

**Charla Abierta**  
**¿En qué Consiste la Clasificación Estructural de Madera para la Construcción?**

# Características técnicas que se tiene que asegurar calidad

Madera para uso estructural:

- Condición de humedad (Seca o verde)
- Dimensiones efectivas y tolerancias dimensionales
- Calidad estructural (visual o por máquina)
- Durabilidad natural / Tratamiento de preservación



# Características técnicas que se tiene que asegurar calidad

Madera para uso estructural:

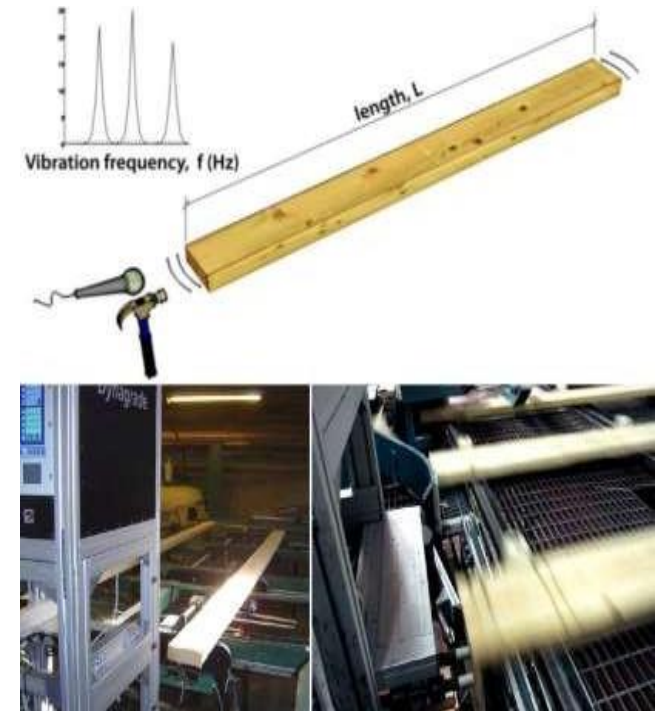
- Condición de humedad (Seca o verde)
- Dimensiones efectivas y tolerancias dimensionales
- Calidad estructural (visual o por máquina)
- Durabilidad natural / Tratamiento de preservación



# Métodos de clasificación estructural

Existen dos métodos de clasificación estructural de madera: VISUAL Y MECÁNICA.

La clasificación estructural es el proceso mediante el cual la madera se agrupa en clases o grados resistentes de propiedades similares.

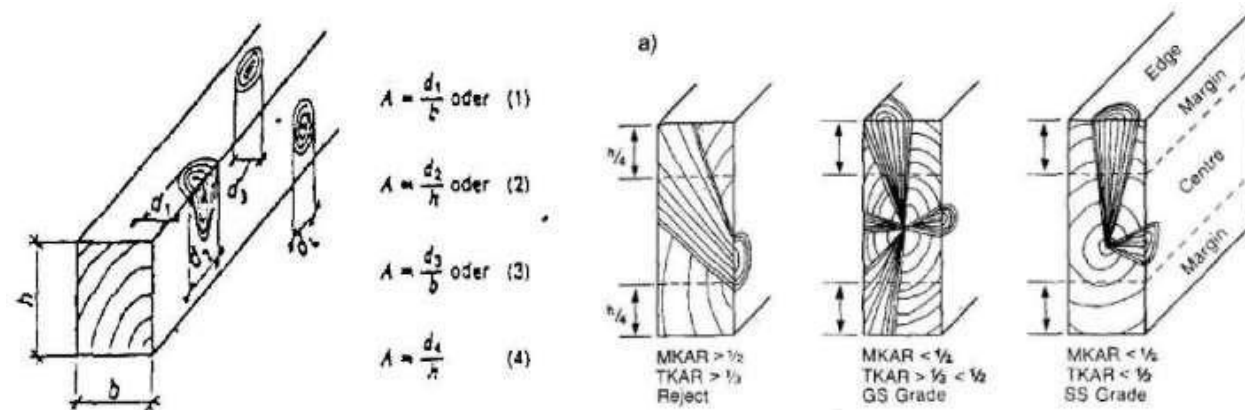


# Clasificación estructural visual

## CLASIFICACIÓN VISUAL

Consiste en el control visual de una serie de características de la madera:

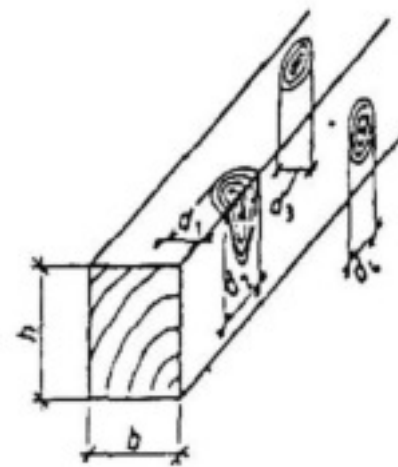
- Nudos
- Inclinación de la fibra
- Arista faltante
- Alabeos
- Bolsillo de resina y de corteza



# Clasificación estructural visual

Medición de tamaño de nudos según norma alemana DIN 4074

En Europa, debido al impulso de los mercados internos de madera estructural, con el tiempo se desarrollaron diversas normas de clasificación visual en cada país.



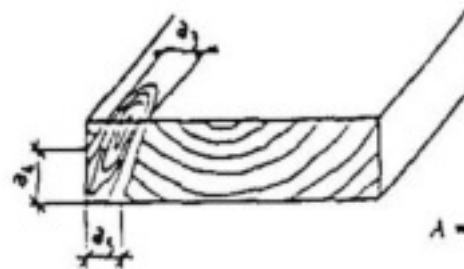
$$A = \frac{d_1}{b} \text{ oder (1)}$$

$$A = \frac{d_2}{h} \text{ oder (2)}$$

$$A = \frac{d_3}{b} \text{ oder (3)}$$

$$A = \frac{d_4}{h} \text{ (4)}$$

Medida y cálculo del tamaño del nudo A para nudos aislados



$$A = \frac{a_2 + a_4 + a_5}{2b} \text{ (6)}$$

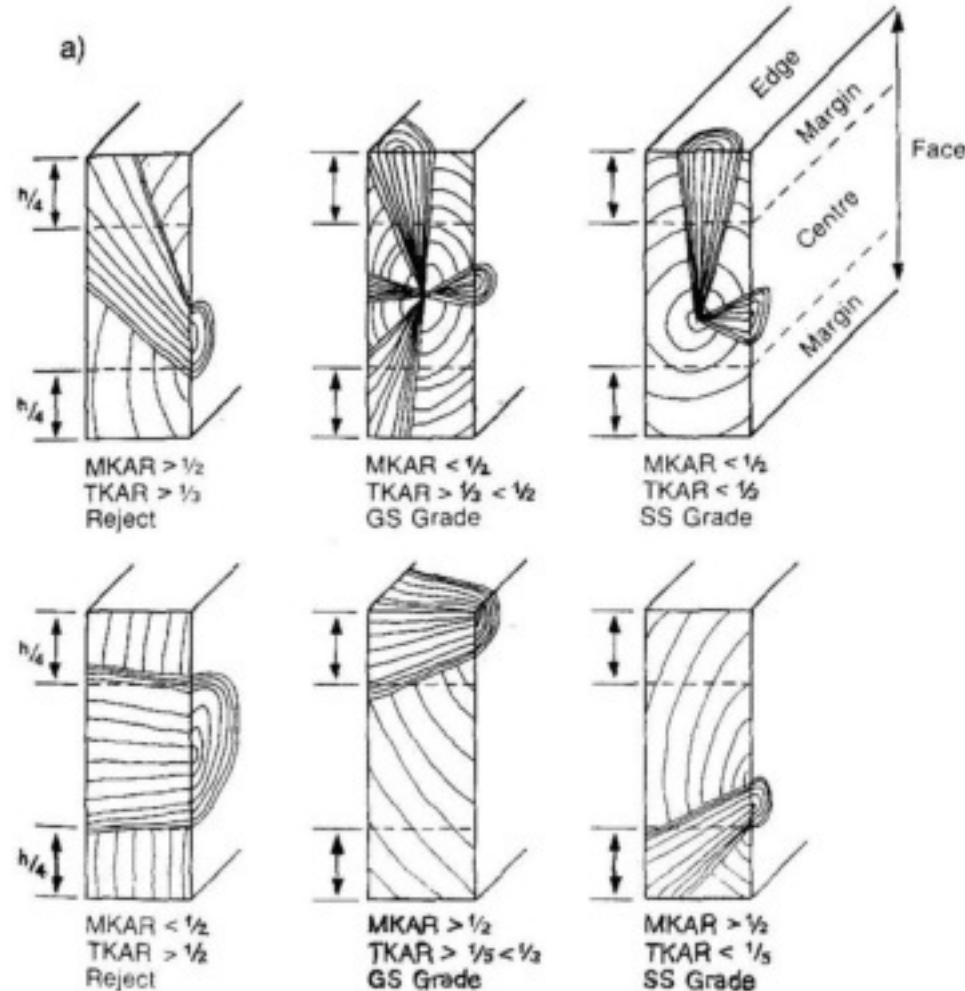
Medida y cálculo del tamaño del nudo A para nudos aislados en tablas

Fuente imagen : Hermoso, E. 2001

# Clasificación estructural visual

Medición de tamaño de nudos según norma del Reino Unido BSI 4978

En Europa, debido al impulso de los mercados internos de madera estructural, con el tiempo se desarrollaron diversas normas de clasificación visual en cada país.



Fuente imagen: Hermoso, E. 2001

# Clasificación estructural visual

Asignación de calidad estructurales visuales a clases resistentes en Europa

Debido al impulso de los mercados internos de madera estructural, con el tiempo se desarrollaron diversas normas de clasificación visual en cada país. Sin embargo al comenzar a fomentarse el comercio internacional de madera estructural se produjeron problemas para unificar y comprender las diferentes normas de clasificación visual.



Norma, especie y procedencia	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35
DIN 4074 Abeto, falso abeto, Pino silvestre- CNE		S7				S10		S13	
NFB 52001-4 Abeto, falso abeto, Pino oregón - Francia			CF18		CF22			CF30	
INSTA 142 Abeto, falso abeto, Pino silvestre – NNE	T0		T1			T2		T3	
NGRDL Pino del Sur – EEUU					Nº1 y Nº2			Sel	
NLGA Abeto Sitka – Canadá	Nº1 y Nº2		Sel						
NGRDL y NLGA Pino oregón, SPF – EEUU y Canadá		Nº1 y Nº2							
UNE 56544 Pino radiata - España			ME-2			ME-1			

Fuente: EN 1912



# Clasificación estructural visual

Medición de nudos según norma AS 2082

En el mercado australiano, existen dos normas de clasificación que permiten clasificar madera estructural de diferentes especies: AS 2082 Madera – latifolidas – Clasificación visual para usos estructurales; y AS 2858 Madera – coníferas – clasificación visual para usos estructurales.

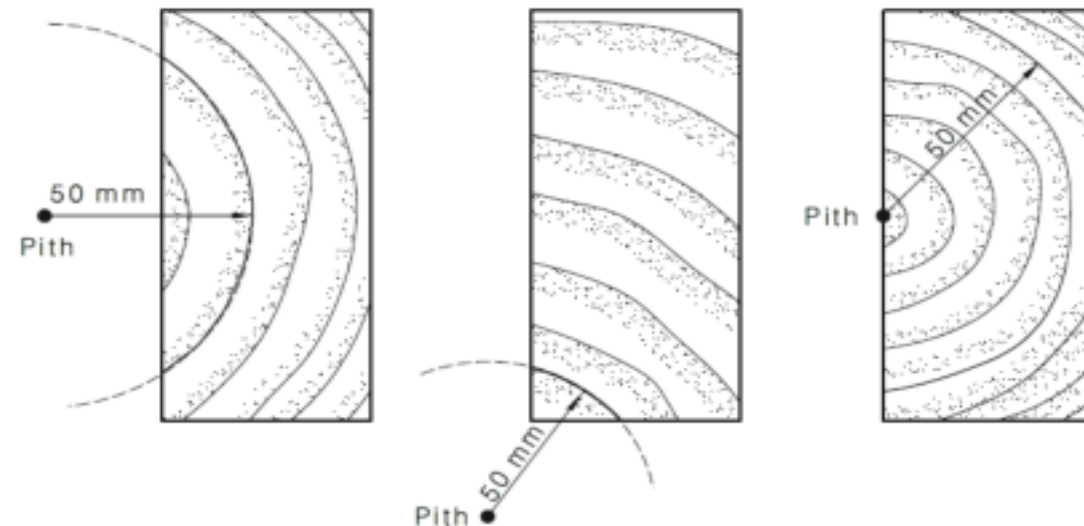
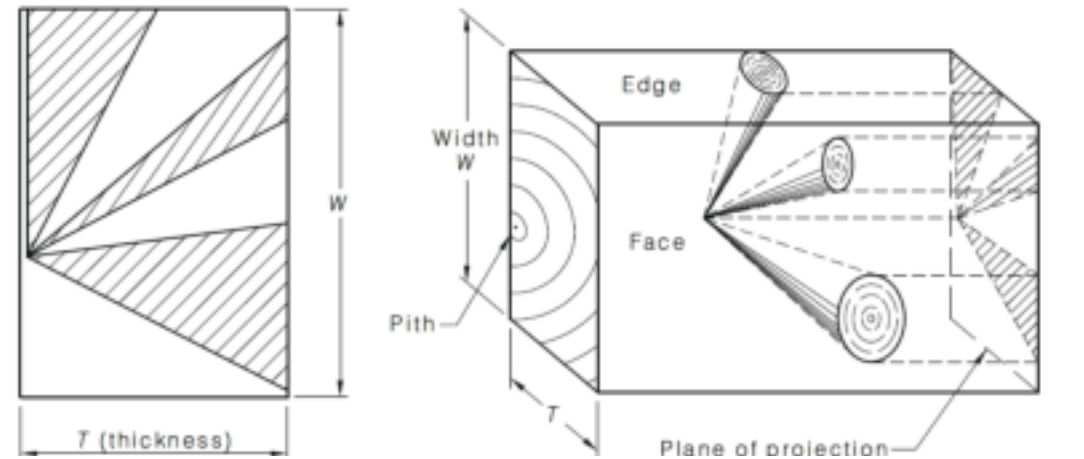


Fuente: Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR)

# Clasificación estructural visual

Medición de nudos y velocidad de crecimiento según norma AS 2858

En el mercado australiano, existen dos normas de clasificación que permiten clasificar madera estructural de diferentes especies: AS 2082 Madera – latifolidas – Clasificación visual para usos estructurales; y AS 2858 Madera – coníferas – clasificación visual para usos estructurales.

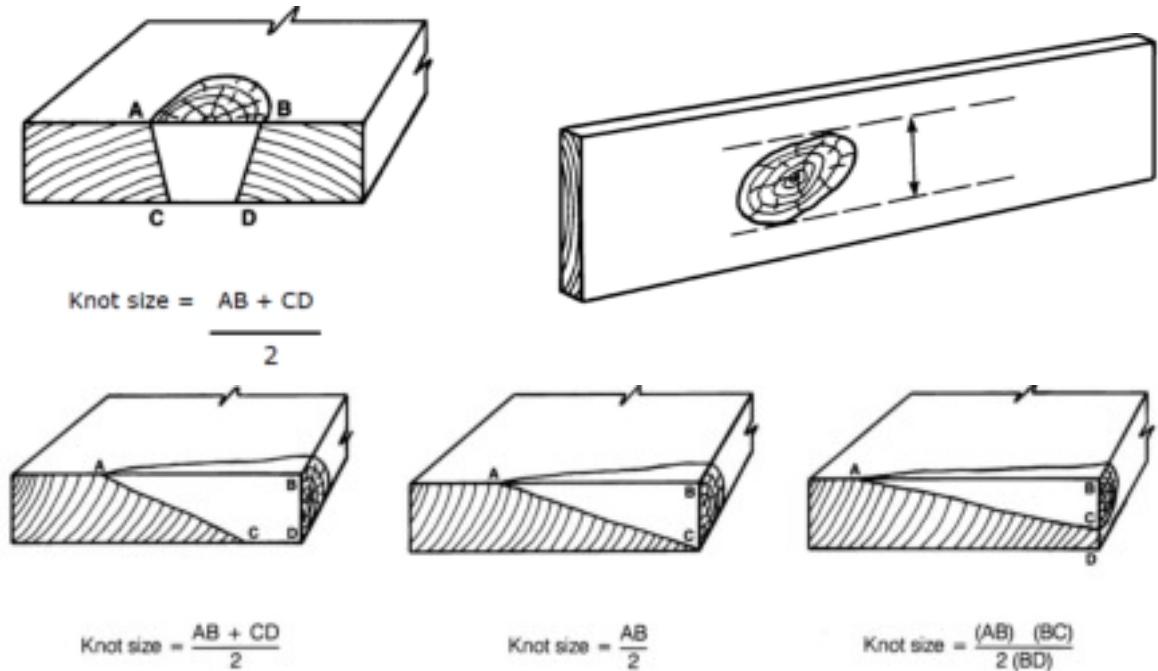


Fuente: AS 2858

# Clasificación estructural visual

En el mercado norteamericano, la Regla Nacional de Clasificación (NGR) establece las características permitidas y sus respectivos límites admisibles para la clasificación estructural visual que deben ser incorporadas en las normas de clasificación para la madera “light framing”, “Structural light framing” y “Stud”, aplicadas a todas las especies a través de los libros de clasificación de cada una de las siete agencias redactoras de normas.

Interpretaciones para la medición de nudos según la NGR



Fuente: National Grading Rule for Dimension Lumber



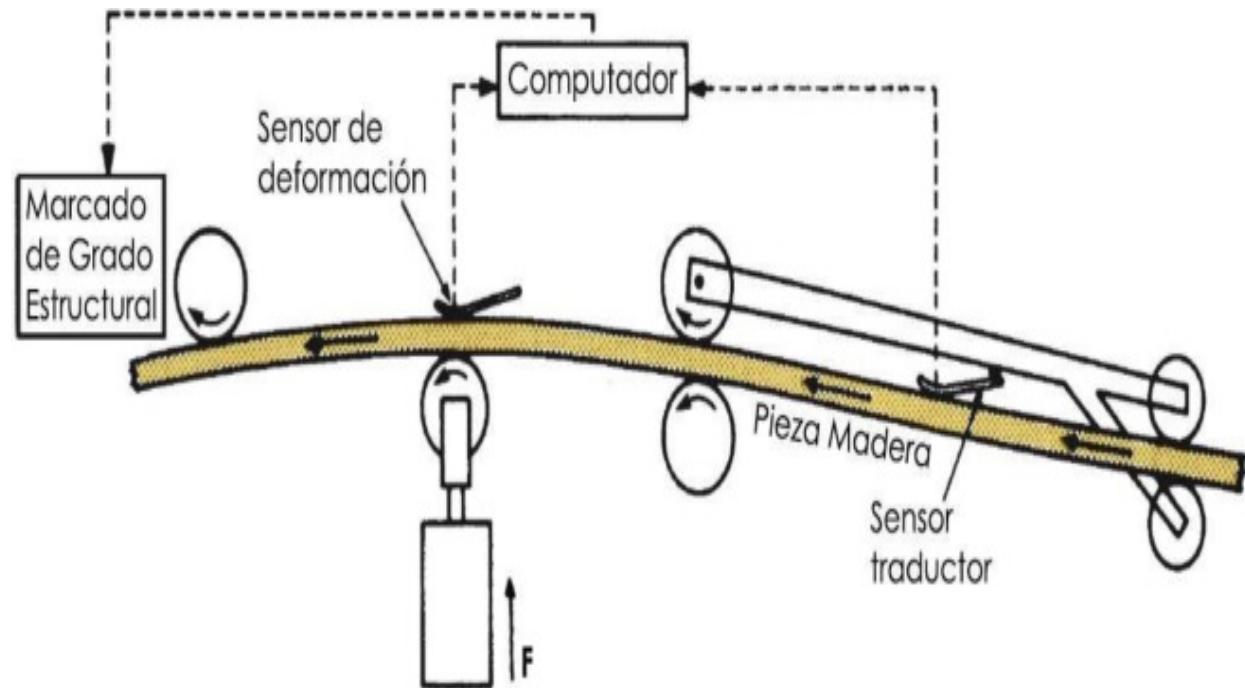
# Clasificación estructural visual



La clasificación visual para uso estructural debe ser realizada por clasificadores (graders), que corresponde a personal calificado y entrenado para realizar esta labor en los aserraderos.

# Clasificación estructural por máquina

La clasificación mecánica se basa en un ensayo no destructivo que permita medir uno o más parámetros de la madera para correlacionarlo con su resistencia. Entre los parámetros más comúnmente utilizados se encuentra el módulo de elasticidad, la densidad, el tamaño de nudos, o una combinación de ellos.



# Clasificación estructural por máquina

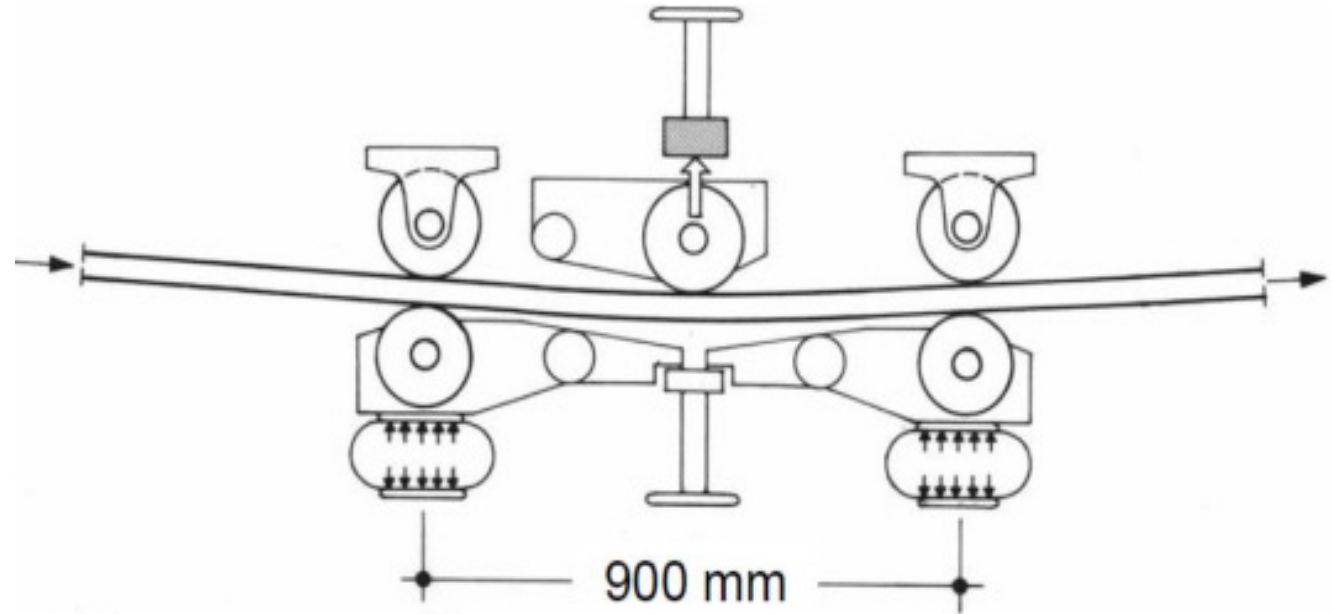
Las máquinas de clasificación más utilizadas en los mercados internacionales se pueden agrupar según el sistema de medición que utilicen, ya sea mediante un ensayo de flexión, vibración acústica, o rayos-x

Sistema de medición	Nombre comercial máquina clasificadora
Flexión	Computermatic / Micromatic
	Cook Bolinder / Tecmach
	Raute Timgrader
Vibración acústica	Dynagrade
	Viscan
	Timber grader MTG
Rayos-x	Euro-Grecomat 702
	GoldenEye 702
Rayos-x y flexión	Euro-Grecomat 704
Rayos-x y vibración acústica	Euro-Grecomat 706
	GoldenEye 706

# Clasificación estructural por máquina

## Máquina Cook Bolinder

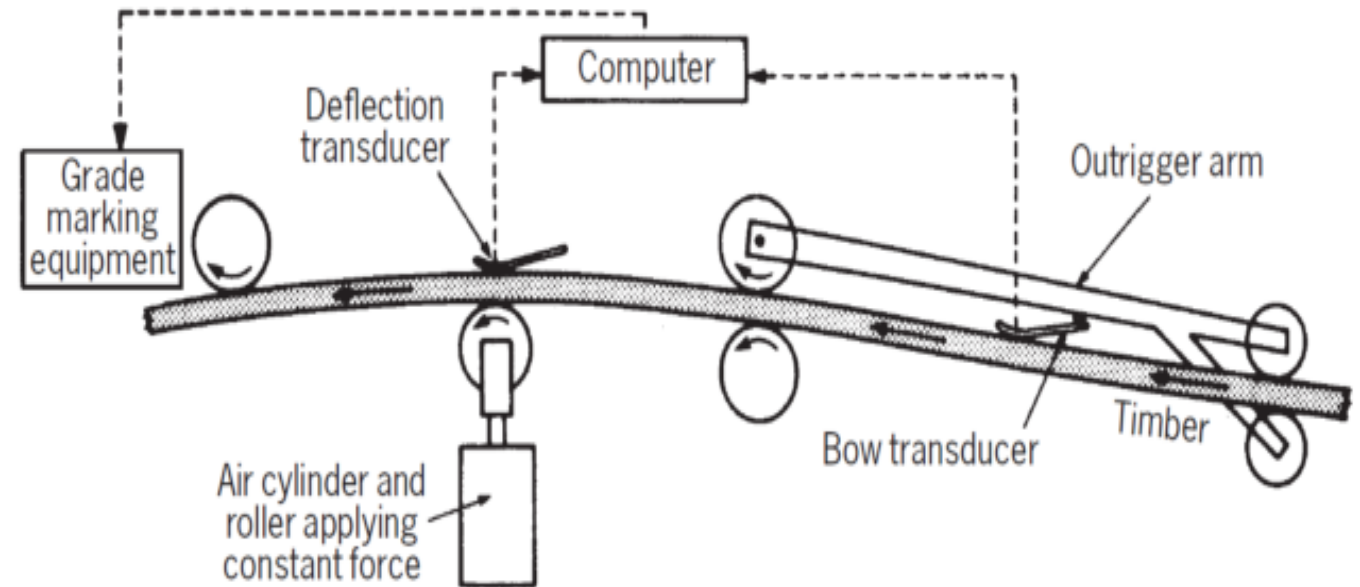
Este equipo presenta como principio de funcionamiento la medición de la fuerza que se necesita aplicar para conseguir una deformación determinada. La propiedad indicadora es la fuerza que se aplica entre rodillos separados a 900 mm, y se mide cada 100 mm a lo largo de la pieza de madera. La velocidad de clasificación se encuentra normalmente entre 60 a 100 m/min. La clasificación se obtiene tras dos pasadas consecutivas a través de la máquina, para aplicar una fuerza en cada cara de la pieza



# Clasificación estructural por máquina

## Máquina Computermatic

La propiedad indicadora es la deformación producida al aplicar una fuerza constante sobre la cara de la pieza a clasificar apoyada entre rodillos distanciados a 914 mm, y cuya medición se realiza cada 500 mm a lo largo de la pieza. Al igual que la maquina Cook Bolinder, la velocidad de clasificación puede variar de 60 a 100 m/min.

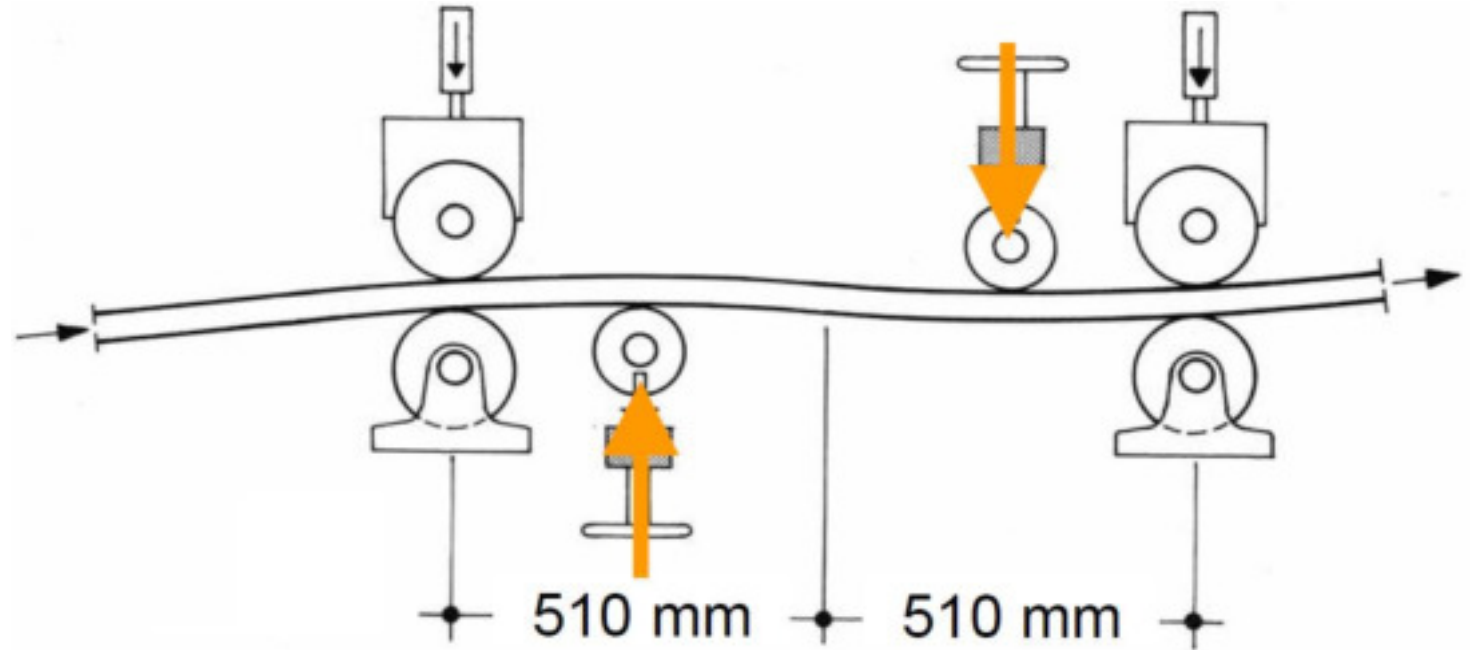




# Clasificación estructural por máquina

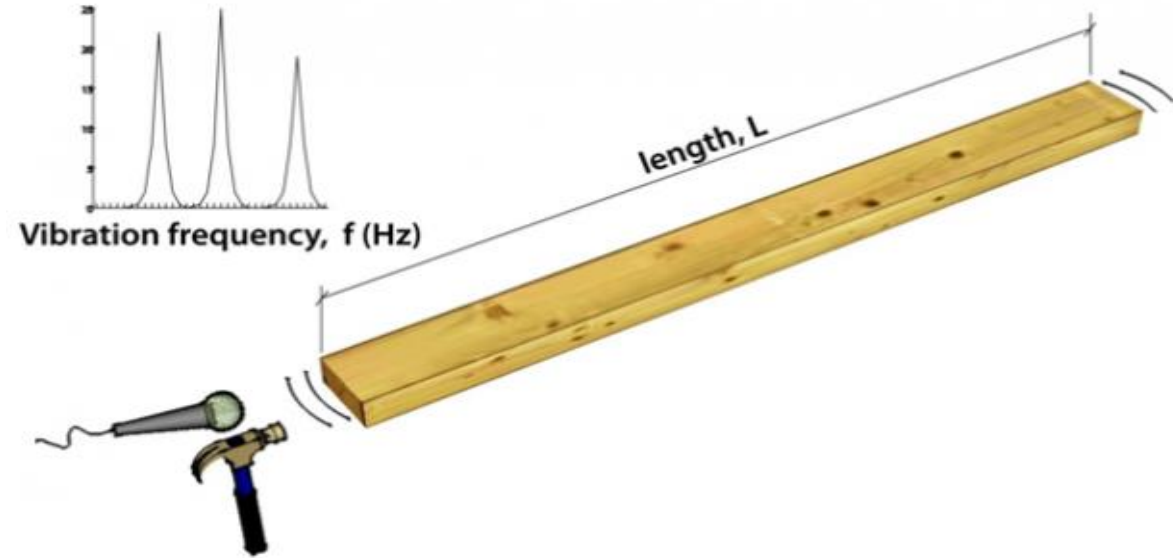
## Máquina Raute Timgrader

Al igual que la máquina Cook Bolinder, este equipo presenta como principio de funcionamiento la medición de la fuerza que se necesita aplicar para conseguir una deformación determinada. La propiedad indicadora es la fuerza que se aplica entre rodillos separados a 510 mm, midiendo en una pasada ambas caras de la pieza a clasificar.



# Clasificación estructural por máquina

Esquema de funcionamiento de la máquina Dynagrade



## Máquina Dynagrade

Este equipo como principio de funcionamiento es la determinación del módulo de elasticidad de la madera mediante la medición de la frecuencia de resonancia de una vibración longitudinal producida por un pequeño impacto en uno de los extremos de la pieza. Su velocidad de clasificación puede llegar hasta los 96 m/min.



# Clasificación estructural por máquina

## Máquina Timber Grader MTG

Este equipo, se basa en el principio de funcionamiento de medir la frecuencia de vibración acústica, tal como las máquinas ViSCAN y Dynagrade, sin embargo su gran diferencia es que corresponde a un sistema portable.

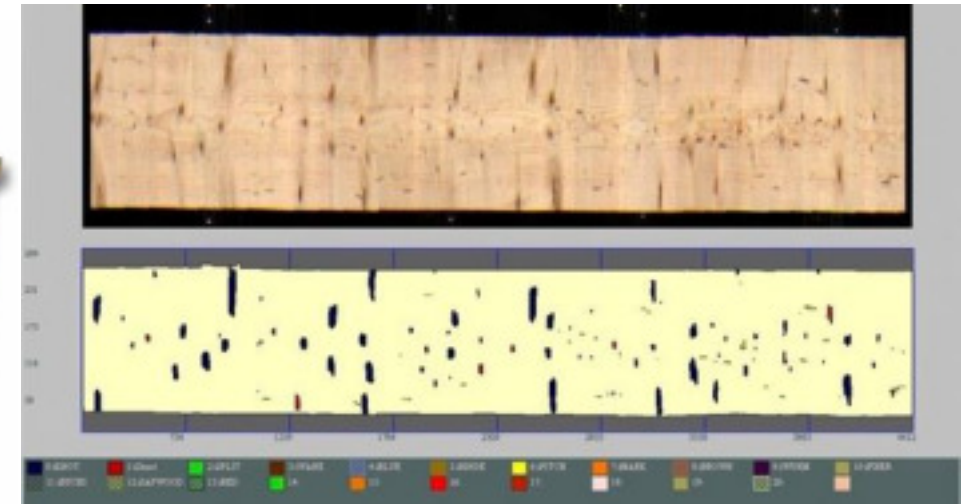
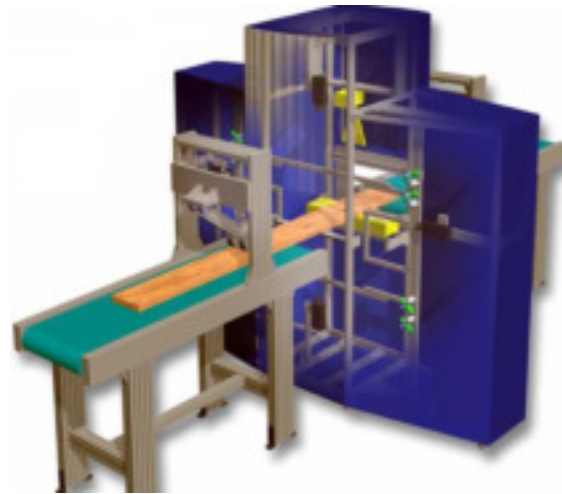


# Clasificación estructural por máquina

## Máquina GoldenEye

Esta máquina utiliza un escáner de rayos X, y cámaras mediante los cuales estima la densidad de la madera y algunas de sus características de crecimiento, tales como nudos, desviación de fibra.

La velocidad máxima de clasificación es de 450 m/min y puede clasificar piezas de hasta 110 mm de espesor y 319 mm de ancho.



Fuente: MICROTEC.

# Clasificación estructural

El sistema europeo considera un sistema de clases resistentes que se pueden obtener de piezas estructurales clasificadas en forma visual o por máquina. Este sistema de clases resistentes se puede describir como un número limitado de clases, donde para cada una de las cuales se asignan valores característicos de las propiedades resistentes y densidad.



	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35
<b>Propiedades de Resistencia [MPa]</b>									
Flexión	14	16	18	20	22	24	27	30	35
Tracción paralela a la fibra	8	10	11	12	13	14	16	18	21
Tracción perpendicular a la fibra	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compresión paralela a la fibra	16	17	18	19	20	21	22	23	25
Compresión perpendicular a la fibra	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8
Cizalle	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0
<b>Propiedades de rigidez [GPa]</b>									
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (percentil 5%)	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,4	0,43
Módulo de rigidez medio	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81
<b>Densidad [kg/m<sup>3</sup>]</b>									
Densidad característica	290	310	320	330	340	350	370	380	400
Densidad media	350	370	380	390	410	420	450	460	480

Fuente: EN 338

# Clasificación estructural

En Australia, existen dos sistemas para derivar propiedades de diseño de madera clasificada por su resistencia: los grados-F y los grados Machine Graded Pine (MGP). El sistema de grados-F, establece doce clases estructurales en las que se pueden agrupar diferentes grados de resistencia de diferentes especies.



Grado	Tensión característica,[Mpa]					Módulo de elasticidad promedio característico , Mpa ( E )	Módulo de corte o de rigidez para vigas, Mpa ( G )
	Tensión en flexión	Tracción paralela a la fibra		Corte en viga	Compresión paralela a la fibra		
		Madera latifoliadas	Madera coníferas				
F34	84	51	42	6,1	63	21.500	1.430
F27	67	52	34	5,1	51	18.500	1.230
F22	55	34	29	4,2	42	16.000	1.070
F17	42	25	22	3,6	34	14.000	930
F14	36	22	19	3,3	27	12.000	800
F11	31	18	15	2,8	22	10.500	700
F8	22	13	12	2,2	18	9.100	610
F7	18	11	8,9	1,9	13	7.900	530
F5	14	9	7,3	1,6	11	6.900	460
F4	12	7	5,8	1,3	8,6	6.100	410

Fuente: AS 1720.1

# Clasificación estructural

En Australia, existen dos sistemas para derivar propiedades de diseño de madera clasificada por su resistencia: los grados-F y los grados Machine Graded Pine (MGP). El sistema de grados-F, establece doce clases estructurales en las que se pueden agrupar diferentes grados de resistencia de diferentes especies.



Grado MGP	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Tensiones características [MPa]				Módulo de elasticidad [MPa]	Módulo de rigidez [MPa]
			Flexión	Tracción paralela	Cizalle paralelo	Compresión paralela		
MGP 15	70 a 140	35 y 45	39	18	4,3	30	15.200	1.010
	190		36	17	4,1	29		
	240		33	16	4,0	28		
	290		31	14	3,8	27		
MGP 12	70 a 140	35 y 45	28	12	3,5	24	12.700	850
	190		25	12	3,3	23		
	240		24	11	3,2	22		
	290		22	9,9	3,1	22		
MGP 10	70 a 140	35 y 45	17	7,7	2,6	18	10.000	670
	190		16	7,1	2,5	18		
	240		15	6,6	2,4	17		
	290		14	6,1	2,3	16		

Fuente: AS 1720.1

# Clasificación estructural

En Nueva Zelanda, existe un sistema de asignación de propiedades estructurales para madera de pino radiata y pino oregón, llamado grados SG (Stress Graded), los cuales pueden ser obtenidos mediante clasificación visual (VSG, Visually Stress Graded) o clasificación por máquina (MSG, Machine Stress Graded)



Grado SG	Resistencia en Flexión [MPa]	Resistencia en compresión paralela [MPa]	Resistencia en tracción paralela [MPa]	Rigidez en flexión [GPa]	Límite inferior de rigidez en flexión [GPa]
SG 15	41	35	23	15,2	11,5
SG 12	28	25	14	12,0	9,0
SG 10	20	20	8	10,0	6,7
SG 8	14	18	6	8,0	5,4
SG 6	10	16	4	6,0	4,0

Fuente: NZS 3603



# Clasificación estructural

Los requisitos visuales y los valores de diseño para cada grado estructural, según el grupo de especies y su procedencia, son desarrollados y especificados en libros de clasificación por agencias para la redacción de reglas (Rules-writing Agencies). Como ejemplo, la agencia redactora de reglas NLGA de Canadá especifica los valores admisibles del grupo de especies compuesto por el pino oregón y alerce americano, entre otros grupos.



Valores de diseño de madera de pino oregón y alerce americano (D Fir-L (N)) según grado estructural especificado por la NGR

Clasificación de la madera	Grado	Resistencia en flexión (Fb) [psi]	Resistencia a la tracción paralela (Ft) [psi]	Resistencia al cizalle paralelo (Fv) [psi]	Resistencia a la compresión		Módulo de elasticidad (E) [millones de psi]
					paralela (Fcp) [psi]	Perpendicular (Fcperp) [psi]	
Light framing	Construction	950	575	180	1.800	625	1,5
	Standard	525	325		1.450		1,4
	Utility	250	150		950		1,3
Structural light framing	Select Structural	1.350	825	180	1.900	625	1,9
	N°1	850	500		1.400		1,6
	N°2	850	500		1.400		1,6
	N°3	475	300		825		1,4
Stud	Stud	650	400	180	900	625	1.4

Fuente: agencia redactora de reglas NLGA

# Clasificación estructural

Para madera estructural clasificada por máquina, existen dos sistemas de clasificación: el Machine- Stress-Rated (MSR) (Calificación de resistencia por máquina), y el Machine-Evaluated-Lumber (MEL) (Evaluación de madera por máquina).



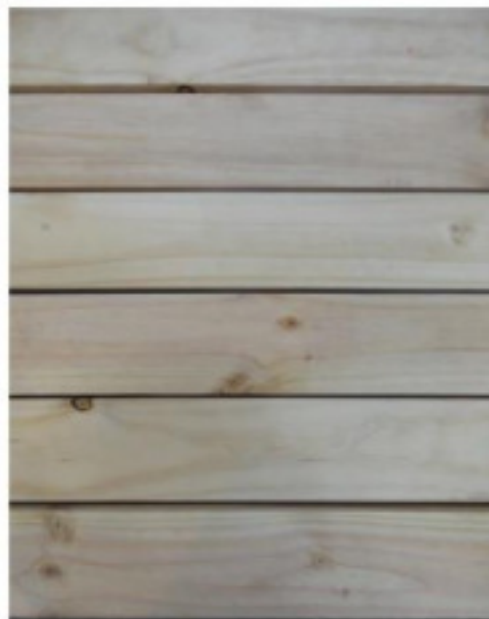
Nombre del grado	Resistencia en flexión [MPa (psi)]	Módulo de elasticidad [GPa (10 <sup>6</sup> psi)]	Resistencia a la tracción paralela [MPa (psi)]	Resistencia a la compresión paralela [MPa (psi)]
<b>MSR</b>				
1350f-1.3E	9,3 (1350)	9,0 (1,3)	5,2 (750)	11,0 (1600)
1450f-1.3E	10,0 (1450)	9,0 (1,3)	5,5 (800)	11,2 (1625)
1650f-1.5E	11,4 (1650)	10,3 (1,5)	7,0 (1020)	11,7 (1700)
1800f-1.6E	12,4 (1800)	11,0 (1,6)	8,1 (1175)	12,1 (1750)
1950f-1.7E	13,4 (1950)	11,7 (1,7)	9,5 (1375)	12,4 (1800)
2100f-1.8E	14,5 (2100)	12,4 (1,8)	10,9 (1575)	12,9 (1875)
2250f-1.9E	15,5 (2250)	13,1 (1,9)	12,1 (1750)	13,3 (1925)
2400f-2.0E	16,5 (2400)	13,8 (2,0)	13,3 (1925)	13,6 (1975)
2550f-2.1E	17,6 (2550)	14,5 (2,1)	14,1 (2050)	14,0 (2025)
2700f-2.2E	18,6 (2700)	15,2 (2,2)	14,8 (2150)	14,4 (2100)
2850f-2.3E	19,7 (2850)	15,9 (2,3)	15,9 (2300)	14,8 (2150)
<b>MEL</b>				
M-10	9,7 (1400)	8,3 (1,2)	5,5 (800)	11,0 (1600)
M-11	10,7 (1550)	10,3 (1,5)	5,9 (850)	11,5 (1675)
M-14	12,4 (1800)	11,7 (1,7)	6,9 (1000)	12,1 (1750)
M-19	13,8 (2000)	11,0 (1,6)	9,0 (1300)	12,6 (1825)
M-21	15,9 (2300)	13,1 (1,9)	9,7 (1400)	13,4 (1950)
M-23	16,5 (2400)	12,4 (1,8)	13,1 (1900)	13,6 (1975)
M-24	18,6 (2700)	13,1 (1,9)	12,4 (1800)	14,5 (2100)

Fuente: Kretschmann y Grenn, 2010.

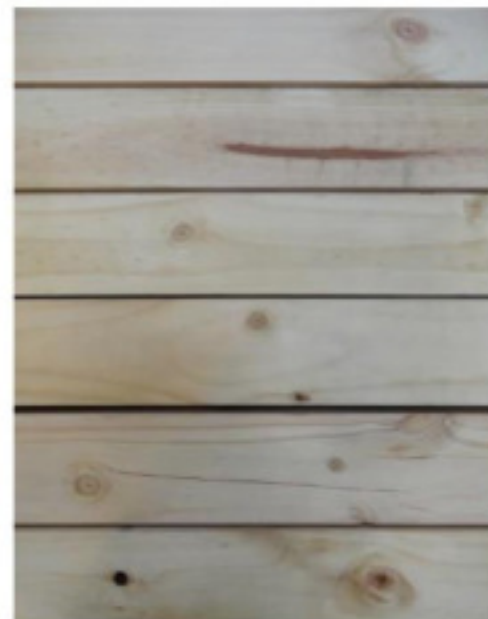
# Clasificación estructural visual

NCh 1207: Clasificación visual estructural del Pino radiata – Pino oregon – Pino ponderosa

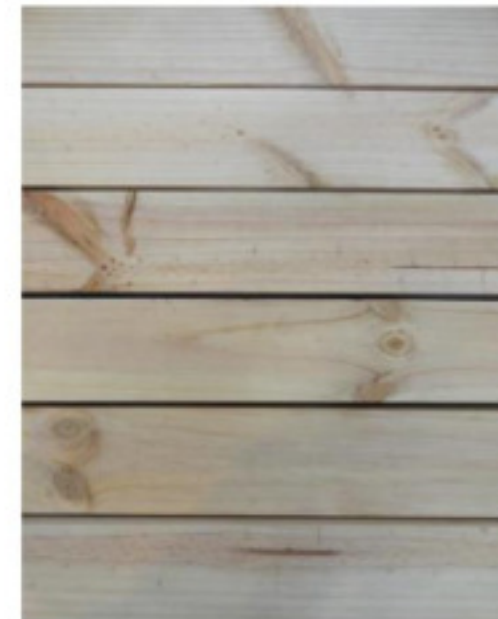
La norma define 3 grados estructurales: Grado Selecto (GS), Grados estructural N°1 (G1), y grado estructural N°2 (G2)



GS



G1



G2

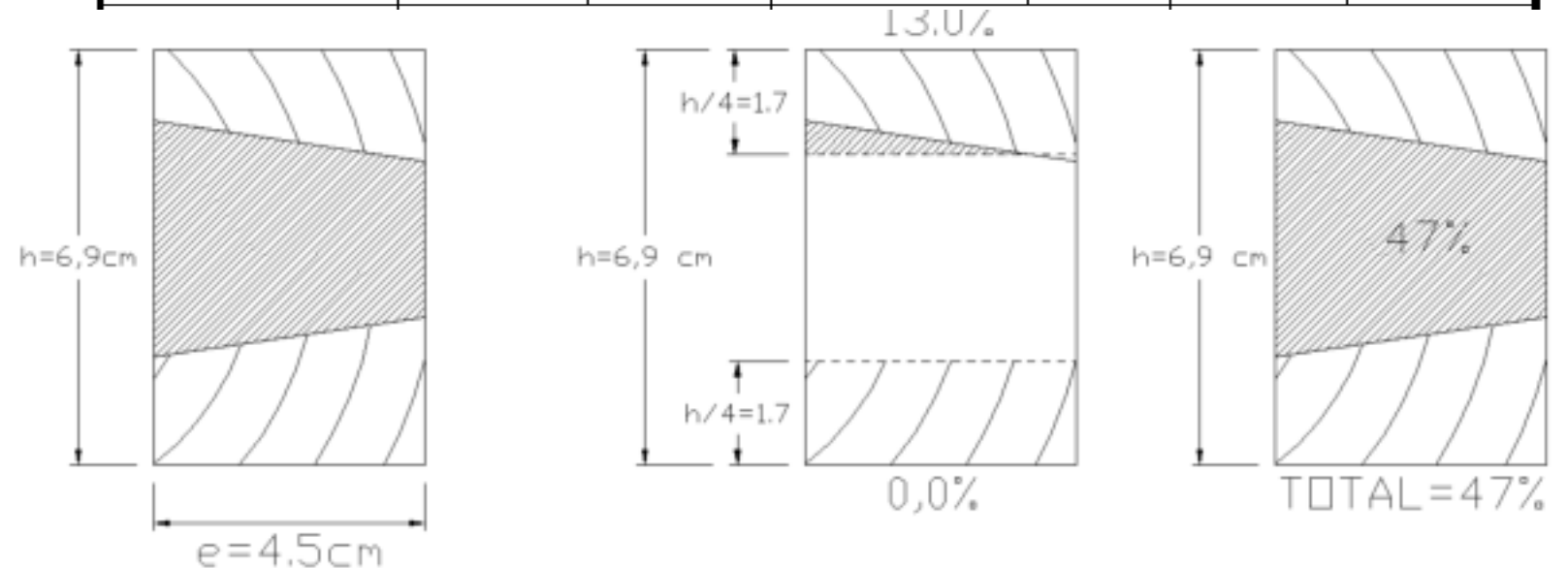


# Clasificación estructural visual

NCh 1207: Clasificación visual estructural del Pino radiata – Pino oregon – Pino ponderosa

La norma define 3 grados estructurales: Grado Selecto (GS), Grados estructural N°1 (G1), y grado estructural N°2 (G2)

Defectos	Grados					
	GS		G1		G2	
Nudos	Sin CB	Con CB	Sin CB	Con CB	$h \leq 15 \text{ cm}$	$h > 15 \text{ cm}$
RANB	$\leq 0,50$	$\geq 0,50$	$\leq 0,50$	$\geq 0,50$	SR	SR
RANT	$\leq 0,33$	$\leq 0,20$	$\leq 0,50$	$\leq 0,33$	$\leq 0,66$	$\leq 0,50$
RANI					$\leq 0,50$	$\leq 0,33$
RANNA	NSA	NSA	$\leq 0,25$	$\leq 0,25$	$\leq 0,33$	$\leq 0,33$



# Clasificación estructural

## Tensiones admisibles y Módulo de elasticidad en flexión para madera aserrada

Tabla 1: Tensiones admisible para pino radiata a 12% de humedad

Grado estructural	Tensiones admisibles de:					Módulo de elasticidad en flexión	Índice de aplastamiento en compresión normal
	Flexión <sup>1)</sup>	Compresión paralela	Tracción paralela	Compresión normal	Cizalle		
	$F_f$ MPa	$F_{cp}$ MPa	$F_{tp}$ MPa	$F_{cn}$ MPa	$F_{cz}$ MPa	$E_f^{2)}$ MPa	$E_{cn,h}$ MPa/mm
a) Visuales							
G5	11,0	8,5	6,0	2,5	1,1	10 500	5,65
G1	7,5	7,5	5,0	2,5	1,1	10 000	
G1 y mejor	9,5	7,8	5,5	2,5	1,1	10 100	
G2	5,4	6,5	4,0	2,5	1,1	8 900	
b) Mecánicos							
C24	9,3	8,0	4,7	2,5	1,1	10 200	5,65
C16	5,2	7,5	3,5	2,5	1,1	7 900	
MGP 10	8,4	10,0	4,0	2,5	1,3	10 000	
MGP 12	13,5	15,5	6,0	2,5	1,3	12 700	
<p>1) Valores aplicables sobre piezas de altura de sección transversal <math>\leq 90</math> mm, excepto en los Grados Mecánicos MGP 10 y MGP 12, para los que el limite se incrementa hasta 160 mm.</p> <p>2) Valores aplicables sobre piezas de altura de sección transversal <math>\geq 180</math> mm, excepto en los Grados Mecánicos MGP 10 y MGP 12, cuyos valores son aplicables sobre cualquier altura de sección transversal. El módulo de elasticidad característico inherente al percentil del 5%, <math>E_R</math>, se puede estimar como <math>0,60 E_f</math></p>							



# ¿Cómo asegurar la calidad maderas estructurales para la construcción?

# Modelos de Certificación internacionales

Serie Normas EN 14081



Serie Normas AS/NZS 1748



Norma voluntaria PS 20





Serie de Normas EN 14081



Serie de Normas AS/NZS 1748



Norma Voluntaria PS 20







Serie de Normas EN 14081



Serie de Normas AS/NZS 1748



Norma Voluntaria PS 20



### 1. Requisitos de ensayo

- Normas de clasificación visual
- Protocolos para uso de equipos de clasificación automática
- Normas que especifican requisitos de humedad, dimensiones y tolerancias, tratamiento preservación.
- Normas de ensayos físicos y mecánicos de la madera



Serie de Normas EN 14081



Serie de Normas AS/NZS 1748



Norma Voluntaria PS 20



- Capacitación del personal del aserradero involucrado: clasificadores y encargados de calidad
- Generación y aplicación de procedimientos, registros y gráficas de control de calidad en la producción.
- Auditorías periódicas



Serie de Normas EN 14081



Serie de Normas AS/NZS 1748



Norma Voluntaria PS 20

- Aplicación del procedimiento para la autorización y control del rotulado de piezas (timbraje) en la producción.





Serie de Normas EN 14081



Serie de Normas AS/NZS 1748



Norma Voluntaria PS 20





- Normas para requisitos de ensayos
- Rotulado de la madera
- Faltan estándares para conformidad en la producción (Lo que debe hacer el aserradero y el control de calidad)



# Asesoría para la aplicación de un modelo de calidad

- Capacitación clasificadores y control de calidad sobre clasificación de madera de pino radiata para uso estructural.
- Generación de procedimientos, formularios y planillas de control de calidad para la producción
- Inspecciones periódicas a la producción del aserradero.
- Revisión de reportes de la producción emitidos por el control de calidad del aserradero.
- Implementación de planillas de control de calidad en la producción.
- Implementación de procedimiento de autorización y Control del timbraje de madera.



# Asesoría para la aplicación de un modelo de calidad



## MADERA ESTRUCTURAL CLASIFICADA

### USOS FRECUENTES

Estructuras de viviendas y edificios de mediana altura.

Vigas y pilares.

Pilares.

Estructuras donde se requiera un alto performance de resistencia y estabilidad dimensional.

### CARACTERÍSTICAS

- Madera de Pino Radiata proveniente de bosques sustentables FSC\*.
- Secada en cámara a un contenido de humedad promedio de un 15%, para una mejor resistencia mecánica.
- Cumple normativa Clasificación visual según NCh 1207.
- Disponible en grados G1+ y grado G2.
- Terminación cepillada 4 caras, en medidas desde 33x90 mm.
- Timbre de identificación y terminación azul en sus cabezales.

### TENSIONES ADMISIBLES

GRADO ESTRUCTURAL	FLEXIÓN (MPA)	COMPRESIÓN PARALELA (MPA)	TRACCIÓN PARALELA (MPA)	COMPRESIÓN NORMAL (MPA)	CIZALLE (MPA)	MÓDULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN (MPA)
G1 y +	9,5	7,8	5,5	2,5	1,1	10.100
G2	5,4	6,5	4,0	2,5	1,1	8.900

# 1 Curso 100% online

Dirigido a empresas del sector maderero y de la construcción. Específicamente a equipos de clasificadores (graders) y encargados de calidad de aserraderos y empresas constructoras.



Curso Online

# Clasificación visual de madera estructural

**1ra VERSIÓN: 28 SEPTIEMBRE 2020**

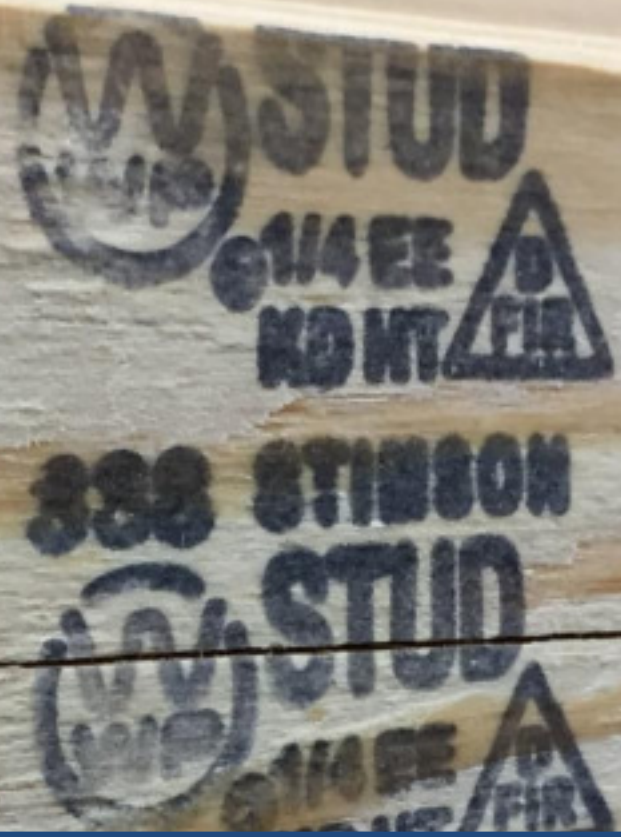
La formación de un clasificador visual es un proceso que  
lleva meses.

Este curso busca entregar los primeros conceptos  
teóricos y prácticos para comenzar la formación formal  
de un clasificador visual de madera estructural.

Basado en la norma chilena NCh1207: Pino radiata –  
Pino oregon – Pino ponderosa.

Curso online desarrollado en conjunto con el Programa  
Madera Alto Valor de CORFO.





**Charla Abierta**  
**¿En qué Consiste la Clasificación Estructural de Madera para la Construcción?**