

INFORMES TÉCNICOS DE NORMALIZACIÓN DE MADERA ESTRUCTURAL

NÚMERO 2:
MADERA ASERRADA DE EUCALYPTUS GRANDIS

VANESA BAÑO, LEANDRO DOMENECH, DANIEL GODOY, ALICIA
SÁNCHEZ, SEBASTIÁN QUAGLIOTTI Y LAURA MOYA



Facultad de
ARQUITECTURA



INFORMES TÉCNICOS DE NORMALIZACIÓN DE MADERA ESTRUCTURAL
Número 2: Madera aserrada de *Eucalyptus grandis*

INFORMES TÉCNICOS DE NORMALIZACIÓN DE MADERA ESTRUCTURAL
Número 2: Madera aserrada de *Eucalyptus grandis*

Vanesa Baño, Leandro Domenech, Daniel Godoy, Alicia Sánchez, Sebastián Quaglioti
y Laura Moya

Facultad de Ingeniería – Universidad de la República
Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)
Facultad de Arquitectura – Universidad ORT Uruguay
Montevideo, Uruguay

ISBN: 978-9974-0-1573-9



Contenido

Prólogo	3
1. Introducción	3
1.1. Clasificación por resistencia de madera y el sistema de clases resistentes	3
1.2. Relación entre calidad visual y clases resistentes	¡Error! Marcador no definido.
1.3. Objeto	3
2. Materiales y métodos	3
3. Clasificación visual	4
3.1. Medición de las singularidades	4
3.2. Metodología de análisis de los parámetros y asignación a una calidad visual	4
3.3. Propuesta de calidades visuales y límites de las singularidades.....	5
4. Valores característicos de las propiedades	7
5. Discusión y conclusiones	9
Bibliografía	10
Anexo A: Distribuciones de muestras de cada propiedad	11

Prólogo

El presente informe tiene como objeto presentar y analizar una propuesta de clasificación visual estructural de *Eucalyptus grandis* uruguayo y servir como base de la norma “UNIT 1262: Madera aserrada de uso estructural - Clasificación visual - Madera de eucalipto grandis (*Eucalyptus grandis*)”.

1. Introducción

1.1. Clasificación por resistencia de madera y el sistema de clases resistentes

Una pieza de madera es clasificada en una “calidad visual” de acuerdo a unos criterios limitantes de singularidades y defectos visuales, o es rechazada. Cada calidad visual definida en una norma nacional/regional puede tener su correspondencia en una clase resistente del sistema de clases resistentes de la norma europea EN 338 (AENOR 2016b), la cual presenta los valores característicos de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad.

Por tanto, una norma de clasificación visual permite estimar la calidad visual de una pieza de madera, y a partir de esa calidad asignarle a dicha pieza un conjunto de propiedades mecánicas, elásticas y de densidad.

1.2. Objeto

Este documento presenta la propuesta de clasificación visual para la madera aserrada de *Eucalyptus grandis* de procedencia uruguayo, de acuerdo a los lineamientos de la normativa europea, y presenta los valores característicos de sus propiedades físicas y mecánicas.

2. Materiales y métodos

La base de datos analizada corresponde a dos muestras de madera aserrada de eucalipto, procedente de dos industrias de Uruguay: muestra M1 suministrada por la una empresa ubicada en el Departamento de Rivera, en el año 2015; y muestra M2 suministrada por una empresa ubicada en el Departamento de Durazno, en el año 2013. La muestra M1 fue ensayada en el año 2015 en la Facultad de Ingeniería, y la muestra M2 fue ensayada en el año 2018 en el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) tras varios años de secado al aire bajo techo.

En base a los requisitos de la norma EN 384 (AENOR 2016a) se consideraron, para el análisis de datos y cálculo de valores característicos, dos muestras independientes, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de piezas ensayadas por procedencia, tamaño y edad

N° de muestra	Procedencia	Sección media (mm)	N° probetas
M1	Empresa Rivera	36x90	51
M2	Empresa Durazno	30x90	83
Total			134

3. Clasificación visual

3.1. Medición de las singularidades

La medición de las singularidades se realizó en “estado seco” (CS o DG-Dry Graded), esto es a contenidos de humedad (CH) inferiores o iguales al 20%. La medición de las singularidades se realizó de acuerdo a los lineamientos establecidos en la norma UNIT 1261:2018 (UNIT 2018) y el “Informe técnico de normalización de madera estructural N.1. Madera aserrada de *Pinus elliottii/taeda*” (Domenech et al. 2017).

3.2. Metodología de análisis de los parámetros y asignación a una calidad visual

Los parámetros visuales fueron analizados estadísticamente mediante las normas EN 384 (AENOR 2016a) y EN 14358 (CEN 2016).

El módulo de elasticidad y la densidad de cada probeta se ajustó al contenido de humedad de referencia de acuerdo a Ec. 1 y Ec. 2. La resistencia a flexión de cada probeta se ajustó al canto de referencia (k_h) de 150 mm según la Ec. 3 y se corrigió la luz de ensayo cuando difirió de 18h, o cuando la distancia entre puntos de carga fue diferente a 6h, por un coeficiente (k_l) según la Ec.4, para obtener $f_{m,i,h}$.

$$E_{0,i,12} = E_{0,i}(u)(1 - 0.01 (u - u_{12})) \quad \text{Ec. 1}$$

$$\rho_{i,12} = \rho_i(u)(1 - 0.005 (u - u_{12})) \quad \text{Ec. 2}$$

$$k_h = \text{Min} \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0.2}, 1.3 \right\} \quad \text{Ec. 3}$$

$$k_l = \left(\frac{48h}{l_{et}} \right)^{0.2} \quad \text{Ec. 4}$$

$$l_{et} = \ell + 5a_f \quad \text{Ec. 5}$$

donde, u es el contenido de humedad al momento del ensayo ($8\% \leq u \leq 18\%$); u_{12} es el contenido de humedad de referencia ($u_{12}=12\%$); h es el canto de la probeta (mm); l_{et} es la longitud real de ensayo (mm); l es la luz del dispositivo de ensayo; a_f es la separación entre los puntos de aplicación de la carga (mm); ℓ es el valor obtenido de ensayo.

El quinto percentil de la resistencia a flexión y de la densidad de cada muestra se calculó de acuerdo al método paramétrico (P) definido en la norma EN 14358 (CEN 2016). Dicho método propone calcular los valores medios y de desviación estándar de la resistencia a flexión (distribución log-normal) y de la densidad (distribución normal) de las muestras de acuerdo a Ec.6 y Ec.8, y los valores característicos según Ec. 10 y Ec. 11. La desviación estándar de la resistencia a flexión y de la densidad se calculó según Ec. 7 y Ec. 9, respectivamente.

$$\bar{f}_{m,P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln f_{m,i,h} \quad \text{Ec.6}$$

$$s_{f_{m,P}} = \max \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln f_{m,i,h} - \bar{f}_{m,P})^2, 0.05 \right\} \quad \text{Ec.7}$$

$$\bar{\rho} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_{i,12} \quad \text{Ec. 8}$$

$$s_{\rho} = \max \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\rho_{i,12} - \bar{\rho})^2, 0.05 \bar{\rho} \right\} \quad \text{Ec. 9}$$

$$f_{m,k,s,P} = \exp (\bar{f}_{m,P} - k_s(n) s_{f_{m,P}}) \quad \text{Ec.10}$$

$$\rho_{k,s,P} = (\bar{\rho} - k_s(n) s_{\rho}) \quad \text{Ec.11}$$

donde, $f_{m,i,h}$ es el valor de ensayo de la resistencia a flexión de cada probeta, corregida por los factores k_h y k_i ; $\bar{f}_{m,P}$, es el valor medio de la resistencia a flexión de cada muestra; $f_{m,k,s,P}$ es el valor característico de la resistencia a flexión de la muestra; $\rho_{i,12}$ es el valor de ensayo de la densidad de cada probeta, corregida al contenido de humedad de referencia; $\bar{\rho}$ es el valor medio de la densidad de la muestra; $\rho_{k,s,P}$ es el valor característico de la densidad de la muestra; $s_{f_{m,P}}$, es la desviación estándar de la resistencia a flexión; s_{ρ} , es la desviación estándar de la densidad; y $k_s(n)=1.84$, para el quinto percentil de la resistencia a flexión, con $\alpha=75\%$.

El valor característico de la resistencia a flexión, del módulo de elasticidad y de la densidad de la población fueron calculados según Ec. 12, Ec. 13 y Ec. 14, respectivamente.

$$f_{m,k} = \min(1.2 f_{m,0.05_min}, \frac{\sum_{i=1}^{n_s} n_i f_{m,0.05}}{n}) \quad \text{Ec.12}$$

$$E_{0,mean,k} = \min(1.1 \bar{E}_{min}, \frac{\sum_{i=1}^{n_s} n_i \bar{E}}{n}) * k_n/0.95 \quad \text{Ec.13}$$

$$\rho_k = \min(1.1 \rho_{0.05,min}, \frac{\sum_{i=1}^{n_s} n_i \rho_{0.05}}{n}) * k_n \quad \text{Ec. 14}$$

donde, $f_{m,k}$ es el valor característico de la resistencia a flexión de la población; $f_{m,0.05}$ es el quinto percentil de la resistencia a flexión de la muestra; $f_{m,0.05_min}$ es el valor más bajo del quinto percentil de la resistencia a flexión de la muestra; $E_{0,mean,k}$, es el valor característico medio del módulo de elasticidad de la población; \bar{E} es el valor medio del módulo de elasticidad de la muestra; \bar{E}_{min} es el valor medio más bajo del módulo de elasticidad de la muestra; ρ_k es el valor característico de la densidad de la población; $\rho_{0.05}$ es el quinto percentil de la densidad de la muestra; $\rho_{0.05,min}$ es el valor más bajo del quinto percentil de la densidad de todas las muestras; n_s es el número de muestras; n_i es el número de probetas por muestra; y k_n es el factor de ajuste debido al número de probetas.

3.3. Propuesta de calidades visuales y límites de las singularidades

En el presente informe se presenta el análisis de los datos considerando una calidad visual para madera aserrada de frondosas denominada EF1. La Tabla 2 presenta la propuesta de especificaciones de las singularidades de la madera para esta calidad visual EF1 de piezas de sección rectangular (media 33x90 mm) de madera de *Eucalyptus grandis* de procedencia uruguaya.

Tabla 2. Especificaciones para la clasificación visual de piezas de sección rectangular (33x90mm) de *Eucalyptus grandis* de acuerdo a la calidad visual EF1

CRITERIOS DE CALIDAD	CALIDAD VISUAL EF1
Diámetro de los nudos (d) sobre la cara (h)	$d \leq 2/3 h$
Diámetro de los nudos (d) sobre el canto (b)	$d \leq 2/3 b$
Presencia de médula	No Permitida
Dirección de las fibras	Desviación menor que 1:9
Anchura máxima de los anillos de crecimiento	-
Fendas de secado pasantes / Rajaduras	Sólo se permiten en los extremos y su largo no debe ser mayor que el espesor de la tabla
Fendas de secado no pasantes / Grietas	$\leq 1,0 m$ ó $\leq (1/4)L$
Fendas/Fisuras de rayo, heladura o abatimiento	No permitidas
Otros: daños mecánicos, presencia de kino y otros	Se limitan por analogía con alguna característica similar
Madera de reacción: tracción	-
Arista faltante	$\leq (1/4) b$; $o \leq (1/4) h$
Alteraciones biológicas:	
- Hongos cromógenos	Permitido
- Hongos de pudrición	No permitido
- Galerías de insectos	Diámetro de los orificios < 2 mm
Deformaciones:	
- Curvatura de cara, combado o arqueadura	$\leq 8 mm$
- Curvatura de canto o encorvadura	$\leq 8 mm$
- Alabeo o torcedura	$\leq 1,0 mm$ por cada 25 mm de h
- Abarquillado o acanaladura	-

De acuerdo al criterio de clasificación visual presentado en la Tabla 2, las piezas pertenecientes a las dos muestras estudiadas y para la sección definida, fueron clasificadas como madera estructural de *E. grandis* con una calidad visual EF1. La Tabla 3 muestra el número de piezas clasificadas y el porcentaje de rechazo para dicha calidad.

Tabla 3. Número de piezas clasificadas, rechazadas y porcentaje de rechazo en función de la procedencia y sección para la calidad visual EF1

Muestra	Clasificadas EF1	Rechazadas	% de rechazo
M1	40	11	21
M2	19	64	77
Total	59		

4. Valores característicos de las propiedades

En la Tabla 4 se presentan los valores característicos de población estudiada de *E. grandis*, clasificada visualmente como EF1 para su uso en el cálculo estructural, en base a los resultados experimentales de las dos muestras estudiadas. Estos valores característicos son válidos para piezas sometidas a cargas perpendiculares a sus cantos. La Tabla 5 muestra los valores de ensayo de la calidad EF1 para cada una de las muestras estudiadas. La Tabla 6 presenta los valores característicos de la población de *E. grandis* clasificada como EF1 y su relación con la clase resistente asignada (C20).

Tabla 4. Valores característicos de las propiedades de la madera estructural de *E. grandis* clasificada visualmente como EF1

Propiedad	Valor característico
Resistencia característica a flexión, $f_{m,k}$ (MPa)	21,4
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra, $E_{0,mean,k}$ (MPa)	11,96
Densidad media, ρ_{mean} (kg/m ³)	519
5° percentil de la densidad, ρ_k (kg/m ³)	386

Tabla 5. Valores de ensayo por muestra de la calidad visual EF1 calculados según el método paramétrico

Especie	<i>E. grandis</i>		
	M1	M2	
Muestra	Empresa Rivera	Empresa Durazno	
Procedencia	EF1	EF1	
Calidad visual	40	19	
Número de probetas de cada muestra	90	90	
Ancho (mm)	36	30	
Espesor (mm)	15,2	13,0	
Contenido de humedad de ensayo	Contenido de humedad medio de ensayo de cada muestra H (%)	6,8	7,8
	Coefficiente de variación del contenido de humedad, COV (%)	43,9	54,2
Resistencia a flexión corregida por k_h y k_l *	Resistencia a flexión media corregida de la muestra (MPa)	22,1	30,2
	Coefficiente de variación de la resistencia a flexión, COV (%)	27,3	25,8
	Valor del quinto percentil de la resistencia a flexión de la muestra, $f_{05,i}$ (MPa)	12,13	14,11
Módulo de elasticidad corregido por H* (GPa)	Valor medio del módulo de elasticidad paralelo a la fibra de cada muestra, \bar{E}_t (GPa)	17,3	17,5
	Coefficiente de variación del módulo de elasticidad, COV (%)	474	614
Densidad corregida por H* (kg/m ³)	Valor medio de la densidad (kg/m ³)	8,2	12,1
	Coefficiente de variación de la densidad, COV (%)	403	469
	Valor del quinto percentil de la densidad, $\rho_{k,05,i}$ (kg/m ³)		

*Coefficientes de corrección: k_h , k_l y contenido de humedad (H), según las ecuaciones definidas en el capítulo 3.2. del presente documento

Tabla 6. Valores característicos de la calidad EF1 y relación con los requisitos de la clase resistente C20 definida en la norma EN 338 (AENOR 2016b)

Propiedad	Ecuación	Valor
Resistencia a flexión característica (MPa)	$1,2 f_{05,i,min}$	30,99
	$\frac{\sum_{i=1}^{ns} n_i f_{05}}{n}$	26,81
	k_n	0,8
	f_k	21,45
	Requisito de la clase resistente C20	20
Módulo de elasticidad característico (GPa)	$1,1 \bar{E}_{i,min}$	13,10
	$\frac{\sum_{i=1}^{ns} n_i \bar{E}_i}{n}$	12,49
	k_n	0,91
	$E_{0,mean,k}$	11,96
	0,95 del requisito de la clase resistente C20	9,02
Densidad característica (Kg/m ³)	$1,1 \rho_{05,i,min}$	443
	$\frac{\sum_{i=1}^{ns} n_i \rho_{05,i}}{n}$	424
	k_n	0,91
	ρ_k	386
	Requisito de la clase resistente C20	330

5. Discusión y conclusiones

Los criterios de la calidad visual EF1 se tomaron teniendo en cuenta el menor número de rechazo posible (21% en la muestra M1 y 77% en la muestra M2), y que los límites de clasificación no fueran demasiado restrictivos. La principal singularidad que definió la calidad visual fue la nudosidad.

A la madera clasificada visualmente como EF1 se le podría asignar las propiedades físico-mecánicas de la clase resistente C20 de la norma europea EN 338 (AENOR 2016b), aunque los valores de resistencia a flexión, módulo de elasticidad y densidad de la calidad EF1 son 7%, 25% y 14% mayores a los respectivos valores de la clase resistente C20. Esto significa que el valor que limita la clase resistente es la resistencia a flexión, mientras que el módulo de elasticidad es equivalente al de una clase C27 o una clase D30, y la densidad similar a la de una clase C24, no clasificando en las clases D.

El alto porcentaje de rechazo de la muestra M2 se debe a que la madera ensayada fue donada por la empresa y correspondía a piezas de descarte para su uso en carpintería, mientras que la muestra M1 procedía de piezas vendidas por la empresa, según clasificación propia, para uso estructural.

El número de muestras estudiadas incide de manera significativa en la asignación del valor característico de las propiedades y se observó que los valores característicos de las propiedades

fueron mayores considerando las dos muestras estudiadas en el análisis, que tomando únicamente los valores de la muestra M1.

Bibliografía

Domenech L., Baño V., O'Neill H., y Moya L. (2017). Informes Técnicos de Normalización de Madera Estructura. Informe 1. Madera aserrada de *Pinus elliottii/taeda*

AENOR (2016) UNE-EN 338. Madera estructural. Clases resistentes

AENOR (2016) UNE-EN 384. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad

CEN (2016) UNE-EN 14358. Estructuras de madera. Determinación y verificación de los valores característicos

UNIT 1261 (2018). Madera aserrada de uso estructural. Clasificación visual. Madera de pino taeda y pino elliotti (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*)

Anexo A: Distribuciones de muestras de cada propiedad

Se presentan a continuación los gráficos de los histogramas de las propiedades físico-mecánicas de la calidad visual EF1 para cada muestra y para la población. En color rojo se muestra la frecuencia de valores menores al promedio del módulo de elasticidad y menor al quinto percentil de la resistencia a flexión y de la densidad y en color azul la frecuencia de valores mayores.

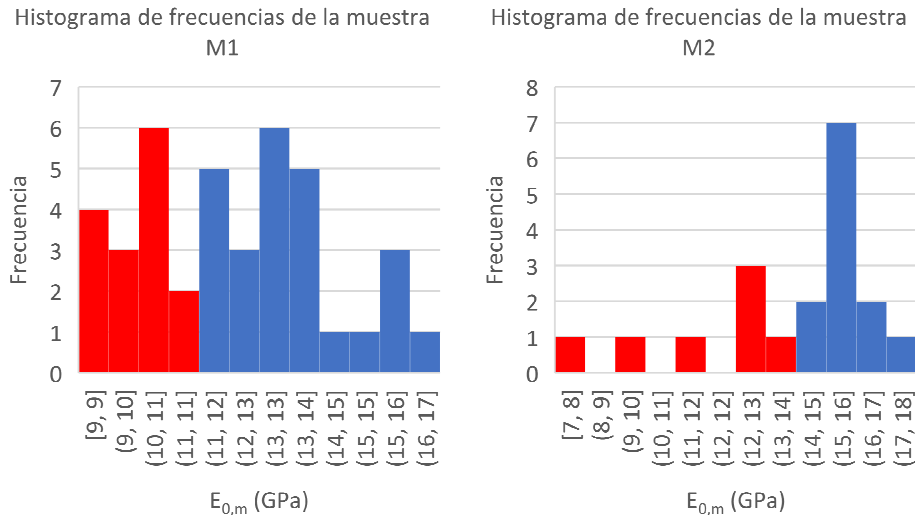


Gráfico A1. Histograma de módulo de elasticidad paralelo a la fibra de las muestras M1 y M2 de la calidad visual EF1

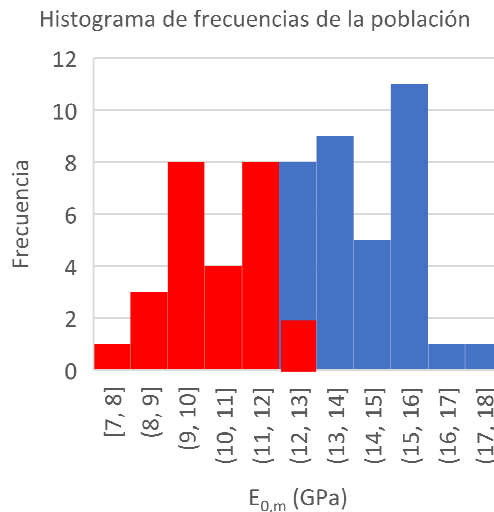


Gráfico A2. Histograma de módulo de elasticidad paralelo a la fibra de la población de la calidad visual EF1

INFORMES TÉCNICOS DE NORMALIZACIÓN DE MADERA ESTRUCTURAL
 Número 2: Madera aserrada de *Eucalyptus grandis*

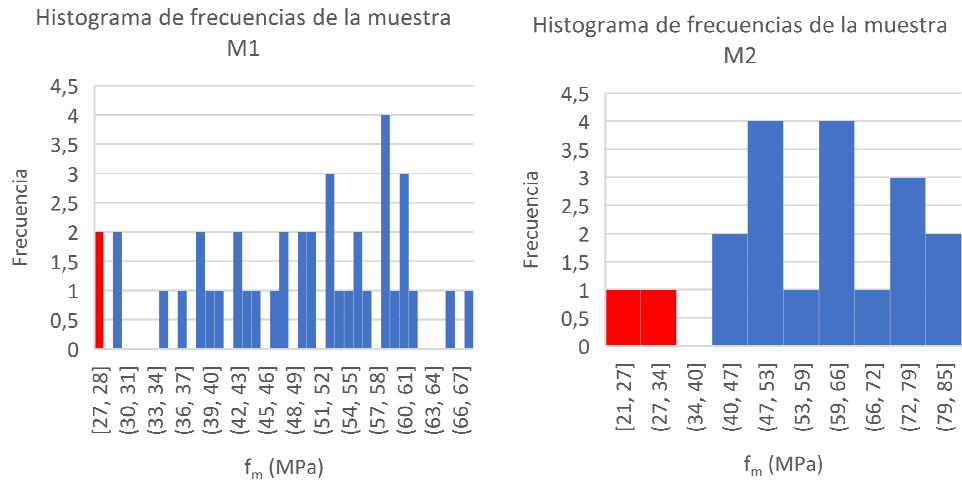


Gráfico A3. Histograma de resistencia a flexión de las muestras M1 y M2 de la calidad visual EF1

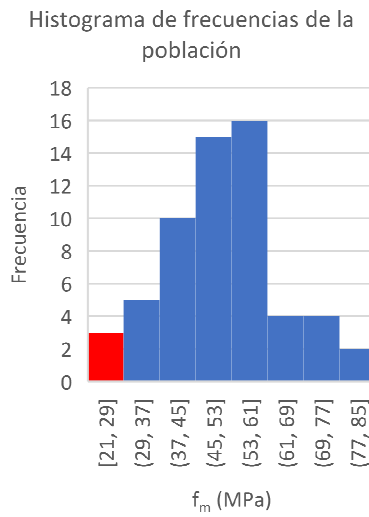


Gráfico A4. Histograma de resistencia a flexión de la población de la calidad visual EF1

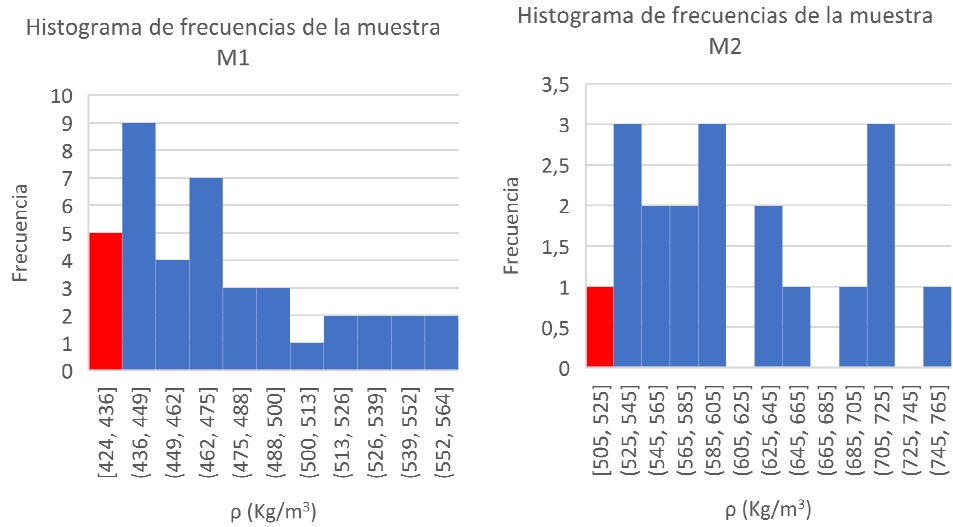


Gráfico A5. Histograma de densidad de las muestras M1 y M2 de la calidad visual EF1

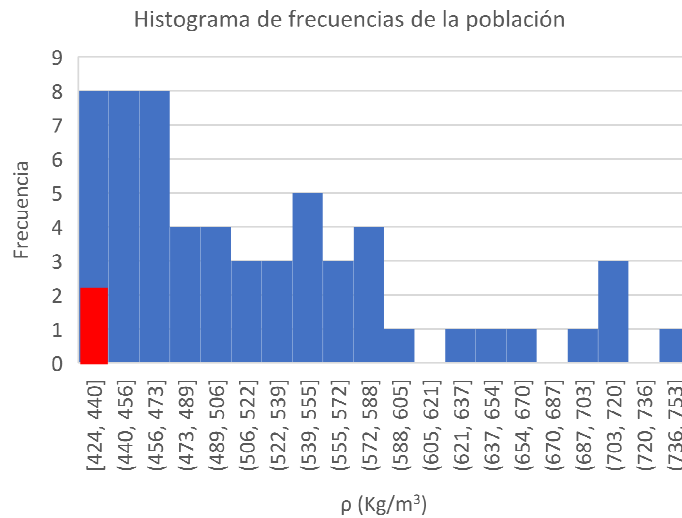


Gráfico A6. Histograma de densidad de la población de la calidad visual EF1