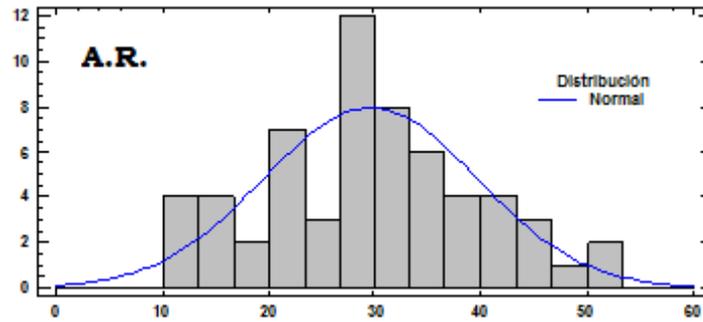
Tabla 14 – Resumen Global de Variables – DENSIDAD

A modo de comparación se muestran a continuación los histogramas de frecuencia de las variables clasificatorias (MOR, MOE y DENSIDAD) para cada una de las muestras. Las gráficas también se acompañan del trazado de la distribución normal, como referencia de comparación.

El análisis estadístico pormenorizado de éstas variables se contempla en los apartados siguientes y se encuentra desarrollado en profundidad en ANEXOS – ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

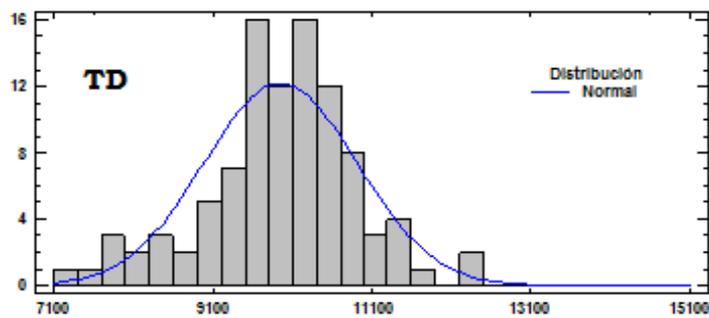
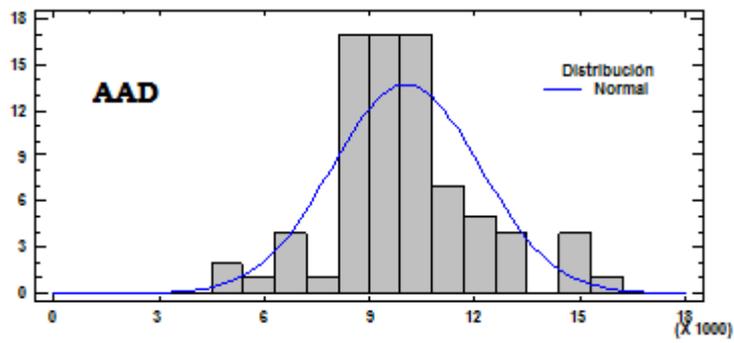
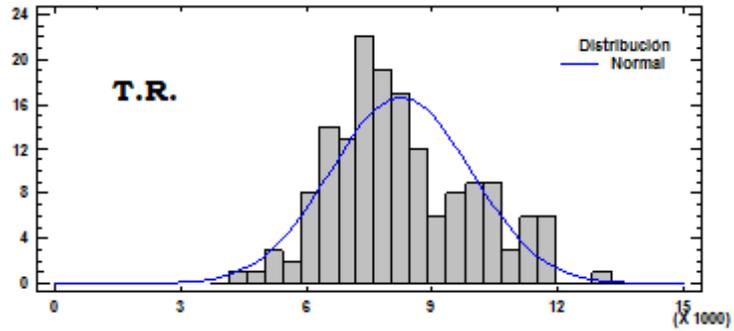


■ PARA EL MOR



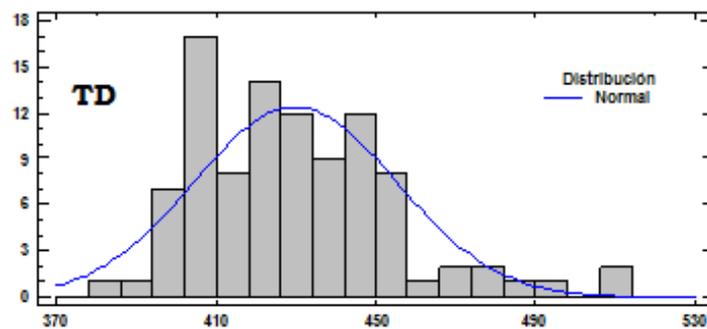
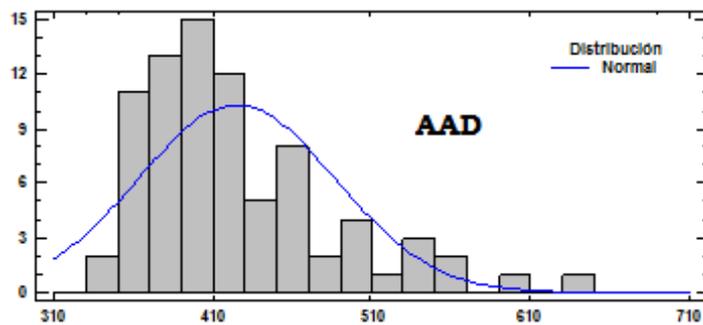
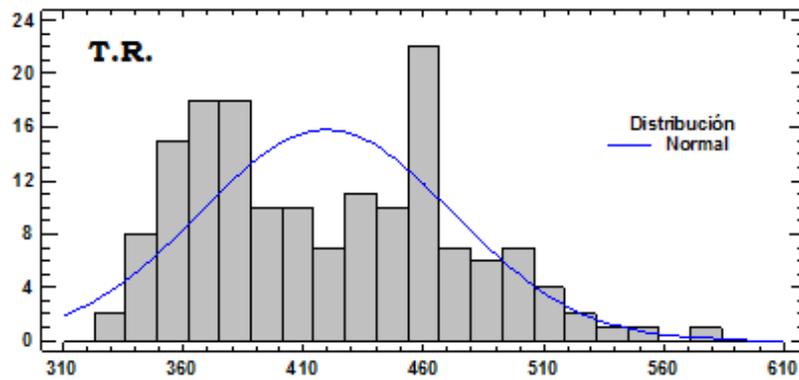
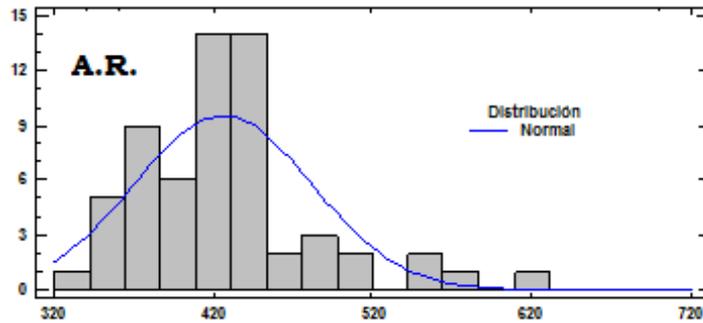


▪ PARA EL MOE GLOBAL





■ PARA LA DENSIDAD



## A. ANALISIS POR LA CLASIFICACIÓN VISUAL

### ▪ PARA LA DENSIDAD

Como primer paso se presentan los valores medios y característicos de la densidad al 12% de humedad, obtenidos para las distintas muestras.

<b>DENSIDAD - GENERAL</b>					
MUESTRA	VALORES	CLASIFICACIÓN VISUAL			TOTAL
		CLASE I	CLASE II	RECHAZOS	
<b>1 (A.R.)</b>	MEDIO	421	430	424	<b>426</b>
	PERCENTIL 5%	369	352	354	<b>356</b>
<b>2 (T.R.)</b>	MEDIO	430	409	438	<b>419</b>
	PERCENTIL 5%	360	343	377	<b>348</b>
<b>3 (AAD)</b>	MEDIO	420	431	423	<b>425</b>
	PERCENTIL 5%	360	353	372	<b>353</b>
<b>4 (TD)</b>	MEDIO	430	429	433	<b>430</b>
	PERCENTIL 5%	400	397	408	<b>400</b>

*Tabla 15 – Valores Medios y Característicos para la Densidad*

Los valores totales se calcularon, como dicta la norma IRAM 9664, es decir con la media ponderada de las poblaciones componentes. Se observa que el valor de la densidad es muy homogéneo, con muy poca variación, ya sea para las distintas clases resistentes como para las distintas muestras.

Se observa que, en contra de lo que se cree, la densidad, no es buen estimador de la calidad de la madera, ya que poblaciones como las muestras 3 y 4 tienen valores resistentes y de elasticidad altos pero los de densidad no son tan elevados como cabría esperar. Además, cabe destacar que los valores de densidad obtenidos son bastante próximos entre sí en las diferentes muestras y para las distintas clases resistentes.



▪ **Análisis de la Varianza y Prueba de Múltiples Rangos:**

**Tabla ANOVA**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7197,25	3	2399,08	0,95	0,4149
Intra grupos	991832,	394	2517,34		
Total (Corr.)	999029,	397			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0,953024, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se utilizan las Pruebas de Múltiples Rangos.

**Pruebas de Múltiple Rangos**

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DENS - TR	160	419,406	X
DENS - AAD	80	425,2	X
DENS - AR	60	426,183	X
DENS - TD	98	429,918	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
DENS - AR - DENS - TR		6,77708	14,9325
DENS - AR - DENS - AAD		0,983333	16,8461
DENS - AR - DENS - TD		-3,73503	16,1695
DENS - TR - DENS - AAD		-5,79375	13,5069
DENS - TR - DENS - TD		-10,5121	12,653
DENS - AAD - DENS - TD		-4,71837	14,863

\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La tabla inferior muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la tabla superior, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

Del análisis de varianza y prueba de múltiples rangos se verifica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las 4 muestras por lo que se pueden incluir en una misma población o grupo homogéneo en cuanto a su densidad.

En el gráfico 3 se muestra gráficamente la distribución que toman las medias de las muestras. Cada muestra se dibuja con un segmento representativo de los valores de la muestra y un punto que señala el valor de la media.

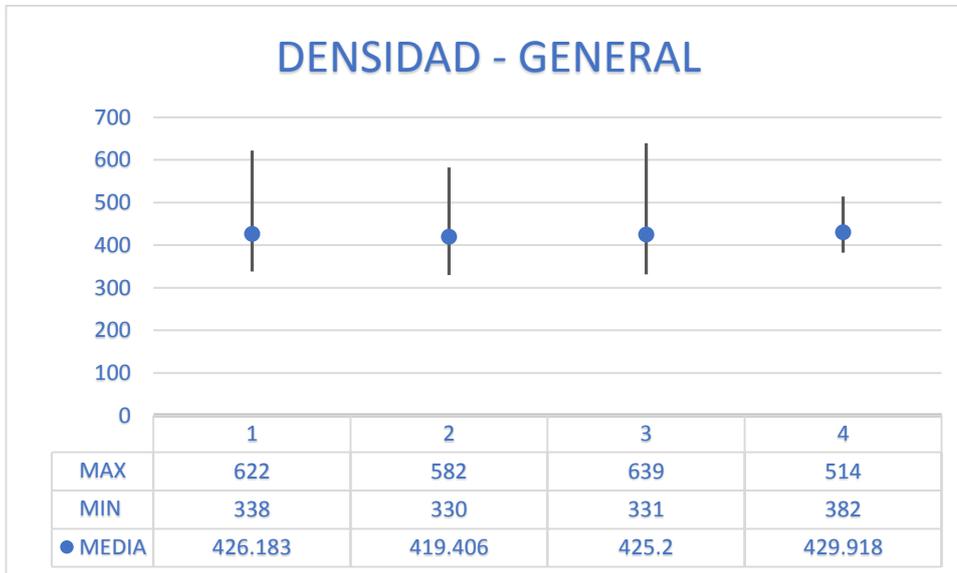


Gráfico 3 – Comparación de medias para la Densidad General

A la vista de cualquiera de los análisis se aprecia que no existen diferencias significativas entre las distintas muestras, y que si bien las fluctuaciones de valores entre los valores máximos y mínimos para cada una varían considerablemente, en especial los máximos, los valores medios son muy homogéneos y casi idénticos para las cuatro muestras.

Comparando el rango de valores totales de las muestras, la muestra TD alcanza un rango de valores bastante más acotado que el resto, y muy próximos a la media, pudiendo deberse al hecho de que se trate de maderas de una misma especie de álamo, en caso de suponer que la densidad varía según la especie en cuestión.

Aun así, su diferencia con el valor total de la especie no es acusada, sólo un poco mayor respecto a la media y a su valor característico.

#### ANÁLISIS PARA LAS DISTINTAS CLASES RESISTENTES

Si bien parece interesante particularizar el estudio de las diferencias entre muestras, dentro de cada clase resistente (Clase I, II y Rechazos), en el presente informe se opta por descartarlas del análisis debido a que las muestras transversales que se toman para la determinación de humedad y densidad se realizan sobre probetas de pequeñas dimensiones, cerca de la rotura pero libres de defectos.



Este procedimiento adoptado conduce a que no puedan compararse las densidades para las distintas clases y de hecho, al tomarse muestras libres de defectos para su determinación, corresponde decir que los valores de densidad de todas las muestras ensayadas corresponden a la Clase I.

▪ PARA EL MOR

Continuando con la descripción de los valores medios y característicos, pero esta vez para el Módulo de Rotura a flexión (MOR), se presenta la tabla 16. En ella, de nuevo se analizan los resultados para las distintas clases resistentes establecidas por la norma IRAM 9662.

<b>MOR - GENERAL</b>					
MUESTRA	VALORES	CLASIFICACIÓN VISUAL			TOTAL
		CLASE I	CLASE II	RECHAZOS	
<b>1 (A.R.)</b>	MEDIO	40.35	26.64	21.54	<b>29.59</b>
	PERCENTIL 5%	29.60	14.23	12.84	<b>13.12</b>
<b>2 (T.R.)</b>	MEDIO	41.94	37.78	36.48	<b>39.48</b>
	PERCENTIL 5%	29.20	26.54	25.97	<b>26.45</b>
<b>3 (AAD)</b>	MEDIO	42.49	39.15	41.42	<b>40.88</b>
	PERCENTIL 5%	24.94	23.31	25.92	<b>23.69</b>
<b>4 (TD)</b>	MEDIO	40.53	36.06	43.34	<b>39.46</b>
	PERCENTIL 5%	29.34	26.69	37.00	<b>26.82</b>

Tabla 16 – Valores Medios y Característicos para MOR

Se aprecia el comportamiento esperado, de que los valores de resistencia de la Clase 1, sean mayores que los de la Clase 2, y los de esta mayor a los de Rechazo. Este comportamiento se cumple tanto en los resultados medios como en los característicos (percentil 5%), lo que confirma la utilidad de la clasificación visual.

Si bien se observa que en las muestras 3 y 4 los valores medios y característicos correspondientes al grupo de Rechazos son mayores a los de la Clase 2 y, en algunos casos, incluso mayores a los de la Clase 1, esto se debe a la poca cantidad de especímenes definidos como Rechazo y que a veces las zonas críticas de rotura están alejadas de la zona que define la clase resistente.

El análisis estadístico para las medias totales de la resistencia, se muestra a continuación.

▪ **Análisis de la Varianza y Prueba de Múltiples Rangos:**

**Tabla ANOVA**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	5440,01	3	1813,34	22,73	0,0000
Intra grupos	31432,4	394	79,7777		
Total (Corr.)	36872,4	397			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 22,7299, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se utilizan las Pruebas de Múltiples Rangos.

**Pruebas de Múltiple Rangos**

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MOR - A.R.	60	29,588	X
MOR - TD	98	39,4599	X
MOR - T.R.	160	39,4785	X
MOR - AAD	80	40,88	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
MOR - A.R. - MOR - T.R.	*	-9,8905	2,65828
MOR - A.R. - MOR - AAD	*	-11,292	2,99895
MOR - A.R. - MOR - TD	*	-9,8719	2,8785
MOR - T.R. - MOR - AAD		-1,4015	2,40451
MOR - T.R. - MOR - TD		0,018602	2,25249
MOR - AAD - MOR - TD		1,4201	2,64593

\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La tabla inferior muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la tabla superior, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

Del análisis de varianza se verifica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las 4 muestras por lo que se no se puede incluir en una misma población o grupo homogéneo a las 4 muestras en cuanto a su Modulo Resistente a Flexión.



Ahora bien, la Prueba de Múltiples Rangos identifica un grupo homogéneo entre las muestras 2, 3 y 4, indicando una diferencia significativa respecto de la muestra 1.

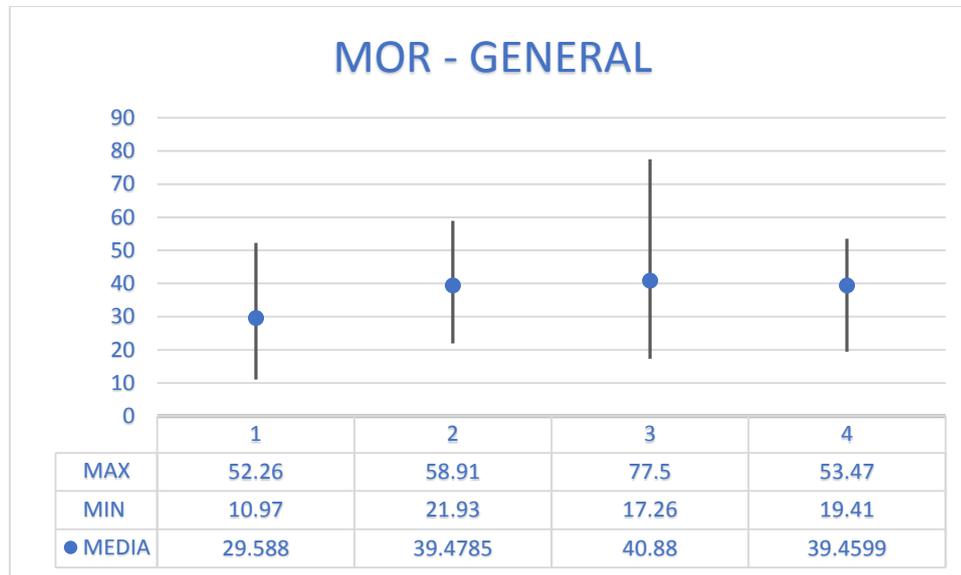


Gráfico 4 – Comparación de medias para el MOR General

Existen dos grupos diferenciados de muestras basados en la media del MOR. Las muestras 2, 3 y 4 forman uno de ellos, siendo los datos de 3 los de mayor intervalo. El segundo grupo está constituido por una única muestra, la 1, aportando las medias de resistencia más bajas en este estudio.

▪ [PARA LA CLASE I](#)

Puesto que este apartado trata de analizar las diferencias de las variables para cada una de las clases de calidad, a continuación se especifica el estudio para la Clase 1:

▪ **Análisis de la Varianza y Prueba de Múltiples Rangos:**

**Tabla ANOVA**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	134.953	3	44.9843	0.63	0.5946
Intra grupos	13288.8	187	71.063		
Total (Corr.)	13423.7	190			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.633021, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se utilizan las Pruebas de Múltiples Rangos.

### Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MOR CI AR	17	40.3524	X
MOR CI TD	68	40.5331	X
MOR CI TR	68	41.9443	X
MOR CI AAD	38	42.4889	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
MOR CI AAD - MOR CI TD	1.95586	3.36819	
MOR CI AAD - MOR CI AR	2.13659	4.85239	
MOR CI AAD - MOR CI TR	0.544683	3.36819	
MOR CI TD - MOR CI AR	0.180735	4.50942	
MOR CI TD - MOR CI TR	-1.41118	2.85201	
MOR CI AR - MOR CI TR	-1.59191	4.50942	

\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La tabla inferior muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95.0% de confianza. En la tabla superior, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

Del análisis de varianza y prueba de múltiples rangos se verifica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las 4 muestras por lo que se pueden incluir en una misma población o grupo homogéneo en cuanto a su Modulo Resistente para Clase 1.

Nótese la diferencia entre el análisis general que excluía la muestra 1 del grupo homogéneo y este análisis pormenorizado de la Clase 1 donde se incluye a la totalidad de muestras dentro de un mismo grupo homogéneo.

En el Gráfico 4, se puede observar que existe claramente un grupo de comportamiento homogéneo de resistencia en la Clase 1, formado por las 4 muestras. Este grupo no coincide con los obtenidos para el total de la población.

Un análisis más detallado deja ver cómo en realidad, aunque no existan diferencias significativas entre sus medias, existe una gran variedad dentro de los rangos de valores para cada una de las muestras, pudiéndose notar que varían de desde una gran amplitud de rango para la muestra 3 hasta un rango muy acotado como el de la 1.

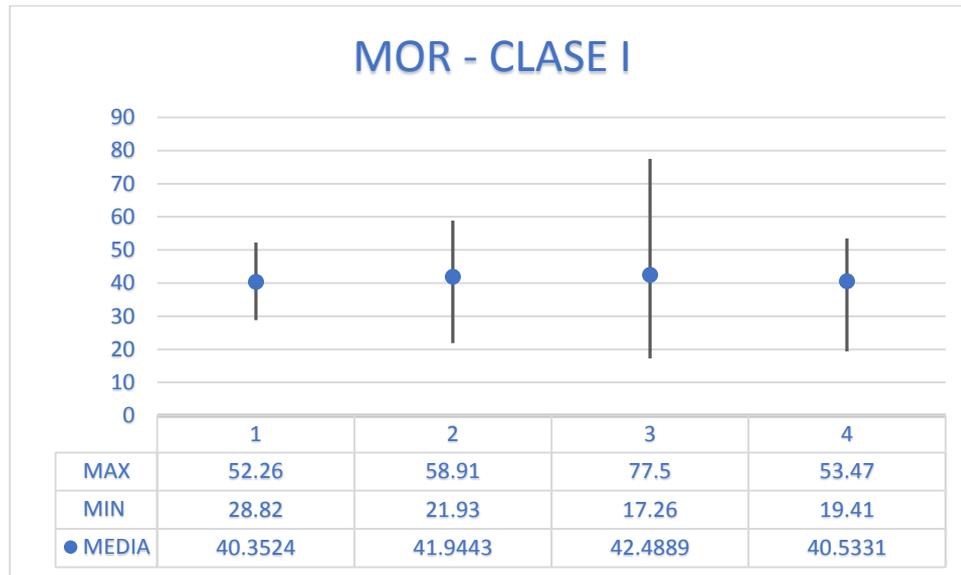


Gráfico 5 – Comparación de medias para el MOR de la Clase I

▪ PARA LA CLASE II

Análogamente para la segunda clasificación visual, se tiene:

▪ **Análisis de la Varianza y Prueba de Múltiples Rangos:**

**Tabla ANOVA**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3431.8	3	1143.93	16.72	0.0000
Intra grupos	11903.5	174	68.4111		
Total (Corr.)	15335.3	177			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 16.7214, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se utilizan Pruebas de Múltiples Rangos.

### Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MOR CII AR	32	26.6359	X
MOR CII TD	26	36.0562	X
MOR CII TR	83	37.783	X
MOR CII AAD	37	39.1546	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
MOR CII AAD - MOR CII TD		3.09844	4.17759
MOR CII AAD - MOR CII AR	*	12.5187	3.94087
MOR CII AAD - MOR CII TR		1.37158	3.22696
MOR CII TD - MOR CII AR	*	9.42022	4.31018
MOR CII TD - MOR CII TR		-1.72686	3.66886
MOR CII AR - MOR CII TR	*	-11.1471	3.39686

\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La tabla inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la tabla superior, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

Debido a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 en la tabla ANOVA, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables. Por esto, para descubrir la posibilidad de valores homogéneos, se recurre al test de rangos múltiples o al gráfico 5.

En ella se observa que el resultado total (Gráfico 3), está influido por esta clase de calidad, ya que las diferencias significativas de sus medias corresponden en ambos análisis a la muestra 1 y a que el grupo homogéneo está formado por las muestras 2, 3 y 4 en ambos casos.

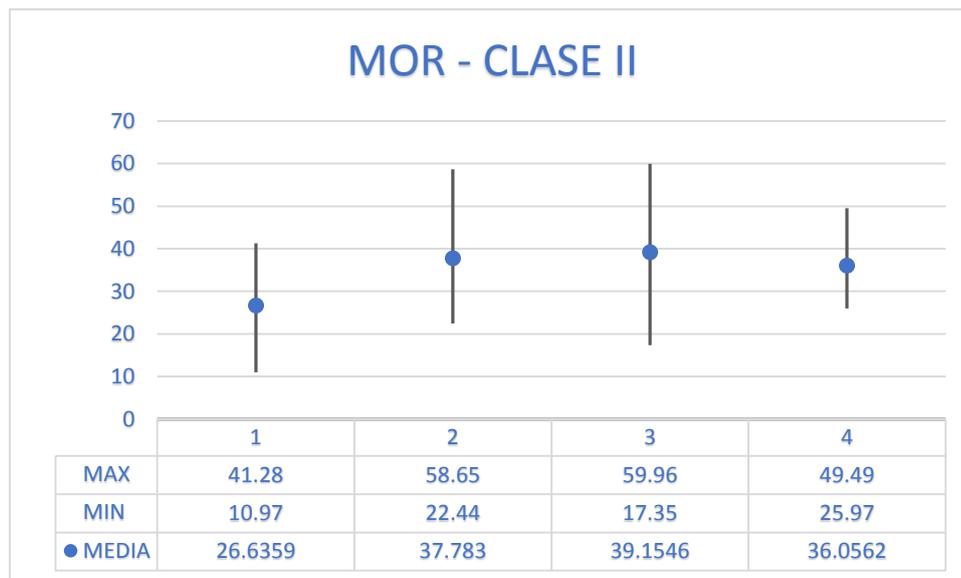


Gráfico 6 – Comparación de medias para el MOR de la Clase II

▪ PARA EL MOE

De acuerdo con IRAM 9664, otra propiedad responsable de la clasificación mecánica de una especie de madera es el módulo de elasticidad (MOE). A continuación se presenta la tabla 17 con los valores obtenidos para dicha variable clasificadora al 12% de humedad, para las diferentes clases resistentes y para cada muestra analizada.

Antes de comenzar vale aclarar que sólo se analiza el módulo de elasticidad global en flexión para las muestras 2, 3 y 4 debido a que en la muestra 1 no se determinó el MOE Global sino que los valores obtenidos corresponden al MOE Local.

<b>MOE Global - GENERAL</b>					
MUESTRA	VALORES	CLASIFICACIÓN VISUAL			TOTAL
		CLASE I	CLASE II	RECHAZOS	
<b>2 (T.R.)</b>	MEDIO	8329	8192	8210	<b>8251</b>
	PERCENTIL 5%	5413	6256	6480	<b>6061</b>
<b>3 (AAD)</b>	MEDIO	10194	9822	10651	<b>10050</b>
	PERCENTIL 5%	7995	5510	8521	<b>6771</b>
<b>4 (TD)</b>	MEDIO	10061	9631	10218	<b>9953</b>
	PERCENTIL 5%	8282	7872	9149	<b>8137</b>

Tabla 17 – Valores Medios y Característicos para MOE

Como primeras observaciones a vista de los resultados de la tabla 17, se puede decir que las clases definidas por la norma IRAM 9662 cumplen Clase 1, demostrando la eficacia en la diferenciación entre clases que aporta dicha norma (exceptuando el valor característico para la muestra 2).

Si bien se observa que en todas las muestras los valores medios y característicos correspondientes al grupo de Rechazos son mayores a los de la Clase II y, en la mayoría de los casos, incluso mayores a los de la Clase I, esto se debe a la poca cantidad de especímenes definidos como Rechazo y que a veces las zonas críticas de rotura están alejadas de la zona que define la clase resistente.

Se observa, además, que los valores medios y característicos para las distintas clases de resistencia y para el total de la muestra 2 presentan valores muy por debajo de los equivalentes para las otras dos muestras comparadas.

También se observa que el valor característico para la Clase 2 de la muestra 3 está muy por debajo de lo esperado, si se lo compara con las otras muestras. Y que las diferencia de valores entre Clases 1 y 2 para todas las muestras es muy pequeña.

▪ **Análisis de la Varianza y Prueba de Múltiples Rangos:**

**Tabla ANOVA**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2,57295E8	2	1,28648E8	48,71	0,0000
Intra grupos	8,84781E8	335	2,64114E6		
Total (Corr.)	1,14208E9	337			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 48,7092, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se utilizan las Pruebas de Múltiples Rangos.

**Pruebas de Múltiple Rangos**

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MOE - T.R.	160	8250,82	X
MOE - TD	98	9953,17	X
MOE - AAD	80	10050,4	X



Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
MOE - T.R. - MOE - AAD	*	-1799,54	437,741
MOE - T.R. - MOE - TD	*	-1702,35	410,065
MOE - AAD - MOE - TD		97,189	481,691

\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La tabla inferior muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la tabla superior, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

Debido a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 en la tabla ANOVA, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables. Por esto, para descubrir la posibilidad de valores homogéneos entre algunas muestras, se recurre al test de rangos múltiples que establece una población homogénea incluyendo las muestras 3 y 4.

De manera que es la muestra 2 la que es distinta en cuanto a Rigidez respecto de las demás muestras debido a que se aleja de las otras dos por sus valores inferiores.

Para observar cuáles son las muestras que difieren significativamente de las otras, se presenta el gráfico 7.

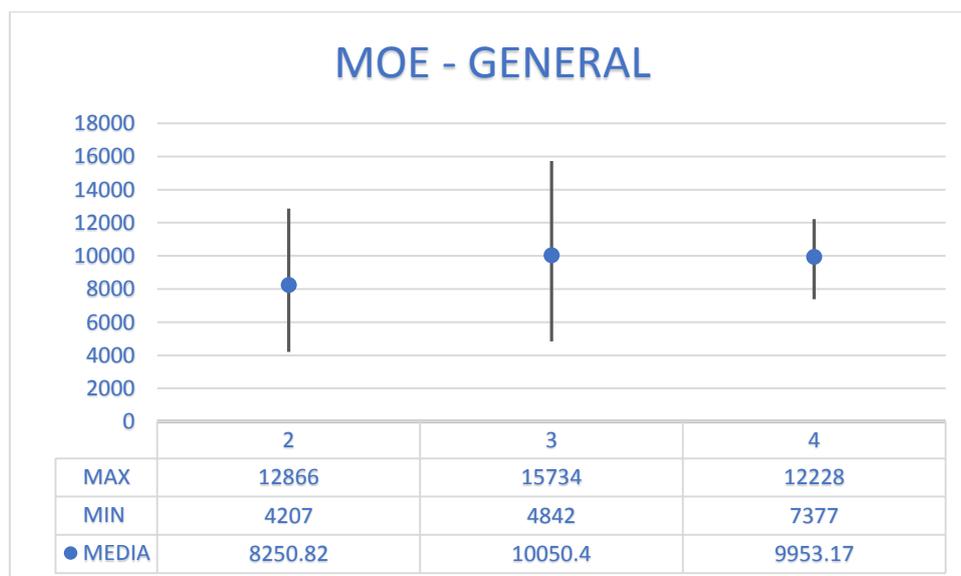


Gráfico 7 – Comparación de medias para el MOE General

Tanto por el gráfico 7, como por el test de múltiples rangos, se establecen dos grupos de regiones homogéneas claros, el formado por las muestras 3 y 4 y el de la muestra 2.

- PARA LA CLASE I:

Analizando la rigidez únicamente para las piezas de Clase 1, se obtiene:

- **Análisis de la Varianza y Prueba de Múltiples Rangos:**

**Tabla ANOVA**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.3166E8	2	6.58299E7	28.67	0.0000
Intra grupos	3.92575E8	171	2.29576E6		
Total (Corr.)	5.24234E8	173			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 28.6746, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se utilizan las Pruebas de Múltiples Rangos.

**Pruebas de Múltiple Rangos**

Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
MOE CI TR	68	8328.62	X
MOE CI TD	68	10060.8	X
MOE CI AAD	38	10193.7	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
MOE CI AAD - MOE CI TD		132.928	605.764
MOE CI AAD - MOE CI TR	*	1865.12	605.764
MOE CI TD - MOE CI TR	*	1732.19	512.929

\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La tabla inferior muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la tabla superior, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

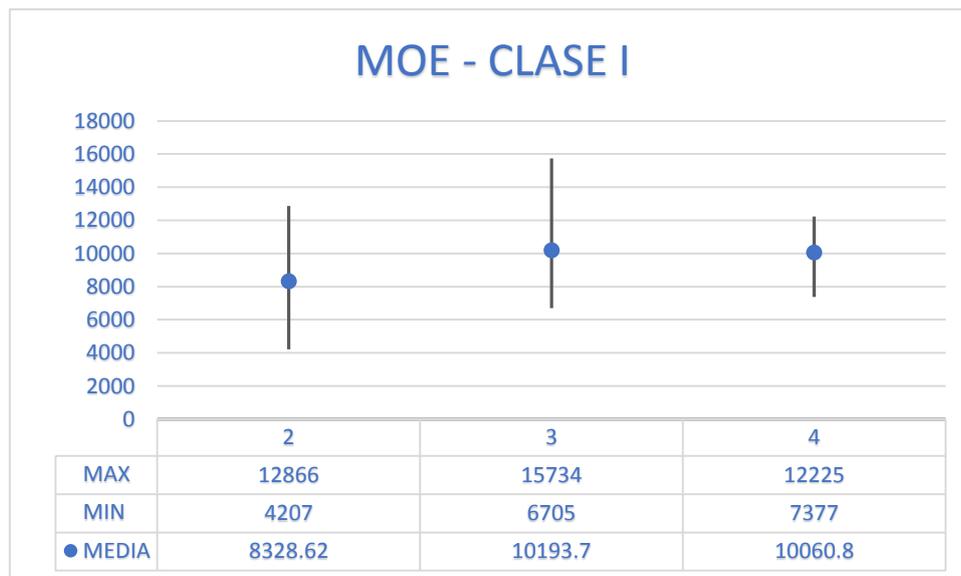


Gráfico 8 – Comparación de medias para el MOE de la Clase I

Tanto el gráfico 8, como el test de múltiples rangos, denotan el mismo comportamiento entre las muestras para el análisis del MOE.

Los grupos homogéneos para la Clase 1, coinciden con los resultados del total de la población, es decir, de nuevo se agrupan las muestras 3 y 4 en un mismo grupo homogéneo. Mientras la muestra 2 queda descolgada de las otras dos poblaciones debido a su bajo valor medio, lo que también se condice con el análisis general.

▪ PARA LA CLASE II:

Análogamente para la segunda clase resistente, resulta:

▪ **Análisis de la Varianza y Prueba de Múltiples Rangos:**

**Tabla ANOVA**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8.67776E7	2	4.33888E7	14.18	0.0000
Intra grupos	4.37532E8	143	3.05966E6		
Total (Corr.)	5.24309E8	145			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 14.1809, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se utilizan Pruebas de Múltiples Rangos.

### Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MOE CII TR	83	8191.54	X
MOE CII TD	26	9630.88	X
MOE CII AAD	37	9821.97	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
MOE CII AAD - MOE CII TD		191.088	884.829
MOE CII AAD - MOE CII TR	*	1630.43	683.482
MOE CII TD - MOE CII TR	*	1439.34	777.077

\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La tabla inferior muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la tabla superior, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

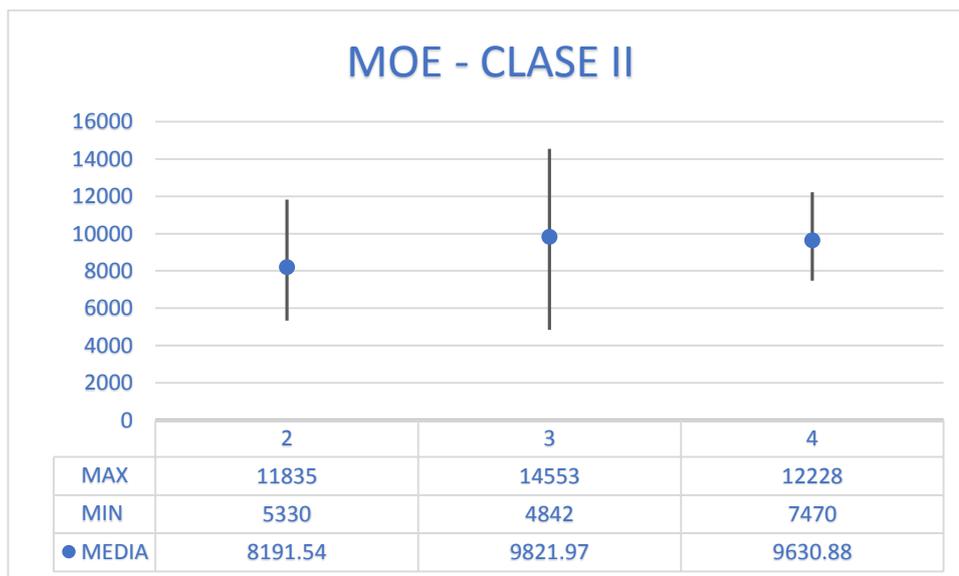


Gráfico 9 – Comparación de medias para el MOE de la Clase II



La tabla ANOVA establece una diferencia altamente significativa entre medias para la Clase 2, y con el gráfico 9, se obtienen los grupos homogéneos. Estos se constituyen, uno por las muestras 3 y 4, y el otro formado únicamente por la muestra 2.

Ahora, podemos concluir en que tanto el análisis general, como el de las Clases 1 y 2 tienen el mismo comportamiento en cuanto a grupos homogéneos, incluyendo a las 3 y 4 en un mismo grupo.

## B. VALORES MEDIOS OBTENIDOS

Como resumen del comportamiento de las muestras objeto de estudio frente a las propiedades físico-mecánicas, se presentan las siguientes tablas que de una forma visual comparan los resultados medios, distinguiendo entre valores bajos (B), medios (M) y altos (A) para las distintas muestras:

GENERAL				CLASE I				CLASE II			
MOR	B	M	A	MOR	B	M	A	MOR	B	M	A
1	29.59			1		40.35		1	26.64		
2		39.48		2			41.94	2		37.78	
3		40.88		3			42.49	3		39.15	
4		39.46		4		40.53		4		36.06	
<b>MOR</b>	<b>37.35</b>			<b>MOR</b>	<b>41.33</b>			<b>MOR</b>	<b>34.91</b>		
MOE	B	M	A	MOE	B	M	A	MOE	B	M	A
2	8251			2	8329			2	8192		
3			10050	3			10194	3		9822	
4		9953		4			10061	4		9631	
<b>MOE</b>	<b>9418</b>			<b>MOE</b>	<b>9528</b>			<b>MOE</b>	<b>9215</b>		
DENSIDAD	B	M	A	DENSIDAD	B	M	A	DENSIDAD	B	M	A
1		426		1		421		1			430
2		419		2			430	2	409		
3		425		3		420		3			431
4			430	4			430	4		429	
<b>DENSIDAD</b>	<b>425</b>			<b>DENSIDAD</b>	<b>425</b>			<b>DENSIDAD</b>	<b>425</b>		

Tabla 18 – Comparación de Valores Medios



GENERAL				CLASE I				CLASE II			
<b>MOR</b>	B	M	A	<b>MOR</b>	B	M	A	<b>MOR</b>	B	M	A
1	•			1		•		1	•		
2		•		2			•	2		•	
3		•		3			•	3		•	
4		•		4		•		4		•	
<b>MOE</b>	B	M	A	<b>MOE</b>	B	M	A	<b>MOE</b>	B	M	A
2	•			2	•			2	•		
3			•	3			•	3		•	
4		•		4			•	4		•	
<b>DENSIDAD</b>	B	M	A	<b>DENSIDAD</b>	B	M	A	<b>DENSIDAD</b>	B	M	A
1		•		1		•		1			•
2		•		2			•	2	•		
3		•		3		•		3			•
4			•	4			•	4		•	

Tabla 19 – Clasificación de Valores Bajos, Medios y Altos



# RELACIÓN ENTRE VARIABLES

## RESUMEN

Lo que se busca en este apartado es plantear relaciones que se correspondan a un ajuste de los resultados a modelo lineal del tipo  $Y = a \cdot X + b$  para describir la relación entre las variables analizadas.

Sobre este modelo se estudia su coeficiente de correlación, que indicará según se aproxime a 0% o al 100% cuán fuerte es la relación entre las variables involucradas en el modelo.

Además se estudia también el parámetro o *valor-P* correspondiente a un análisis de la varianza que en caso de ser menor a 0.05, indica la existencia de una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95% o mayor. Y, contrariamente, en caso de ser *valor-P* > 0.05 entonces plantea la inexistencia de esa relación estadística.

Finalmente se analiza el valor del estadístico  $R^2$  para cada modelo, a fin de evaluar la variabilidad de la variable ajustada al modelo.

El análisis estadístico pormenorizado de éstas variables se contempla en los apartados siguientes y se encuentra desarrollado en profundidad en *ANEXOS – ANALISIS ESTADISTICO*; en el cual además se pueden observar las gráficas de los modelos ajustados.

## AJUSTES POR REGRESIÓN

A través del ajuste por regresión entre una variable independiente con otra u otras dependientes, se analiza la calidad del material a través de la predicción de sus propiedades. Durante el estudio se utilizaron modelos de regresión lineales simples.

Los ajustes fueron efectuados por mínimos cuadrados dentro de la metodología de los análisis de regresión.

La función empleada en el ajuste por regresión lineal simple es:

$$Y = a + b \cdot X$$

siendo:     Y : la variable dependiente  
              X : la variable independiente  
              a : la ordenada en el origen  
              b : la pendiente de la recta.

Este ajuste es el más sencillo porque define una línea de regresión recta, habitualmente fácil de comprender e interpretar, y por eso ha sido utilizado siempre que ha sido posible.

---

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

A continuación se estudian las relaciones entre las variables descriptas en los apartados anteriores y para ello se confeccionan las tablas siguientes.

En la primera (tabla 20) se muestran las relaciones de la DENSIDAD como variable dependiente de las propiedades mecánicas de la madera (MOR y MOE), para las 4 muestras estudiadas.

En la segunda (tabla 21) se muestran las relaciones del módulo de rotura a flexión (MOR) como variable dependiente de las demás propiedades la madera (MOE y DENSIDAD), y también con los valores de NUDOSIDAD, para las 4 muestras estudiadas.

A continuación (tabla 22) se muestran las relaciones del módulo de elasticidad global a flexión (MOE) como variable dependiente de las demás propiedades físico-mecánicas de la madera (MOR y DENSIDAD), y también con los valores de NUDOSIDAD, para las 4 muestras estudiadas.

Finalmente (tabla 23) se muestran las relaciones de la NUDOSIDAD como variable dependiente de las propiedades mecánica de la madera (MOR y MOE), para las 4 muestras estudiadas.



Respecto a las relaciones entre MOR y DENSIDAD que reflejan la posibilidad del empleo de la DENSIDAD en la predicción de la resistencia a flexión, apenas llegan a alcanzar coeficientes de correlación del 44% en el mejor de los casos (Muestra 3), lo cual nos lleva a manifestar que tiene poca utilidad práctica en la evaluación de la calidad mecánica de la madera.

En cuanto a las relaciones entre el MOR y la NUDOSIDAD, se observa que para el caso de la muestra 1 se alcanza un coeficiente de correlación del 51%, lo cual hace que su validez predictiva sea considerable para esta muestra. Pero esta validez predictiva, solo se observa en dicha muestra, en las demás los valores de correlación disminuyen considerablemente a valores cercanos al 20 y 30%. Por lo tanto también se descarta la posibilidad de utilizar la NUDOSIDAD máxima como valor predictivo del MOR.

Las relaciones entre MOE y DENSIDAD aparentan ser muy predictivas en el caso de la muestra 3, a la que le corresponde un coeficiente de correlación que alcanza el 74%. Pero de igual forma que en la comparación MOR-NUDOSIDAD, es el único caso en que se alcanzan elevados valores de correlación; en las otras dos muestras analizadas los valores decrecen al 13% en la muestra 2 e incluso al 4% para la 4. Esto hace que tampoco se pueda utilizar a la DENSIDAD como valor predictivo del Módulo de Elasticidad a flexión.

Para el caso de las relaciones entre MOE y NUDOSIDAD, los valores de correlación son muy bajos, siendo el mayor 33% para la muestra 3 por lo que las relaciones entre estas variables también son significativamente débiles.

Las relaciones MOR-MOE obtienen significativamente mejores resultados (coeficientes de correlación entre el 59 y el 68%) siendo además muy homogéneos en todas las muestras (en términos de ajuste, no de parámetros del modelo), lo que lleva a concluir la elevada utilidad predictiva del MOE.

También se observa una notable diferencia entre los modelos, lo cual obligaría a considerarlos según cada muestra para obtener resultados adecuados (Se recomienda observar las gráficas de los modelos en ANEXOS).





# ANÁLISIS DEL TERCIO MEDIO

## RESUMEN

La norma IRAM 9664 establece la necesidad de realizar los ensayos a flexión según norma IRAM 9663 debiendo seleccionar una *zona crítica* en cada pieza de madera, definiendo como tal al entorno en el que se prevea que puede originarse la falla basándose en un examen visual, y debiendo, la misma, estar situada dentro de la zona comprendida entre los puntos de carga en el ensayo a flexión (tercio medio).

Frecuentemente, debido a las longitudes de apoyo que establece la norma para la realización del ensayo respecto a la altura de la probeta, resulta imposible ubicar esta *zona crítica* en el tercio medio de la pieza a ensayar. Tal es el caso de las Alfajías, ya que, en el caso de las estudiadas, la altura de la pieza ( $d=5''$ ) define una longitud de apoyo equivalente a:  $L = 18.d = 18.125 \text{ mm} = 2250 \text{ mm}$ .

Si comparamos la longitud entre apoyos con la longitud promedio de los especímenes ensayados, observamos que resulta imposible colocar la *zona crítica* en el centro al menos que por naturaleza este ubicada allí.

Si bien este inconveniente surge sólo en caso de alfajías y vigas de considerable altura, no ocurriendo en caso de tablas donde allí si es posible definir y plantear la *zona crítica* en el centro debido a que las longitudes de apoyo son considerablemente cortas. Parece interesante evaluar la influencia que tiene esa *zona crítica* cuando es considerada dentro del tercio medio y comparar su comportamiento cuando por razones ajenas al ensayo quedan en los tercios exteriores.

A continuación se realiza el análisis del planteo precedente para el caso de la muestra “Alfajías de Álamo Denita” (Muestra 3).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Se analizan gráficas de Densidades Suavizadas obtenidos a partir de histogramas de frecuencias y gráficos comparativos de medias y rango de valores para las dos clases resistentes comparando el análisis general planteado y el análisis de valores analizados cuando se hace coincidir la *zona crítica* de la pieza con el tercio medio de la misma.

Se busca demostrar cómo aumentan los valores medios y característicos de la Segunda Clase Resistente cuando la *zona crítica* de las piezas se encuentra ubicada fuera del tercio central.

▪ PARA EL MOR

En la tabla 24 se recogen los valores del módulo de rotura a flexión, corregido para la dimensión de referencia de 150 mm, de acuerdo con IRAM 9663 para el análisis general y para el análisis en el tercio central de las alfajías correspondientes a la muestra 3 (AAD).

ALFAJIAS ALAMO DENITA - AAD								
ANALISIS	VALORES	MOR						
		MIN	MEDIO	MAX	S	CV	Caract. [5]	Caract. [7,5]
<b>GENERAL</b>	CLASE I	17.26	42.49	77.5	10.66	0.25	24.94	31.39
	CLASE II	17.35	39.15	59.96	10.27	0.26	23.31	24.49
	RECHAZOS	24.07	41.42	65.1	16.02	0.39	25.92	26.84
	TOTAL	17.26	40.88	77.5	10.81	0.26	23.69	24.72
<b>ZONA CRITICA EN EL TERCIO</b>	CLASE I	17.26	42.32	77.5	10.19	0.24	29.51	29.94
	CLASE II	17.35	33.82	52.18	9.58	0.28	21.23	23.17
	RECHAZOS	24.07	41.42	65.1	16.02	0.39	25.92	26.84
	TOTAL	17.26	40.88	77.5	10.81	0.26	23.69	24.72

Tabla 24 – Valores Medios y Característicos del MOR para las AAD

En la siguiente gráfica de Densidades Suavizadas (Gráfico 11) se observa como la distribución del MOR correspondiente a la Clase 1 del análisis general es casi coincidente con la distribución del MOR para la Clase 1 analizada en el tercio central.

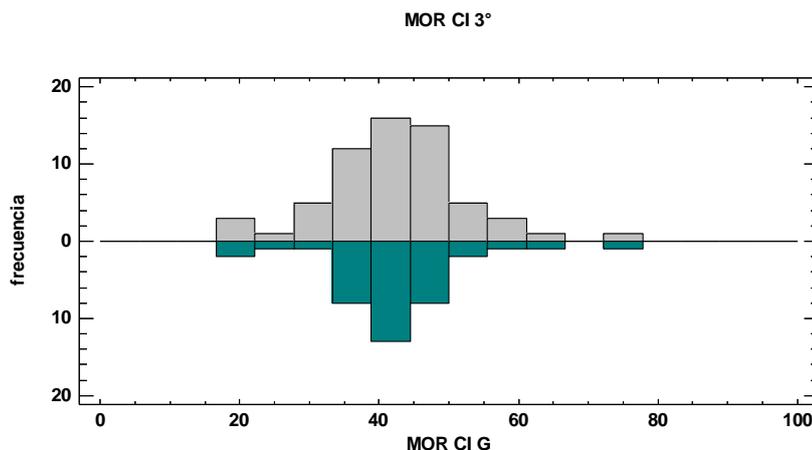


Gráfico 10 – Comparación del MOR de la Clase I General con la Clase I analizada en el tercio

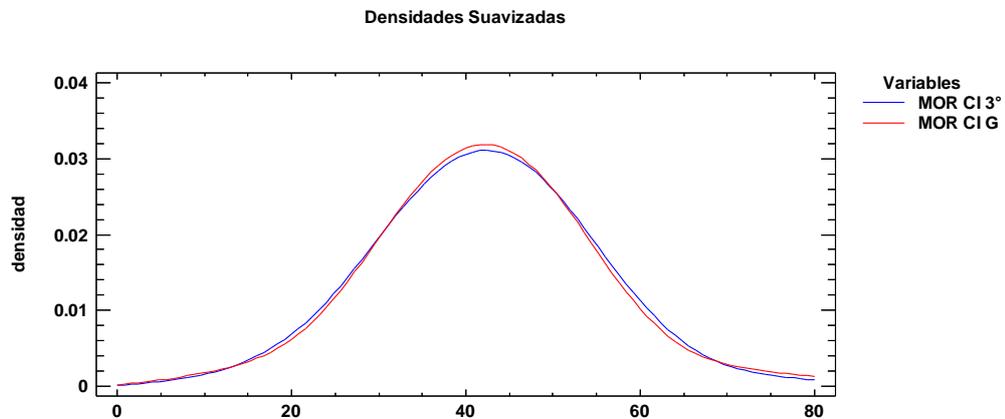


Gráfico 11 – Comparación de curvas de MOR de la Clase I General con la Clase I analizada en el tercio

En cambio, en la gráfica 13 es notable como la curva de densidades para la Clase 2 del análisis en el tercio central (curva azul) se desplaza hacia la izquierda, disminuyendo el valor medio del Módulo Resistente correspondiente a esta clase y hacia arriba aumentando la densidad, en comparación a la curva correspondiente al análisis general (curva roja).

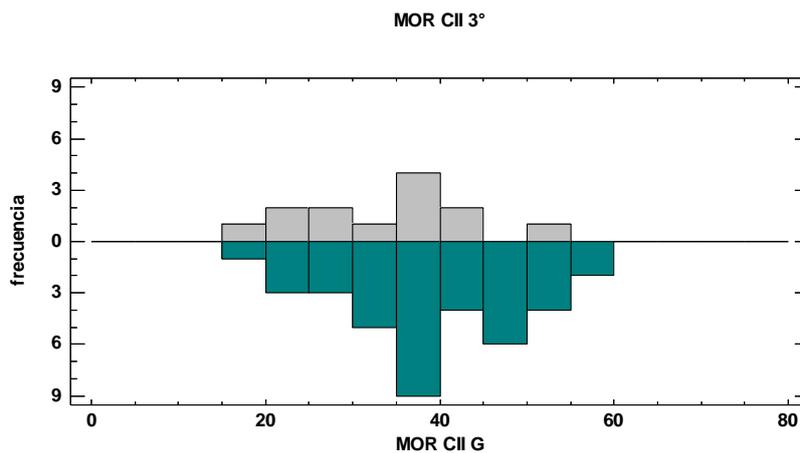


Gráfico 12 – Comparación del MOR de la Clase II General con la Clase II analizada en el tercio

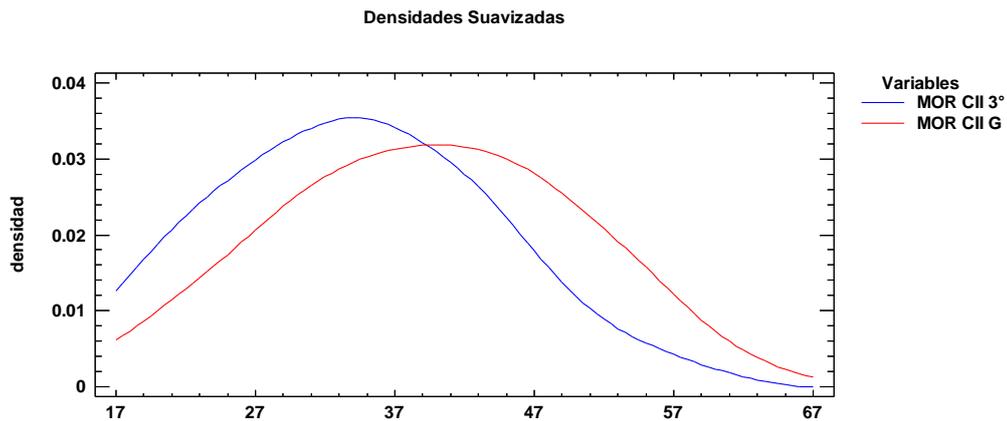


Gráfico 13 – Comparación de curvas de MOR de la Clase II General con la Clase II analizada en el tercio

Estas observaciones también son demostradas en el gráfico siguiente (Gráfico 14), de donde se puede concluir que cuando la *sección crítica* se encuentra en el tercio medio de la pieza, se mantienen casi constante los valores medios correspondientes a la Clase 1, pero disminuye los equivalentes para la Clase 2, aumentando la brecha entre las diferencias de valores correspondientes a cada clase resistente.

Además se observa que el rango de valores correspondientes a la Clase 2 es bastante más acotado para el análisis en el tercio, lo que tiende a homogeneizar a esta clase resistente en cuanto a los valores medios del MOR.

En paralelo, también se aprecia que la Clase 1 no se ve influenciada en su rango de valores para el análisis en el tercio central, comparado con análisis general.

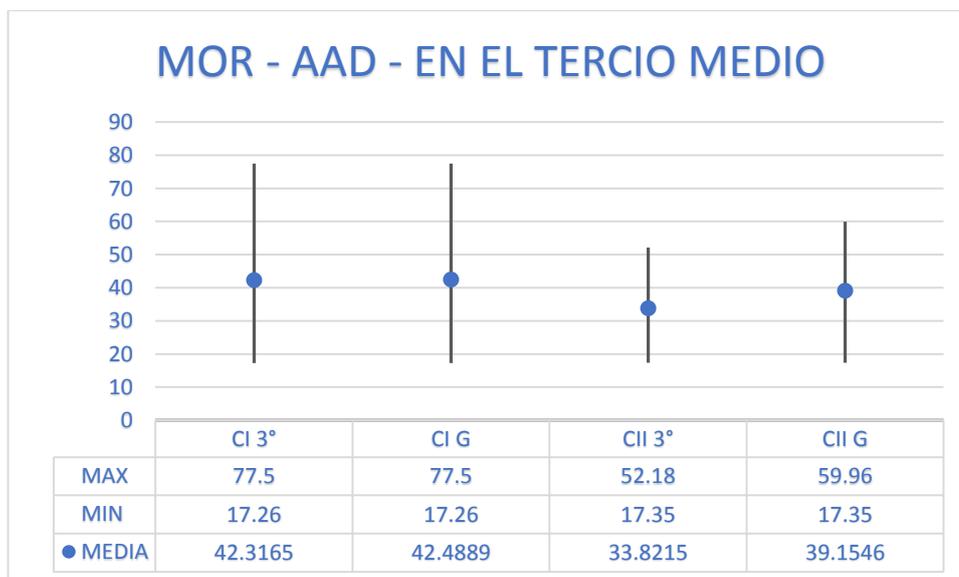


Gráfico 14 – Comparación de medias para el MOR en el tercio de las AAD



▪ PARA EL MOE

En la tabla 25 se recogen los valores del módulo de elasticidad global a flexión corregido a la humedad de referencia del 12%, de acuerdo con IRAM 9663 para el análisis general y para el análisis en el tercio central de las alfajías de la muestra 3.

ALFAJÍAS ÁLAMO DENITA - AAD							
ANÁLISIS	VALORES	MOE					
		MIN	MEDIO	MAX	S	CV	Caract. [5]
<b>GENERAL</b>	CLASE I	6705	10194	15734	1919	0.19	7995
	CLASE II	4842	9822	14553	2247	0.23	5510
	RECHAZOS	8426	10651	14796	2556	0.24	8521
	TOTAL	4842	10050	15734	2101	0.21	6771
<b>ZONA CRÍTICA EN EL TERCIO</b>	CLASE I	5569	10344	15734	1907	0.18	8555
	CLASE II	4842	8421	12678	2219	0.26	5100
	RECHAZOS	8426	10651	14796	2556	0.24	8521
	TOTAL	4842	10050	15734	2101	0.21	6771

Tabla 25 – Valores Medios y Característicos del MOE para las AAD

En la gráfica 15 se observa como la distribución del Módulo de Elasticidad correspondiente a la Clase 1 del análisis general deja de ser coincidente con la distribución del MOR para la Clase 1 analizada en el tercio central.

Pudiéndose notar un incremento del valor medio del MOE respecto del obtenido para el análisis general, debido al desplazamiento de la curva del análisis en el centro (curva azul) hacia la derecha de la correspondiente al análisis general (curva roja).

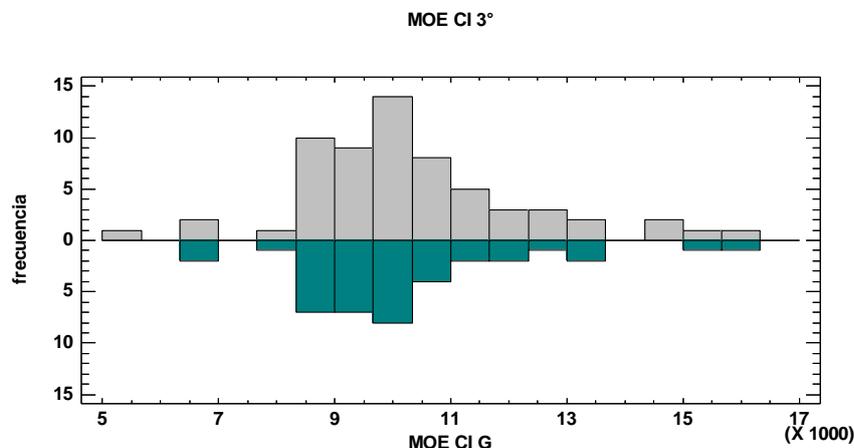


Gráfico 15 – Comparación del MOE de la Clase I General con la Clase I analizada en el tercio

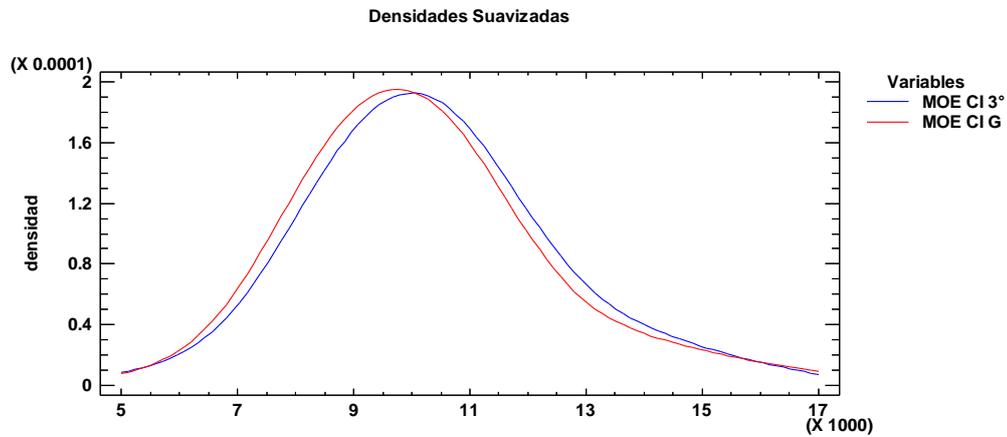


Gráfico 16 – Comparación de curvas de MOE de la Clase I General con la Clase I analizada en el tercio

Contrariamente, en la gráfica 18 se observa como la curva de densidades para la Clase 2 del análisis en el tercio central (curva azul) se desplaza hacia la izquierda, disminuyendo el valor medio del Módulo de Elasticidad correspondiente a esta clase y hacia abajo disminuyendo la densidad, en comparación a la curva correspondiente al análisis general (curva roja).

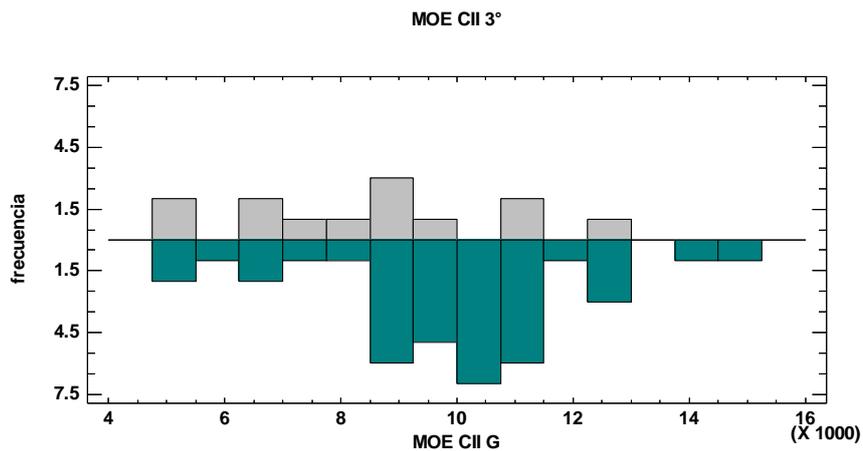


Gráfico 17 – Comparación del MOE de la Clase II General con la Clase II analizada en el tercio

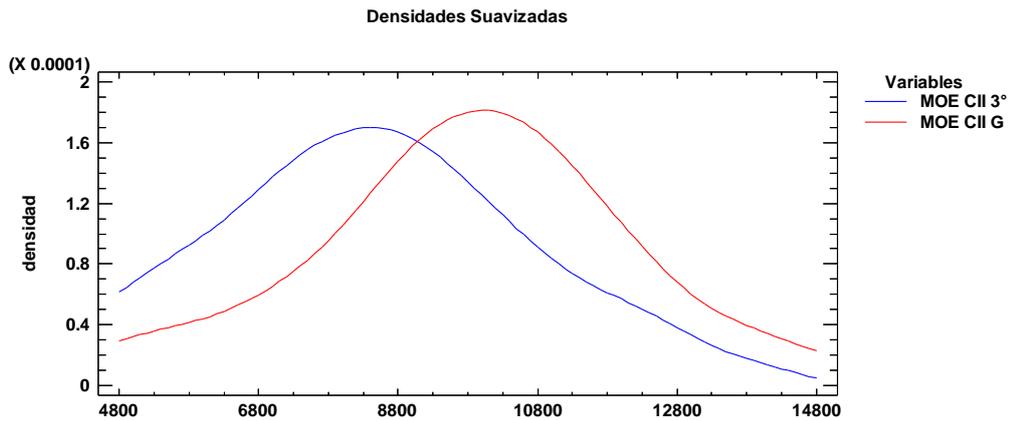


Gráfico 18 – Comparación de curvas de MOE de la Clase II General con la Clase II analizada en el tercio

Estas observaciones, también demostradas en el gráfico 19, plantean la hipótesis de que la *sección crítica* coincidente con el tercio medio aumenta, aunque en baja proporción, los valores medios correspondientes a la Clase 1, y disminuye significativamente los equivalentes para la Clase 2, aumentando la brecha entre las diferencias de valores correspondientes a cada clase resistente.

Además se observa una disminución en el rango de valores correspondientes a la Clase 2 para el análisis en el tercio, lo que tiende a homogeneizar a esta clase resistente en cuanto a los valores medios del MOE.

Y aunque se aprecia un pequeño incremento para el rango de valores de la Clase 1 en el análisis en el tercio central, comparado con análisis general, ese incremento se considera mínimo y que no afecta sobre el comportamiento de esta clase resistente.

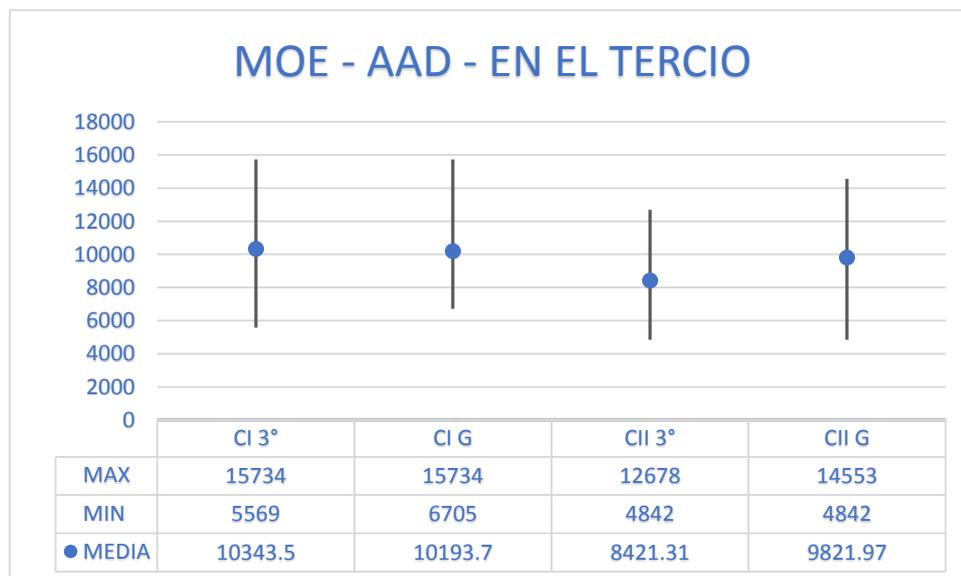


Gráfico 19 – Comparación de medias para el MOE en el tercio para AAD



---

## CONCLUSIONES PARCIALES

---

De los resultados anteriores se puede derivar:

- ❖ Es considerable el cambio en los valores medios y característicos cuando se considera a la *zona crítica* en el tercio central de la pieza respecto cuando se ubica en cualquier otra zona.
- ❖ Para la coincidencia de la *zona crítica* con el tercio medio se tiene:
  - Coincidencia de valores medios de MOR para Clase 1.
  - Disminución de valores medios de MOR para la Clase 2.
  - Aumento de valores medios de MOE para Clase 1.
  - Disminución significativa de valores medios de MOE para la Clase 2.
  - Aumento de la brecha entre valores medios y característicos de cada Clase Resistente tanto del MOR como del MOE.
  - Disminuye considerablemente el rango de valores en los que fluctúa el MOR y el MOE para la Clase 2; mientras se mantiene casi constante para la Clase 1.
- ❖ Ubicar la *zona crítica* dentro del tercio medio genera una importante homogeneización de los valores de MOR y MOE dentro de una misma clase resistente y a la vez, aumenta la variación entre los valores medios y característicos entre las clases, acentuando las diferencias entre ellas.
- ❖ Se cree que colocar la *zona crítica* en cualquier sección de la pieza hace que a medida que se aleja del centro los valores de resistencia y rigidez aumenten considerablemente, viéndose acompañado de un aumento significativo de los valores medios y característicos para la clase en que se la incluya.



# ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA MÉDULA EN LAS CLASES RESISTENTES

## RESUMEN

La norma IRAM 9662 define a la presencia de médula, ya sea en el interior de la pieza o en sus superficies, como uno de los parámetros que reducen la capacidad resistente de la pieza.

En el caso del Pino Taeda y Elliotti (*Pinus taeda* y *elliottii*) se incluyen aquellas piezas con presencia de médula en la Clase 2; mientras que para otras especies, como el Pino Paraná (*Araucaria angustifolia*) y el Eucalipto (*Eucalyptus grandis*), es aún más estricta y ante su presencia la pieza se descarta y se incluye en el grupo de Rechazos.

Para el caso puntual del Álamo, se intenta demostrar en el análisis siguiente que la presencia de médula no influye en su calidad resistente, ya sea estando ubicada en el interior o en las superficies de la pieza.

Además se cree que la presencia de médula se suele considerar un elemento reductor de la resistencia cuando está acompañada de una significativa nudosidad; pero que es en realidad la presencia de esa nudosidad la que definirá la calidad resistente de la pieza y no así la existencia de médula.

A continuación se realiza el análisis del planteo precedente para el caso de la muestra “Tablas Díaz” (Muestra 4).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizan 98 piezas de 1” x 5” correspondientes a la muestra 4. A continuación, en las tablas 26 y 27, puede observarse la distribución de piezas resultantes en cada clase:

CLASIFICACIÓN VISUAL DE LA MADERA DE ACUERDO CON IRAM 9662								
MUESTRA	DIMENSIONES DE ESPECÍMENES	CLASIFICACIÓN VISUAL						TOTAL
		CLASE I		CLASE II		RECHAZOS		
		CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%	
<b>4 (TD)</b>	1" x 5"	68	69.39	26	26.53	4	4.08	<b>98</b>

Tabla 26 – Clasificación Visual de las Tablas TD

CLASIFICACIÓN SEGÚN EXISTENCIA DE MÉDULA PARA CLASE II						
MUESTRA	DIMENSIONES DE ESPECÍMENES	CLASE II				TOTAL
		POR MÉDULA		POR NUDOSIDAD		
		CANT.	%	CANT.	%	
<b>TD</b>	1" x 5"	10	38.46	16	61.54	<b>26</b>

Tabla 27 – Clasificación según existencia de Médula de Tablas TD

La nomenclatura adoptada en el análisis ha sido la siguiente:

NOMENCLATURA ADOPTADA	
G	GENERAL - TOTAL DE MUESTRAS
CI	CLASE 1
CI + M	CLASE 1 MAS PIEZAS CON EXISTENCIA DE MÉDULA
CII	CLASE 2 - TOTAL POR EXISTENCIA DE MÉDULA Y/O NUDOSIDAD
CII x N	CLASE 2 POR NUDOSIDAD
CII x M	CLASE 2 POR MÉDULA
Rechazos	TOTAL DE DESCARTES

Tabla 28 – Designación de Nomenclatura para las distintas Clases

Se busca demostrar que las piezas con existencia de médula y libres de nudosidad, deben incluirse en la Clase 1. Y además, que esta inclusión no afecta sobre los valores de Resistencia y Rigidez de dicha clase.

En la tabla 29 se recogen los valores del módulo de rotura a flexión, corregido para la dimensión de referencia de 150 mm, del módulo de elasticidad global a flexión y la densidad corregidos a la humedad de referencia del 12%, de acuerdo con IRAM 9663 para los distintos grupos planteados.

TD - ANALISIS DE LA MEDULA								
VARIABLE	VALORES	CLASIFICACION VISUAL						
		G	CI	CI + M	CII	CII x N	CII x M	Rechazos
<b>MOR</b>	MEDIO	39.46	40.53	40.21	36.06	34.85	37.98	43.34
	CARACT. 5%	26.82	29.34	26.82	26.69	27.63	26.74	37.00
	CARACT. 7.5%	29.13	30.81	29.74	26.83	28.33	26.78	37.31
<b>MOE</b>	MEDIO	9953.17	10060.80	10063.85	9630.88	9347.63	10084.10	10218.30
	CARACT. 5%	8137.06	8282.06	8310.39	7871.82	7691.82	8900.48	9149.44
<b>DENS.</b>	MEDIO	429.92	429.94	430.59	429.35	425.69	435.20	433.25
	CARACT. 5%	399.86	400.31	400.71	397.22	392.40	408.10	408.01

Tabla 29 – Valores Medios y Característicos para las distintas clases según existencia de Médula



▪ PARA EL MOR

En la gráfica 19 se observa como la distribución del Módulo Resistente correspondiente a la Clase 1 de piezas libres de médula es casi coincidente con la Clase 1 que incluye las piezas con su existencia, tanto en su valor medio como en su rango de valores.

Si se comparan las 3 clases resistentes tipo 2 se observa que la clase 2 definida por presencia de medula y nudosidad resulta ser la media de los valores medios de la Clase 2 que incluye médula y la Clase 2 definida sólo por su nudosidad. Pudiéndose notar a simple vista que la presencia de médula incluida en la Clase 2 tiende a aumentar los valores de resistencia de la segunda clase, y por consiguiente, a disminuir la brecha de valores entre las Clase 1 y 2 definidas.

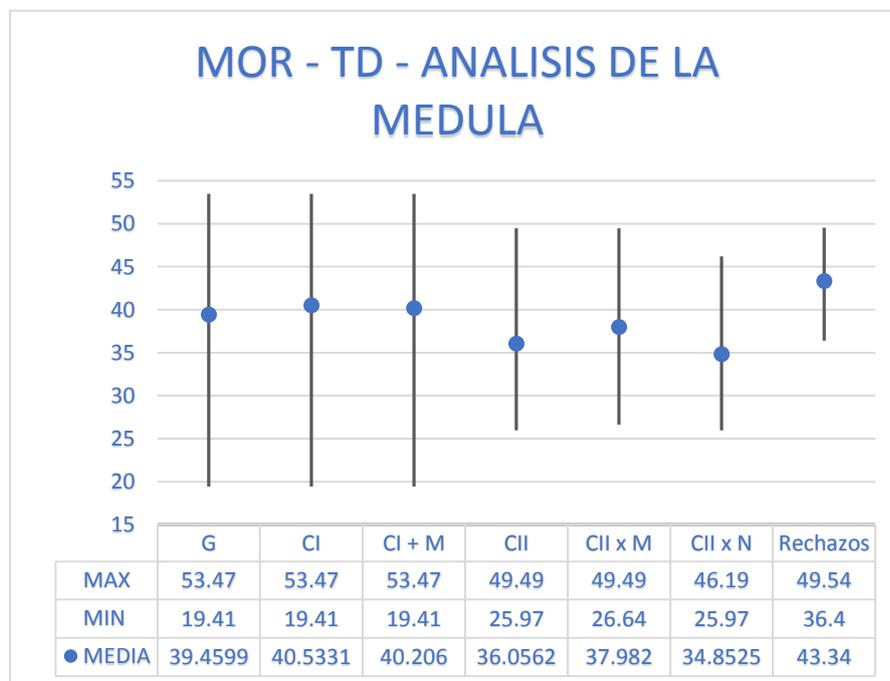


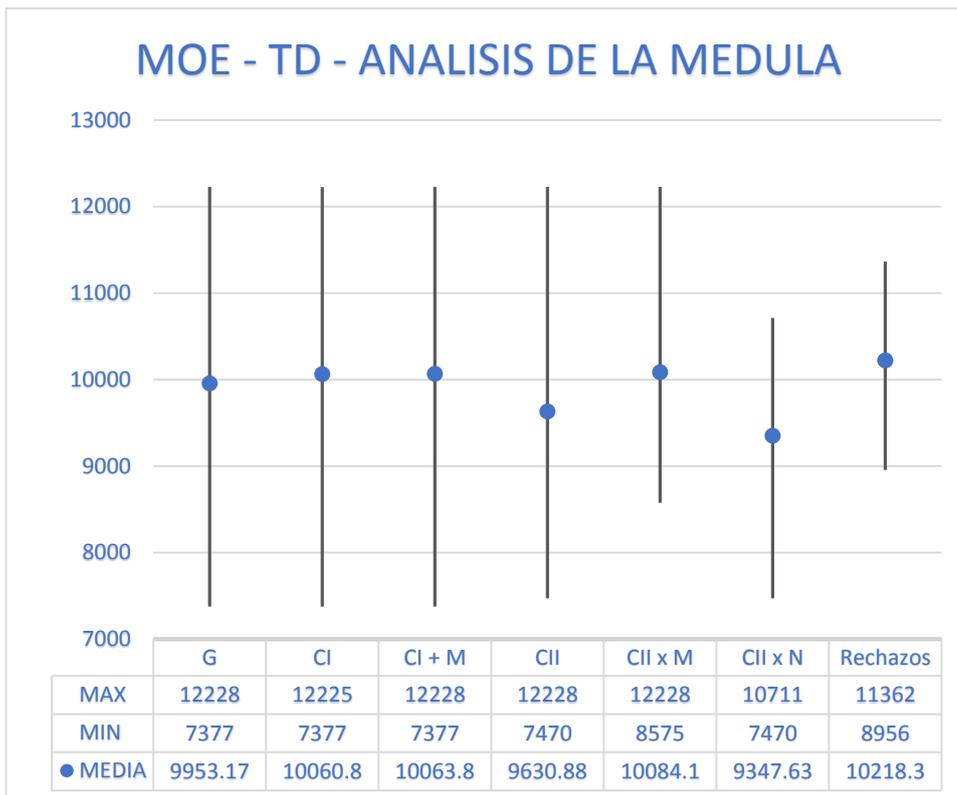
Gráfico 20 – Comparación de medias para el MOR de TD según la existencia de Médula en las Clases

▪ PARA EL MOE

En la gráfica 21 se plantea la distribución del Módulo de Elasticidad Global a Flexión correspondiente a los casos analizados.

Al igual que el análisis del MOR, se observa que para el MOE la Clase 1 de piezas libres de médula también es casi coincidente con la Clase 1 que incluye las piezas con su existencia, tanto en su valor medio como en su rango de valores.

Se denota del mismo gráfico que, al comparar las 3 clases resistentes tipo 2, la clase 2 definida por presencia de médula y nudosidad resulta ser la media de los valores medios de la Clase 2 que incluye médula y la Clase 2 definida sólo por su nudosidad. Pudiéndose notar que la presencia de médula incluida en la Clase 2 también aumenta los valores de rigidez de la segunda clase, y por consiguiente, disminuye la brecha de valores entre las Clase 1 y 2.



*Gráfico 21 – Comparación de medias para el MOE de TD según la existencia de Médula en las Clases*

▪ PARA LA DENSIDAD

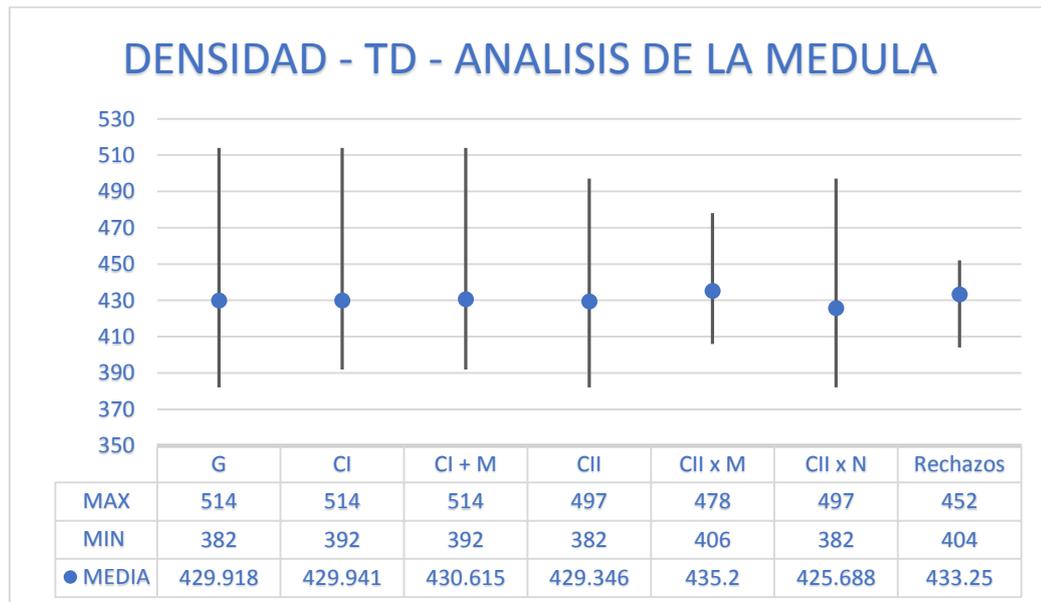
Antes de comenzar el análisis se cree conveniente aclarar que las muestras transversales que se tomaron en caso de piezas con presencia de médula fueron representativas, y que su presencia también estaba en la probeta que se utilizó para la determinación de la densidad y humedad de la misma.

Si bien se ha demostrado en el *ANÁLISIS GENERAL DE VARIABLES* que los valores de Densidad son bastante homogéneos para la madera de Álamo en todas sus clases, en este análisis se busca demostrar que la presencia de médula parece aumentar los valores de densidad.



Aunque ilógico el planteo y los resultados, se cree, con el mínimo y casi nulo conocimiento que se tiene respecto de las características de madera en cuanto a su anisotropía, que las secciones transversales de madera de álamo próximas a la médula alcanzan una mayor densidad, que disminuye al alejarse de la misma.

La gráfica 22 resume la distribución de los valores de Densidad para los distintos casos analizados.



*Gráfico 22 – Comparación de medias para el Densidad de TD según la existencia de Médula en las Clases*

Vuelve a efectuarse el mismo planteo que en los análisis de Modulo Resistente y de Elasticidad, es notable como la Densidad para la Clase 1 de piezas libres de médula es casi coincidente con la correspondiente a la Clase 1 que incluye las piezas con su existencia, tanto en su valor medio como en su rango de valores.

Además también se denota un pequeño incremento del valor medio de la Densidad cuando se incluyen en la Clase 1 las piezas con presencia de médula. Si bien este incremento es casi nulo, debemos tener en cuenta que la incidencia de la incorporación de estas piezas es mínima, ya que se incluyen sólo 10 piezas con existencia de médula en una muestra de 68 piezas que contiene la Clase 1; lo que define una incidencia equivalente al 12,82%.

Si ahora se visualiza la media correspondiente a la Clase 2 por Médula, se observa que su valor medio es de 435,2 kgf/m<sup>3</sup>, al compararlo con la media de la Clase 1 (429,94 kgf/m<sup>3</sup>), se deduce que la tendencia al pensamiento de que existe una zona cercana a la médula de mayor densidad que genera mayores valores de Resistencia y Rigidez, parece no estar tan alejada de la realidad.

Se observa en el mismo gráfico que al comparar las 3 clases resistentes tipo 2, la clase 2 definida por presencia de médula y nudosidad, también resulta ser la media de los valores medios de la Clase 2 que incluye médula y la Clase 2 definida sólo por su nudosidad, como ocurrió en los análisis de MOR y MOE.

Por lo tanto la presencia de médula incluida en la Clase 2 también aumenta los valores medios de Densidad de la segunda clase, y por consiguiente, disminuye la brecha de valores entre las Clase 1 y 2.

---

## CONCLUSIONES PARCIALES

---

De los resultados anteriores se puede derivar:

- ❖ La existencia de médula en las piezas de madera de álamo parece no influir en sus propiedades de Resistencia, Rigidez y Densidad.
- ❖ Existe una tendencia significativa al aumento de los valores de resistencia, rigidez y densidad de la segunda clase al incluir las piezas con presencia de médula en ella.
- ❖ Se cree conveniente que las piezas con existencia de médula no deben considerarse en una segunda clase resistente, por el contrario deben ser incluidas en la Clase 1. De esta manera se tiene:
  - Que la Clase 1 no se ve influenciada en sus valores de Resistencia, Rigidez y Densidad.
  - Que para la Clase 2 disminuyen los valores medios de las tres variables, aumentando la brecha entre los valores correspondientes a las dos clases resistentes.
  - Que al aumentar esta brecha, los valores de ambas clases dejan de aproximarse, acentuando sus diferencias entre variables.
- ❖ Para futuros estudios, se plantea la importancia de seguir este análisis en cuanto a la clasificación resistente de la Clase 1, inclusiva y exclusiva respecto a la existencia de médula. Y en particular, para el caso de la Densidad, el evaluar la hipótesis de que existe una zona próxima a la médula, en donde parece que aumenta la densidad de la madera.