

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL



0006142



INFOR
Instituto Forestal

Informe Técnico N° 107 ✓

**CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA DE LA MADERA:
PRINCIPIOS Y APLICACION**

AF 87/16
Junio - 1987
(Reimpresión 1998)

Santiago, octubre de 1998

Informe Técnico N° 107

**CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA DE LA MADERA:
PRINCIPIOS Y APLICACION**

AF 87/16
Junio - 1987
(Reimpresión 1998)

Santiago, octubre de 1998

PROPIEDAD INTELECTUAL : INSCRIPCION N° 67.864

"Se autoriza la reproducción de la
información que se entrega en es
te documento, siempre y cuando se
cite como fuente a CORFO-INFOR"

PROLOGO

El presente estudio "Análisis Propiedades Físico-Mecánicas Madera Pino insigne para la Construcción". Primera Parte: Clasificación estructural mecánica de la madera", fue realizada por la Gerencia de Desarrollo de la Corporación de Fomento de la Producción - CORFO, con la participación de la División Industrias del Instituto Forestal, filial CORFO.

El objetivo del presente informe es aportar antecedentes sobre el proceso de clasificación estructural mecánica de la madera, incluyendo una descripción de sus principios técnicos; información sobre uso actual de esta tecnología en el mundo; métodos y maquinarias usadas, costo de maquinarias y normas de clasificación estructural mecánica para el Pino insigne en Australia y Nueva Zelandia.

La organización que se le ha dado al informe es la siguiente: en primer lugar se hace una descripción general de los procesos de clasificación estructural visual y mecánica; luego se presentan los métodos de clasificación mecánica usados en Estados Unidos, Canadá, Inglaterra y Australia; a continuación se describen las máquinas diseñadas para realizar este tipo de clasificación señalando sus valores de venta y las normas que se usan en Australia y Nueva Zelandia para el Pino insigne, y finalmente se propone un procedimiento que se podría aplicar en Chile para desarrollar esta técnica, completando el informe con una extensa bibliografía sobre la materia.

Participó en la realización de este estudio el Jefe de la División Industrias del INFOR, Ingeniero Civil Sr. VICENTE A. PEREZ GALAZ. La labor de Secretaría fue ejecutada por la Srta. Margarita Martínez Salas.

La dirección y coordinación del estudio por parte de CORFO estuvo a cargo del Ingeniero Forestal Sr. ROY W. WOTHERSPOON SCHRADER.



RESUMEN

El uso eficiente de la madera como material estructural se logra agrupando las piezas de acuerdo a sus propiedades resistentes. Este agrupamiento o clasificación estructural proporciona al usuario la confianza de esperar un valor mínimo de resistencia para la madera de un determinado grupo (grado), cualquiera sea el origen del material.

La clasificación estructural se puede desarrollar mediante una de las siguientes técnicas: visual o mecánicamente. Para ambos procedimientos se han establecido métodos a fin de asignar tensiones admisibles a los diferentes grados. La clasificación estructural visual es el proceso más antiguo y el más ampliamente usado en el mundo, en cambio la clasificación mecánica es de reciente uso y necesariamente debe ocupar maquinarias que en los últimos años han tenido un creciente desarrollo y aplicación.

La técnica de clasificación estructural mecánica se basa en la buena relación que se ha encontrado entre el módulo de elasticidad a la flexión (E_f) y el módulo de ruptura (R_f), determinados ambos mediante el ensayo a la flexión de piezas con tamaño estructural.

Algunos defectos de la madera afectan la resistencia y rigidez del elemento que se somete a ensayo. La presencia de tales defectos y su incidencia sobre la resistencia quedará detectada por la mayor deformación que alcanzan las piezas para una carga fija previamente determinada. El valor de la deformación señalará también la resistencia a la flexión del elemento y con ella será posible asignar el elemento a un grado estructural previamente fijado. Este último proceso se efectúa mediante el uso de máquinas clasificadoras que permiten un avance de las piezas de hasta 300 m/min.

Para determinar las tensiones admisibles que se deben asignar a uno de los diferentes grados que se definan, es necesario extraer



una muestra de la población formada por todas las piezas de madera que tienen las características dadas a ese grado, ensayar los individuos de la muestra y determinar la relación entre los módulos de ruptura y de elasticidad. Con dicha relación se procede a calibrar la máquina de modo que cuando ella mide la deformación que se produce en una pieza, para una carga específica, aplicada por la máquina, ésta proceda a calcular el E_f y el correspondiente R_f y con este último valor identificar y marcar el grado sobre la superficie de la pieza.

La clasificación estructural mecánica es más eficiente que la visual porque es un método rápido y clasifica las piezas de acuerdo a una determinación experimental de su resistencia, lo cual permite ubicar las en grados de mejor calidad. Se recomienda para grandes volúmenes de madera a pesar de sus altos costos iniciales y en la actualidad, es el método preferido por los productores de países desarrollados.

En Australia y Nueva Zelandia existen normas de clasificación estructural visual y mecánica para la madera aserrada de Pino insigne y se espera que Chile, a corto plazo, tenga también una norma nacional que contemple ambos criterios.

INDICE

	Página
1.0 INTRODUCCION	1
2.0 ANTECEDENTES GENERALES	3
3.0 CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE LA MADERA	4
3.1 Clasificación Estructural Visual	5
3.1.1 Procedimiento basado en Probetas Libres de Defectos	6
3.1.2 Procedimiento basado en Piezas de Tamaño <u>Es</u> truktural	11
3.2 Clasificación Estructural Mecánica. Machine Stress Ra <u>ting</u> (M.S.R.)	14
3.2.1 Antecedentes	14
3.2.2 Teoría y Uso de la Clasificación Estructural Mecánica	15
3.3 Tensiones Admisibles para la Clasificación Estructu <u>ral</u> Mecánica	24
3.3.1 Proceso General	24
3.3.2 Método Usado en Estados Unidos y Canadá	27
3.3.3 Método Usado en Inglaterra	35
3.3.4 Método Usado en Australia	38
3.4 Comparación entre la Clasificación Estructural Visual y la Clasificación Estructural Mecánica	40
4.0 OTROS METODOS MECANICOS DE CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE LA MADERA	42
4.1 Proof-grading	

	Página
4.2 In-grade	45
5.0 DESCRIPCION DE TIPOS DE MAQUINAS DE CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE MADERA	48
5.1 Máquinas en la "Primera Generación"	49
5.2 Máquinas de la "Segunda Generación"	53
5.3 Máquinas de la "Tercera Generación"	53
5.4 Máquinas para el Método "Proof-grading"	55
5.5 Máquinas para el Proceso "In-grade"	59
6.0 PRECIO DE MAQUINARIAS PARA CLASIFICAR MADERA ESTRUCTURAL.	60
7.0 NORMAS DE CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA PARA EL PINO INSIGNE EN AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDIA	62
7.1 Propósito de una Clasificación Estructural	62
7.2 Grados de Madera Estructural en Australia	62
7.2.1 Inspección Visual Complementaria	63
7.2.2 Dimensiones Geométricas de la Madera Estructural Clasificada Mecánicamente	65
7.2.3 Alabeos Permitidos	65
7.2.4 Usos Recomendados para los Grados de la Clasificación Estructural del Pino radiata.....	69
7.3 Grados de Madera Estructural en Nueva Zelandia	70
7.3.1 Especificaciones Generales	71
8.0 PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR MADERA CLASIFICADA ESTRUCTURALMENTE	76



	Página
8.1 Alcance y Método	76
8.2 Definiciones y Simbología	77
8.2.1 Definiciones	77
8.2.2 Simbología	78
8.3 Población de Referencia	78
8.4 Muestreo	79
8.5 Condiciones del Ensayo	79
8.6 Valores Característicos	81
8.7 Factores de Carga	82
8.7.1 Resistencia	82
8.7.2 Rigidez	82
8.8 Valores de Diseño	83
8.9 Grado de Clasificación	83
8.10. Informe Final	83
9.0 BIBLIOGRAFIA	85



INDICE DE FIGURAS

			Página
FIGURA N°	1.	Deducción de la tensión admisible en flexión para un grado con $RR = 0,48$ de una especie maderera típica	9
FIGURA N°	2.	Estimación de la resistencia usando un estimador medido en cada pieza	16
FIGURA N°	3.	Ilustración esquemática del típico principio en el cual se basa la clasificación estructural mecánica	20
FIGURA N°	4.	Etapas básicas de una clasificación	25
FIGURA N°	5.	Operación de clasificación	26
FIGURA N°	6.	Tensiones admisibles en Inglaterra	31
FIGURA N°	7.	Tensiones admisibles de flexión	32
FIGURA N°	8.	Tensiones admisibles de compresión paralela	25
FIGURA N°	9.	Tensiones admisibles de tracción paralela	35
FIGURA N°	10.	Marca usada en la clasificación estructural mecánica	36
FIGURA N°	11.	Distribución de los valores de R_f para intervalos de 1.000 N/mm^2 del E_f	37

	Página
FIGURA N° 12. Relación $R_f - E_f$ para Pino radiata seco proveniente de Australia	39
FIGURA N° 13. Conceptos de la clasificación Proof-grading	43
FIGURA N° 14. Diagrama de la máquina tipo CLT-1	50
FIGURA N° 15. Diagrama de la máquina tipo SOM	51
FIGURA N° 16. Diagrama de la máquina tipo COMPUTERMATIC	52
FIGURA N° 17. Diagrama del "E-Computer"	54
FIGURA N° 18. Diagrama de máquina tipo "Proof-loading"	55
FIGURA N° 19. Configuración de la carga en el modelo Hilleng	58
FIGURA N° 20. Configuración del ensayo de flexión	80
FIGURA N° 21. Configuración del ensayo de tracción	80
FIGURA N° 22. Configuración del ensayo de compresión paralela a las fibras	81



INDICE DE TABLAS

			Página
TABLA N ^o	1.	GRADO 1 DE LA NORMA DE CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE CONIFERAS DEL ESTE DE AFRICA	7
TABLA N ^o	2.	RESUMEN DE ENSAYOS PARA DETERMINAR LA REGRESION ENTRE R_f Y E_f	18
TABLA N ^o	3.	RESUMEN DE ENSAYOS PARA DETERMINAR LA REGRESION ENTRE LA RESISTENCIA DE COMPRESION PARALELA (R_c) Y E_f	19
TABLA N ^o	4.	RESUMEN DE ENSAYOS PARA DETERMINAR LA REGRESION ENTRE LA RESISTENCIA DE TRACCION PARALELA (R_t) Y E_f	19
TABLA N ^o	5.	GRADOS DE CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA EN ESTADOS UNIDOS Y CANADA	34
TABLA N ^o	6.	GRADOS ESTRUCTURALES Y TENSIONES ADMISIBLES PARA EL RADIATA PINE CRECIDO EN AUSTRALIA ...	41
TABLA N ^o	7.	PRECIO DE MAQUINAS PARA CLASIFICAR MADERA ESTRUCTURAL	60
TABLA N ^o	8.	TENSIONES ADMISIBLES PARA LOS DIFERENTES GRADOS ESTRUCTURALES DEL PINO RADIATA	63
TABLA N ^o	9.	ESPECIFICACIONES PARA LA INSPECCION VISUAL COMPLEMENTARIA DE LA CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA DEL PINO RADIATA DE AUSTRALIA ...	

	Página
TABLA N° 10. DIMENSIONES DEL PINO RADIATA ESTRUCTURAL CLASIFICADO EN FORMA MECANICA	65
TABLA N° 11. VALORES ADMISIBLES PARA LA ARQUEADURA EN GRADOS ESTRUCTURALES	66
TABLA N° 12. VALORES ADMISIBLES PARA LA ENCORVADURA EN GRADOS ESTRUCTURALES	67
TABLA N° 13. VALORES ADMISIBLES PARA LA TORCEDURA EN GRADOS ESTRUCTURALES	68
TABLA N° 14. USOS RECOMENDADOS PARA LOS GRADOS ESTRUCTURALES DEL PINO RADIATA	69
TABLA N° 15. GRADOS DEFINIDOS EN LA NORMA DE NUEVA ZELANDIA	70
TABLA N° 16. ESPECIFICACIONES PARA LA CLASIFICACION VISUAL DEL PINO RADIATA DE NUEVA ZELANDIA	72
TABLA N° 17. ARQUEADURA PERMITIDA EN LA CLASIFICACION ESTRUCTURAL DEL PINO RADIATA DE NUEVA ZELANDIA	74
TABLA N° 18. ENCORVADURA PERMITIDA EN LA CLASIFICACION ESTRUCTURAL DEL PINO RADIATA DE NUEVA ZELANDIA	75
TABLA N° 19. TORCEDURA PERMITIDA EN LA CLASIFICACION ES	



TRUCTURAL DEL PINO RADIATA DE NUEVA ZELAN <u>DI</u> DIA	75
--	----

TABLA Nº 20.	REGLAS PARA CLASIFICAR ESTRUCTURALMENTE UNA POBLACION DE REFERENCIA	84
---------------------	--	----



1.0 INTRODUCCION

El gran obstáculo para lograr un eficiente uso de la madera como material estructural es su variabilidad. Esta se origina en la naturaleza biológica del material que, a su vez, es influenciada por factores genéticos y del medio ambiente en el cual el árbol crece. A partir del momento en que ella se corta, aparecen piezas con un amplio rango de resistencia y rigidez. Por lo tanto, para que este material sea útil a ingenieros y arquitectos es necesario agruparlo de acuerdo a sus propiedades resistentes.

El proceso de agrupamiento o clasificación no consiste en seleccionar madera perfecta destinada a estructuras u otros propósitos. Por el contrario, permite la inclusión de la mayor cantidad de defectos posibles en cada grado o grupo con tal que ellos no descalifiquen las piezas en el uso para el cual se requieren.

La clasificación estructural de la madera proporciona al ingeniero la confianza de esperar un valor mínimo de resistencia para la madera de un grado determinado, cualquiera sea el origen que tenga dicho material.

La clasificación estructural puede ser definida como la técnica mediante la cual las piezas de madera se agrupan de acuerdo a su capacidad para resistir cargas o esfuerzos.

Este proceso debe contemplar un conjunto de reglas o criterios para efectuar el agrupamiento y un procedimiento para asignar las propiedades resistentes unitarias a cada grado definido.

Una regla de clasificación está constituida por especificaciones que describen, en forma simple, los antecedentes necesarios para que una pieza de madera perteneciente a una especie determinada

pueda ser asignada o ubicada en uno de los grupos definidos.

El procedimiento para asignar las propiedades resistentes unitarias a cada grupo o grado permite asociar estos grados con un cierto número de propiedades resistentes: flexión, compresión, cizalle, tracción, etc.

En este contexto, se acepta que todas las piezas que pertenecen a uno de estos grupos tienen resistencias iguales a la menor solicitación unitaria que la madera de dicho grado puede soportar en forma segura.

Estas resistencias asociadas con un grado determinado son las usadas por el diseñador en sus cálculos cuando utiliza madera de dicho grado y se denominan tensiones admisibles de la madera.

La clasificación estructural se puede desarrollar mediante una de las siguientes técnicas: Visual o mecánicamente. Cada una de ellas puede ser a su vez subdividida de acuerdo al procedimiento que se haya elegido para la deducción de las tensiones admisibles y a la finalidad que se persiga.

El presente estudio hace una recopilación de los antecedentes que existen sobre clasificación estructural de la madera, tanto visual como mecánica, con la finalidad de orientar y promover futuras investigaciones en esta materia y además, para reunir en un solo documento todas las etapas que se deben considerar para el uso eficiente de la madera destinada a la construcción.

2.0 ANTECEDENTES GENERALES

La madera tiene una larga historia como material de construcción. Sin embargo, sólo en la primera mitad del siglo XX se han efectuado extensos programas de investigación para evaluar sus propiedades físicas y mecánicas. La mayoría de ellos consultaban ensayos estandarizados de probetas de madera libre de defectos tales como nudos, grietas, desviaciones de fibra, etc. Estos valores de resistencia no son aplicables directamente al diseño estructural pues, la madera que se usa en la construcción es de mayor tamaño, presenta defectos y está sometida a cargas que pueden estar aplicadas en ella durante períodos indefinidos, en comparación con los pocos minutos que dura el ensayo.

Una evaluación más práctica de las propiedades resistentes de las piezas individuales de madera se ha logrado introduciendo el concepto de ensayo no destructivo mediante el cual se logra conservar la integridad de la pieza para un uso posterior. Entre los ensayos no destructivos se han probado técnicas usando: la evaluación de la densidad, radiación, vibración, ultrasonido, evaluación de la rigidez y, evidentemente, la inspección visual. En general estos métodos buscan la determinación de una propiedad de la pieza que sea un buen indicador del tipo de resistencia que interesa evaluar. Se han estudiado diferentes indicadores de las propiedades resistentes, de estos la inspección visual, usada en forma conjunta con la información obtenida por métodos de ensayos destructivos, ha sido por muchos años el método más confiable para estimar la resistencia de los elementos estructurales de madera. Sin embargo, estas estimaciones son sólo aproximadas debido a que el clasificador no siempre puede determinar el efecto de las características reductoras de la resistencia (defectos) que se encuentran en el interior de la pieza, o el efecto de defectos combinados y/o asociados.

En los últimos años se ha demostrado experimentalmente

que el módulo de elasticidad en flexión (E_f) de la madera mantiene una buena relación con las propiedades resistentes de flexión. Aún más, esta relación persiste en las piezas de madera que contienen los defectos que usualmente se encuentran en la madera con dimensiones estructurales. Como resulta fácil medir el E_f sin dañar la pieza, el uso de éste como un indicador de las propiedades resistentes puede resultar práctico y efectivo.

Los análisis estadísticos de datos obtenidos con maderas de Canadá y Estados Unidos indican una buena correlación entre el módulo de ruptura a la flexión (R_f) y el E_f , (coeficientes de correlación comprendidos entre 0,60 y 0,85).

Estas ecuaciones de regresión son el punto de partida del proceso de clasificación mecánica, pues si una pieza se somete a cargas pequeñas de flexión, ella se deforma elásticamente. Con los valores de carga aplicada y de deformación resultante es posible conocer el E_f que aplicado a la ecuación de regresión encontrada para R_f y E_f permite predecir, con una cierta confiabilidad, su resistencia a la flexión.

Usando este principio se han originado una serie de métodos mecánicos destinados a clasificar madera.

El presente estudio centrará su atención en el proceso de clasificación estructural de las piezas de madera y a la forma mediantе la cual se asignan las tensiones admisibles a cada uno de los grados definidos en la clasificación visual y mecánica.

3.0 CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE LA MADERA

Si la madera fuese usada sin selección, tal como ella se produce en el aserradero, sería necesario, como medida de seguridad, diseñar las estructuras aceptando la resistencia de la pieza más débil. Es obvio que este criterio sería antieconómico y muy poco eficiente. La

única alternativa es separar o agrupar las piezas que tienen resisten
cias similares en grados o clases.

Cada uno de estos grados se asocia con un cierto número de tensiones admisibles (flexión, compresión paralela, cizalle, etc.), las cuales son asignadas a todas las piezas que pertenecen a ese grado.

Actualmente existen dos sistemas para seleccionar o cla
sificar estructuralmente la madera. El más común es el denominado co
mo clasificación estructural visual basado en la tradicional identi
cación del defecto en forma visual, lo cual es un método aproximado de cuantificar los defectos.

El segundo se le ha denominado clasificación estructural
mecánica y se basa en la realización de ensayos no destructivos con el fin de determinar o medir la rigidez de la pieza, buen indicador de sus diferentes propiedades resistentes.

Ambos sistemas han coexistido durante varios años, sin embargo la clasificación mecánica no ha sido aplicada en los aserradero
s del país debido, fundamentalmente, al desconocimiento que existe sobre esta tecnología.

3.1 Clasificación Estructural Visual

La clasificación estructural visual es el método de cla
sificación más antiguo de los que están en uso. Está basado en la premisa que señala: "las propiedades mecánicas de la madera que contiene defectos difieren de aquéllas obtenidas en la misma made
ra enteramente libre de tales defectos".

En el desarrollo de las tensiones admisibles apropiadas

a cada grado, se usan dos procedimientos diferentes. Es importante explicar el proceso que se sigue en cada uno de ellos a fin de ilustrar las precauciones que se han adoptado.

3.1.1 Procedimiento basado en Probetas Libres de Defectos

Numerosos ensayos de laboratorio, realizados principalmente en Estados Unidos (1920), indicaron que los defectos de un tamaño dado y ubicación específica en una pieza causan, aproximadamente, una reducción proporcional en su resistencia, prescindiendo de la especie maderera. Este hecho ha permitido la preparación de reglas de clasificación para la madera estructural en las cuales los defectos visibles se limitan de modo que la pieza más débil de un grado determinado posea un porcentaje de la resistencia de una pieza de similar escuadría pero libre de toda imperfección (defecto). Este porcentaje se denomina "razón de resistencia (RR)". De esta manera, en una viga con una razón de resistencia igual a 60% ($RR = 0,60$) se debe esperar una resistencia de, a lo menos, un 60% de la resistencia que esa pieza tendría si estuviese libre de defectos.

Las especificaciones de cada grado consisten en el listado de los defectos que inciden sobre la resistencia de la pieza y que incluye, además, los límites máximos admisibles de los defectos en el o los grados que se contemplan en la clasificación. En la Tabla Nº 1 se señalan las especificaciones del GRADO 1 establecido en la norma de clasificación estructural para coníferas crecidas en el Este de Africa.

Cada grado está asociado con una Razón de Resistencia (RR) que se define como el cuociente formado entre la resistencia de la pieza con los defectos permitidos y la resistencia de esa

TABLA Nº 1. GRADO 1 DE LA NORMA DE CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE CONIFERAS DEL ESTE DE AFRICA.

RAZON DE RESISTENCIA = RR = 0,75	
DEFECTO Y CARACTERISTICA	MAGNITUD MAXIMA ADMISIBLE
NUDOS - En el canto - En el borde de la cara - En el centro de la cara - Nudos en nido	Sólo nudos firmes $\frac{e}{4}$ $\frac{a}{8}$ $\frac{a}{6}$ $\frac{a}{4}$
PUDRICION	No se acepta, a excepción de aquélla presente en nudos firmes.
CANTO MUERTO - En el canto - En la cara - Longitud	No se acepta No se acepta No se acepta
DESVIACION DE LA FIBRA	1 : 14
BOLSILLOS DE RESINA Y CORTEZA	No se aceptan
GRIETAS Y ACEBOLLADURAS - Longitud	$\frac{a}{4}$ y 150 mm Se toma el menor valor

e = espesor de la pieza

a = ancho de la pieza

misma pieza sin defectos. Luego, para las especificaciones incluidas en la Tabla N° 1 se puede señalar que las magnitudes máximas admisibles en el grado, disminuyen en un 25% la resistencia que tendría esa pieza si estuviese libre de defectos.

Tales reglas o especificaciones son previamente establecidas y permiten al Clasificador que inspecciona en forma visual la pieza, decidir el grado en el cual se puede asignar el elemento, materializando tal grado con una marca que lo identifique plenamente.

Este sistema de clasificación visual tiene ciertos inconvenientes tales como la subjetividad de los clasificadores, sin embargo es aún el sistema de clasificación más ampliamente usado en el mundo.

El primer paso que se debe cumplir en la determinación de las tensiones admisibles de una especie determinada, es el ensayo de un gran número de probetas libres de defectos que contemplen los ensayos de flexión, cizalle y compresión paralela a las fibras.

Los métodos de muestreo, ensayo y obtención de resultados están especificados en la norma ASTM D 143 que ha sido aceptada internacionalmente.

La necesidad de ensayar un gran número de probetas para cada propiedad obedece a la conveniencia de obtener una indicación de la variabilidad de la especie maderera la cual luego se interpreta usando los métodos estadísticos normales.

En la curva de distribución normal, establecida para cada sollicitación, se determina el límite inferior que permite una confiabilidad de 99% o de 95% (percentilas de 1% o 5% respectiva

mente). Aceptar tales valores mínimos probable significa que de 100 valores de esa propiedad, 99 ó 95 serán, respectivamente, superiores al valor mínimo aceptado. La Figura N° 1 ilustra este procedimiento e indica que, en promedio, el valor mínimo (de confiabilidad 99%) es aproximadamente un 70% del valor medio. En términos estadísticos:

$$x_{\min} = \bar{f}_b - 2,33 s_x$$

en donde:

$x_{\min}$ = valor mínimo probable (confiabilidad = 99%)

$\bar{f}_b$ = resistencia media en flexión.

s_x = desviación estándar.

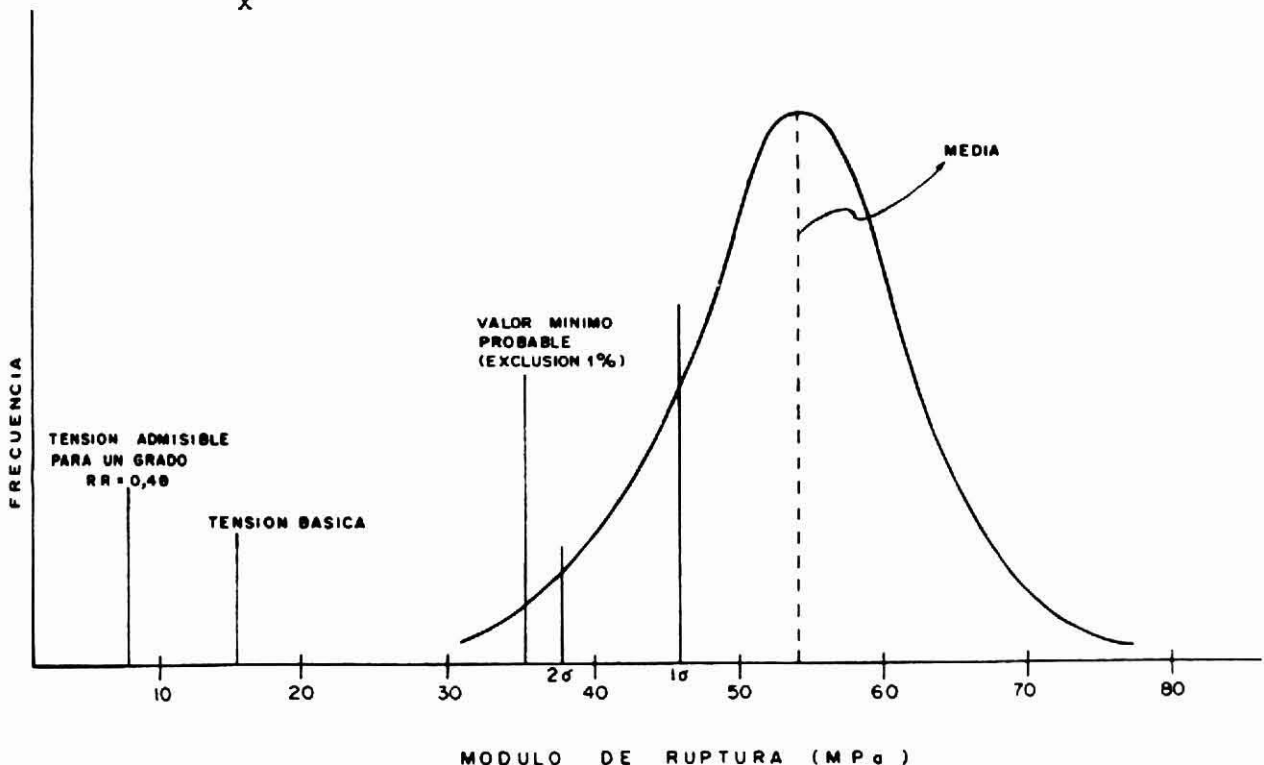


FIGURA N° 1. Deducción de la tensión admisible en flexión para un grado con $RR = 0,48$ de una especie maderera típica.

Para obtener la tensión básica se debe reducir el valor mínimo probable a través de un factor (K_r) que permita considerar: cargas de duración prolongadas, sobrecargas accidentales, forma y dimensión de la pieza. La experiencia ha indicado que es posible reunir todos estos efectos en un solo valor. Sin embargo, él no tiene que ser necesariamente el mismo para todas las propiedades resistentes.

La expresión general para la tensión básica de flexión es:

$$T.B. = (\bar{f}_b - 2,33 s_x) / K_r$$

$$T.B. = (\bar{f}_b - 2,33 s_x) / 2,22$$

en que:

T.B. = tensión básica

$\bar{f}_b$ = resistencia media en flexión

s_x = desviación estándar

K_r = factor de reducción en flexión = 2,22.

Esta expresión proporciona la tensión básica de flexión para la especie en estudio y es aplicable a piezas estructurales libres de defectos que trabajan elásticamente bajo cargas permanentes.

A fin de obtener la tensión admisible, definida como el esfuerzo unitario que se asigna al material clasificado estructuralmente, se hace necesario aplicar la "razón de resistencia" que es el factor que considera la pérdida de resistencia causada por fibras inclinadas, nudos, grietas u otras características reductoras de la resistencia, las cuales se detallan en las reglas de cla

sificación estructural visual que corresponde.

Si en el ejemplo anterior se acepta una razón de resistencia igual a 0,48 se tendrá que la tensión admisible para éste grado se calcula de la siguiente manera:

Media	:	$\bar{f}_b$	=	54,0 MPa
Valor mínimo probable (1% de exclusión)	:	$\bar{f}_b - 2,33 s_x$	=	35,0 MPa
Tensión Básica	:	$(\bar{f}_b - 2,33 s_x) / 2,22$	=	15,8 MPa
Tensión admisible (RR = 0,48)	:	$0,48 (\bar{f}_b - 2,33 s_x) / 2,22$	=	7,58 MPa

El proceso se grafica en la Figura N° 1.

La relación entre las magnitudes de los diferentes defectos y la reducción de resistencia que esas magnitudes provocan en la pieza se detallan en la norma ASTM D 245, especificaciones que han sido ampliamente usadas en todo el mundo durante años.

3.1.2 Procedimiento basado en Piezas de Tamaño Estructural

Exhaustivos estudios de laboratorio realizados en la década recién pasada (1970 - 1980) han señalado que con la deducción de tensiones admisibles basada en el ensayo de probetas libres de defectos y la clasificación estructural visual que de ella se obtiene, resultan recomendaciones muy conservadoras para las resistencias de diseño.

Otra manera de determinar las tensiones admisibles es mediante el ensayo de probetas con tamaño estructural (a escala real).

Este método es más directo y usa una muestra formada por piezas de madera previamente clasificada en cada uno de los grados definidos. Su desventaja consiste en el costo de los equipos y de la madera necesaria, además del tiempo que se requiere para realizar los distintos ensayos.

Este procedimiento no implica, necesariamente, el cambio de las especificaciones dadas en las diferentes reglas de clasificación. Pero permite y respalda un incremento de las tensiones admisibles que se asignaban a cada grado pues es un procedimiento más realista al considerar tamaño real, acción reductora de los defectos, etc.

Para deducir tales tensiones admisibles es necesario:

- i) Definir la población de referencia. Es probable que tal población se refiera a un grado específico de un recurso maderero comercial obtenido de un determinado lugar.
- ii) Extraer una muestra representativa de esta población de referencia constituida por piezas a escala real.
- iii) Realizar ensayos estandarizados en una cantidad de piezas que asegure una confiabilidad estadística de 95%. De estos ensayos se obtienen los valores mínimos probables (percentila del 5%) de resistencia y rigidez.
- iv) Con estos valores se obtienen las tensiones admisibles dividiéndolos por un factor de carga que refleje la relación entre una carga de tres minutos de duración (carga de ensayo) y la carga de duración prolongada (tensión admisible) agregán dole, además, otro factor que es escogido para considerar sobrecargas accidentales (factor de seguridad).

Este procedimiento general tiene variaciones en los diferentes países que han ido a la vanguardia del proceso de clasificación estructural de la madera. Dichas variaciones se verán en detalle cuando, en este estudio, se revisen los antecedentes de la clasificación estructural mecánica en Estados Unidos, Canadá, Australia e Inglaterra.

La técnica descrita es un proceso más refinado con la finalidad de lograr diseños más eficientes que los obtenidos por el procedimiento basado en probetas libres de defectos, el cual necesita ser más conservador.

Aún cuando la clasificación estructural visual resulta de gran eficiencia para el uso estructural de la madera en comparación con el hecho de no contar con alguna clasificación, ella adolece de numerosas desventajas:

- a) Cada pieza debe ser manipulada y examinada por sus cuatro superficies para medir sus defectos.
- b) Acepta que piezas pertenecientes a una determinada especie maderera y que contienen defectos de igual tamaño tienen, aproximadamente, la misma resistencia.
- c) Se acepta, además, que piezas libres de defectos pertenecientes a la misma especie poseen resistencias similares lo cual, obviamente, es una aproximación pues se sabe que piezas de apariencia semejante pueden diferir bastante en sus capacidades resistentes debido a distintos factores, uno de los cuales es la densidad.

La presencia de nudos y desviaciones de la fibra incrementa la dificultad de estimar la resistencia de una pieza. Un

elemento con una alta resistencia inherente que contiene nudos puede resultar con una resistencia mayor que otra sin defectos con una baja resistencia inherente.

Por estas razones la clasificación estructural visual de la madera resulta bastante ineficiente y por lo tanto la asignación de las tensiones admisibles debe ser conservadora.

3.2 Clasificación Estructural Mecánica. Machine Stress Rating (M.S.R.)

3.2.1 Antecedentes

El concepto de clasificación estructural mecánica de la madera fue estudiado en forma simultánea en varios países a principios de 1960. La inquietud nació en la necesidad de mejorar la eficiencia que entregaba la clasificación estructural visual en la estimación de las propiedades resistentes de la madera.

Tal como su nombre lo indica, el procedimiento involucra el uso de una máquina para medir un estimador de la resistencia de la pieza en un ensayo no destructivo.

El proceso de clasificación estructural mecánica sólo se hizo posible cuando se verificó la existencia de una razonable relación entre la resistencia de flexión, compresión y tracción con el módulo de elasticidad en flexión (E_f) determinado en luces cortas. El posterior diseño de una máquina capaz de medir el E_f satisfactoriamente, permitió la clasificación de piezas de madera con propiedades resistentes superiores a un valor mínimo previamente establecido.

Las actuales máquinas de clasificación estructural usan

esencialmente el mismo principio: Cada pieza de madera que se clasifica es deformada como una viga y la magnitud de la fuerza (deformación) asociada con la deformación (fuerza) constante aplicada por la máquina permiten determinar el valor del E_f .

Con este valor indicador se estiman las propiedades resistentes y con ellas se clasifica la pieza.

Las instituciones pioneras en la aplicación de esta tecnología fueron: Potlatch Forests, Inc. en Lewiston, Idaho, Western Pine Association en Portland, Oregon; la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) de Melbourne, Australia y el Timber Research Unit of the Council for Scientific and Industrial Research de Sud-Africa. Cada una de estas organizaciones produjo un tipo de máquina para clasificar madera estructural utilizando el principio señalado anteriormente.

3.2.2 Teoría y Uso de la Clasificación Estructural Mecánica

Como se ha señalado anteriormente, todos los sistemas de clasificación están basados en el uso de estimadores de propiedades mecánicas. Por ejemplo, el tamaño de los defectos tales como nudos, permite predecir la resistencia de la pieza que los contiene en el proceso de clasificación estructural visual. En EE.UU. se usan como estimadores la rigidez de la pieza y el tamaño de los nudos ubicados en su canto para clasificar mecánicamente dicha pieza.

La relación entre el estimador y la propiedad mecánica que interesa se demuestra por la técnica estadística conocida como regresión lineal. La Figura N° 2 ilustra el uso de una regresión y el efecto de la variabilidad de los datos en la precisión

de la estimación.

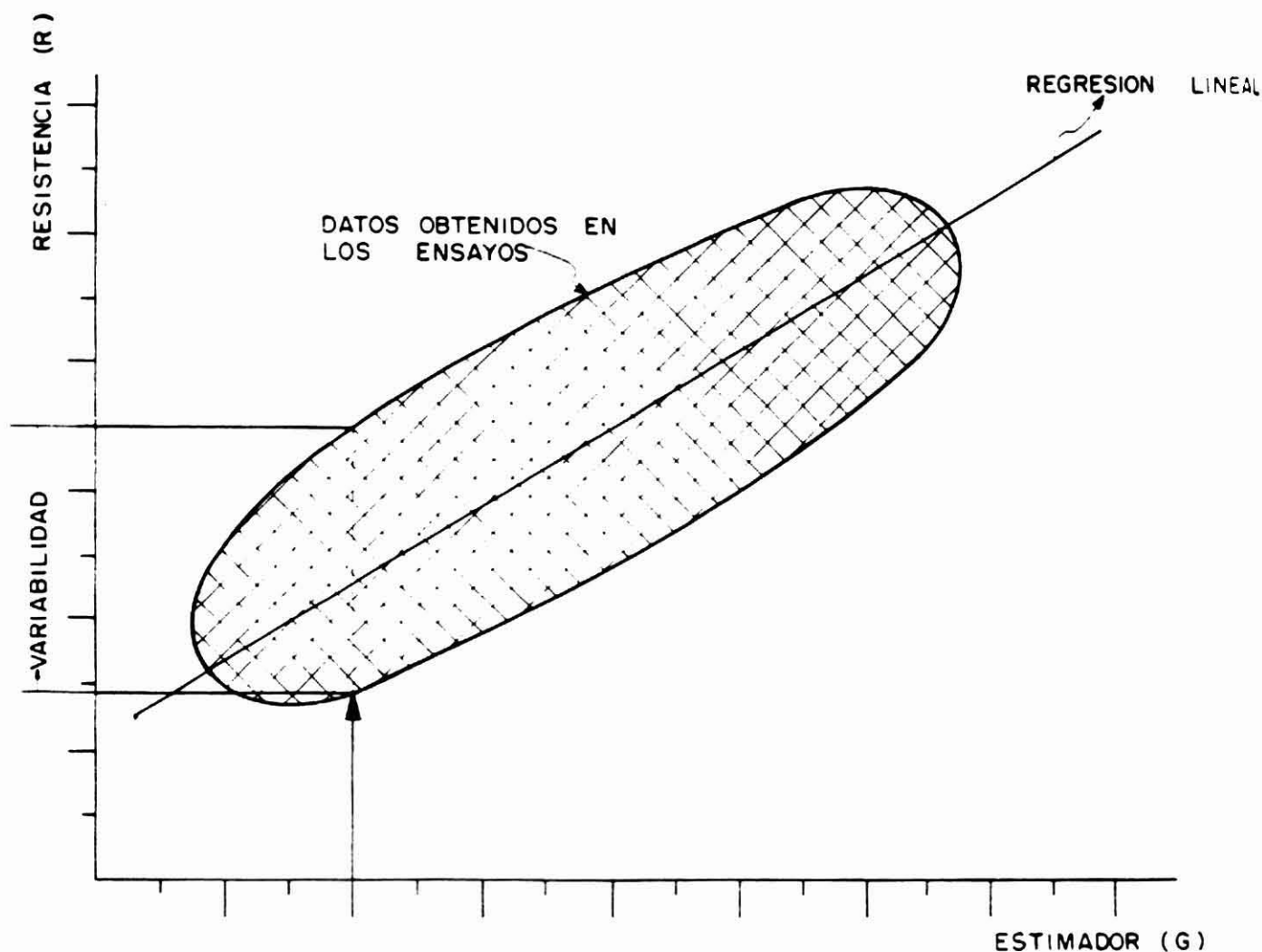


FIGURA Nº 2. Estimación de la resistencia usando un estimador medido en cada pieza.

Claramente se observa que mientras más compactos estén los datos alrededor de la recta de regresión lineal, menor es la variabilidad y por lo tanto mejor es la estimación de la resistencia.

De las diferentes variables estudiadas, el E_f ha demostrado ser un buen estimador de la resistencia máxima a la flexión

o módulo de ruptura (R_f). Los análisis estadísticos de datos obtenidos en maderas de Canadá y Estados Unidos indican que los coeficientes de correlación obtenidos para E_f y R_f están comprendidos entre 0,60 y 0,85.

Un coeficiente de correlación igual a 1,0 significa una perfecta relación lineal entre dos variables y todos los puntos de su representación gráfica están sobre una línea recta con una pendiente positiva o negativa. El cuadrado del coeficiente de correlación es conocido como el "Coeficiente de determinación" e indica el porcentaje de variabilidad de una de las variables, que corre por cuenta de la otra variable.

Un coeficiente de correlación de $r = 0,707$ entre R_f y E_f significa que el 50% ($r^2 = 0,707^2 \approx 0,50$) de la variabilidad de R_f se explica por E_f .

En la Tabla N° 2 aparecen valores del coeficiente de correlación entre R_f y E_f para diferentes especies madereras de Norte-América.

Desafortunadamente las relaciones entre E_f y otras propiedades resistentes no han sido estudiadas en forma tan extensa como se ha hecho para R_f y E_f . Algunas limitadas experiencias han demostrado que la compresión paralela a las fibras y la tracción también se relacionan aceptablemente con el E_f . Las Tablas N° 3 y N° 4 presentan los resultados de tales experiencias. Se han estudiado también, relaciones entre la compresión normal a las fibras y cizalle paralelo con el E_f , las cuales han resultado menos pronunciadas debido a que los métodos de ensayos estandarizados para determinar estas dos propiedades no señalan el efecto o influencia de las características de crecimiento más importantes.

TABLA N° 2.

RESUMEN DE ENSAYOS PARA DETERMINAR LA REGRESION ENTRE R_f Y E_f .

CARGA SOBRE	ESPECIE	CONSTANTES DE LA REGRESION (1)			NUMERO DE PIEZAS ENSAYADAS	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	GRADOS (2)	ANCHO NOMINAL (3) (Pulg.)	SITIO DE CRECIMIENTO
		A	B	r					
CANTO	Douglas - fir	0,00590	- 3345	-	161	10	SS,C,U	6	W. Ore - Wash.
	Douglas - fir	0,00618	- 2960	0,84	76	10	SS,C,U	6	W. Ore - Wash.
	Douglas - fir	0,00522	- 2625	0,85	80	10	SS,C,U	6	W. Ore - Wash.
	Douglas - fir	0,00438	- 798	0,64	225	12	SS,C,U	4,6,10	Inland NW - USA
	Western - Hem	0,00658	- 3140	0,87	81	10	SS,C,U	6	W. Ore - Wash.
	Western - Hem	0,00610	- 6030	0,85	81	10	SS,C,U	6	W. Ore - Wash.
	Western - Hem	0,00533	- 3520	0,66	24	12	Sin clasif	4	Idaho
	Grand - fir	0,00372	- 482	0,70	49	12	SS,C,U	8	Idaho
CARA	Douglas - fir	0,00573	- 3474	0,79	225	12	SS,C,U	4,6,10	W. Ore - Wash.
	Douglas - fir	0,00626	- 3560	0,85	81	10	SS,C,U	6	W. Ore - Wash.
	Douglas - fir	0,00575	- 2113	0,72	223	12	SS,C,U	4,6,10	Idaho - Wash.
	Douglas - fir	0,00543	- 2253	0,76	240	12	Var-los	4,8	Idaho
	Western - Hem	0,00587	- 2779	0,74	225	12	SS,C,U	4,6,10	W. Ore - Wash.
	Western - Hem	0,00616	- 2890	0,86	82	10	SS,C,U	6	W. Ore - Wash.
	Grand - fir	0,00573	- 2492	0,75	300	12	C,S	4,6,8	Idaho
	Southern-Pine	0,00583	- 1880	0,88	540	12	1D,2,3	4,6,10	SE - USA

(1) : $Y = A + Bx$ = Ecuación de Regresión Lineal; $Y = R_f$ (p.s.i.) $X = E_f$ (p.s.i.); r = coeficiente de correlación.

(2) : SS = Select Structural; C = Construction; U = Utility; S = Standard; 1D = N° 1 Dense; 2 = N° 2 Dense; 3 = N° 3 Dense.

(3) : Todas las piezas tenían un espesor de 2" (nominal).

TABLA N° 3.

RESUMEN DE ENSAYOS PARA DETERMINAR LA REGRESION ENTRE LA RESISTENCIA DE COMPRESION PARALELA (R_c) Y E_f .

E S P E C I E	CONSTANTES DE LA REGRESION (1)			NUMERO DE PIEZAS ENSAYADAS	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	GRADOS (2)	ANCHO NOMINAL (3) (Pulg.)	SITIO DE CRECIMIENTO
	A	B	r					
Douglas - fir	0,00384	- 395	0,78	126	12	SS,S,E	4 - 8	Idaho
Grand - fir	0,00262	330	0,84	120	12	varios grados	4 - 8	Idaho
Southern - Pine	0,00171	1902	0,67	297	12	1, 2, 3	4 - 8	SE, USA
Southern - Pine	0,00325	90	-	500	12	10, 1, 20, 2, 3	4, 6, 8	SE, USA

(1) : $Y = A + B_x$ = Ecuación de Regresión Lineal : $Y = R_c$ = resistencia máxima de compresión paralela (p.s.i.), $X = E_f$ (p.s.i.); r = coeficiente de correlación.

(2) : SS = Select Structural; S = Standard; E = Economy; 1 = N° 1; 2 = N° 2; 3 = N° 3; 1D = N° 1 Densé; 2D = N° 2 Densé.

(3) : Todas las piezas tenían un espesor de 2" (nominal).

TABLA N° 4.

RESUMEN DE ENSAYOS PARA DETERMINAR LA REGRESION ENTRE LA RESISTENCIA DE TRACCION PARALELA (R_t) Y E_f .

E S P E C I E	CONSTANTES DE LA REGRESION (1)			NUMERO DE PIEZAS ENSAYADAS	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	GRADOS (2)	ANCHO NOMINAL (3) (Pulg.)	SITIO DE CRECIMIENTO
	A	B	r					
Douglas - fir	0,00311	- 2019	0,74	264	13	1,0-1,4-1,8-2,2	4 - 8	Idaho
White - fir	0,00325	- 1196	0,75	230	14	Id.	4 - 8	Idaho
Western - Hemlock	0,00403	- 2331	0,81	156	15	Id.	4 - 8	W. Ore - Wash.

(1) : $Y = A + B_x$ = Ecuación de Regresión Lineal, Y = resistencia máxima de tracción paralela (p.s.i.) $X = E_f$ (p.s.i.); r = coeficiente de correlación.

(2) : 1,0 - 1,4 - 1,8 - 2,2 son grados de una clasificación estructural mecánica.

(3) : Todas las piezas tenían un espesor de 2" (nominal).

El parámetro estimador E_f puede ser medido mediante una variedad de medios mecánicos y electrónicos. Las maquinarias de clasificación estructural son alimentadas con madera aserrada, longitudinalmente, a través de una serie de rodillos los cuales aplican, hidráulica o mecánicamente una deformación (carga) constante. La máquina mide la carga (deformación) resultante (ver Figura Nº 3).

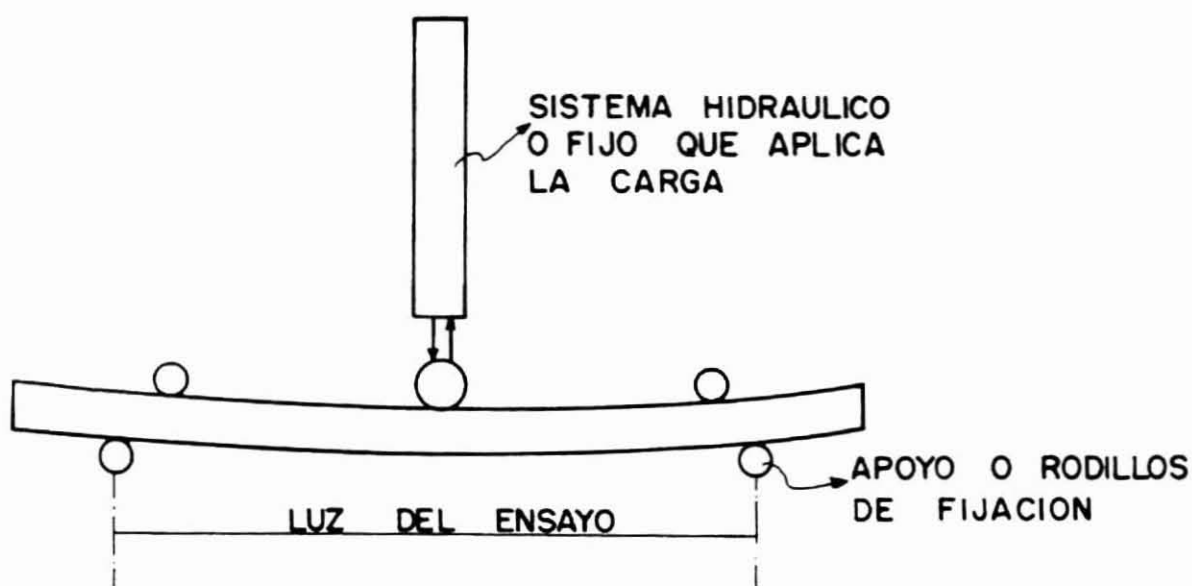


FIGURA Nº 3. Ilustración esquemática del típico principio en el cual se basa la clasificación estructural mecánica.

Algunos nombres o marcas que tienen estas máquinas son:
a) Continuous Lumber Tester (CLT-1) y Stress-O-Matic (SOM) en Estados Unidos y Canadá; b) Computermatic en Australia; c) TRU Timber Grader en Sud-Africa.

La CLT-1 deforma la pieza en dos direcciones provocando una concavidad y una convexidad sobre sus caras. Las otras defor

man la pieza sólo en una dirección, tal como se indica en la Figura N° 3.

Todas estas máquinas aplican la carga sobre una cara de la pieza y son capaces de trabajar en línea con la cepilladora, a excepción de la TRU Timber Grader, a una velocidad de 150 - 300 m/min.

La precisión con la cual se estima la resistencia contro la la eficiencia del sistema de clasificación mecánica.

Se incluirán a continuación algunos comentarios sobre técnicas destinadas a mejorar la estimación de la resistencia con este procedimiento.

- i) La determinación del E_f en luces cortas es más exacta que con luces largas. Lo anterior se explica porque se presume que el defecto que controla la resistencia de la pieza también contribuye a una disminución proporcional del valor de E_f en la vecindad del defecto.

Generalmente las máquinas que aplican una carga (o defor mación) constante para determinar el E_f utilizan luces cor tas, procediendo a medir el E_f en forma continua o en inter valos muy cortos y registrando el mínimo valor que se produ ce en toda la longitud.

- ii) No existe una diferencia significativa en la estimación de la resistencia cuando se determina el E_f con carga aplicada en el canto de la pieza o en su cara. Comúnmente las máquinas aplican carga en la cara pues con ello se obtienen amplias de formaciones, las cuales son fáciles de medir, evitando un pro bable daño producto de cargas excesivas. La carga aplicada

en la cara permite, además, una flexibilidad para ajustarse a diferentes anchos.

La carga en el canto es también factible pero ello requiere una gran sensibilidad en la medición, debido a las pequeñas magnitudes de las deformaciones que se producen con tal posición.

- iii) En Estados Unidos y Canadá el proceso de clasificación estructural mecánica es complementado con una inspección visual debido a que el conocimiento del tamaño de los nudos en el canto combinado con la estimación mecánica del E_f da como resultado una mejor estimación de la resistencia de la pieza. Otros países no emplean restricciones para los nudos en el canto pues las maderas con las cuales ellos trabajan no presentan tantos nudos como es el caso de las especies madereras de Estados Unidos y Canadá o debido a que existen diferencias en los requisitos del sistema de clasificación.
- iv) La precisión con la cual las máquinas pueden medir el E_f es de enorme importancia. La madera es un material visco-elástico y por lo tanto sus propiedades resistentes dependen del tiempo de duración de la carga aplicada. La velocidad y duración de la carga tienen una influencia definida sobre la resistencia de la madera. Sin embargo, las investigaciones han demostrado que tal efecto no es aplicable al E_f . Se obtienen similares valores del E_f para las duraciones normales de carga que se emplean en los ensayos de laboratorio y en el diseño de las construcciones en madera.
- v) Para dilucidar el posible daño que puede ocasionar en la madera la clasificación estructural mecánica se construyó un aparato para cargar y descargar piezas en forma repetida ba

jo las mismas condiciones que se presentan en el proceso de clasificación mecánica.

Diferentes piezas de madera fueron sometidas a miles de ciclos dando como resultado que tanto el R_f como el E_f permanecieron prácticamente inalterables.

Müller estudió el mismo problema y concluyó que las "repeticiones de tensiones de hasta un 75% de la tensión máxima no tenían un efecto significativo sobre el E_f del *Pinus patula* en sus grados estructurales".

La Western Pine Association comprobó, por otra parte, que sus máquinas de clasificación estructural no sobrepasaban la cifra señalada anteriormente.

- vi) La madera estructural debe usarse en estado seco. Las tensiones admisibles que se aplican a una clasificación estructural mecánica están dirigidas a un producto seco. Si el material se clasifica mecánicamente en estado verde, el alto contenido de humedad de la madera reduce sus propiedades elásticas y por lo tanto el grado resultante en el proceso de clasificación será menor que el correspondiente a esa misma pieza en estado seco; pero como la madera en servicio tiende a disminuir su contenido de humedad hasta alcanzar la humedad de equilibrio del lugar donde ella está instalada, experimentará un incremento en sus propiedades que es en parte aminorado por las contracciones de la sección transversal.

Ensayos experimentales han demostrado que la capacidad resistente del material clasificado a un contenido de humedad mayor a la humedad de equilibrio del lugar donde él presta servicio, se incrementa mientras se produce el proceso de



secado.

Lo anterior señala la conveniencia de clasificar madera seca a fin de no disminuir su calificación en el momento del agrupamiento o clasificación.

La clasificación mecánica incentiva la producción de madera seca, aun cuando las máquinas pueden calibrarse para clasificar confiablemente madera en estado verde.

3.3 Tensiones Admisibles para la Clasificación Estructural Mecánica

El mecanismo general para establecer las tensiones admisibles que se asignan a los grados definidos en una clasificación estructural mecánica es similar en los diferentes países, difiriendo sólo en su metodología de cálculo. Se revisarán los procesos empleados en Estados Unidos, Canadá, Inglaterra y Australia, países que han estado a la vanguardia en esta materia.

3.3.1 Proceso General

Leicester señala un esquema general de las etapas que se siguen en un proceso de clasificación. La característica esencial de tal proceso es el agrupamiento de una población en varios grados (Grados 1, 2 y 3 en la Figura N° 4).

La población matriz puede ser escogida en la forma que se desee. Sin embargo, una vez elegida, debe ser rigurosamente definida y observada. Generalmente es conformada por una parte de la producción de aserraderos ubicados en una o varias regiones geográficas elegidas convenientemente, durante un período de tiempo

previamente definido. La población puede incluir madera aserrada de una especie maderera, una combinación de tres o más especies o también un conjunto de especies sin una limitación en cantidad.

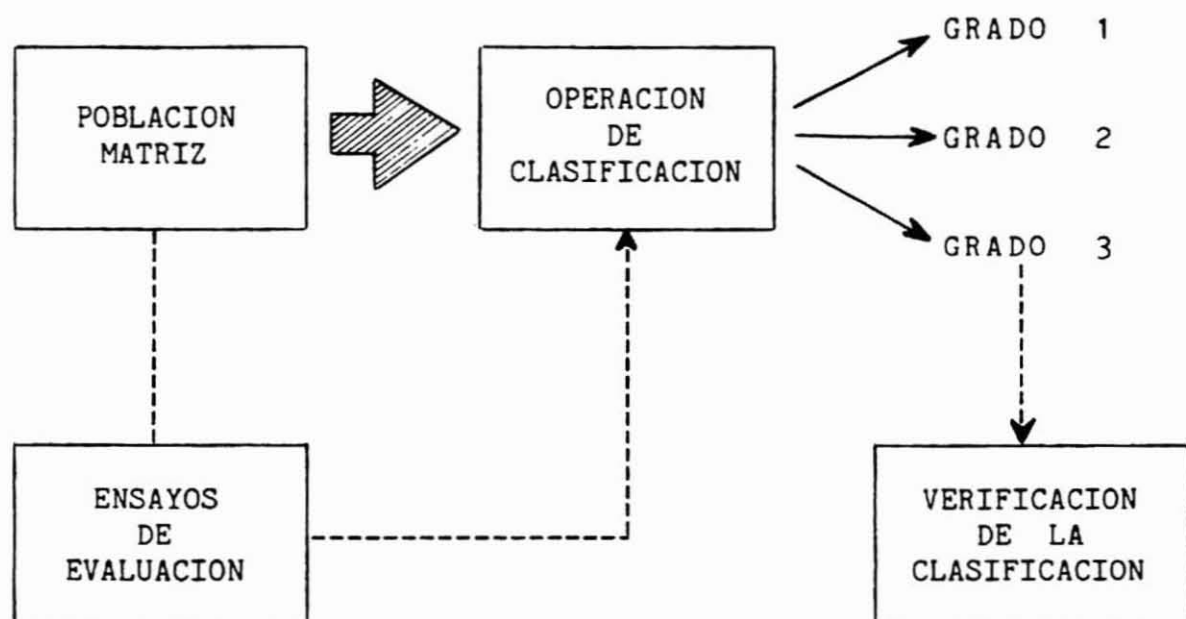


FIGURA Nº 4. Etapas básicas de una clasificación.

La operación de clasificación consiste en definir los diferentes grados en los cuales se distribuirá la población, de acuerdo a la resistencia de los individuos. La mayoría de las propiedades estructurales no pueden ser determinadas o medidas durante la clasificación, por lo cual la operación de clasificación se basa en la correlación que existe entre la propiedad resistente que interesa (R) y el parámetro estimador (G), ver Figura Nº 5.

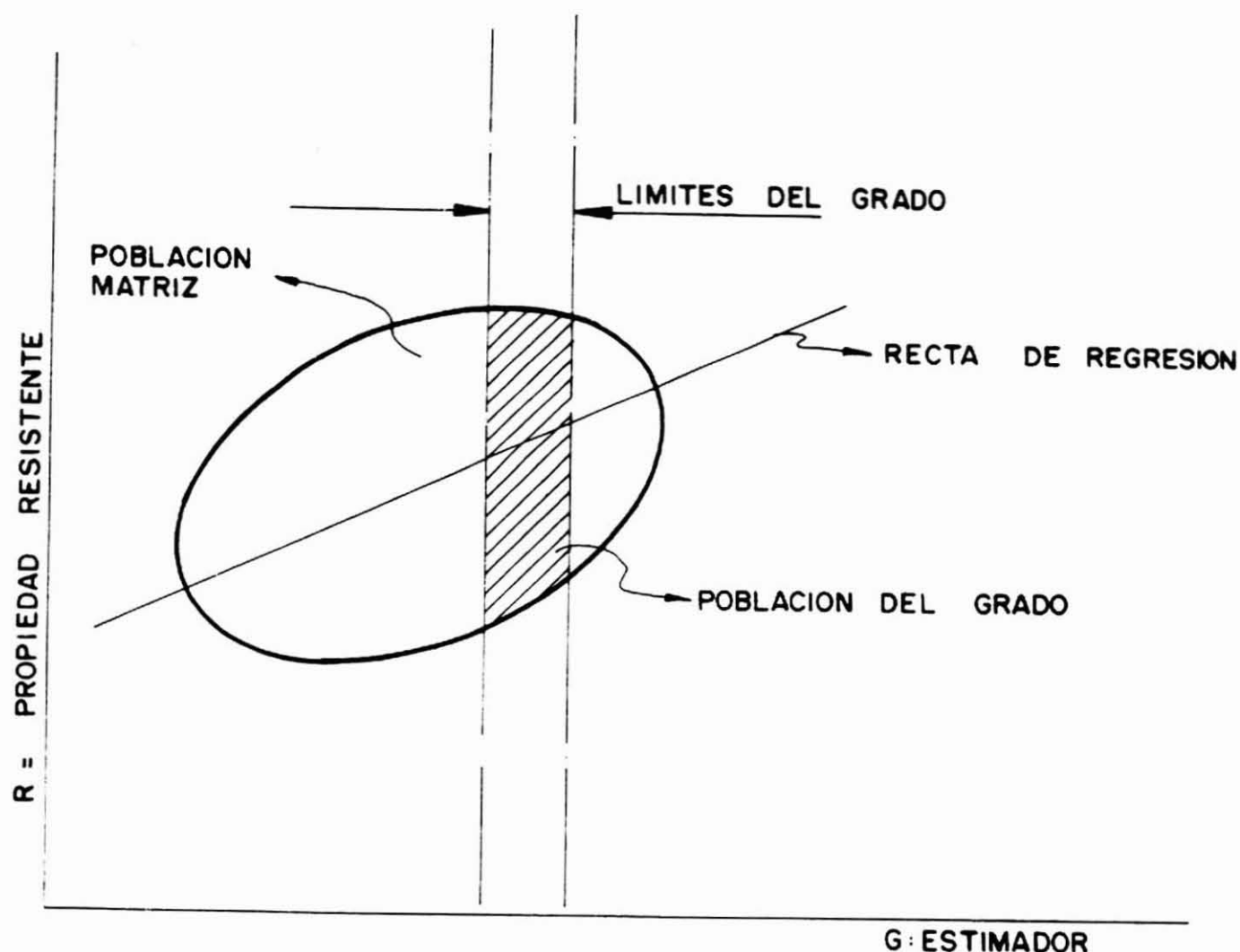


FIGURA Nº 5. Operación de clasificación.

Para determinar estas correlaciones se efectúan ensayos de evaluación los cuales proveen la información necesaria. Existe un amplio rango de tipos de ensayos que se pueden intentar. A medida que la cantidad de ensayos se incrementan se logra también una mayor confiabilidad en el conocimiento de las propiedades resistentes de la población y con ello la clasificación estructural resultará más eficiente. Algunos tipos de ensayos de evaluación que pueden intentarse para una población que no ha sido previamen

te clasificada estructuralmente son presentados a continuación en un orden creciente de costo y eficiencia.

- a) Sin ensayos. Sólo se definen las especificaciones de los grados.
- b) Medición de la densidad de la población solamente.
- c) Medición de las resistencias de flexión y compresión de 10 a 50 probetas normalizadas libre de defectos.
- d) Medición de la resistencia a la flexión y rigidez de 30 a 200 piezas estructurales de madera.
- e) Medición de las resistencias de flexión, de tracción paralela a las fibras y rigidez de 1.000 a 10.000 piezas de madera estructural.

La verificación de la clasificación se aplica para resolver dudas y verificar que el proceso de clasificación está conduciendo al o los grados previamente definidos. A esta etapa se le conoce también como ensayos "In-grade" y ha sido introducido por Madsen en 1978.

Las tensiones admisibles se definen para cada grado establecido en la clasificación estructural.

3.3.2 Método Usado en Estados Unidos y Canadá

Los ensayos de evaluación se realizan en piezas estructurales de diferentes anchos y con un espesor de 50 mm. Ver Tablas N° 2, N° 3 y N° 4.

Para estos ensayos se puede plantear la pregunta: Si se

conoce la exacta resistencia de un elemento estructural determinada en un ensayo de laboratorio a escala real, ¿qué tensión admisible será la apropiada para ese elemento?.

En la presentación de los fundamentos de la clasificación estructural visual se ha señalado que los factores que se aplican a las resistencias deducidas de ensayos de probetas libres de defectos se toman en consideración los efectos de:

- a) Variabilidad
- b) Tamaño
- c) Duración de la carga
- d) Sobrecarga accidental, y
- e) Efecto de las características reductoras de la resistencia sobre las resistencias medias.

Cuando se ensayan destructivamente las piezas estructurales se reflejan en forma inmediata y precisa los efectos a, b y e sobre los datos de resistencia obtenidos. Los efectos c y d deberán tomarse en cuenta separadamente.

Un extenso programa de investigación ha demostrado que para una carga aplicada en un período de tiempo prolongado, una pieza de madera fallará en tracción o flexión con una carga igual a $9/16$ de aquella obtenida como carga máxima en el laboratorio (ensayo que necesita de 5 a 10 minutos para su realización).

Además, debido a que muchas estructuras no se diseñan para períodos extremadamente largos, se ha demostrado que el factor $9/16$ puede incrementarse en un 10% para períodos de diseño de 10 años. El período de carga igual a 10 años se denomina "período normal de carga" y las tensiones admisibles que entregan los Manuales de Diseño en Madera son aplicables a este "período normal

de carga".

Las tensiones admisibles deducidas según el criterio de clasificación visual se establecen con el concepto de período normal de duración de carga. Parece razonable entonces, basar en el mismo concepto las tensiones admisibles a deducir de los resultados de ensayos destructivos de piezas a escala real. En compresión, el factor de duración de carga se acerca más a los $\frac{3}{5}$, que al valor $\frac{9}{16}$, asignado al caso de flexión y tracción.

El factor que considera una sobrecarga accidental, denominado también como factor de seguridad, depende exclusivamente del criterio del calculista. No es peculiar de la madera pues se le considera en todos los materiales de ingeniería. Se le ha sometido a diferentes discusiones y se ha escrito mucho sobre él y probablemente ello continuará por bastante tiempo aún.

Para la madera en tracción y flexión el FPL, la ASTM y otras organizaciones reconocen el factor $\frac{10}{13}$. El factor correspondiente a la compresión es $\frac{4}{5}$. Estos factores son aplicados en la clasificación visual y ello permite la alternativa de aplicarlos también a las tensiones admisibles basadas en el criterio de ensayos destructivos.

Con los antecedentes anteriormente expuestos, los Laboratorios de Productos Forestales de Canadá y Estados Unidos han adoptado el siguiente criterio para la deducción de las tensiones admisibles:

Factores de modificación en flexión y tracción.

$$\frac{9}{16} \times \frac{11}{10} \times \frac{10}{13} \approx \frac{1}{2,1}$$



Factor de modificación en compresión paralela.

$$\frac{3}{5} \times \frac{11}{10} \times \frac{4}{5} \approx \frac{1}{1,89}$$

Se hace notar que estos factores son independientes del tipo de ensayo no destructivo usado para estimar la tensión admisible de la madera estructural. Se sugiere, por lo tanto, que los resultados de cualquier ensayo no destructivo estén sometidos a estos factores.

Las resistencias de cizalle paralelo a las fibras y de compresión normal a la fibra son muy importantes en el diseño estructural de madera. Se han desarrollado algunos factores de modificación para estas propiedades pero no existen ensayos de laboratorio apropiados para el estudio de estas propiedades usando elementos o piezas estructurales a escala real. De hecho, sólo recientemente se han diseñado ensayos para tracción y compresión paralela y ellos están sólo en una etapa experimental.

El mecanismo para establecer las tensiones admisibles con la información hasta aquí expuesta, es simple. Por ejemplo, para la flexión se tiene el siguiente procedimiento:

1) Ajustar una línea de regresión lineal (recta A) a los datos obtenidos, para la relación entre R_f y E_f , de los ensayos de evaluación (ver Figura Nº 6).

2) Establecer la línea que señala el límite de 5% de exclusión (recta B) partiendo del valor del error estándar de la estimación.

3) Definir la línea de tensiones admisibles.

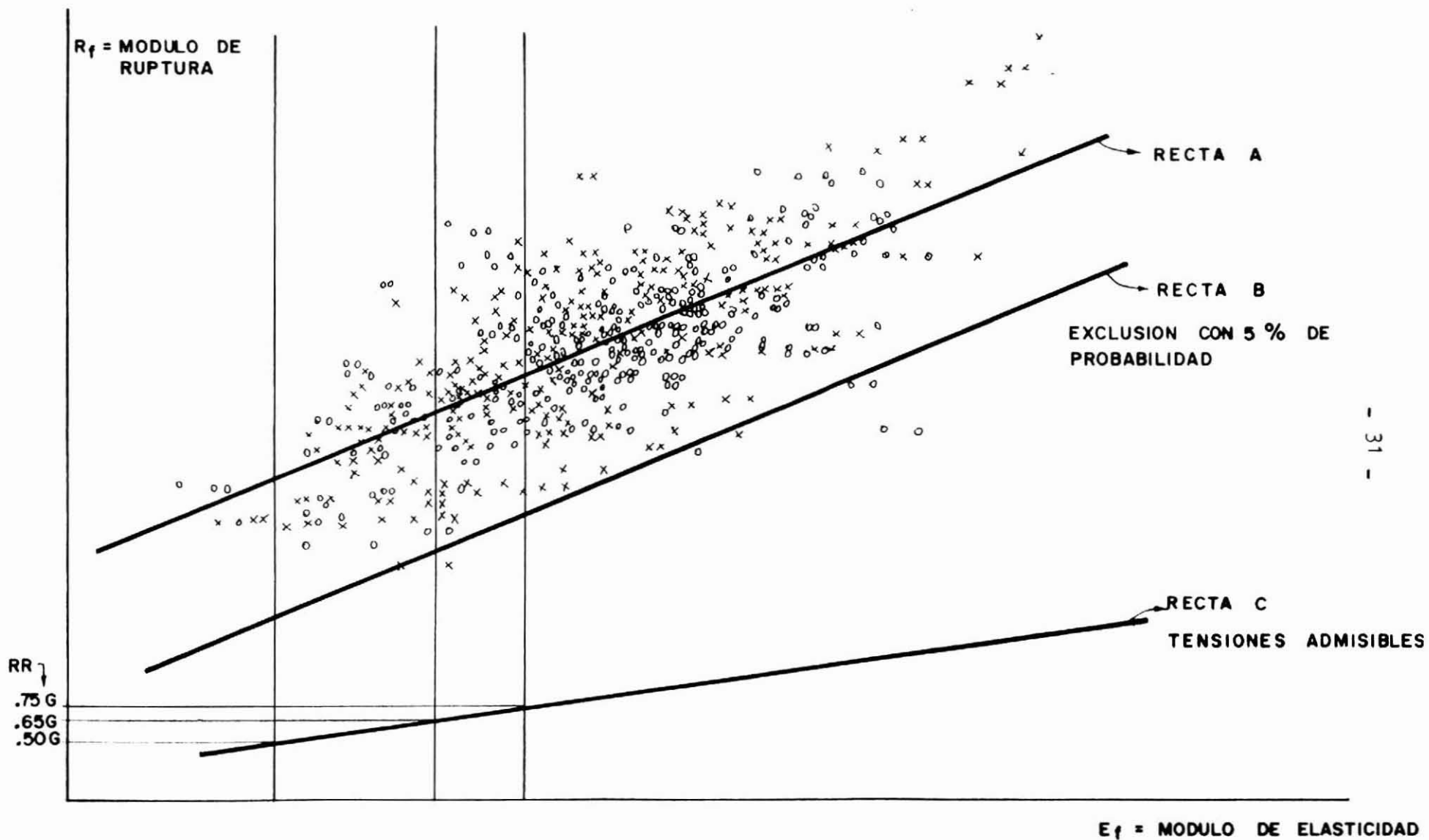


FIGURA Nº 6. Tensiones admisibles en Inglaterra.

4) Definir los grados para acomodarse a las condiciones de mercado.

En la parte inferior aparece una línea escalonada que representa las tensiones admisibles para cada grado. (Ver Figura Nº 7).

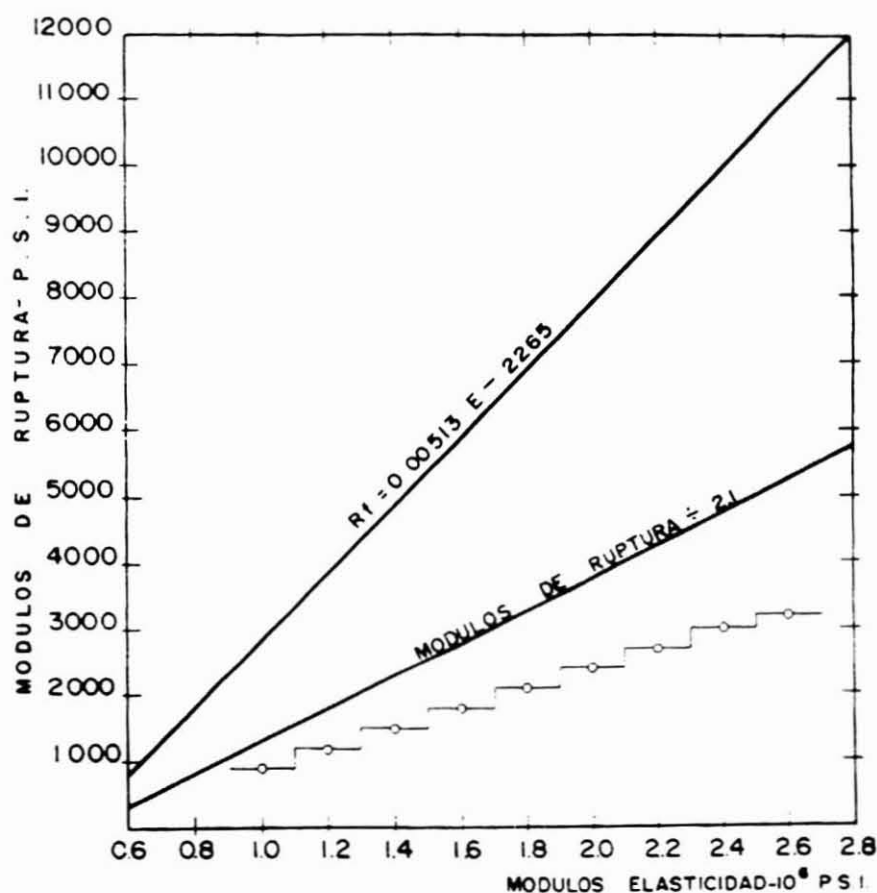


FIGURA Nº 7. Tensiones admisibles de flexión.

La forma lógica de establecer estas tensiones admisibles era definir la recta B (5% de exclusión), ver Figura Nº 6, y dividir tales valores por el factor de modificación 2,1 (puntos 2 y 3

señalados anteriormente). Cuando esto se hizo se descubrió que esta recta (C) pasaba por el punto $R_f = 0$, $E_f = 84.000 \text{ Kg/cm}^2$, lo cual era inconsistente con las observaciones experimentales y por lo tanto no podía usarse. La recta C, en la Figura N° 6, corresponde a los valores de R_f divididos por el factor de modificación (2,1) encontrado para la flexión y se entrega sólo como referencia. En lugar de lo anterior se optó por la técnica de encontrar el valor mínimo de E_f asociado con cada grado, con lo cual se excluyen piezas con módulos de ruptura bajos. Este valor mínimo de E_f es el que finalmente define la tensión admisible de cada grado estructural (ver TABLA N° 5 y Figura N° 7).

En la Figura N° 8 se presenta la información correspondiente a la compresión paralela, la cual ha sido usada durante los últimos años en Estados Unidos y Canadá. En la Figura N° 9 se incluye el esquema de las tensiones admisibles de tracción paralela a las fibras.

Desafortunadamente, las relaciones entre E_f y las propiedades de cizalle y compresión normal no han sido estudiadas en forma extensiva. Se ha considerado apropiado asignar los valores permitidos bajo el criterio de clasificación visual, a las tensiones admisibles de una clasificación estructural mecánica.

En la TABLA N° 5, se presentan los grados definidos en la clasificación estructural mecánica con sus respectivas tensiones admisibles.

La madera clasificada con estos grados encuentra uso en cerchas, vigas estructurales, columnas esbeltas y elementos comprimidos, escaleras, andamios, etc.

TABLA Nº 5. GRADOS DE CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA EN ESTADOS UNIDOS Y CANADA

Espesor 50 mm o menos - Cualquier ancho

NOMBRE DEL GRADO	TENSIONES ADMISIBLES (p.s.i.)			
	Flexión	Tracción Paralela	Compresión Paralela	Módulo de Elasticidad (1.000 p.s.i.)
900 f - 1,0 E	900	350	725	1.000
1.200 f - 1,2 E	1.200	600	950	1.200
1.500 f - 1,4 E	1.500	900	1.200	1.400
1.800 f - 1,6 E	1.800	1.175	1.450	1.600
2.100 f - 1,8 E	2.100	1.575	1.700	1.800
2.400 f - 2,0 E	2.400	1.925	1.925	2.000
2.700 f - 2,2 E	2.700	2.150	2.150	2.200
3.000 f - 2,4 E	3.000	2.400	2.400	2.400
3.300 f - 2,6 E	3.300	2.650	2.650	2.600

1.- Los valores de esta Tabla son para madera en estado seco.

2.- Los valores de cizalle y de compresión normal son iguales para todos los grados definidos y para las especies que se indican, son:

Especie	Cizalle	Compresión normal
Cedars	75 p.s.i.	265 p.s.i.
Douglas - fir	95 p.s.i.	385 p.s.i.
Southern - pine	90 p.s.i.	405 p.s.i.
Pine and mixed sp.	70 p.s.i.	190 p.s.i.

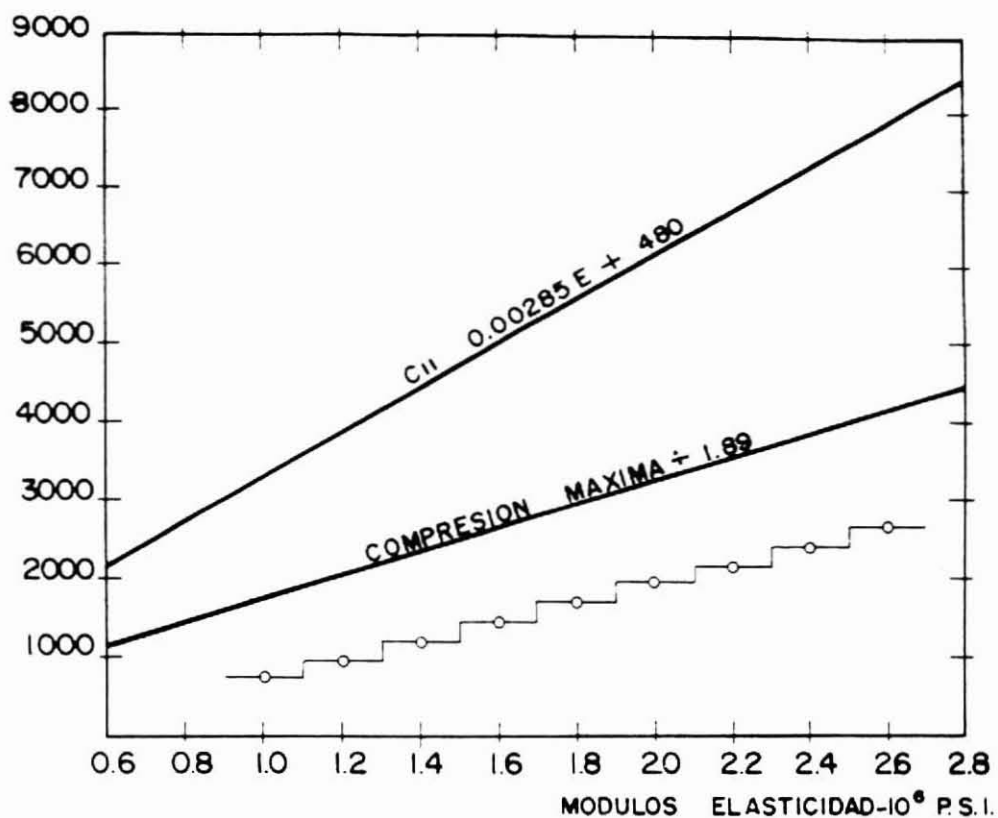


FIGURA Nº 8. Tensiones admisibles de compresión paralela.

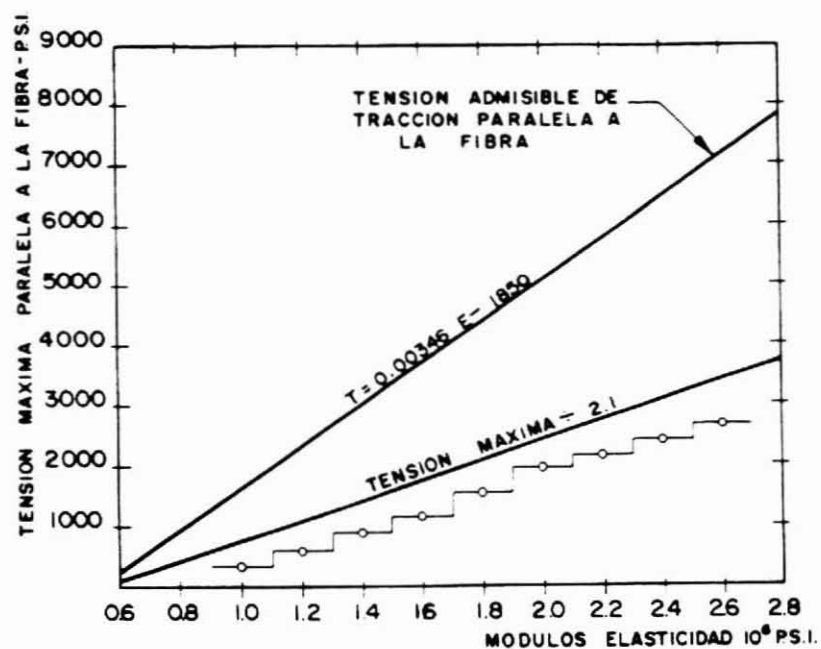


FIGURA Nº 9. Tensiones admisibles de tracción paralela.

El tipo de marca que se usa en la madera que ha sido clasificada estructuralmente por medios mecánicos es el señalado en la Figura N° 10.

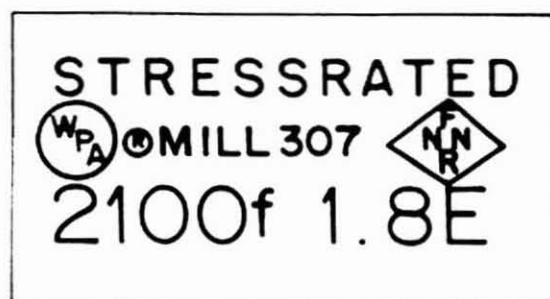


FIGURA N° 10. Marca usada en la clasificación Estructural Mecánica.

3.3.3 Método Usado en Inglaterra

Las relaciones entre el E_f y la resistencia de flexión, destinadas a deducir los límites de los grados de una clasificación mecánica, se determinaron utilizando, en primera instancia, la recta de regresión lineal entre R_f y E_f (recta A), posteriormente se calculó la línea recta que señalaba una determinada exclusión asociada con un valor específico de probabilidad (recta B) y su inclinación fue, posteriormente, reducida por un factor, a fin de obtener la línea de tensiones admisibles (recta C). Este factor consideraba los efectos de duración de carga y un factor de seguridad. La recta C fue usada para obtener los valores mínimos del E_f correspondiente a las tensiones admisibles de los diferentes grados definidos en las normas de clasificación. Ver Figura N° 6.

La hipótesis de asignar una línea recta para la línea

de exclusión tenía el atractivo de la simplicidad pero traía numerosas dificultades, particularmente para los grados con baja razón de resistencia (RR), lo cual implicaba a su vez, bajos valores mínimos del E_f para cada grado y por lo tanto para los valores mínimos de tensión admisible asignados a dichos grados.

Por esta razón se decidió que la relación lineal simple debía ser revisada, buscando un proceso alternativo para la relación entre el R_f y E_f y también para la línea de exclusión con una probabilidad determinada. El resultado de este estudio se ilustra en la Figura N° 11.

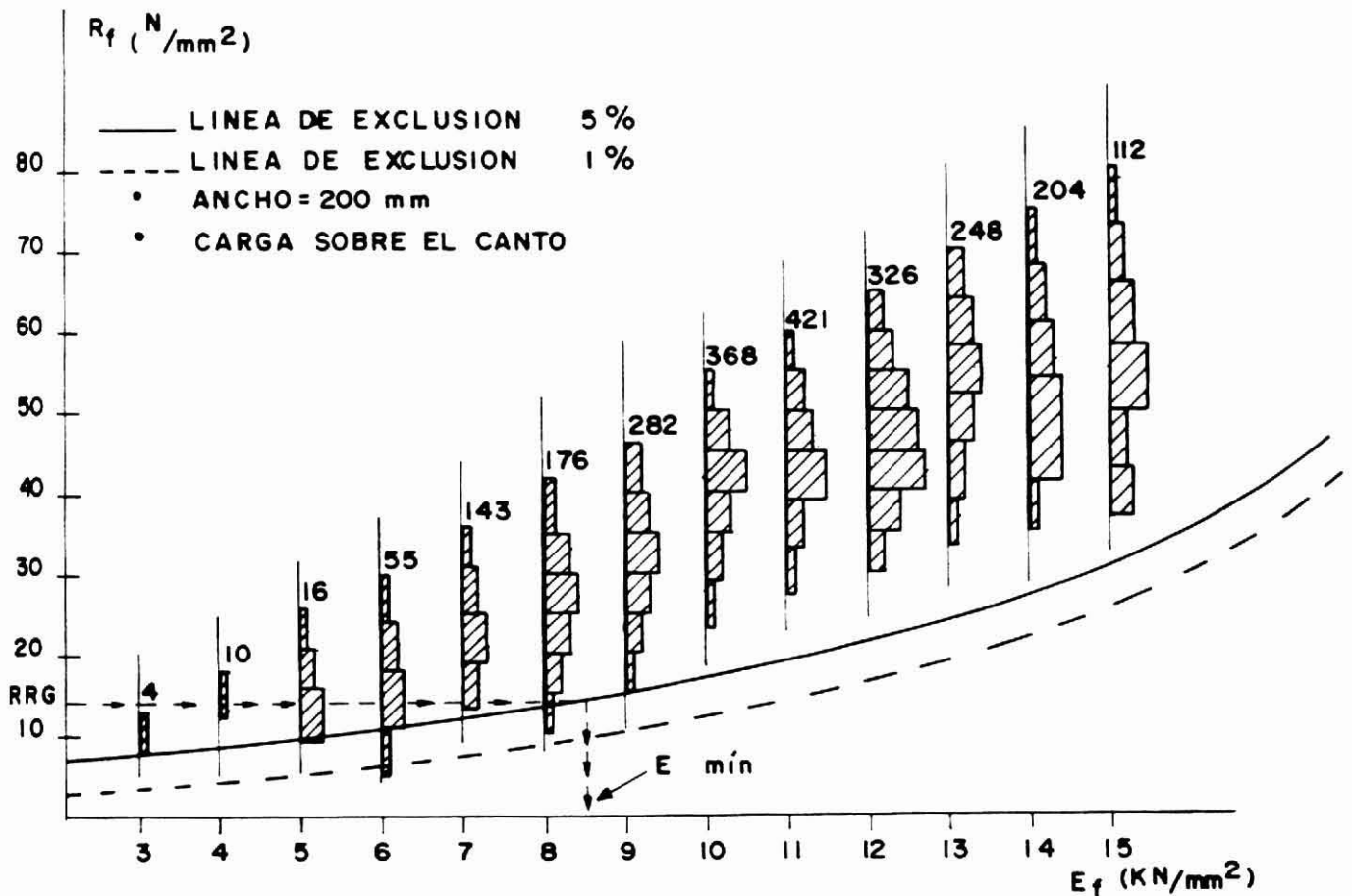


FIGURA N° 11. Distribución de los valores de R_f para intervalos de 1.000 N/mm² del E_f .

La división de los datos de ensayos en intervalos del E_f simula la acción de las máquinas de clasificación mecánica. Las líneas de exclusión se obtienen mediante la unión del valor mínimo probable obtenido en cada uno de los intervalos.

Como las normas inglesas entregan los R_f de los distintos grados estructurales (RRG), lo que resta es determinar el E_f mínimo que se aceptarán en dichos grados (RRG) mediante el uso de la curva de exclusión (1% ó 5%). Con tales valores se calibrará la máquina para el proceso de clasificación mecánica.

3.3.4 Método Usado en Australia

La clasificación estructural mecánica también se basa en la relación que existe entre la rigidez de la pieza (E_f) y su resistencia a la flexión (R_f). Ensayos de Laboratorio realizados de acuerdo a la Norma AS 1749 "Rules for Mechanical Stress Grading of Timber" han establecido el apropiado rango de deformación correspondiente a los diferentes grados y escuadrías de una o varias especies madereras. Esta información, conjuntamente con la carga que se aplica para que el material no sobrepase el límite elástico, alimentan la memoria del computador que incluye la máquina. Esta, aplica la carga a cada elemento en intervalos regulares, mide la deformación que se produce con cada aplicación de carga y determina el grado de acuerdo al rango en el cual se ubica la deformación observada.

El proceso se complementa con una inspección visual para asegurar que ciertas características no medidas por la máquina (tales como los alabeos) estén dentro de los límites establecidos por el grado.

La única carga se aplica sobre la cara de la pieza, no es destructiva y su posición es en la mitad de una luz (distancia entre apoyos) de 914 mm. La máquina incluye, además, un sistema para marcar, en forma indeleble, el grado al cual queda asignada la pieza.

Los límites de la deformación máxima son determinados, para cada grado, de acuerdo al módulo de elasticidad mínimo probable determinado mediante las herramientas que proporciona la estadística, tomando como banco de datos aquéllos que se obtienen en ensayos de piezas estructurales.

Los valores mínimos probables de E_f en los distintos grados, determinan una variación bastante amplia del R_f según se puede apreciar en la Figura Nº 12.

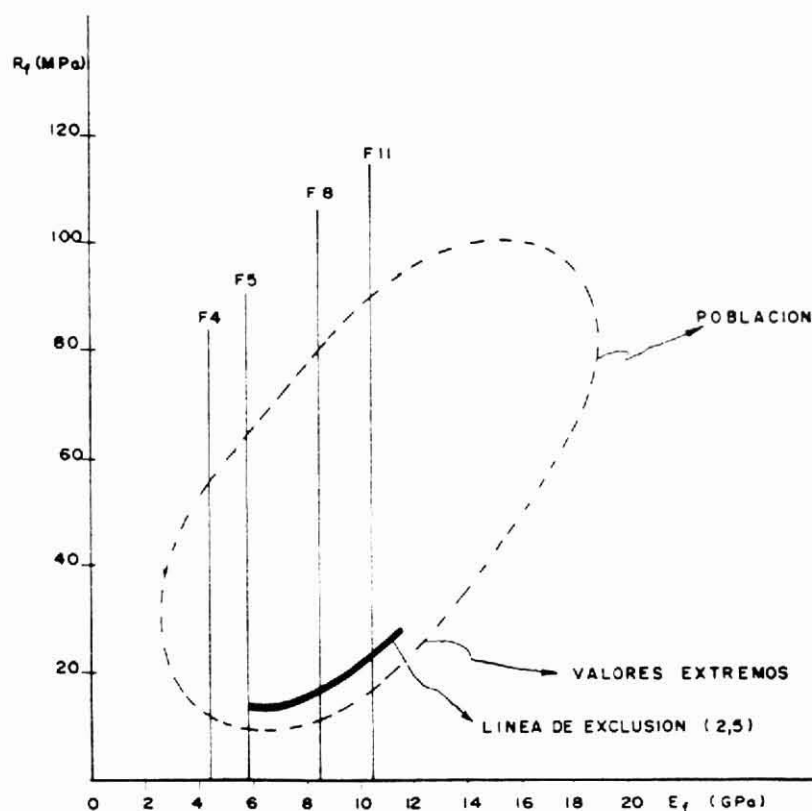


FIGURA Nº 12. Relación R_f-E_f para Pino radiata seco proveniente de Australia.

Por ejemplo, para el grado F5 el R_f varía entre los valores 10 MPa y 65 MPa según se observa en la Figura Nº 12.

La línea curva identificada como "línea de exclusión (2,5%)" corresponde a los límites inferiores de la relación R_f-E_f , determinados con una exclusión del 2,5%.

Ella indica que el 97,5% de las piezas estructurales pertenecientes a un grado determinado tendrán R_f superiores al valor mínimo de R_f señalado por esta línea, para ese grado.

Las tensiones admisibles se obtienen dividiendo los valores mínimos de resistencia, determinados según la línea de exclusión (2,5%), por el factor 2,22 que considera los efectos de:

- i) carga de duración prolongada, y
- ii) sobrecarga accidental o "factor de seguridad".

Los valores de las tensiones admisibles que se asignan a los grados definidos para la clasificación estructural mecánica del Pino radiata crecido en Australia, se incluyen en la Tabla Nº 6.

3.4 Comparación entre la Clasificación Estructural Visual y la Clasificación Estructural Mecánica

Ambos tipos de clasificación son métodos indirectos para estimar las propiedades resistentes de una pieza estructural. La clasificación mecánica es más precisa debido a que la rigidez de la pieza está mejor correlacionada con la resistencia que con el tamaño y distribución de los defectos.

TABLA Nº 6. GRADOS ESTRUCTURALES Y TENSIONES ADMISIBLES PARA EL PINO RADIATA CRECIDO EN AUSTRALIA.

GRADO	TENSIONES ADMISIBLES (MPa)					E _f MPa
	FLEXION	TRACCION PARALELA	CIZALLE	COMPRESION		
				Paralela	Normal	
F4	4,3	3,4	0,52	3,3	4,1	6.100
F5	5,5	4,3	0,62	4,1	4,1	6.900
F7	6,9	5,5	0,72	5,2	4,1	7.900
F8	8,6	6,9	0,86	6,6	4,1	9.100
F11	11,0	8,6	1,05	8,3	4,1	10.500
F14	14,0	11,0	1,25	10,5	4,1	12.500

* Incluye los grados "F5-pie derechos" y "F5-pie derechos con madera juvenil".

** Incluye "F8-pie derechos".

En muchos casos las piezas clasificadas mecánicamente en un determinado grado contienen defectos no permitidos por las reglas de clasificación visual de ese grado. Esto se explica por el hecho de que la clasificación visual es necesariamente más conservadora y porque la máquina proporciona una mejor evaluación de la resistencia de la madera.

Inversamente, una proporción pequeña de piezas correctamente clasificadas en forma mecánica, obtienen una mejor ubicación mediante una clasificación visual. Esto no es ocasionado por un error del clasificador o por un error de las reglas de clasificación visual. Se debe a la variabilidad de la madera, a un cierto

grado de conservatismo en la clasificación mecánica y a que ambos métodos no determinan directamente la resistencia.

La clasificación mecánica es más eficiente porque es un método rápido y clasifica las piezas de acuerdo a una determinación experimental de su resistencia, lo cual permite ubicarlas en grados de mejor calidad. Por ejemplo, clasifica en los grados de calidad inferior a una gran proporción de piezas que quedan rechazadas con una clasificación visual.

Por estas razones es el método más recomendable para grandes volúmenes de madera a pesar de sus altos costos iniciales y en la actualidad, es el preferido por los productores de países desarrollados.

Ambos métodos de clasificación proporcionan mecanismos confiables para asegurar un aceptable y predecible grado de seguridad en el diseño con madera estructural.

.0 OTROS METODOS MECANICOS DE CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE LA MADERA

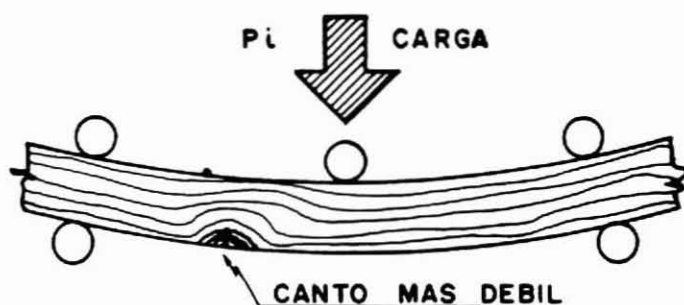
En los últimos 15 años se han desarrollado otros métodos y tecnologías mecánicas para clasificar estructuralmente las piezas de madera. De ellos conviene mencionar los procesos denominados "proof-grading" y el "in-grade", términos ingleses que aún no tienen una buena traducción al castellano, por lo que en este informe los conservaremos.

4.1 Proof-grading

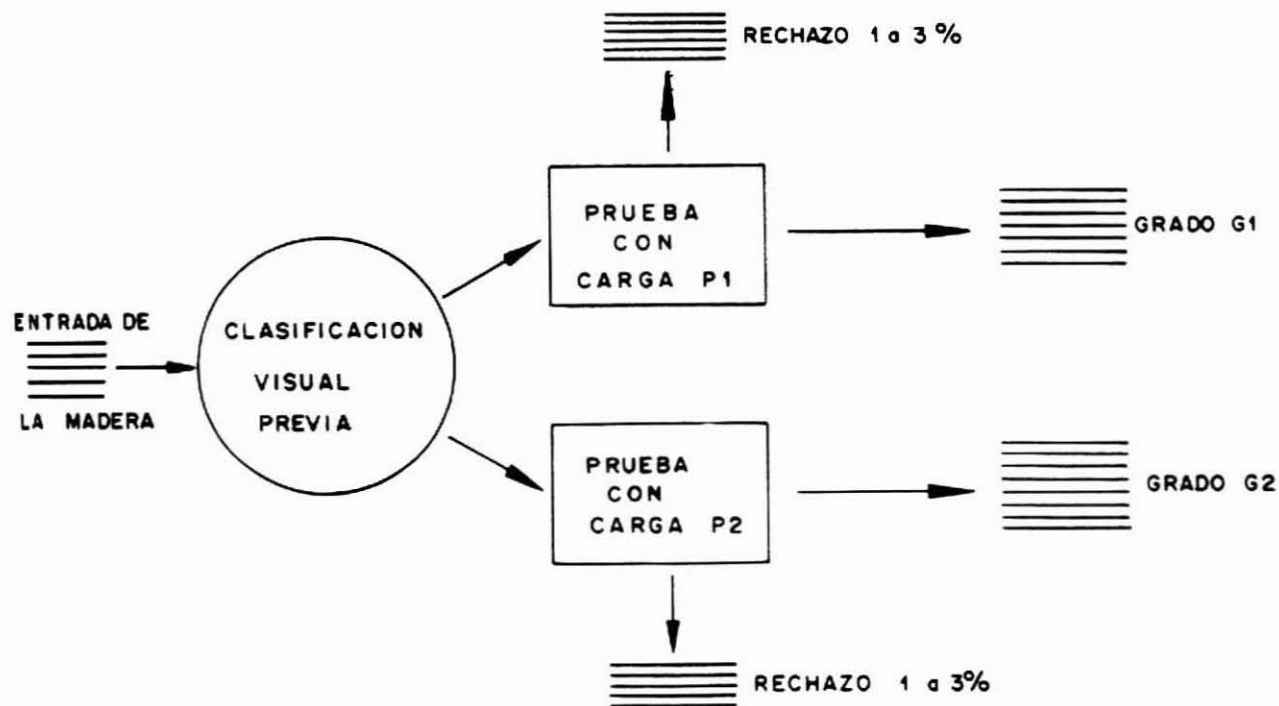
Es un método de reciente uso (1979) que tiene bastante perspectiva en el proceso de clasificación de madera. Sus principales ventajas son: una mayor exactitud cuando se le compara con

la clasificación visual y la de resultar más económico en comparación con las máquinas convencionales de clasificación mecánica.

El proceso de ilustra en la Figura N° 13 tal como lo describe Leicester (1981).



i) Método de carga.



ii) Procedimiento.

FIGURA N° 13. Conceptos de la clasificación Proof-grading.

Cada pieza de madera perteneciente a la población que se desea clasificar pasa a través de una máquina de prueba. A medida que ella pasa por los rodillos (ver Figura 131) se le aplica una carga (P_i) de flexión de modo que el canto considerado como el más débil quede traccionado.

La esencia del método consiste en aceptar que una pieza pertenece a un grado determinado si ella demuestra su capacidad para soportar, sin daño o signos serios de falla la carga (P_i) de finida para ese grado, la cual se calcula en base a la tensión admisible que se asignará al grado, multiplicada por un factor de carga.

En una operación típica de clasificación con este procedimiento la carga de prueba (P_i), para un grado determinado, es escogida de modo que aproximadamente el 1 a 3% de las piezas de madera fallan y por lo tanto son rechazadas.

Las piezas aceptadas en el grado llevan la garantía de tener una resistencia mínima por el solo hecho de haber resistido ya, la acción de la carga aplicada durante el proceso. Los métodos anteriormente mencionados, se basan y confían en la correlación entre la resistencia y alguna otra propiedad de la madera.

La principal desventaja de este procedimiento consiste en su calidad de método de clasificación simple que necesita de una clasificación o agrupamiento preliminar de la madera.

Ensayos de laboratorio han demostrado que la solicitud o carga aplicada por el procedimiento provoca daños no visibles o detectables en las piezas en un porcentaje de la población que está por debajo del 5% de piezas con baja resistencia que normalmente aceptan los otros sistemas de clasificación.

4.2 In-grade

La filosofía de los ensayos "in-grade" fue desarrollada por Borg Madsen en la Universidad de British Columbia a contar del año 1973. El propósito que se planteó Madsen era desarrollar un método alternativo para deducir las tensiones admisibles de los diferentes grados, usando el procedimiento "Proof-grading", denominado también "Proof-loading", en piezas de madera a escala real.

El método descrito en el párrafo 3.1 para la obtención de las tensiones admisibles, usando la clasificación estructural visual, ha sido útil por bastantes años, pero recientes investigaciones han puesto en duda algunos aspectos de tal procedimiento. Ensayos de piezas estructurales han demostrado que:

- i) El concepto razón de resistencia (RR), usado como indicador de la resistencia, está débilmente correlacionado con tal propiedad.
- ii) Se ha encontrado que el efecto del contenido de humedad sobre la resistencia es diferente al señalado por la norma ASTM para este tipo de aplicación.
- iii) El efecto del tamaño en piezas estructurales incide en forma diferente al que se plantea en el proceso de clasificación visual.
- iv) El efecto de la duración de la carga en piezas comerciales es distinto al establecido para probetas libres de defectos.

Un método más exacto y directo para deducir las tensiones admisibles de la madera debe cumplir los siguientes requisitos:

- i) Ser práctico y económico
- ii) Incluir todas las propiedades resistentes que normalmente se usan en el diseño.
- iii) Las muestras a ensayar deben ser representativas del recurso del cual se extrae la madera estructural.
- iv) Las probetas a ensayar deben ser representativas de los grados estructurales.
- v) El método de ensayo debe emular la aplicación de la carga que se espera durante el uso de la pieza estructural.
- vi) El método debe ser apropiado para manejar un gran número de piezas.

El método de clasificación estructural visual no satisface estos requerimientos.

Las principales características del procedimiento "in-grade" propuesto por Madsen, son:

- a) Se utiliza el concepto de "Proof-loading" levemente modificado.

Se establece una carga de prueba para cada grado del material de manera que sólo un 10 - 15% de las piezas fallen para esa carga. Las piezas que sobreviven al ensayo son devueltas al aserradero para su venta, reduciendo así el costo del material necesario para obtener la información correspondiente a los valores de resistencia ubicados en la parte inferior

de la distribución frecuencia vs resistencia.

- b) Se emplea un equipo de ensayo portátil. Puesto que es necesario ensayar muestras con grandes tamaños, se recomienda realizar el ensayo en el aserradero a fin de economizar el costo del traslado del material al laboratorio.
- c) El equipo de ensayo que se recomienda para el proceso usa tres técnicos, los cuales pueden probar y anotar la información correspondiente a 300 piezas por día. El costo de la mano de obra se reduce así a un nivel aceptable.
- d) La carga de ensayo se aplica en 30 segundos lográndose así un alto rendimiento.

Borg Madsen afirma:

Puesto que existe consenso en aceptar que las tensiones admisibles deben obtenerse en base al percentil con una exclusión del 5%, no es necesario destruir toda la muestra. Será suficiente ensayar a la ruptura sólo la porción más débil, digamos el 10% de la muestra, y con estos valores de ruptura obtener la estimación del percentil 5%.

Por lo tanto, se sugiere seleccionar una muestra representativa de la población y someter cada uno de los individuos de la muestra a una prueba con carga hasta la ruptura.

Del ensayo se podrá inferir información respecto a la resistencia de la población de la cual fue extraída la muestra.

El valor de la carga que se aplica durante el ensayo debe ser lo suficientemente alta como para producir la ruptura en el

5% del material, pero no tan alta como para provocar fallas en una excesiva cantidad de individuos de la población.

Lo anterior se logra con un ensayo preliminar, del cual se puede deducir la magnitud recomendable de la carga.

Ordenando en forma creciente las cargas de ruptura obtenidas del ensayo de todos los individuos de la muestra es posible calcular el percentil que señala el 5% de exclusión y estimar el correspondiente a la población de la cual se extrajo la muestra.

Con el valor mínimo probable de la población, estimado con un 95% de confiabilidad, será posible obtener la tensión admisible mediante la aplicación del factor de modificación mencionado en el párrafo 3.3.2 para considerar los efectos de duración de carga y sobrecarga accidental.

En resumen, el método ha sido ideado fundamentalmente para establecer las tensiones admisibles de un grado de calidad ya especificado. Para él se determina una carga de prueba y en función de ella se obtienen los datos necesarios para establecer el percentil de 5%, con el cual se calcula la tensión admisible.

El procedimiento permite, además, hacer un control de calidad en algunas piezas pertenecientes a un grado específico a fin de verificar la resistencia y la rigidez del producto que se está produciendo.

3 DESCRIPCION DE TIPOS DE MAQUINAS DE CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE MADERA

Se dará, a continuación, una breve descripción de los principales tipos de máquinas diseñadas para el proceso de clasificación estructural mecánica de la madera.

5.1 Máquinas en la "Primera Generación"

Las primeras máquinas de clasificación mecánica datan de 1962 y están basadas en la relación resistencia - rigidez. En ese año, el antiguo Forest Products Research Laboratory, Princes Risborough, U.K., dio a conocer un prototipo de máquina. El mismo año apareció un informe que se refería a una máquina fabricada en Estados Unidos por la Potlatch Forests, Inc., Lewiston, Idaho, conocida como "Continuous Lumber Tester, CLT 1".

Booth (1964) desarrolló otro prototipo en Australia, de nominado "Micro-stress", que se considera como el primer modelo en ese país, del cual derivó el tipo "Computermatic" (1965) que posteriormente se introdujo en Gran Bretaña.

Conviene mencionar, además, el tipo Stress-O-Matic (SOM), diseñado por la Western Pine Association, por ser uno de los primeros modelos que se usaron en Estados Unidos.

Los tres tipos mencionados son ejemplos de máquinas clasificadoras para una producción de alta velocidad. Los tipos CLT-1 y SOM aún están en uso en los Estados Unidos.

El tipo CLT-1 mide la rigidez de cada pieza mediante la determinación de la fuerza necesaria para deformar el elemento en una cantidad fija, en dos direcciones opuestas (ver Figura Nº 14). La carga medida se aplica en la cara de la pieza. La máquina lee en forma continua la menor rigidez de la pieza y simultáneamente va almacenando el valor de las cargas aplicadas. Finalmente entrega el menor valor obtenido para el E_f y el valor promedio de los E_f medidos para la pieza.

El Computador se programa para las diferentes escuadrías

que se presentan en la práctica.

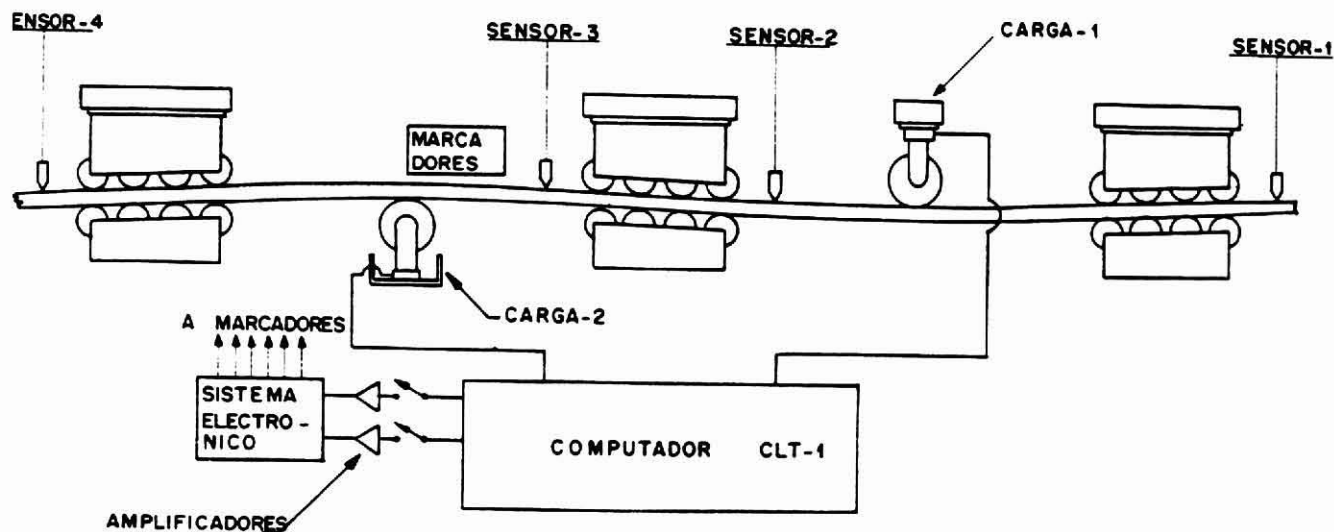


FIGURA Nº 14. Diagrama de la máquina tipo CLT-1.

La velocidad máxima de la CLT-1 es 1.000 pies lineales/min (300 m lineales/min) pero en la práctica lo normal es alcanzar 500 a 800 pies lineales por minuto (150-240 m lineales/min).

El tipo Stress-O-Matic (SOM) mide la rigidez de cada pieza aplicando en su cara una carga fija para una luz de 120 cm, de formándola sólo en una dirección. Si la deformación bajo la carga fija excede un valor pre-establecido, la máquina reduce la carga aplicada. El proceso continua hasta que se alcanza la mayor carga para la cual no se sobrepasa el valor de la deformación de finida como máxima. Esta carga identifica el tramo de la pieza con menor rigidez (ver Figura Nº 15).

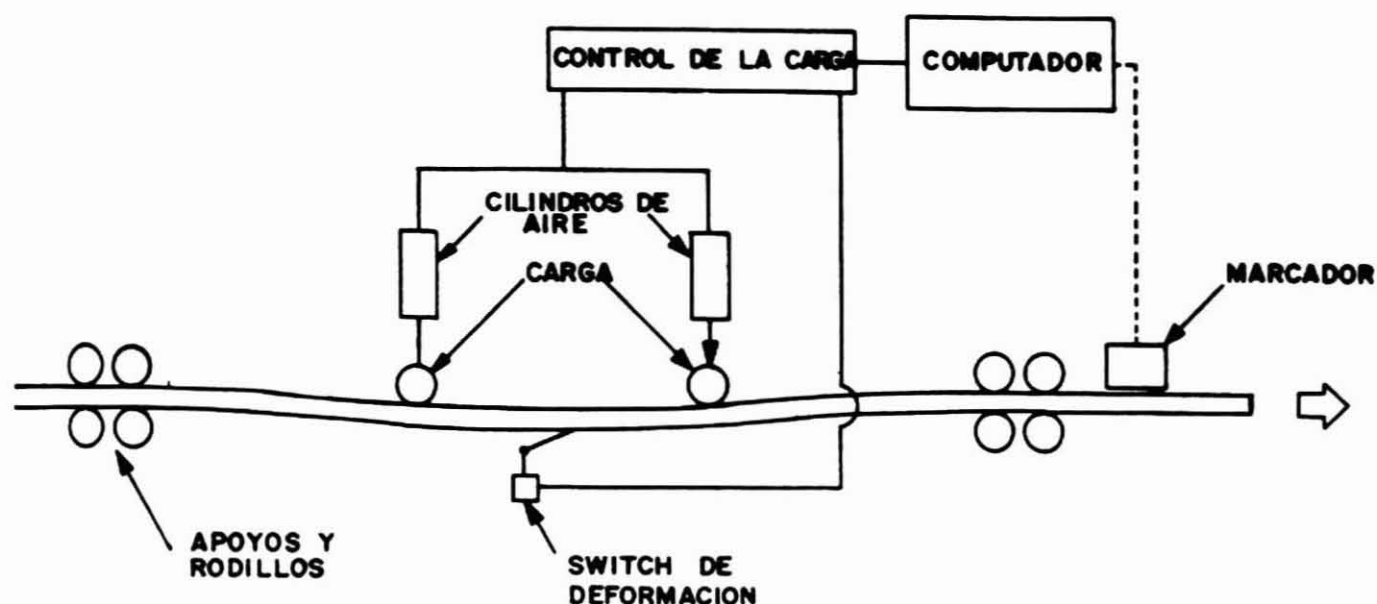


FIGURA Nº 15. Diagrama de la máquina tipo SOM.

La velocidad máxima de alimentación es 600 pies lineales/min (180 m lineales/min) y su velocidad normal de trabajo es de 400 pies lineales/min (120 m lineales/min).

En el tipo Computermatic, a diferencia de la CLT-1 y de la SOM, la carga se aplica sobre un canto de la pieza. La pieza se deforma para una luz de 90 cm, con traslapes de 15 cm con las luces adyacentes.

La máquina está provista de un set de cinco substancias de colores diferentes, las cuales marcan el grado sobre el tramo de la pieza que se está probando. Cuando la pieza sale de la máquina ella es marcada nuevamente, con una línea más larga y con el color que corresponde a la zona más débil (menor rigidez).

El computador se programa para cada tipo y escuadría del

material que se quiere clasificar. Ver Figura N° 16.

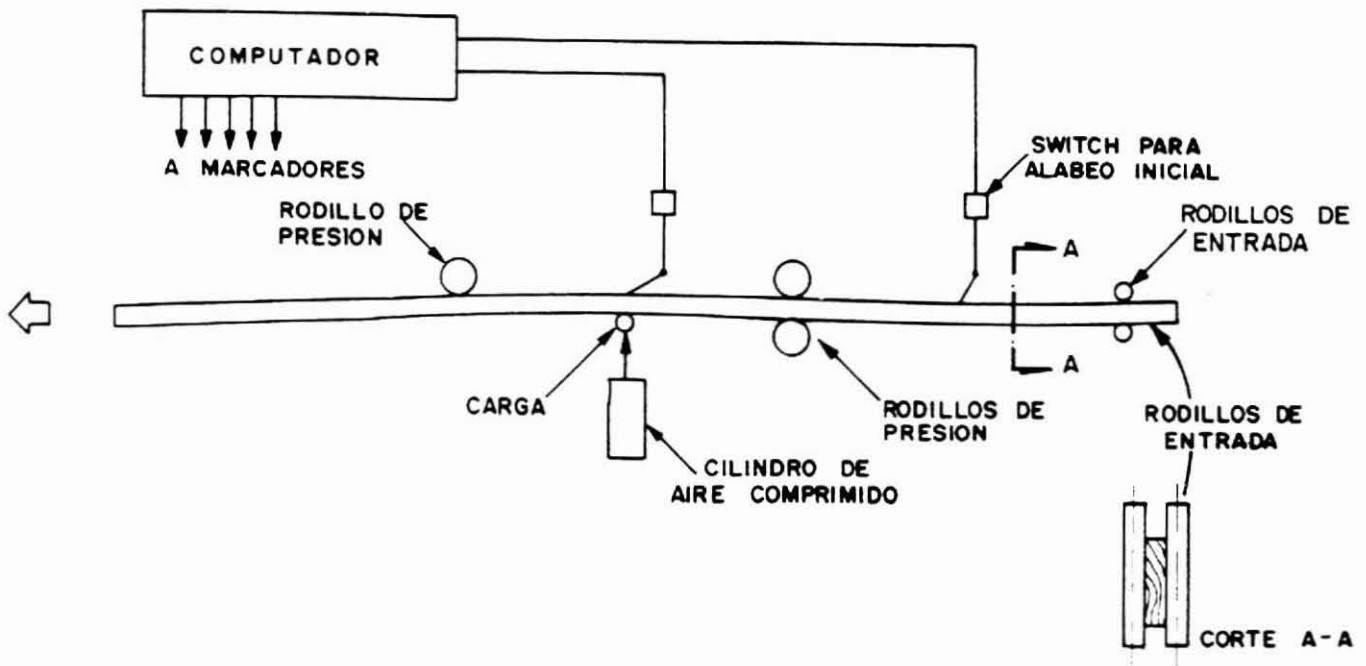


FIGURA N° 16. Diagrama de la máquina tipo COMPUTERMATIC.

La alimentación del material hacia la máquina es bastante crítica. La pieza debe ir apoyada sobre un canto, avanzar aceleradamente y permanecer en forma estable, sin volcamiento, mientras pasa por la máquina. La velocidad máxima de este tipo de maquinaria es de 500 pies lineales/minuto (150 m/minuto). Este modelo no se ha introducido en Estados Unidos pero es una máquina común en Inglaterra, Europa, Nueva Zelandia y, obviamente, en Australia.

5.2 Máquinas de la "Segunda Generación"

Desarrolladas a partir de 1970 y que aprovecharon el desarrollo de la tecnología micro procesadora que se produjo en este período.

Básicamente son las máquinas de la primera generación en las cuales se eliminó algunos errores de medición, aprovechando la experiencia de los primeros diseños. La causa de tales errores eran las vibraciones e interferencias que se producían entre la máquina y la rigidez de la pieza.

5.3 Máquinas de la "Tercera Generación"

Dependen de principios distintos a la relación resistencia-rigidez. Estas nuevas máquinas generalmente emplean métodos no destructivos de análisis morfológicos de la madera.

Los métodos de determinación y cuantificación de los defectos incluyen: exámenes ópticos, transmisiones ultrasónicas, vibraciones, rayos X, radiografías y micro-ondas. Algunas máquinas combinan más de una de estas técnicas en la evaluación de la calidad de la madera.

Los métodos incluidos en este grupo no son proposiciones recientes, por ejemplo, el ultrasonido se ha estado estudiando desde 1958. Sin embargo, los recientes progresos en la Ingeniería de Sistemas ha hecho que ellos sean comercialmente factibles.

De este grupo conviene destacar la máquina denominada "E-Computer", fabricada en Estados Unidos y cuyo principio de operación es el siguiente: Calcula el módulo de elasticidad dinámico

de la pieza de madera midiendo su peso y período de vibración. Combina estos parámetros, en una fórmula, con la longitud y escuadría de la pieza proporcionando un factor para el cálculo del E_f . La pieza se coloca en apoyos y sobre la cara se induce una vibración golpeándola levemente con la mano. Las depresiones de la pieza accionan un dispositivo conectado al computador, el cual señala en su pantalla el E_f calculado. La máquina mide, además, el peso de la pieza a través de una célula de carga ubicada en uno de los apoyos. Ver Figura N° 17.

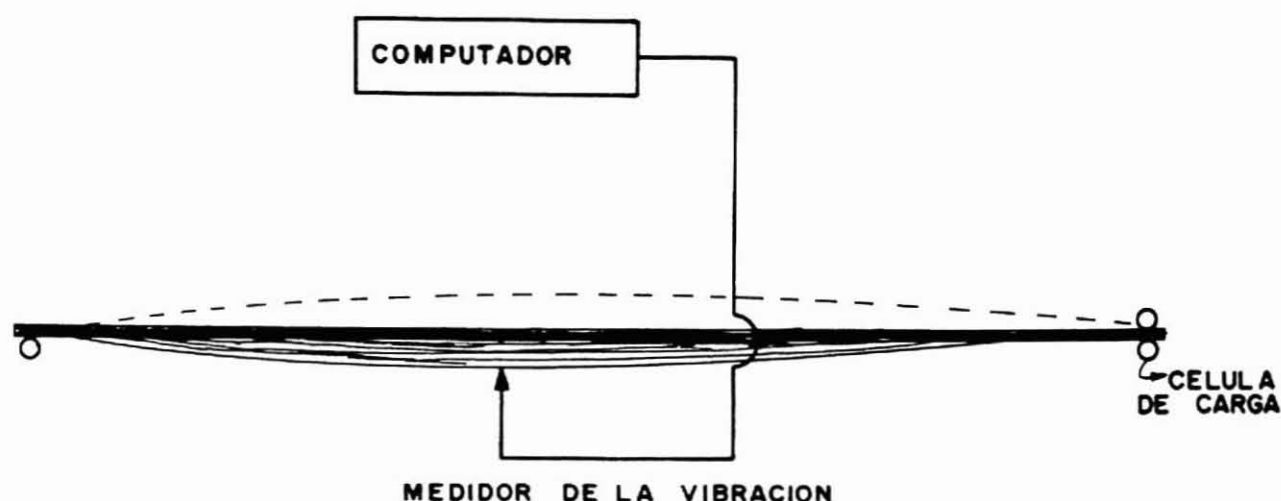


FIGURA N° 17. Diagrama del "E-Computer".

La velocidad de operación es de 4 piezas/min, lo cual sólo sirve para determinar el E_f de la pieza y con él verificar si su resistencia corresponde a un grado determinado.

Otro tipo de máquina perteneciente a la tercera generación es el identificado como "Stress-Ware MOE Computer", diseñado en Estados Unidos, que calcula el E_f de la pieza mediante la medi

ción de la velocidad del sonido a través de ella y de su densidad.

La pieza se coloca sobre tres células de carga conectadas en serie para medir su densidad, luego se golpea en un extremo y se mide el período de la transmisión del sonido. Tales datos se combinan con el espesor, ancho, longitud de la pieza y con valores propios para la especie maderera. El valor del E_f medio es señalado en la pantalla del computador y con él se clasifica la pieza mediante marcas con colores. La velocidad de trabajo es de 10 piezas por minuto.

5.4 Máquinas para el Método "Proof-grading"

En este grupo se describirá la primera máquina llegada a Chile del tipo "Proof-loading" traída por la FUNDACION CHILE para proponer una clasificación estructural mecánica del Pino radiata.

La máquina es de marca METRIGUARD, Modelo 312 y proporciona un método conveniente para medir la resistencia a la flexión de madera estructural. Aplica dos cargas puntuales ubicadas a los tercios de la luz, según se señala en la Figura N° 18. Con esta disposición el momento de flexión y la correspondiente tensión de flexión son constante en el tercio central de la luz.

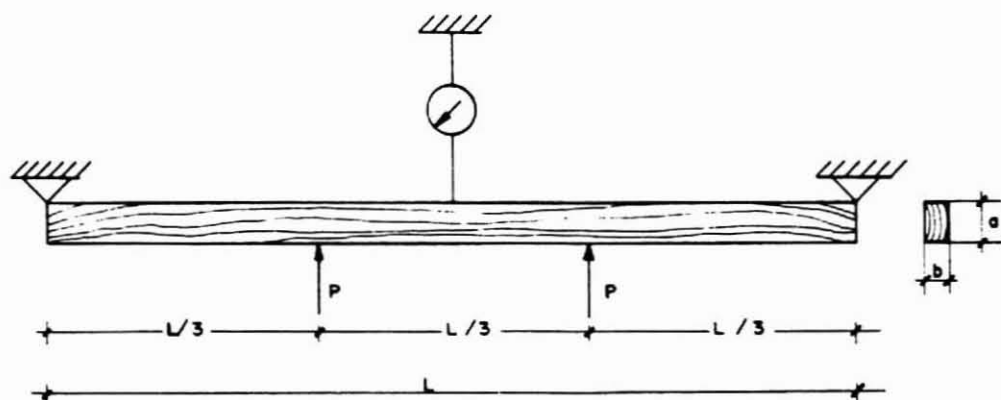


FIGURA N° 18. Diagrama de máquina tipo "Proof-loading".

La fuerza de prueba P requerida en cada punto de aplicación de carga, para un grado específico, está dada por:

$$P = K \times F_b \times \frac{bh^2}{2L}$$

en que :

b = espesor de la pieza, en cm

h = ancho de la pieza, en cm

L = luz de ensayo, en cm

K = constante o factor de carga

F_b = tensión admisible del grado en el que se está clasificando o comprobando, en Kg/cm².

Mientras se aplica la carga de prueba P, el valor de ella se está señalando en el panel digital de la máquina. Si la pieza falla el valor de P, para el cual se produce la ruptura, queda almacenado en memoria y podrá obtenerse en el momento que se desee con sólo apretar la tecla correspondiente al parámetro P.

El E_f de la pieza se calcula con la fórmula:

$$E_f = \frac{23}{54} \times \frac{L^3}{bh^3} \frac{P}{\Delta}$$

en que :

b,h,L = id. expresión anterior

P = carga aplicada en los puntos tercios de la luz, en Kg.

Δ = deformación en el centro de la luz, en cm.

La pantalla del panel que se incluye en la máquina pro

proporciona el valor de E_f para cualquier valor de P y almacena en memoria el valor correspondiente a la carga P para la cual se desea la información.

El modelo descrito permite operar con piezas de 2" de espesor y con anchos de 3", 4", 6", 8", 10" ó 12". Para las muestras anchas la máquina incluye dispositivos que impiden el volteo de la pieza que se ensaya. La carga se aplica con bomba hidráulica accionada manualmente y se mide con una célula electrónica de carga. La deformación es medida con un dial ubicado en el centro de la luz.

Este tipo de máquina es de lenta acción permitiendo determinar o verificar el grado de calidad de 1 ó 2 piezas por minuto.

Con el desarrollo en Australia de la clasificación comercial usando el método "Proof-loading" se ha ganado experiencia en el empleo de máquinas de acción continua. Como resultado de ello se ha concluido que este tipo de maquinaria tiene un potencial mayor que la meta planteada cuando se idearon.

Un nuevo modelo de máquina "Proof-loading" de acción continua está disponible en Australia. Su aplicación abarca las siguientes áreas:

- i) Clasificación tipo "Proof-loading"
- ii) Detección de defectos especiales
- iii) Evaluación de madera estructural con el método "in grade"
- iv) Sistemas mixtos de clasificación.

La máquina comercial ha sido fabricada por Hilleng Ptv

Ltd. of Brisbane y originalmente se le identificaba como TRADAC Queensland.

El modelo aplica un momento flector constante a la pieza a medida que ella pasa a través de la máquina. Ver Figura Nº 19.

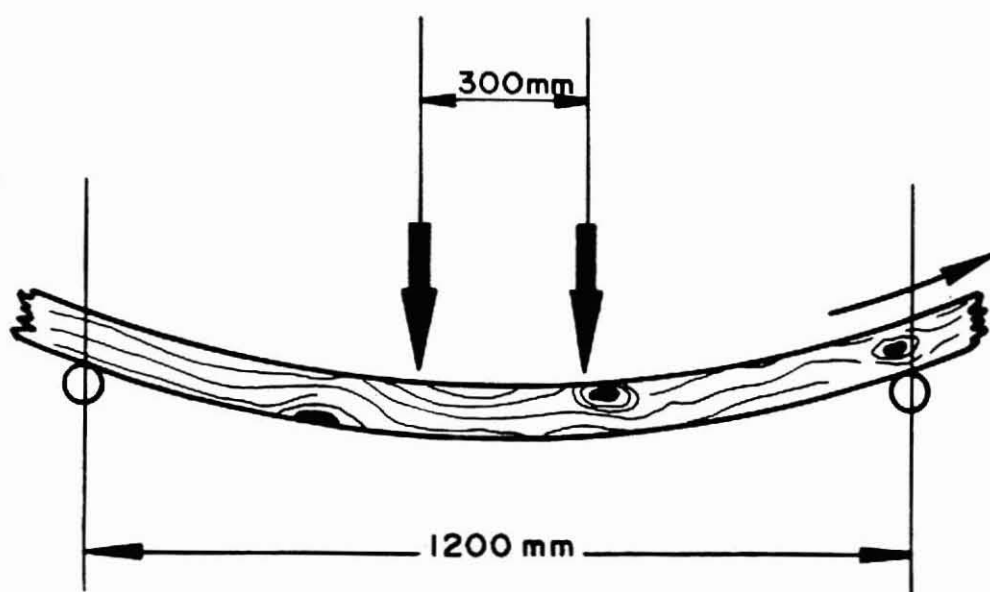


FIGURA Nº 19. Configuración de la carga en el modelo Hilleng.

La madera es cargada en un canto mediante un cilindro accionado por aire comprimido. Permite una velocidad de avance de 15 m/min.

Un mecanismo especial remueve la carga si la madera se rompe o se deforma en exceso.

El modelo más sofisticado usa una célula de carga electrónica y permite una exactitud de 1% en la medición de la carga. Su costo es de US\$ 16.000.- incluyendo un dispositivo de lectura

exterior. Se le recomienda tanto para trabajo en laboratorio como para evaluar madera estructural mediante el método "in-grade", en los aserraderos.

Las dimensiones exteriores de la máquina son: 2 m x 2 m x 1,5 m y su peso es inferior de 1.000 Kg. Es lo suficientemente pequeña como para cargarla en un camión y transportarla a los aserraderos.

Con esta máquina, calificada como relativamente lenta, es posible ensayar entre 1.000 y 2.000 piezas en un día para el método "in-grade".

Las características técnicas y precio del modelo descrito resultan recomendables para introducir e iniciar el proceso de clasificación estructural mecánica en Chile.

5.5 Máquinas para el Proceso "In-grade"

La máquina para desarrollar el proceso "in-grade" normalmente es portátil, provista de bombas hidráulicas manuales para aplicar cargas de flexión sobre las piezas de madera.

Estas máquinas tienen las siguientes características:

- i) Operan con una razón luz/altura de 17:1
- ii) Aplican carga en los puntos tercios de la luz
- iii) Miden la deformación en el centro de la luz
- iv) Carga aplicada en el canto de la pieza, en forma rápida.
- v) Son de bajo costo.

El diagrama de estas máquinas es similar al que se presenta en la Figura N° 18.

Son utilizadas tanto para obtener las propiedades resistentes de flexión en la ruptura como para comprobar si una pieza pertenece a un grado determinado usando el procedimiento denominado "proof-loading".

.0 PRECIO DE MAQUINARIAS PARA CLASIFICAR MADERA ESTRUCTURAL

Los precios de las máquinas que se han descrito en el punto 5.0 son los señalados en la TABLA N° 7. Tales valores se dan en dólares americanos y son aproximados, dado que se han determinado promediando dos o tres precios de diferente origen.

TABLA N° 7. PRECIO DE MAQUINAS PARA CLASIFICAR MADERA ESTRUCTURAL.

MAQUINA TIPO	FABRICADA EN	VALOR EN DOLARES	VELOCIDAD O RENDIMIENTO
CLT - 1	E.E.U.U.	US\$ 90.000	300 m/min
SOM	E.E.U.U.	US\$ 40.000	180 m/min
Computermatic	Australia	US\$ 70.000	150 m/min
E-Computer	E.E.U.U.	US\$ 28.000	4 piezas/min
Stress-Wave MOE Computer	E.E.U.U.	US\$ 28.000	10 piezas/min
In-grade machine	Canadá	US\$ 6.000	0,625 piezas/min
Proof-loading machine	Australia	US\$ 10.000	1 pieza / min
Proof-loading machine (Hilleng)	Australia	US\$ 16.000	15 m/min

El costo del proceso y de instalación generalmente varía en proporción a la capacidad de producción del aserradero o industria. Los valores extremos son:

- i) Para una máquina de alta velocidad ubicada en línea con la cepilladora, incluyendo equipo auxiliar, fundaciones, instalación, etc. puede llegar hasta US\$ 250.000.-
- ii) Para una máquina lenta, manual, no debe sobrepasar de US\$ 6.000.-

En estos valores se incluye el costo de mantención y de calibración de la máquina, actividades que requieren de técnicos con conocimientos en circuitos electrónicos.

Para Estados Unidos se ha determinado que todo el proceso de clasificación estructural mecánica de la madera recarga su precio en un valor de US\$ 2 a US\$ 5 por cada mil pie maderero de madera clasificada (US\$ 0,84/m³ a US\$ 2,12/m³) considerando todos los costos que él involucra: maquinaria, instalación, equipo auxiliar, mantención, calibración, etc.

Estudios realizados en Norteamérica señalan que el costo unitario de la clasificación mecánica de madera es muy sensible a la cantidad o volumen procesado. Se ha demostrado que, al considerar los costos del procedimiento, las máquinas de clasificación de alta vel locidad ofrecen ventajas competitivas sólo a los aserraderos que tienen una alta producción.

Para aserraderos con producciones menores son económicamente más recomendables las máquinas lentas de tipo manual.

10.0 NORMAS DE CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA PARA EL PINO INSIGNE EN AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDIA.

7.1 Propósito de una Clasificación Estructural

La clasificación estructural tiene como finalidad asignar valores seguros de resistencia a cada pieza de madera y permitir así un eficiente uso estructural de este material.

Sin una clasificación estructural la madera podría usarse muy ineficientemente y sin una seguridad comprobada.

7.2 Grados de Madera Estructural en Australia

En Australia, los grados estructurales de la madera se identifican por la expresión F5, F7, F8, etc., en que F señala la tensión admisible en flexión y el dígito indica el valor de dicha tensión admisible en Megapascal (MPa). Esto es válido tanto para una clasificación estructural visual como mecánica.

Los grados estructurales para el Pino radiata se incluyen en la TABLA Nº 8. Para cada grado se entregan, además, las tensiones admisibles para las sollicitaciones más importantes. Estos valores han sido establecidos de ensayos realizados en el C.S.I.R.O. y se han incluido en las especificaciones de la Norma Australiana AS 1720 (1975) "S.A.A. Timber Engineering Code".

Cada pieza de madera debe ser clasificada:

- i) Por una máquina que cumpla con las exigencias de la norma australiana AS 1749 "Rules for Mechanical Stress Grading of Tim

ber", y

- ii) Mediante una inspección visual de acuerdo con las especificaciones que se entregan en el párrafo 7.2.i.

Los grados estructurales que contempla la norma austriana para el Pino radiata son: F4, F5, F7, F8, F11 y F14.

7.2.1 Inspección Visual Complementaria

La inspección visual complementaria controlará los defectos de la pieza de acuerdo a las especificaciones señaladas en la TABLA Nº 9.

TABLA Nº 8. TENSIONES ADMISIBLES PARA LOS DIFERENTES GRADOS ESTRUCTURALES DEL PINO RADIATA.

GRADO ESTRUCTURAL	TENSION ADMISIBLE EN MEGAPASCAL						MODULO DE ELASTICIDAD (MPa) E
	FLEXION F'_b	TRACCION PARALELA F'_t	CIZALLE		COMPRESION		
			EN VIGAS F'_s	EN UNIONES F'_{sj}^{**}	NORMAL F'_p^{**}	PARALELA F'_c	
F4	4,3	3,4	0,52	1,70	4,1	3,3	6.100
F5; F5 Stud* F5 HI Stud	5,5	4,3	0,62	1,70	4,1	4,1	6.900
F7	6,9	5,5	0,72	1,70	4,1	5,2	7.900
F8; F8 Stud*	8,6	6,9	0,86	1,70	4,1	6,6	9.100
F11	11,0	8,6	1,05	1,70	4,1	8,3	10.500
F14	14,0	11,0	1,25	1,70	4,1	10,5	12.500

* F5 Stud; F5 H.I. Stud y F8 Stud: Grados definidos para pie-derechos.

** Tensión no afectada por el grado. En el caso de uniones se exige que la madera sea libre de defectos.

TABLA Nº 9.

ESPECIFICACIONES PARA LA INSPECCION VISUAL COMPLEMENTARIA DE LA CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA DEL PINO RADIATA DE AUSTRALIA.

GRADO	EN EXTREMOS DE LA PIEZA		EN TODA LA LONGITUD DE LA PIEZA					
	DESVIACION FIBRA	OTROS DEFECTOS	GRIETAS INDIVIDUALES DE SECADO	CANTO MUERTO	BOLSILLOS	ALABEOS	MEDULA	MANCHAS
F 4	< 1 en 4	Nudos y agujeros no deben exceder en tamaño a los existentes en el resto de la pieza.	Longitud menor de 600 mm.	En cara: < 0,25 a En espesor: < 0,25 e	No deben exceder de 12 x 150 mm o de un área equivalente.	Ver Tablas Nºs 11, 12 y 13.	Se acepta	Se acepta
F 5	< 1 en 5	id.	id.	id.	id.	id.	Se acepta	Se acepta
F 7	< 1 en 6	id.	id.	id.	id.	id.	Se acepta	Se acepta
F 8	< 1 en 8	id.	id.	id.	id.	id.	Se acepta	Se acepta
F11	< 1 en 10	id.	Longitud Menor de 400 mm.	No se acepta	id.	id.	Se acepta	Se acepta
F14	< 1 en 15	id.	Longitud Menor de 450 mm.	No se acepta	id.	id.	Se acepta	Se acepta

7.2.2 Dimensiones Geométricas de la Madera Estructural Clasificada Mecánicamente

La norma australiana establece que la madera estructural de Pino radiata, clasificada mecánicamente, debe ser cepillada después del secado a las dimensiones que se indican en la TABLA Nº 10.

TABLA Nº 10. DIMENSIONES DEL PINO RADIATA ESTRUCTURAL CLASIFICADO EN FORMA MECANICA.

ANCHO (mm) ESPEJOR (mm)	42	70	90	120	140	190	240	290
35	X	X	X	X	X	X	X	X
45	X	X	X	X	X	X	X	X
70		X	X	X	X	X	X	X
90			X					

Las tolerancias de estas dimensiones son:

Subdimensión : 0 mm

Sobredimensión : + 3 mm

7.2.3 Alabeos Permitidos

En la clasificación estructural mecánica de piezas de Pino radiata se aceptan los alabeos señalados en las TABLA Nº 11 (arqueadura), TABLA Nº 12 (encorvadura) y TABLA Nº 13 (torcedura).

TABLA Nº 11. VALORES ADMISIBLES PARA LA ARQUEADURA EN GRADOS ESTRUCTURALES.

LARGO (m)	ESPESOR (mm)					
	19	30	35	45	70	90
1.8	27	17	14	11	7	6
2.1	36	23	20	15	10	8
2.4	47	30	26	20	13	10
2.7	60	38	32	25	16	13
3.0	74	47	40	31	20	16
3.3	89	57	48	38	24	19
3.6	106	67	58	45	29	22
3.9	125	79	68	53	34	26
4.2	144	92	78	61	39	30
4.5	166	105	90	70	45	35
4.8	189	120	102	80	51	40
5.1	213	135	116	90	58	45
5.4	239	151	130	101	65	50
5.7	266	169	144	112	72	56
6.0	292	187	160	124	80	62

TABLA Nº 12. VALORES ADMISIBLES PARA LA ENCORVADURA EN GRADOS ESTRUCTURALES.

LARGO (m)	CLASE ESTRUCTURAL	ANCHO (mm)							
		70	90	120	140	170	190	240	290
1.8	A	7	6	4	4	3	3	2	2
	B	5	4	3	3	2	2	1	1
2.1	A	10	8	6	5	4	4	3	2
	B	7	5	4	3	3	3	2	2
2.4	A	13	10	8	7	5	5	4	3
	B	9	7	5	5	4	3	3	2
2.7	A	17	13	10	8	7	6	5	4
	B	11	9	7	6	5	4	3	3
3.0	A	21	16	12	10	8	8	6	5
	B	14	11	8	7	6	5	4	3
3.3	A	25	19	15	12	10	9	7	6
	B	17	13	10	9	7	6	5	4
3.6	A	30	23	17	15	12	11	9	7
	B	20	16	12	10	8	8	6	5
3.9	A	35	27	20	17	14	13	10	8
	B	24	19	14	12	10	9	7	6
4.2	A	40	31	24	20	17	15	12	10
	B	28	22	16	14	11	10	8	7
4.5	A	46	36	27	23	19	17	14	11
	B	32	25	19	16	13	12	9	8
4.8	A	53	41	31	26	22	19	15	13
	B	36	28	21	18	15	13	11	9
5.1	A	60	46	37	30	24	22	17	14
	B	41	32	24	20	17	15	12	10
5.4	A	67	52	39	33	27	25	19	16
	B	46	36	27	23	19	17	13	11
5.7	A	74	58	43	37	31	27	22	18
	B	51	40	30	26	21	19	15	12
6.0	A	82	64	48	41	34	30	24	20
	B	56	44	33	28	23	21	16	14

NOTA: A - F4, F5, F7 y F8

B - F11, F14.

TABLA N° 13.

VALORES ADMISIBLES PARA LA TORCEDURA EN GRADOS ESTRUCTURALES.

ESCUADRIA (mm)		L O N G I T U D (m)													
Espesor	Ancho	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	6.0
35	42	8	9	10	11	13	14	15	16	18	19	20	21	23	25
	70	13	15	17	19	21	23	25	27	29	32	34	36	38	42
	90	16	19	22	24	27	30	32	35	38	41	43	46	49	54
	120	22	25	29	32	36	40	43	47	50	54	58	61	65	72
	140	25	29	34	38	42	46	50	55	59	63	67	71	76	84
	190	34	40	46	51	57	63	68	74	80	86	91	97	103	114
	240	43	50	58	65	72	79	86	94	101	108	115	122	130	144
	290	52	61	70	78	87	96	104	113	122	131	139	148	157	174
45	42	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20
	70	10	11	13	15	16	18	20	21	23	25	26	28	29	33
	90	13	15	17	19	21	23	25	27	29	32	34	36	38	42
	120	17	20	22	25	28	31	34	36	39	42	45	48	50	56
	140	20	23	26	29	33	36	39	42	46	49	52	56	59	65
	190	27	31	35	40	44	49	53	58	62	66	71	75	80	89
	240	34	39	45	50	56	62	67	73	78	84	90	95	101	112
	290	41	47	54	61	68	74	81	88	95	101	108	115	122	135
70	70	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21
	90	8	9	11	12	14	15	16	18	19	20	22	23	24	27
	120	11	13	14	16	18	20	22	23	25	27	29	31	32	36
	140	13	15	17	19	21	23	25	27	29	32	34	36	38	42
	190	17	20	23	26	29	31	34	37	40	43	46	48	51	57
	240	22	25	29	32	36	40	43	47	50	54	58	61	65	72
	290	26	30	35	39	44	48	52	57	61	65	70	74	78	87
90	90	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21

7.2.4 Usos Recomendados para los Grados de la Clasificación Estructural del Pino radiata

Los usos que se recomiendan para los diferentes grados del Pino radiata estructural crecido en Australia son los señalados en la TABLA N° 14.

TABLA N° 14. USOS RECOMENDADOS PARA LOS GRADOS ESTRUCTURALES DEL PINO RADIATA.

GRADO	U S O
F 4	Escuadrías: 35 x 70; 35 x 90; 45 x 70 y 45 x 90 usadas principalmente como pie-derechos de paneles de muro.
F 5	Usado para construcción de viviendas. Las piezas de este grado tienen buen aspecto aún cuando se hayan clasificado principalmente en forma estructural.
F 7	Las piezas de este grado son usadas para viviendas y otras construcciones, en las cuales se requiere más resistencia y rigidez que la entregada por piezas del grado F5.
F 8	La madera de este grado encuentra aplicación en viviendas y especialmente en cerchas de techumbre. Se usa también en las zonas más solicitadas de elementos de madera laminada. Debido a su excelente aspecto a menudo se le usa a la vista en interiores.
F11	El material de este grado se le usa en elementos estructurales importantes de los cuales se requiere alta resistencia, gran rigidez y excelente aspecto.
F14	Grado de alta resistencia para aplicaciones especiales de ingeniería, particularmente en las cuales el aspecto es de primera importancia.

7.3 Grados de Madera Estructural en Nueva Zelandia

La norma de Nueva Zelandia establece, para diferentes especies madereras, especificaciones de clasificación visual destinadas a la selección de madera recomendable para diferentes usos. Los cuatro tipos de grados especificados son los señalados en la TABLA N° 15.

TABLA N° 15. GRADOS DEFINIDOS EN LA NORMA DE NUEVA ZELANDIA.

NOMBRE DEL GRADO	USOS RECOMENDADOS
TABLAS (Board)	Para terminaciones y otros usos similares.
ARMADURAS (Framing)	Principalmente para madera de construcción que no requiere de un diseño (cálculo) <u>es</u> pecífico.
INGENIERIA (Engineering)	Para madera de construcción que requiere de un diseño (cálculo) específico.
COMUN (Box)	Para usos diferentes a terminaciones, arma <u>da</u> ras o elementos de ingeniería.

Estas especificaciones se aplican por igual a la madera aserrada en estado verde, en estado seco y a la madera cepillada en estado seco.

De los grados que se incluyen en la TABLA N° 15 interesan en este estudio el grado para Armaduras (Framing) y el de ingeniería (Engineering) por que ellos contemplan madera para la construcción.

7.3.1 Especificaciones Generales

Los grados para Armaduras e Ingeniería se estructuran contemplando la rigidez y la resistencia de las piezas y los defectos que en ellos se aceptan consideran su efecto sobre tales parámetros. El grado se determina examinando las dos caras y ambos cantos de la pieza.

Las especificaciones señalan los defectos permitidos en la pieza más débil admitida en cada grado y los tamaños máximos de defectos admisibles. Los defectos no mencionados específicamente no son admitidos en los diferentes grados.

Toda pieza debe ser clasificada en su tamaño total, a menos que se especifique de otra manera.

Los defectos que ocurren combinados deben evaluarse de acuerdo al efecto del daño de la combinación sobre la pieza.

Los defectos no incluidos en esta clasificación y aquellos que se encuentren definidos confusamente serán restringidos o admitidos en la misma forma que los defectos más parecidos que incluya la especificación.

No se acepta infección de insectos ni pudrición con excepción de lo indicado en forma específica en los diferentes grados.

Los defectos que pueden ser removidos con el cepillado no serán considerados al determinar el grado de la pieza.

Los defectos permitidos en los grados para Armaduras

(Framing Nº 1 y Framing Nº 2) y para Ingeniería (Engineering) se detallan en la TABLA Nº 16.

TABLA Nº 16. ESPECIFICACIONES PARA LA CLASIFICACION VISUAL DEL PINO RADIATA DE NUEVA ZELANDIA.

DEFECTO	DIMENSION DEL DEFECTO ADMITIDO EN EL GRADO		
	FRAMING Nº 1	FRAMING Nº 2	ENGINEERING
BOLSILLOS	Ancho : 20 mm Largo : 200 mm o un área equivalente.	En la cara: Ancho : 25 mm Largo : 300 mm En el canto: Ancho : 20 mm Largo : 200 mm o áreas equivalentes	Ancho : 15 mm Largo : 150 mm o un área equivalente.
GRIETAS	No se restringen	No se restringen	Longitud $\leq$ 600 mm
AGUJEROS Y NUDOS	Si $a < 150$ mm: dimensión $\leq \frac{e \times a}{3}$ Si $a \geq 150$ mm: dimensión $\leq \frac{e \times a}{4}$	Si $a < 150$ mm: dimensión $\leq \frac{e \times a}{2}$ Si $a \geq 150$ mm: dimensión $\leq \frac{e \times a}{3}$	En el canto: $\leq \frac{e}{3}$ En el centro cara: $\leq 0,3 a$ En el borde cara : $\leq 0,20a$ En la arista: en cara $\leq 0,2 a$ en canto $\leq \frac{e}{3}$ En grupo: $\leq 0,4 a$, siempre que en una sección transversal no supere el valor 0,3 a.
NUDOS ALARGADOS, PATA DE GALLO (Simple o doble)	dimensión $\leq \frac{e \times a}{4}$	dimensión $\leq \frac{e \times a}{3}$	dimensión $\leq \frac{e \times a}{6}$

Continúa

Continuación

MEDULA	Ancho ≤ 12 mm para las escuadrías que siguen: a) $a \leq 100$ mm $e \leq 50$ mm con tal que los cantos estén libre de médula en un 75 % del largo de la pieza. b) $a \leq 125$ mm $e \leq 75$ mm c) $a \leq 200$ mm $e \leq 50$ mm con tal que se presente sólo en el tercio central del ancho de la pieza.	No se restringe si los cantos no aparece el defecto en, por lo menos, el 75% de la longitud de la pieza.	No se acepta.
DEFECTO	DIMENSION DEL DEFECTO ADMITIDO EN EL GRADO		
	FRAMING Nº 1	FRAMING Nº 2	ENGINEERING
DESVIACION DE FIBRA	dimensión ≤ 1 en 6	dimensión ≤ 1 en 6	dimensión ≤ 1 en 10
MANCHA	Insuficiente para oscurecer la fibra	Insuficiente para oscurecer la fibra	Insuficiente para oscurecer la fibra
CANTO MUERTO	Dimensión en la cara $\leq \frac{a}{4}$ Dimensión en el canto $\leq \frac{e}{4}$	Dimensión en la cara $\leq \frac{a}{4}$ Dimensión en el canto $\leq \frac{e}{4}$	En el canto: i) ≤ 50 mm ii) $\leq e/4$ En cara: i) ≤ 50 mm ii) $\leq a/4$ Se toma el valor menor.

Continúa

Continuación

ALABEOS	Arqueadura	Ver Tabla N° 17	Ver Tabla N° 17	Ver Tabla N° 17
	Encorvadura	Ver Tabla N° 18	Ver Tabla N° 18	Ver Tabla N° 18
	Acanaladura	No se restringe	No se restringe	No se restringe
	Torcedura	Ver Tabla N° 19	Ver Tabla N° 19	Ver Tabla N° 19
COMBINACION DE DEFECTOS		Si $a < 150$ mm: $\text{dimensión} \leq \frac{e \times a}{3}$ Si $a \geq 150$ mm: $\text{dimensión} \leq \frac{e \times a}{4}$	Si $a < 150$ mm: $\text{dimensión} \leq \frac{e \times a}{2}$ Si $a \geq 150$ mm: $\text{dimensión} \leq \frac{e \times a}{3}$	
NOTA: e = espesor; a = ancho; e x a = sección transversal de la pieza.				

TABLA N° 17. ARQUEADURA PERMITIDA EN LA CLASIFICACION ESTRUCTURAL DEL PINO RADIATA DE NUEVA ZELANDIA.

LONGITUD (m)	ESPESOR (mm)					
	25	30	40	50	75	100
1,8	15	15	10	10	5	5
2,1	25	20	15	10	10	5
2,4	30	25	20	15	10	10
2,7	40	30	25	20	15	10
3,0	45	40	30	25	15	10
3,3	55	45	35	30	20	15
3,6	65	55	40	35	25	15
3,9	80	65	50	40	25	20
4,2	90	75	55	45	30	25
4,5	105	90	65	55	35	25
4,8	120	100	75	60	40	30
5,1	135	115	85	70	45	35
5,4	150	125	95	75	50	40
5,7	170	140	105	85	55	40
6,0	185	155	115	95	65	45

TABLA N° 18. ENCORVADURA PERMITIDA EN LA CLASIFICACION ESTRUCTURAL DEL PINO RADIATA DE NUEVA ZELANDIA.

LONGITUD (m)	ANCHO (m m)					
	75	100	125	150	200	SOBRE 200
1,8	5	4	3	3	2	2
2,1	10	5	5	4	3	2
2,4	10	10	5	5	4	3
2,7	15	10	10	5	5	4
3,0	15	10	10	10	5	5
3,3	20	15	10	10	10	5
3,6	25	15	15	10	10	5
3,9	25	20	15	15	10	10
4,2	30	25	20	15	10	10
4,5	35	25	20	20	15	10
4,8	40	30	25	20	15	10
5,1	45	35	25	25	15	15
5,4	50	40	30	25	20	15
5,7	55	40	35	30	20	15
6,0	65	45	40	30	25	20

TABLA N° 19. TORCEDURA PERMITIDA EN LA CLASIFICACION ESTRUCTURAL DEL PINO RADIATA DE NUEVA ZELANDIA.

LONGITUD (m)	ESPESOR (m m)					
	25	30	40	50	75	100
1,8	10	10	5	5	3	2
2,4	10	10	10	5	4	3
3,0	15	15	10	10	5	4
3,6	20	15	10	10	5	5
4,2	20	20	15	10	5	5
4,8	25	20	15	10	10	5
5,4	25	25	15	15	10	5
6,0	30	25	20	15	10	10

Los defectos permitidos en el grado Ingeniería (Engineering) se han limitado con la intención de asegurar que a cada pieza perteneciente al grado pueda asignársele la tensión admisible y módulo de elasticidad dado en la norma NZS 3603 "Code of practice for timber design".

8.0 PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR MADERA CLASIFICADA ESTRUCTURALMENTE

Con la finalidad de entregar una pauta para el procedimiento a seguir en la evaluación de madera clasificada estructuralmente se resumirá a continuación, la norma que Australia estudiaba para este efecto en 1983.

8.1 Alcance y Método

Se describen métodos para evaluar las propiedades estructurales de madera previamente clasificada. Estos métodos también pueden ser usados para describir las propiedades estructurales que se pueden esperar de la madera estructural.

Específicamente se entregan métodos para evaluar las tensiones admisibles, el módulo de elasticidad de diseño y el grado estructural de una determinada población de referencia extraída de una especie maderera. Esta evaluación se basa idealmente en un conjunto de ensayos normalizados.

En lo que sigue, la tensión admisible o el módulo de elasticidad de diseño se calculará en la forma siguiente:

$$R^* = R_k / c$$

en donde :

- R = resistencia o módulo de elasticidad
- R_k = valor característico de R
- R^* = tensión admisible o módulo de elasticidad de diseño.
- c = factor de carga

El valor característico (R_k) puede ser tomado como el valor mínimo probable (con percentila de 5%) medido en una gran muestra extraída de la población de referencia. De esta forma el valor de diseño R^* se puede asignar específicamente a dicha población de referencia.

Los ensayos normalizados a especificar para la medición de R_k han sido elegidos para simular las condiciones de servicio.

Se consideran tamaños y luces típicas, cargas y arreglos de cargas corrientes y las probetas son extraídas de ubicaciones seleccionadas al azar de las muestras a escala real.

8.2 Definiciones y Simbología

8.2.1 Definiciones

Población de referencia. Población de madera estructural para la cual se evalúan las propiedades de diseño. Para la población de referencia se debe identificar el origen de la madera, contenido de humedad, dimensiones y método de clasificación usado.

Tamaño de la muestra. Una muestra de tamaño superior a

400 piezas y que tenga propiedades estructurales que sean estadísticamente similares a las de la población de referencia.

Configuración del ensayo normalizado. Especificación del procedimiento del ensayo de evaluación.

8.2.2 Simbología

D	=	altura del elemento
$F_R(x)$	=	distribución acumulativa de la función R para el valor x.
ℓ	=	luz normalizada
ℓ_D	=	luz no normalizada
L	=	longitud normalizada de las piezas que se clasifican.
L_D	=	longitud no normalizada de las piezas que se clasifican.
N	=	tamaño de la muestra
R	=	resistencia o módulo de elasticidad
R_k	=	valor característico de R
R^*	=	tensión admisible o módulo de elasticidad de diseño.
$R_{0,05}$	=	valor de R con una exclusión de 5% (Para percentila de 5%).
v_R	=	coeficiente de variación de R
c	=	factor de carga.

8.3 Población de Referencia

La población de referencia debe ser claramente definida puesto que es sólo a ella que se aplicarán las propiedades de diseño que se determinen.

La población es comercializada como un grado determinado de una madera que proviene de un origen específico. Una población de referencia puede estar constituida por una sola especie o por varias especies madereras. Otros parámetros que se deben definir en la especificación de una madera que se ha incluido en la población de referencia son: contenido de humedad, dimensiones (escuadría y longitud), grado y método de clasificación.

NOTA: De lo anterior se deduce que si la población cambia las propiedades estructurales también pueden cambiar, por lo que deberá procederse con una nueva evaluación.

8.4 Muestreo

La muestra a ensayar deberá ser escogida de modo que sea representativa de la población de referencia. Deberá cuidarse que todas las características estructurales de la población estén distribuidas en la muestra con la misma frecuencia que se encuentran en la población.

A fin de simular las condiciones de servicio las probetas deberán ser extraídas de zonas de la pieza que pertenece a la muestra, seleccionadas mediante métodos de azar estadístico.

8.5 Condiciones del Ensayo

Las configuraciones de los ensayos destinados a determinar las tensiones admisibles y el módulo de elasticidad se señalan en las Figuras N° 20 a N° 22.

La elección del canto que quedará sometido a tracción

en los ensayos de flexión y cizalle se hará por métodos de azar.

Las probetas se acondicionarán a una temperatura de $20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y la velocidad de ensayo será tal que se provoque la falla en un lapso de tiempo comprendido entre 3 y 5 minutos.

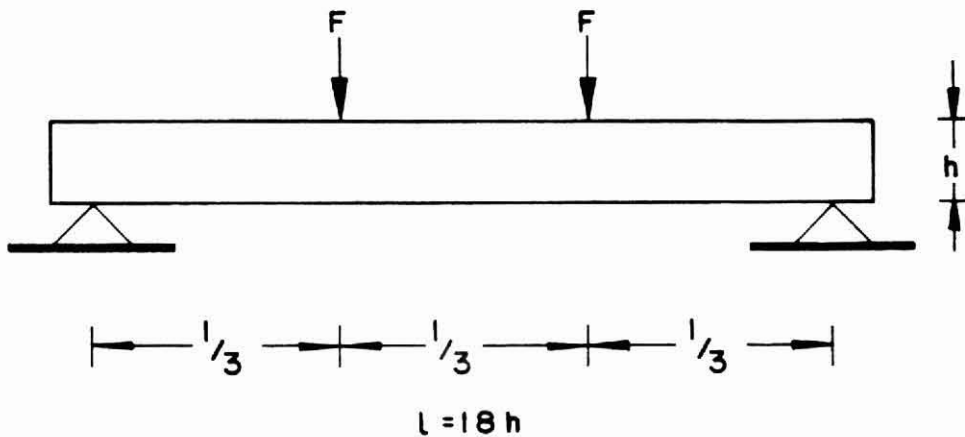


FIGURA N° 20. Configuración del ensayo de flexión.

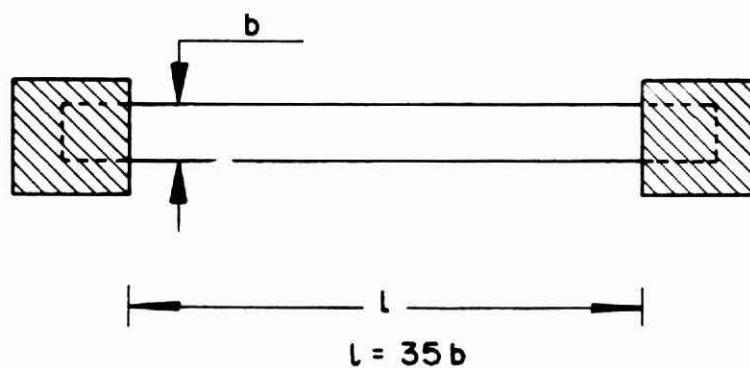


FIGURA N° 21. Configuración del ensayo de tracción.

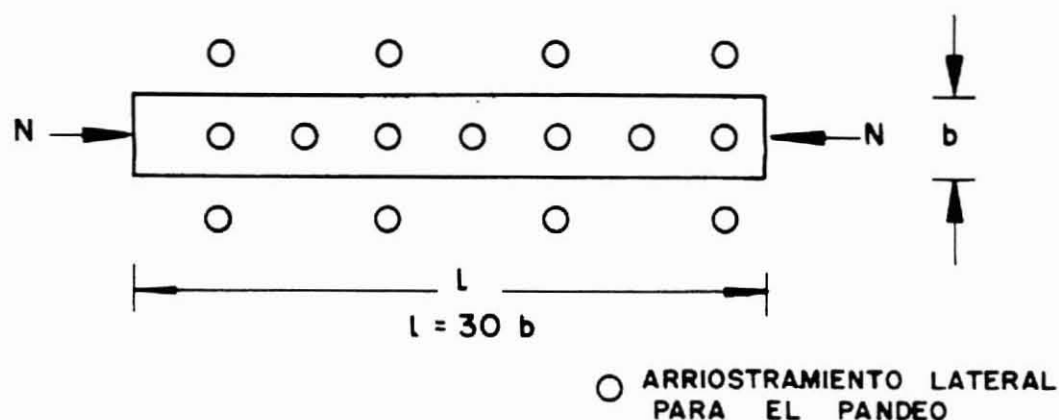


FIGURA Nº 22. Configuración del ensayo de compresión paralela a las fibras.

NOTA: La configuración requerida para el ensayo de compresión señalado en la Figura Nº 22 es difícil de alcanzar debido a la necesidad de ubicar los arriostramientos laterales destinados a evitar el pandeo. Sin embargo, este ensayo puede simularse con bastante exactitud ensayando una probeta corta (seleccionada de la pieza original), de tal manera que incluya un defecto importante en la mitad de su longitud.

Se recomienda que la razón longitud/espesor tenga el valor 8 para este ensayo.

8.6 Valores Característicos

El valor característico será definido con el valor mínimo del ensayo que deja una exclusión de 5% (percentila 5%).

NOTA: Los valores con percentila del 5% pueden ser medidos directamente en muestras constituidas por más de 1.000 unidades. Para

muestras con menos individuos se adoptarán métodos aproximados para estimar el valor con percentila de 5%.

8.7 Factores de Carga

8.7.1 Resistencia

El factor de carga "c" a usar en la deducción de la tensión básica será determinado mediante la expresión:

$$c = 1,75 (1,3 + 0,7 v_R)$$

en que :

v_R = es el coeficiente de variación de la resistencia R medida en el ensayo.

NOTA: El factor 1,75 es un factor de modificación por duración de carga y el factor $(1,3 + 0,7 v_R)$ es el factor de seguridad.

Si la madera tiene un contenido de humedad, grado y tamaño que sea propenso al agrietamiento durante servicio, el factor de carga c deberá ser incrementado por el 1,5 al deducir la tensión admisible de cizalle.

8.7.2 Rigidez

Para evaluar el módulo de elasticidad (E_f) de diseño, el factor de carga será:

$$c = 0,7$$

NOTA: Este valor ha sido elegido para obtener un E_f de diseño que es aproximadamente semejante al valor medio para el caso de un grado determinado y de una especie maderera específica.

Para el caso de mezclas de especies él asegura que ninguna pieza tendrá un E_f menor que el valor de diseño.

8.8 Valores de Diseño

El valor de la tensión admisible y el E_f de diseño, identificado por R^* , se deduce de la expresión:

$$R^* = R_k / c$$

en que :

R_k = el valor característico obtenido según párrafo 8.6.

c = factor de carga especificado en párrafo 8.7

8.9 Grado de Clasificación

Para clasificar la población de referencia en una clase estructural de la norma NCh 1990 se deberá efectuar una clasificación preliminar de cada una de las propiedades determinadas. La clasificación final para la población de referencia se hará de acuerdo a las reglas señaladas en la TABLA Nº 20.

8.10. Informe Final

El informe final sobre asignación de propiedades estructurales incluirá lo siguiente:

- a) Definición de la población de referencia (ella incluirá origen de la madera, método de muestreo, contenido de humedad, dimensiones de las piezas y método de clasificación.
- b) Configuración de los ensayos.
- c) Datos obtenidos.
- d) Cálculo de medias, coeficiente de variación y valor con percentila de exclusión igual a 5%.
- e) Valores deducidos para tensiones admisibles y E_f de diseño.

TABLA Nº 20. REGLAS PARA CLASIFICAR ESTRUCTURALMENTE UNA POBLACION DE REFERENCIA.

CLASIFICACION PRELIMINAR				RESULTADO FINAL PARA LA POBLACION DE REFERENCIA
FLEXION	TRACCION PARALELA	COMPRESION PARALELA	E_f	
F	F	F	F	F
F	F + 1	F - 1	F - 1	F
F	F - 1	F	F + 2	F
NOTA: El grado F + 1 es de mejor calidad que el grado F.				



9.0 BIBLIOGRAFIA

ANON. 1972. Mew Australian Stress Grading Machine for World Markets. Australian Timber Journal, April, pp. 65-69.

ANON. 1981. Proof Grader a Success. Australian Forest Industries Journal, February, pp. 62.

ANTON, A. 1981. Grading Timber for Strength, 20th Forest Products Research Conf., vol. 1, Topic E8 CSIRO Div. of Chem. Tech. South Melbourne, Victoria, Australia.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1976. Standard methods of Static tests of timber in structural sizes, D 198, Philadelphia, U.S.A.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1981. Standard Method for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber, D 245, Philadelphia, U.S.A.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1978. Standard Method for Evaluating Allowable Properties for Grades of Structural Lumber, D 2915, Philadelphia, U.S.A.

BIER, H. 1984. Derivation of Timber Design Stresses in New Zealand. Paper for the Pacific Timber Engineering Conference, Paper 333, Auckland.

BOOTH, H. E. 1966. Machine Grading of Wood. Australian Timber Journal, July. Australia.

BOOTH, H. E. 1964. Machine Stress Grading Assures Timber's Future as a Structural Material. Timber Jour. 30(2):78-84, Australia.

- BOOTH, H. E. 1964. Mechanical Grading a reality. Forest and Timber 2(1):11-14.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. 1973. Specification for Timber Grades for Structural Use. BS 4978. Londres.
- BRYANT, P. A. V. 1978. The Stress Grading of South African Pine. HOUTIM. CSIR National Timber Research Institute, June. Pretoria.
- CENTENO, J. C. 1978. Andean Grading System for Structural Hardwood Timber. Working Stress - Strength Groups Forest Products Research Society, 32nd Annual Meeting, Atlanta, Georgia, U.S.A.
- COOPER, K. L. 1953. Preferred Stress Grades for Structural Timber, Aust. J. Appl. Sci. 4:77-83.
- CSIRO. 1968-1969. A simplified approach to mechanical Grading-Parts I and II. CSIRO Forest Products News letters N°s 356 and 358. South Melbourne, Australia.
- CURRY, W. T. 1969. Mechanical Stress Grading of Timber. Symposium on non-destructive testing of concrete and timber. Paper N° 10 Institution of Civil Engineers, 11-12 June.
- CURRY, W. T. and TORY, J. R. 1976. The relation between the modulus of rupture (ultimate bending stress) and modulus of elasticity of timber. Building Research Establishment current paper CP 30/76. Princes Risborough Laboratory, Aylesbury.
- CURRY, W. T. and FEWELL, A. R. 1980. Type appraisal testing of stress grading machine. Building Research Establishment Note N 34/80 Princes Risborough Laboratory, Aylesbury.

- DAVALOS, R. 1981. Development of Grading Rules for Structural Mexican Pine Lumber. Paper presented at UNIDO Meeting on Timber Stress Grading and Strength Grouping, UNIDO Document ID/WG 359 / 2, December, Vienna, Austria.
- ECHENIQUE-MANRIQUE, R., R. DAVALOS-SOTELO and F. ROBLES F-V. 1980. Final report to IDRC. Project: Timber Grading in México. INIREB, Xalapa, Ver., México.
- GALLIGAN, WILLIAM, L. and DELOS V. SNODGRASS. 1970. Machine Stress-rated lumber: Challenge to design Proc. Amer. Soc. Civil Eng. J. Struct. Div. 96 (ST12) 2639-2651 (Dec-Proc. Pap 7772).
- GALLIGAN, W. L., D. V. SNODGRASS and G. W. CROW. 1977. Machine Stress rating: practical concerns for lumber producers, USDA Forest Service, General Technical Report FPL 7. USDA Forest Products Laboratory, Forest Service, Madison, Wisconsin.
- HAY, J. 1985. Visual Grading of Timber. Timber Engineering for Developing Countries. Part 2. Structural Timber and Products. UNIDO/IO 607. Paper Nº 6, January.
- HILBRAND, H. C. and D. G. Miller. 1966. Machine Grading Theory and practice, For. Prod. J. 16(11):28-34 and 16(12):36-40.
- HOYLE, R. J. 1968. Background to machine stress grading. Forest Products Journal, Vol. 18, Nº 4, pp. 87-97.
- HOYLE, ROBERT, J., Jr. 1970. Estimating Profits from MSR Grading, Proceedings Third Short Course, Machine Stress-Rated Lumber, Washington State University, Pullman, Wash.
- HUDDLESTON, E. B. and AMTON, A. 1967. The grading of timber into stress

grades by mechanical means. The journal of the Institution of Engineers, June pp. 75-81, Australia.

INCE, P. J. 1979. Cost of Grading Lumber by the machine Stress rating process Forest Products Journal, Vol. 29, No 10, October, pp. 80-83.

KEATING, G. W. 1985. Structural Grading of Timber. Timber Engineering for Developing Countries. Part 2. Structural Timber and Products. UNIDO/IO 607, Paper No 5a, January.

KLOOT, N. H., and LEICESTER, R. H. 1977. Proof testing as a grading technique for structural testing. Proc. 18th Forest Products Research Conference, Vol. 1, Topic. 1/18. CSIRO Div. of Bldg. Res., Highett, Victoria, Australia.

LEICESTER, R. H. 1979. Proof Grading a practical application of reliability theory. Proc. 3rd Int. Conf. Appl. Statist. Probab. in Soil and Struct. Eng., Jan-Feb., pp. 263-277, Sydney.

LEICESTER, R. H. 1981. The future of Grading Structural Timber. Proc. XVII IUFRO World Congress, Division 5, Japan.

LEICESTER, R. H., BREITINGER, H. O. and McNAMARA, R. 1981. Damage due to proof loading. Proc. 20th Forest Products Research Conference. Topic. E1. CSIRO Div. of Chem. Tech., South Melbourne, Australia.

LEICESTER, R. H. and KEATING, W. G. 1982. The use of Strength classifications for Timber Engineering codes. CSIRO, Div. Bldg. Res. Tech. Paper No 43, Australia.

LEICESTER, R. H. 1984. Proof Grading, Pacific Timber Engineering Conference, Paper No 145B, Auckland, New Zealand.

- LEICESTER, R. H. 1984. Structural Grading Systems, Pacific Timber Engineering Conference, Paper N^o 145A, Auckland, New Zealand.
- LEICESTER, R. H. 1985. Proof Grading of Timber. Timber Engineering for Developing Countries. Part 2. Structural Timber and Products. UNIDO/IO 607, Paper N^o 5b, January
- LEICESTER, R. H. 1985. Model of the Timber Grading Process Timber Engineering for Developing Countries. Part 2. Structural Timber and Products. UNIDO/IO 607, Paper N^o 5c, January.
- LITTLEFORD, T. W. 1966. Visual restrictions on Size of edge-knots as an aid to machine Stress-rating of Western Canadian Species. Information Report VP-X-15. Forest Products Research Laboratory, Vancouver, British Columbia, Canada, 7 pp.
- MADSEN, B. 1978. In grade testing, problem analysis. For. Prod. J. 28(4) pp. 42-50.
- MADSEN, B. 1980. Parameters affecting the efficiency of mechanical Grading. Proceedings of IUFRO Conference, Oxford, UK, April, pp. 175-192.
- MADSEN, B. and KNUFFEL, W. 1980. Investigation of Strength-Stiffness Relationships for South African Timbers as it Relates to Mechanical Grading, IUFRO Conference, April, Oxford, United Kingdom, pp. 125-173.
- MADSEN, B. 1981. North American Grading practice and in-grade Testing. Proceedings of Division V, 17th IUFRO World Congress, Kyoto.
- MC KEAN, H. B. and HOYLE, R. J. 1962. A Stress Grading Method for dimension lumber based on non-destructive mechanical testing. Fourth

Pacific Area National Meeting of American Society for Testing and Materials, Paper N^o 196, October.

METTEM, C. J. 1981. The principles involves in Stress Grading with special reference to its application in developing countries. UNIDO Meeting on Timber Stress Grading and Strength Grouping, UNIDO Document ID/WG 359/3, December, Vienna, Austria.

MÜLLER, P. H. 1968. Mechanical Stress-Grading of Structural Timber in Europe, North America and Australia with a Research Programme on this field for South Africa. Wood Science and Technology, Vol. 2, pp. 43-72.

PELLERIN, R. F. and C. C. GERHARDS. 1979. Evaluation of a portable machine for testing lumber in bending. Coll. of Eng., Res. Div. Res. Rep. N^o 79 pp. 56-43. Washington State Univ., Pullman, Wash.

SENFT, J. F., SUDDARTH, S. K. and ANGLETON, H.D. 1962. A New approach to Stress Grading Lumber. Forest Products Journal, Vol. 12, N^o 4, pp. 183-186.

SNODGRASS, D. V. 1978. Development of a proof loading machine for quality control of MSR lumber. In 4th Nondestructive testing of Wood Symp. Proc., Vancouver, Wash. Aug. 28-30, 1978, Publ. by Eng. Ext. Serv. Washington State Univ., Pullman, Wash. pp. 215-221.

STRAKER, I. 1977. A simple continuous testing machine. Australian Forest Industries Journal 43(2), pp. 39-41, March, Australia.

SUNLEY, J. G. and CURRY, W. T. 1962. A machine to Stress grade timber. Timber Trades Journal, 241(4472) pp. 73-75.

WALFORD, G. B. 1981. Combined Visual and Mechanical Grading of Pinus

radiata, New Zealand Journal of Forest Science 11 (3) pp. 298-303.

WALFORD, G. B. 1982. Current knowledge of the in-grade bending Strength of New Zealand radiata pine. New Zealand Forest Service, FRI Bulletin N^o 15.





INFOR
Instituto Forestal

SANTIAGO

Huérfanos 554

Casilla 3085

Fono: (56-2) 693 0700

Fax: (56-2) 693 0880

693 0890 - 638 1286

e-mail: info@infor.cl

<http://www.infor.cl>

CONCEPCION

Camino a Coronel

km 7,5 - Casilla 109C

Fono: (56-41) 37 0027-28-29-30

Fax: (56-41) 37 0031

VALDIVIA

Fundo Teja Norte

Casilla 385

Fono: (56-63) 21 1476

Fax: (56-63) 21 8968

COYHAIQUE

Baquedano 645

Fono: (56-67) 23 3585

Fax: (56-67) 23 3585