



## ESTADO DEL ARTE DE LA CLASIFICACIÓN MECÁNICA CON EQUIPOS HOMOLOGADOS PARA SU USO SEGÚN EN 14081

## STATE OF THE ART OF THE MACHINE GRADE USING HOMOLOGATED EQUIPMENT FOR USE ACCORDING TO EN 14081

Baño, Vanesa <sup>(1)\*</sup>; Villanueva, José Luis <sup>(2)</sup>; Lafuente, Edgar <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Dr. Ing. CESEFOR. Soria, España / Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay

<sup>(2)</sup> Ing Montes. CESEFOR. Soria, España

\* Contacto: [vanesa.bano@cesefor.com](mailto:vanesa.bano@cesefor.com)

CÓDIGO: 4695807

### Resumen

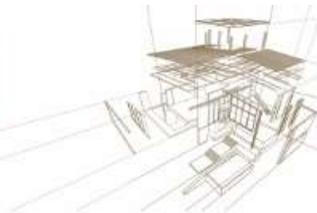
La normativa europea (EN) de madera estructural permite su clasificación según métodos visuales o métodos mecánicos. La clasificación visual establece las calidades de una especie, o combinación de especies, en función en su procedencia, con normas propias de cada país. Estas calidades se relacionan con sus correspondientes clases resistentes en la norma europea EN 1912. El equivalente a esta norma en la clasificación mecánica era, hasta el año 2016, la EN 14081-4, que establecía las clases resistentes para las distintas especies y procedencias en función de los parámetros "IP" medidos con diferentes equipos no destructivos homologados. Actualmente dicha norma está anulada por la EN 14081-1 (2016) y la homologación de cada equipo comercial no destructivo depende de los Informes de Clasificación Aprobados (AGR) que realiza el comité europeo de normalización CEN/TC 124. Dado que ya no existe una norma que relacione las clases resistentes con las técnicas de clasificación para las diferentes especies y procedencias, el presente trabajo presenta el estado del arte en la clasificación mecánica de acuerdo con la normativa europea, haciendo referencia a los diferentes equipos no destructivos, homologados para su uso según la norma EN 14081. Asimismo, se identifican algunas de las especies y procedencias clasificadas según las máquinas de clasificación homologadas.

Palabras-clave: *clasificación mecánica estructural, NDT, homologación, EN 14081*

### Abstract

European standards (EN) propose two methods for grading structural timber: visual and machine grading. Visual grading establishes grades of one or several species depending on the provenance and using standards which are specific to each country. Mechanical properties of the visual grades are related to those of the strength classes according to EN 1912. Its corresponding standard for machine grading was, up to 2016, EN 14081-4. The strength classes were assigned to the species depending on the identification parameters (IP), measured using different homologated non-destructive equipment. Currently, this standard is derogated by EN 14081-1 (2016) and the homologation of the commercial equipment depends on the Approved Grading (AGR) emitted by the European Committee of Standardization CEN/TC124. Since there is not a standard which related the strength classes with the grading machines for different species and provenances, present work presents the state of the art in grading machine according to European standards and identify the homologated non-destructive equipment. In addition, some of the species and provenances graded according to the homologated machine are identified.

Keywords: *structural machine grade, NDT, homologation, EN 14081*



## 1. INTRODUCCIÓN

La normativa europea (EN) de madera estructural permite su clasificación según métodos visuales o mediante clasificación por máquina (AENOR, 2016a). La clasificación visual establece las calidades de una especie, o combinación de especies, en función en su procedencia a partir de normas propias de cada país. Las calidades visuales se asignan a sus correspondientes clases resistentes en la norma EN 1912 (AENOR, 2012b), cuyos valores característicos de sus propiedades físico-mecánicas se presentan en la norma EN 338 (AENOR, 2016b). A partir de estos resultados se elabora un informe que debe ser evaluado por el Cuerpo Técnico 124 del Comité Europeo de Normalización (CEN/TC124), y documentarse como Informes de Clasificación Aprobados (AGR). El objeto de los AGR es el de aportar la documentación necesaria para la certificación por un organismo certificado de control de la producción en fábrica (CPU) de un fabricante y poder obtener así el marcado CE, obligatorio en Europa para la comercialización y uso de madera estructural.

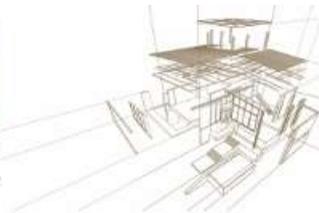
El equivalente a esta norma en la clasificación por máquina de la resistencia era, hasta el año 2016, la EN 14081-4 (CEN, 2009), que establecía las clases resistentes para las distintas especies y procedencias clasificadas mediante el sistema de máquina controlada. Actualmente dicha norma está anulada por la EN 14081-1 (2016) y la homologación de cada equipo comercial no destructivo depende de los Informes de Clasificación Aprobados (AGR) que realiza el comité europeo de normalización CEN/TC 124.

La clasificación mecánica puede realizarse conforme al sistema de “control de la producción” o de “máquina controlada”. En el sistema de “máquina controlada” la máquina de clasificación usa los ajustes publicados en la norma EN 14081-4 (CEN, 2009). Al igual que en la clasificación visual, es necesario realizar ensayos de rotura de las vigas para identificar los ajustes correctos para una especie o una procedencia definida. Así, el clasificador usa el equipo tal y como viene ajustado de fábrica y no puede modificar ningún ajuste. Para este tipo de operación es crucial que todas las máquinas de clasificación del mismo tipo operen con los mismos límites definidos. En el sistema de control de la producción, la salida del proceso de clasificación se verifica de manera continua. Es decir, diferentes máquinas del mismo tipo pueden dar diferentes resultados porque cada una es verificada de forma independiente y cada instalación tiene sus propios ajustes (Bacher, 2008).

El primero es más apropiado para máquinas ubicadas en aserraderos con un número limitado de tamaños, especies y calidades, controlando el sistema a partir del ensayo de probetas extraídas de la producción diaria. El método de “máquina controlada” se desarrolló posteriormente porque, debido a la gran variedad de tamaños, especies y calidades existentes a nivel internacional, no era posible realizar ensayos de control sobre las piezas extraídas de la producción. Este sistema depende de que las máquinas de clasificación estén ajustadas y controladas y desarrollando investigación para definir parámetros que sean constantes para todas las máquinas de un mismo tipo. El ajuste de las máquinas según este segundo sistema de clasificación se realiza de acuerdo con la norma EN 14081-2 (AENOR, 2015) y el CEN/TC124 evalúa las máquinas de clasificación y los ajustes aplicados.

Además, para ambos sistemas, el fabricante debe declarar la conformidad de la madera estructural clasificada por máquina según su resistencia mediante la determinación de las propiedades físico-mecánicas de la madera basada en ensayos iniciales de tipo (AENOR, 2015) y de control de la producción en fábrica (AENOR, 2012a).

Dado que ya no existe una norma que relacione las clases resistentes con las técnicas y las máquinas de clasificación para las diferentes especies y procedencias, el presente trabajo presenta un breve estado del arte en la clasificación mecánica de acuerdo con la normativa europea, presentando un listado de las máquinas de clasificación homologadas actualmente en el mercado



europeo para su uso según la norma EN 14081. Asimismo, se identifican algunas de las especies y procedencias clasificadas según estas máquinas homologadas.

## 2. METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN

Los siguientes apartados describen de manera muy resumida las distintas fases del proceso de caracterización de clasificación mecánica mediante el sistema de “máquina controlada”, resumido de forma gráfica en la Figura 1.

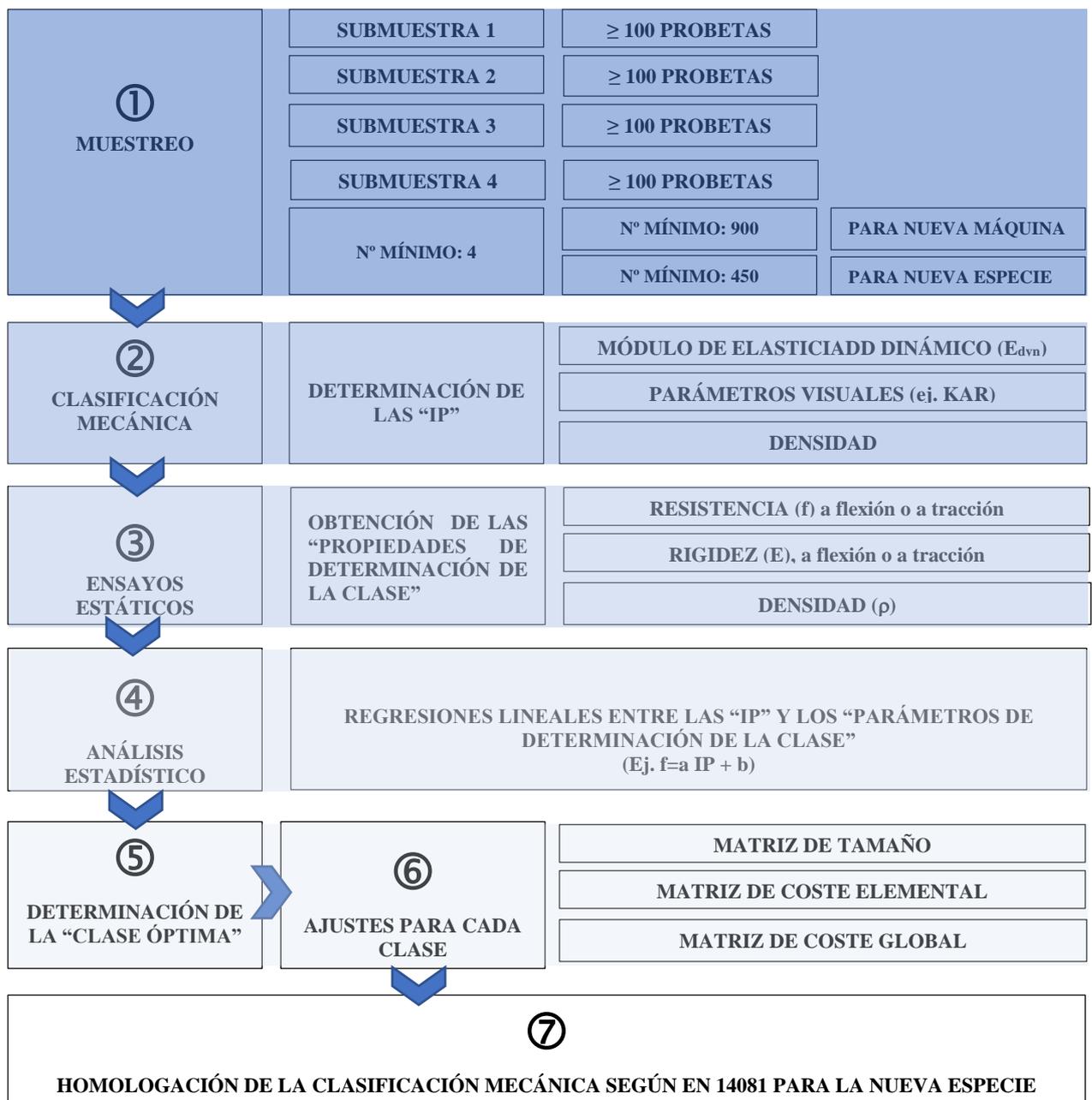
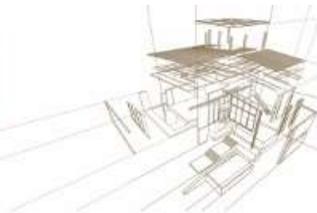


Figura 1. Esquema de las fases del proceso de clasificación mecánica



## 2.1. Muestreo

Con el fin de realizar los ajustes de un nuevo tipo de máquina y/o una nueva especie, combinación de especies o procedencias, la muestra debe estar formada por un mínimo de 4 submuestras y cada submuestra debe contener un mínimo de 100 piezas ensayadas. El número mínimo de piezas totales o probetas de ensayo en una muestra debe ser 900 cuando se quiere homologar una nueva máquina o 450 cuando se quieran calcular los ajustes correspondientes a nuevas especies en una máquina ya homologada para otras.

## 2.2. Clasificación mecánica y determinación de las “IP”

Dado que hay gran variedad de máquinas, técnicas y especies, el sistema de “máquina controlada” identifica los parámetros medidos con el nombre de “propiedad indicadora” (IP, del inglés *Indicator Properties*), que dependerá de la técnica que emplee cada máquina. La IP se corresponde con una propiedad o combinación de propiedades físico-mecánicas obtenidas en una máquina específica de clasificación. Las IP habitualmente medidas son el módulo de elasticidad dinámico, la densidad y el coeficiente de nudosidad (KAR), (Ranta-Maunus, Denzler, & Stapel, 2011). Se admite que las máquinas no midan la densidad. Si la densidad no es la propiedad que determina la clase, debe calcularse según las ecuaciones de la EN 384 (AENOR, 2016c). Dado que las máquinas de clasificación miden las IP de manera diferente (a veces usando un algoritmo conocido solo para la configuración del fabricante de la máquina) también la configuración es exclusiva de cada máquina. Así, la madera no se puede clasificar correctamente con la configuración de otra región, incluso si la especie es la misma (Ridley-Ellis, Stapel, & Baño, 2016).

## 2.3. Ensayos estáticos y “propiedades de determinación de la clase”

Una vez determinados los IP con las máquinas de clasificación, deben ensayarse estáticamente las probetas de la muestra con el fin de determinar los valores de resistencia, rigidez y densidad, de acuerdo con la norma EN 408 (AENOR, 2011). Habitualmente se determinan los valores de resistencia y módulo de elasticidad a flexión, aunque la tendencia es a obtener también los de tracción paralela a la fibra. Los valores característicos se calculan según la norma EN 384 (AENOR, 2016c) o la EN 14081 (AENOR, 2012a), según se trate de madera aserrada o laminada encolada, respectivamente.

## 2.4. Relación entre las “IP” y las “propiedades de determinación de la clase”

Las IP medidas con las máquinas de clasificación se relacionan mediante regresiones lineales con las propiedades de determinación de la clase. Se buscan todas las combinaciones posibles de regresiones lineales que relacionen los parámetros medidos con las máquinas de clasificación ( $E_{dyn}$  y/o KAR y/o densidad, normalmente) con las propiedades de determinación de la clase (resistencia a flexión o a tracción, módulo de elasticidad a flexión o tracción y densidad).

## 2.5. Determinación de la clase óptima y ajuste para cada clase

Las piezas se clasifican inicialmente según las “propiedades de determinación de la clase” en la mayor calidad posible, buscando la “calidad óptima”, y con un número mínimo de 20 piezas en cada clase asignada. La norma EN 14081-2 (AENOR, 2015) propone un procedimiento de asignación de la calidad óptima. A continuación, se clasifican las piezas según la “IP”, con el fin de determinar las “clases asignadas”, que debe contener también un número mínimo de 20 piezas por clase asignada. Con la muestra completa se elabora una “matriz de tamaño”, que indica el número de piezas en cada una de las clases óptimas y asignadas.



Es necesario demostrar que la máquina de clasificación es capaz de asignar correctamente una pieza a su clase resistente en base a las tres propiedades fundamentales (resistencia, rigidez y densidad). Por este motivo, la asignación de demasiadas piezas a un grado equivocado se evita calculando la “matriz de coste global” (Rouger, 1997). Esta se calcula mediante operaciones matemáticas entre cada celda de la matriz de tamaño y los valores propuestos por la norma en las celdas de la “matriz de coste elemental”, que aporta los coeficientes de ponderación que no fueron clasificadas correctamente permitiendo determinar si la clasificación es aceptable.

Así, la matriz de coste global relaciona la clase óptima con la asignada mediante la determinación de las IP. Para asegurarse que ninguna de las probetas clasificadas en la clase superior fue incorrectamente clasificada mediante las máquinas de clasificación los valores correspondientes a cada celda deben ser mayores que 0,2. Se debe hacer igualmente un análisis de las potenciales piezas incorrectamente clasificadas en la clase inferior.

## 2.6. Requisitos de control visual complementarios

Es necesario realizar un control visual de inspección para asegurarse que la resistencia no se ve reducida por “defectos” que no pueden ser automáticamente identificados por la máquina de clasificación (Ridley-Ellis, Stapel, & Baño, 2016).

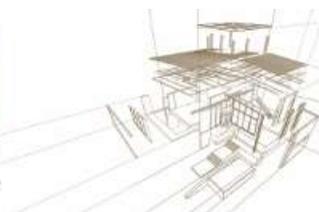
Cada pieza de madera clasificada mecánicamente debe estar conforme con unos requisitos de control de calidad visual complementarios. La norma EN 14081-1 (AENOR, 2016a) establece diferentes límites para la presencia de estas singularidades visuales en función de si se trata de madera de clases resistentes bajas (C18, D18, T11 e inferiores) o altas (superiores a las anteriores). Los límites admitidos para estas singularidades se presentan en de dicha norma, considerando madera de rechazo todas las piezas que tengan singularidades que superen esos límites.

## 2.7. Marcado

La madera estructural clasificada mecánicamente por su resistencia debe marcarse individualmente en cada una de las piezas, incluyendo la siguiente información: 1) identificación del fabricante; 2) símbolo “M” por tratarse de madera clasificada mecánicamente; 3) símbolo “DG” para madera clasificada en seco; 4) número de código que identifica el producto en la documentación de acompañamiento definida en la norma EN 14081-1 (AENOR, 2016a); y 5) valores de módulo de elasticidad medio, resistencias a flexión, tracción, compresión, esfuerzo cortante y densidad, o asignación de clase resistente.



Figura 2. Ejemplo de marcado de una clase resistente “C30” de la empresa INNODURA, Francia ([www.innodura.fr](http://www.innodura.fr))



### 3. MÁQUINAS DE CLASIFICACIÓN MECÁNICA POR RESISTENCIA HOMOLOGADAS SEGÚN EN 14081

Los fabricantes de máquinas de clasificación deben aportar información sobre el tipo de funcionamiento, el software usado para la clasificación y las condiciones ambientales de trabajo y los métodos de calibración, entre otras. Con respecto a la madera, deben especificar para qué especies está calibrada y homologada la máquina, con qué contenidos de humedad, qué asignación de clases resistentes para cada especie, así como la velocidad de clasificación y los límites de deformación de la madera (en las que realizan ensayos de flexión estática). Es decir, cada máquina se homologa para una determinada especie y procedencia (o grupo de especies) y para unas determinadas clases resistentes.

Según la técnica empleada, las máquinas de clasificación podrían agruparse en los siguientes grandes grupos: ensayos de flexión estática; rayos X; acústica por resonancia; acústica por ultrasonido; y escáner óptico, más sus combinaciones entre ellos.

La Tabla 1 recoge las máquinas de clasificación estática homologadas, así como las especies y procedencias identificadas en la norma EN 14081-4 (CEN, 2009), actualmente en derogada.

Tabla 1: Máquinas homologadas para clasificación mecánica según técnicas de flexión estática

TÉC.	M.	MÁQUINA	FABRICANTE	Especies y procedencias	Ref.
Flexión estática	Módulo de elasticidad a flexión	COOK-BOLINDER	Techmach Ltd., UK	<i>Picea abies</i> (UK, IRLANDA, ESTONIA, FINLANDIA, LATVIA, NORUEGA, RUSIA, SUECIA Y POLONIA); <i>Picea sitchensis</i> (UK, IRLANDA); <i>Pinus nigra</i> (UK, IRLANDA); <i>Pinus sylvestris</i> (UK, IRLANDA, FINLANDIA, NORUEGA, SUECIA, LETONIA, ESPAÑA); <i>Pinus radiata</i> (CHILE); <i>Pinus sylvestris</i> (FINLANDIA, NORUEGA, SUECIA, LETONIA); <i>Pinus nigra</i> (ESPAÑA)	(CEN, 2009)
		COMPUTERMATIC MICROMATIC	Process Control Ltd., UK <a href="http://www.mpcuk.co.uk">www.mpcuk.co.uk</a>	<i>Picea abies</i> (UK, IRLANDA, FINLANDIA, NORUEGA, SUECIA, ESTONIA, LETONIA, RUSIA Y POLONIA); <i>Picea sitchensis</i> (UK, IRLANDA, NORUEGA); <i>Pinus nigra</i> (UK, IRLANDA); <i>Pinus sylvestris</i> (UK, IRLANDA, FINLANDIA, NORUEGA, SUECIA, LETONIA); <i>Pinus radiata</i> (CHILE)	
		RAUTE TIMGRADER MACHINE	VTT, Finlandia	<i>Picea abies</i> (FINLANDIA, NORUEGA, SUECIA, ESTONIA, LETONIA, RUSIA Y POLONIA)	
		CRP	JRTINC <a href="http://www.jrtinc.com">www.jrtinc.com</a>	ESPECIES EUROPEAS (sin definir)	<a href="http://www.jrtinc.com">www.jrtinc.com</a>

donde, TÉC. Es la técnica de medición utilizada, M. la propiedad que estima la máquina y Ref. la referencia bibliográfica



El listado de máquinas homologadas para clasificación mecánica según el resto de las técnicas fue obtenido del informe redactado por Ridley-Ellis (Ridley-Ellis, 2017). Las especies y países de procedencia clasificados según las diferentes máquinas que se listan en las Tablas 2, 3, 4, 5, 6 y 7 no pretende ser un listado exhaustivo de las especies y procedencias clasificadas por máquinas homologadas, sino simplemente mostrar una idea de sobre qué especies y con qué máquinas se ha trabajado en clasificación mecánica en los últimos años. La mayoría de las máquinas están diseñadas para la clasificación de la madera en la línea de producción, aunque hay algunas que disponen de equipos portátiles o manuales.

Tabla 2: Máquinas homologadas para clasificación mecánica según técnica de flexión acústica por resonancia longitudinal, sin densidad

TÉC	M	MÁQUINA	FABRICANTE	Especies y procedencias	Ref.
Acústica por resonancia longitudinal, sin densidad	Módulo de elasticidad dinámico	DYNAGRAD E	DYNALYSE, Suecia <a href="http://www.dynalyse.com">www.dynalyse.com</a>	<i>Picea abies</i> (FINLANDIA, NORUEGA, SUECIA, ESTONIA, LETONIA, RUSIA Y POLONIA); <i>Pinus sylvestris</i> (FINLANDIA, NORUEGA, SUECIA, LETONIA); <i>Picea sitchensis</i> (NORUEGA)	(CEN, 2009)
		VISCAN*	MICROTEC, Italia <a href="http://www.microtec.eu">www.microtec.eu</a>	<i>Picea abies</i> (ALEMANIA, AUSTRIA, REPÚBLICA CHECA, FINLANDIA, NORUEGA, SUECIA, ESTONIA, LETONIA, RUSIA Y POLONIA); <i>Abies alba</i> (ALEMANIA, AUSTRIA Y REPÚBLICA CHECA)	(CEN, 2009)
		MTG 920, 922, 926	BROOKHUIS, Holanda <a href="http://www.brookhuis.com">www.brookhuis.com</a>	<i>Picea abies</i> y <i>Abies alba</i> (SUIZA, FRANCIA, POLONIA, RUMANÍA SUECIA, ESLOVENIA, ESLOVAQUIA, UCRANIA, ESTONIA); <i>Pinus sylvestris</i> (FINLANDIA, FRANCIA, POLONIA, RUSIA, SUECIA); <i>Pseudotsuga menziesii</i> (FRANCIA)	(Ranta-Maunus et al., 2011) (Auvergne_Promobois, 2012)
		Escan FWM/FW	WEINIG, Alemania <a href="http://www.weinig.com/en/solid-wood/scanner-systems/escan/escan.html">www.weinig.com/en/solid-wood/scanner-systems/escan/escan.html</a>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (FRANCIA); <i>Picea excelsa</i> (FRANCIA)	(Roblot & Bléron, 2010)
		ROSEGRADE	ROSÉNS <a href="http://www.rosenia.se">www.rosenia.se</a>	<i>Picea abies</i> y <i>Abies alba</i> (SUIZA, FRANCIA, POLONIA, RUMANÍA SUECIA, ESLOVENIA, ESLOVAQUIA, UCRANIA) <i>Pinus sylvestris</i> (FINLANDIA, FRANCIA, POLONIA, RUSIA, SUECIA)	(Ranta-Maunus et al., 2011)
		STIG	ILKON <a href="http://www.ilkon.si">www.ilkon.si</a>	Slovenian spruce (ESLOVENIA)	

donde, TÉC. Es la técnica de medición utilizada, M. la propiedad que estima la máquina y Ref. la referencia bibliográfica



Los equipos mostrados en la Tabla 2 miden únicamente valores de frecuencia longitudinal de vibración. A partir de este valor se calcula el módulo de elasticidad dinámico, asumiendo un valor de densidad constante para cada especie y se definen las propiedades indicadoras obtenidas con cada máquina. A modo de ejemplo, Ranta-Maunus et al. (2011) definieron una única propiedad indicadora que relaciona la medida tomada con el equipo ROSEGRADE (Roséns) con la resistencia a flexión, mientras que definieron tres propiedades indicadoras en el equipo MTG (Brookhuis) para relacionar los parámetros medidos con las tres propiedades de determinación de la clase (resistencia, rigidez y densidad).

Tabla 3: Máquinas homologadas para clasificación mecánica según técnica de flexión acústica por resonancia longitudinal, con densidad

TÉC	M.	MÁQUINA	FABRICANTE	Especies y procedencias	Ref.
Acústica por resonancia longitudinal, con densidad	Módulo de elasticidad y densidad	MTG 960, 962, 966	<b>BROOKHUIS,</b> Holanda <a href="http://www.brookhuis.com">www.brookhuis.com</a>	<i>Picea abies</i> (ALEMANIA, ITALIA, ESLOVENIA, AUSTRIA, FINLANDIA, NORUEGA, SUECIA, RUSIA, SUIZA, POLONIA, UCRANIA, RUMANÍA, ESLOVAQUIA, ESLOVENIA, FRANCIA, ESTONIA); <i>Pinus sylvestris</i> y <i>Picea abies</i> (SUIZA, SLOVENIA, POLONIA, UCRANIA, FINLANDIA, RUSIA, SUECIA, RUMANÍA, ESLOVAQUIA, FRANCIA); <i>Sitka spruce</i> y <i>Pseudotsuga menziesii</i> (FRANCIA); en proceso de evaluación: <i>Pinus radiata</i> , <i>Larix kaemferi</i> (ESPAÑA)	(CEN, 2009) (Auvergne_Promobois, 2012) (CESEFOR, 2019)
		ESCAN FWM/FW	<b>WEINIG,</b> Alemania <a href="http://www.weinig.com">www.weinig.com</a>	<i>Picea abies</i> y <i>Abies alba</i> (SUIZA, FRANCIA, POLONIA, RUMANÍA, SUECIA, ESLOVENIA, ESLOVAQUIA, UCRANIA, ESTONIA); <i>Pinus sylvestris</i> (FINLANDIA, FRANCIA, POLONIA, RUSIA, SUECIA); <i>Sitka spruce</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> (FRANCIA)	(Ranta-Maunus et al., 2011) (Auvergne_Promobois, 2012)
		*XYLOCLASS T	<b>XYLOMECA,</b> Francia <a href="http://www.xylomeca.fr">www.xylomeca.fr</a>	<i>Abies alba</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Sitka spruce</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> , <i>Pinus pinaster</i> (FRANCIA)	(Auvergne_Promobois, 2012)
		VISCAN PLUS, VISCAN COMPACT, VISCAN portable con balanza	<b>MICROTEC,</b> Italia <a href="http://www.microtec.eu">www.microtec.eu</a>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (ALEMANIA); <i>Abies alba</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Sitka spruce</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> , <i>Pinus pinaster</i> (FRANCIA)	(Rais, Pretzsch, & Van De Kuilen, 2014) (Auvergne_Promobois, 2012)
		E-CONTROL, AC	<b>INNODURA,</b> Francia <a href="http://www.innodura.fr">www.innodura.fr</a>	<i>Abies alba</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> (FRANCIA)	<a href="http://www.xylomeca.fr">www.xylomeca.fr</a>
		ROSEGRADE PLUS	<b>ROSÉNS</b> <a href="http://www.rosenia.se">www.rosenia.se</a>	<i>Picea abies</i> y <i>Abies alba</i> (SUIZA, FRANCIA, POLONIA, RUMANÍA, SUECIA, ESLOVENIA, ESLOVAQUIA, UCRANIA); <i>Pinus sylvestris</i> (FINLANDIA, FRANCIA, POLONIA, RUSIA, SUECIA)	(Ranta-Maunus et al., 2011)

donde, TÉC. Es la técnica de medición utilizada, M. la propiedad que estima la máquina y Ref. la referencia bibliográfica

\* Ya no se fabrica ni se comercializa



Tabla 4: Máquinas homologadas para clasificación mecánica según otras técnicas acústicas

TÉC.	M.	MÁQUINA	FABRICANTE	Especies y procedencias	Ref.
Frecuencia de onda transversal o de flexión	Módulo de elasticidad dinámico	NOESYS	SARL Esteves, Francia	<i>Picea abies, Abies alba, Pseudotsuga menziesii</i> (FRANCIA)	(Auvergne_Pro_mobois, is,
		*XYLOCLASS F	XYLOMECA, Francia <a href="http://www.xylomeca.fr">www.xylomeca.fr</a>		
Velocidad de onda de ultrasonido		TRIOMATIC	CBS-CBT, Francia <a href="http://www.cbs-cbt.com">www.cbs-cbt.com</a>	<i>Picea abies y Abies alba</i> (SUIZA, FRANCIA, POLONIA, RUMANÍA, SUECIA, ESLOVENIA, ESLOVAQUIA, UCRANIA, ESTONIA); <i>Pinus sylvestris</i> (FINLANDIA, FRANCIA, POLONIA, RUSIA, SUECIA); <i>Pseudotsuga menziesii</i> (FRANCIA)	(Ranta-Mannus et al., 2011) (Jean-Luc & Yann, 2007) (Auvergne_Promobois, 2012)

donde, TÉC. Es la técnica de medición utilizada, M. la propiedad que estima la máquina y Ref. la referencia bibliográfica  
\* Ya no se fabrica ni se comercializa

Tabla 5: Máquinas homologadas para clasificación mecánica según la técnica de Rayos X

TÉC.	M.	MÁQUINA	FABRICANTE	Especies y procedencias	Ref.
Rayos X	Densidad, tamaño y posición de los nudos	EURO-GRECOMAT 702	MICROTEC, Italia <a href="http://www.microtec.eu">www.microtec.eu</a>		
		GOLDENEYE 702	MICROTEC, Italia <a href="http://www.microtec.eu">www.microtec.eu</a>	<i>Abies alba, Picea abies, Sitka spruce, Pseudotsuga menziesii, Pinus pinaster</i> (FRANCIA)	(Auvergne_Pro_mobois,
		LUXSCAN optistrength X	WEINIG, Alemania <a href="http://www.weinig.com">www.weinig.com</a>		

donde, TÉC. Es la técnica de medición utilizada, M. la propiedad que estima la máquina y Ref. la referencia bibliográfica

Tabla 6: Máquinas homologadas para clasificación mecánica mediante escáner óptico

TÉC.	M.	MÁQUINA	FABRICANTE	Especies y procedencias	Ref.
Escáner óptico	Nudos, desvío de fibra y otras características visuales	RS Board Scanner Q	REMASAWCO, Suecia <a href="http://www.remasawco.se">www.remasawco.se</a>		
		BOARDMASTER	FINSCAN, Finlandia <a href="http://www.finscan.fi">www.finscan.fi</a>	*más de 20 especies de más de 20 países	<a href="http://www.finscan.fi">www.finscan.fi</a>

donde, TÉC. Es la técnica de medición utilizada, M. la propiedad que estima la máquina y Ref. la referencia bibliográfica  
\* No todas las especies ni procedencias están clasificadas desde el punto de vista estructural. El equipo está presente, además de en la mayoría de los países de Europa, en EEUU, Canadá, Chile y Uruguay. No se encuentra presente en España ni en Portugal

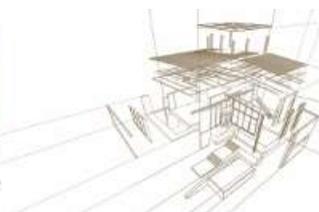


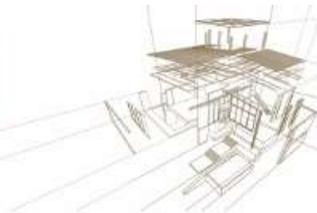
Tabla 7: Máquinas homologadas para clasificación mecánica según técnicas combinadas

TÉCNICA	MED.	MÁQUINA	FABRICANTE	Especies y procedencias	Ref.
Rayos X + flexión estática	Densidad, tamaño y posición de los nudos y módulo de elasticidad estático	<b>EUROGRECOMAT 704</b>	<b>MICROTEC, Italia</b> <a href="http://www.microtec.eu">www.microtec.eu</a>		
Rayos X + acústica por resonancia longitudinal	Densidad, tamaño y posición de los nudos y módulo de elasticidad dinámico	<b>EURO GRECOMAT 706</b>	<b>MICROTEC, Italia</b> <a href="http://www.microtec.eu">www.microtec.eu</a>	<i>Picea abies</i> y <i>Abies alba</i> (SUIZA, FRANCIA, POLONIA, RUMANÍA SUECIA, ESLOVENIA, ESLOVAQUIA, UCRANIA); <i>Pinus sylvestris</i> (FINLANDIA, FRANCIA, POLONIA, RUSIA, SUECIA); <i>Sitka spruce</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> , <i>Pinus pinaster</i> (FRANCIA)	(Ranta-Maunus et al., 2011) (Auvergne_Promobois, 2012)
		<b>GOLDEN EYE 706 (con VISCAN)</b>			
		<b>LUXSCAN optistrength XE</b>			
Escáner óptico+ acústica por resonancia longitudinal	Densidad, tamaño y posición de los nudos y módulo de elasticidad	<b>PRECIGRADER</b>	<b>DYNALYSE, Suecia</b> <a href="http://www.dynalyse.com">www.dynalyse.com</a>	<i>Abies alba</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Sitka spruce</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> , <i>Pinus pinaster</i> (FRANCIA)	(Auvergne_Promobois, 2012)
		<b>GRADEMASTER</b>	<b>WEINIG, Alemania</b> <a href="http://www.weinig.com">www.weinig.com</a>		
Acústica por frecuencia longitudinal + medición de	Densidad, desvío de fibra y módulo de elasticidad	<b>WOODEYE</b>	<b>WOODEYE, Suecia</b> <a href="http://www.woodeye.com">www.woodeye.com</a>		

donde, TÉC. Es la técnica de medición utilizada, M. la propiedad que estima la máquina y Ref. la referencia bibliográfica

#### 4. CONCLUSIONES

Se identificaron un total de 31 máquinas de clasificación mecánica homologadas según EN 14081 y se listó una serie de especies y procedencias para las cuales dichas máquinas han hecho sus ajustes y pueden comercializar con marcado CE.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR. (2011). UNE EN 408: 2011. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.
- AENOR. (2012a). UNE EN 14081-3:2012. Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 3: Clasificación mecánica. Requisitos complementarios para el control de la producción en fábrica.
- AENOR. (2012b). UNE EN 1912. Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de calidades visuales y especies.
- AENOR. (2015). EN 14081-2:2010+A1:2015. Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 2: Clasificación mecánica. Requisitos complementarios para el ensayo inicial de tipo.
- AENOR. (2016a). EN 14081-1:2016. Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales.
- AENOR. (2016b). EN 338. Madera estructural. Clases resistentes.
- AENOR. (2016c). UNE EN 384. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.
- Auvergne\_Promobois. (2012). *État de lieux des machines homologuées par le classement mécanique des bois de structure*. France.
- Bacher, M. (2008). Comparison of different machine strength grading principles (pp. 29–30).
- CEN. (2009). EN 14081-4. Timber structures. Strength grades structural timber with rectangular cross section. Part 4. Machine grading. Grading machine settings for machine controlled systems.
- CESEFOR. (2019). *Caracterización mecánica de las especies Pinus radiata y Larix kaemferi de España*.
- F., R. (1997). A new statistical method for establishment of machine settings. In *International Council for Research and Innovation in Building Construction*. Vancouver Canada.
- Jean-Luc, S., & Yann, B. (2007). Timber grading machine using multivariate parameters based on ultrasonic and density measurement. *Presentado En COST E, 53*(October), 167–173.
- Rais, A., Pretzsch, H., & Van De Kuilen, J. W. G. (2014). Roundwood pre-grading with longitudinal acoustic waves for production of structural boards. *European Journal of Wood and Wood Products, 72*(1). <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0757-5>
- Ranta-Maunus, A., Denzler, J. K., & Stapel, P. (2011). *Strength of European timber. Part 2. Properties of spruce and pine tested in Gradewood project*.
- Ridley-Ellis, D. (2017). *Grading machine and their speeds*. Edimburgh.
- Ridley-Ellis, D., Stapel, P., & Bañó, V. (2016). Strength grading of sawn timber in Europe: an explanation for engineers and researchers. *European Journal of Wood and Wood Products, 74*(3). <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1034-1>
- Roblot, G., & Bléron, L. (2010). Automatic computation of the knot area ratio for machine strength grading of Douglas-fir and Spruce timber, (December). <https://doi.org/10.3166/EJECE.14.1317-1332>