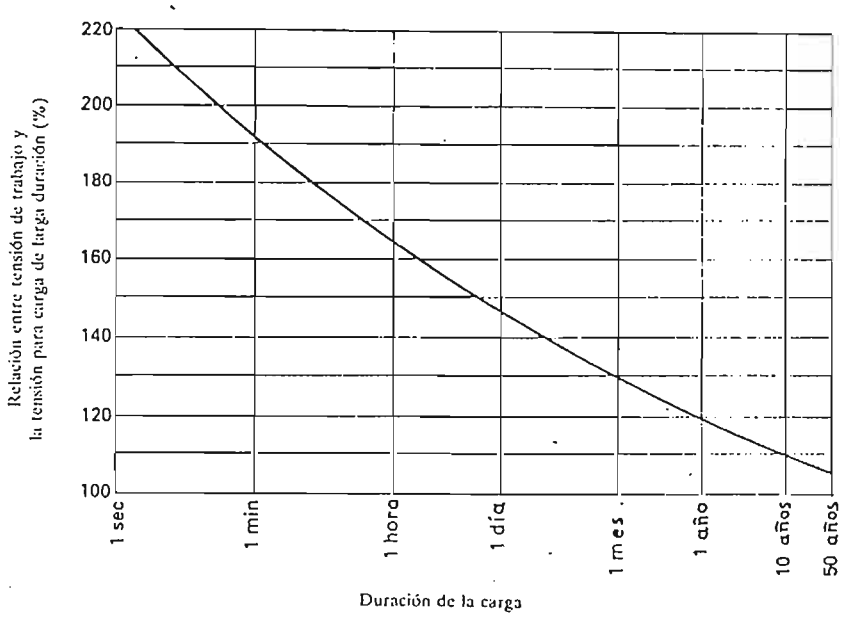

Figura 1.3.3 Relación entre resistencia y duración de la carga

1.4 ENSAYOS MECANICOS

Los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de la madera se realizan de acuerdo a la norma pr EN 408 : 1.991 "Estructuras de madera - Madera maciza y madera laminada encolada - Determinación de algunas propiedades físico-mecánicas para uso estructural". Esta norma está basada en la norma ISO 8375. Los ensayos no definidos en la norma pr EN, quedan especificados en la ISO.

Las probetas de madera tienen el mismo tamaño con el que se emplean en estructuras, lo que se denomina generalmente como tamaño estructural. Así, la sección transversal de las piezas toma valores del orden de 5x10 o 7x15 cm, orientativamente.

Las piezas de madera a ensayar son previamente clasificadas de acuerdo a una norma, con el objeto de poder determinar las resistencias y otras propiedades mecánicas que corresponden a cada clase.
A continuación se describen brevemente los ensayos especificados en la norma antes citada

1.4.1 DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION :

La probeta tiene una longitud mínima igual a 19 veces el canto nominal de la sección. Se somete a flexión mediante la aplicación de dos cargas que dividen el vano en tres tercios sobre una luz entre apoyos de 18 veces el canto nominal como se indica en la figura 1.4.1. Si el equipo no permite estas condiciones de carga exactamente, la distancia entre los dos puntos de aplicación de

las cargas, puede incrementearse en una cantidad no mayor a 1,5 veces el canto nominal, y la luz y longitud de la probeta pueden aumentarse en una cantidad no superior a 3 veces el canto nominal, manteniéndose su disposición simétrica.

La probeta se apoya sobre dispositivos que permitan unas condiciones de apoyos deslizantes . En las zonas de apoyo y de carga se incluyen unas placas de longitud no superior a la mitad del canto nominal para reducir el efecto del aplastamiento.

Igualmente se dispondrán elementos que eviten el pandeo lateral, permitiendo su deformación sin rozamientos significativos.

La carga se aplicará de forma continua o por incrementos evitando efecto de impacto, y teniendo la precaución de que la carga máxima aplicada no supera el límite de proporcionalidad o causa daños a la probeta.

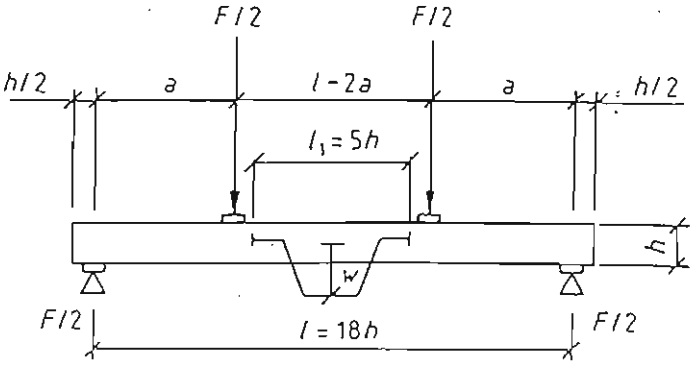

Figura 1.4.1 Disposición del ensayo para la determinación del módulo de elasticidad en flexión.

La deformación se mide en el vano central sobre una longitud de 5 veces el canto nominal de la sección con un captador de recorrido situado en la línea media del canto.

El módulo de elasticidad en flexión estática, E_m, viene dado por la siguiente expresión

$$E_m = \frac{a \cdot l_1^2 \cdot \Delta F}{16 \cdot I \cdot \Delta\delta} \qquad (1.4.1)$$

donde

a es la distancia entre un punto de aplicación de la carga y el apoyo más próximo.

l_1 es la longitud del vano central sobre el que se toman las lecturas de la deformación.

ΔF es un incremento de la carga por debajo del límite de proporcionalidad.

I es el momento de inercia de la sección.

$\Delta\delta$ es la deformación correspondiente al incremento de carga ΔF

1.4.2 DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL.

El método aquí comentado es el denominado en la norma como "método de una sola luz", y sirve para obtener el módulo de elasticidad transversal, o de cortante. Incluye la determinación del módulo de elasticidad en flexión (E_m) y el módulo de elasticidad aparente ($E_{m,ap}$) para la misma longitud de la probeta.

1.4.2.1 Determinación del módulo de elasticidad en flexión

Se procede de acuerdo a lo indicado en el apartado anterior, 1.4.1.

1.4.2.2 Determinación del módulo de elasticidad aparente

La probeta utilizada es la misma que se emplea para la determinación del módulo de elasticidad en flexión, del apartado 1.4.2.1.

La probeta se somete a un ensayo de flexión aplicando una carga en el punto central, sobre una luz entre apoyos igual a la empleada en 1.4.2.1, para tomar las lecturas de deformación y con la misma longitud, como se indica en la figura 1.4.2.2.

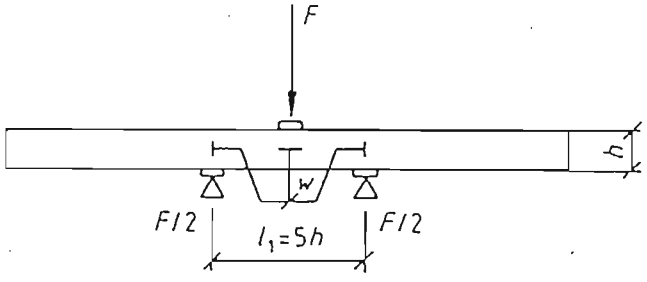

Figura 1.4.2.2 Disposición del ensayo para la determinación del módulo de elasticidad aparente

Las condiciones de los apoyos y de aplicación de la carga son las mismas que se aplican para la determinación del módulo de elasticidad en flexión, 1.4.1.

El módulo de elasticidad aparente, $E_{m,ap}$, viene dado por la siguiente expresión :

$$E_{m,ap} = \frac{l_1^3 \cdot \Delta F}{48 \cdot I \cdot \Delta\delta} \qquad (1.4.2.2)$$

donde

l_1 es la luz entre apoyos

ΔF es un incremento de la carga por debajo del límite de proporcionalidad

I es el momento de inercia de la sección

$\Delta\delta$ es la deformación correspondiente al incremento de carga ΔF

1.4.2.3. Cálculo del módulo de cortante

El módulo de elasticidad transversal o de cortante, viene dado por la siguiente expresión :

$$G = \frac{K_G \cdot h^2}{l_1^2 \cdot (1/E_{m,ap} - 1/E_m)} \qquad (1.4.2.3)$$

donde

K_G = 1,2 en sección rectangular
1,55 en sección circular

h es el canto de la sección

l_1 es la luz utilizada en 1.4.2

$E_{m,ap}$ es el módulo de elasticidad aparente determinado en 1.4.2.2

E_m es el módulo de elasticidad en flexión estática, determinado para la misma probeta en 1.4.2.1

1.4.3 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION

1.4.3.1. Generalidades

Al someter una pieza de madera libre de defectos a un ensayo de flexión estática, de manera que la carga aumente de una forma progresiva, da lugar al siguiente proceso de comportamiento tensiones-deformaciones:

En primer lugar se debe considerar que los módulos de elasticidad en compresión y tracción, así como sus respectivas tensiones de rotura son diferentes, como se representa en la figura 1.4.3.1a

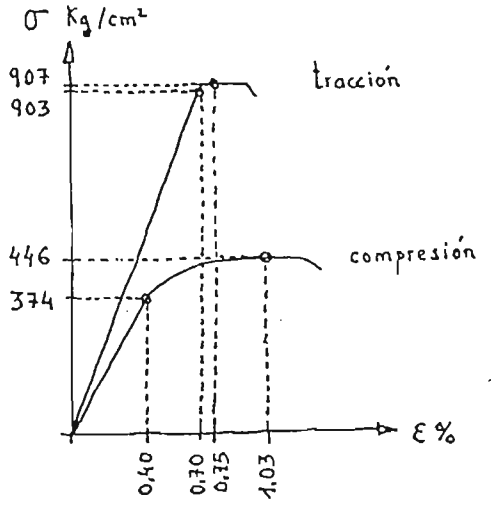

Figura 1.4.3.1a

Características mecánicas del ejemplo de la figura 1.4.3.1a

Tracción :

- tensión última.....σ_{tu} = 907 Kg/cm^2
- límite elástico.....σ_{te} = 903 "
- deformación en el límite elástico,.... ϵ_{te} = 0,70 %
- deformación en rotura,.....ϵ_{tu} = 0,75 %
- módulo de elasticidad,.....Et = 129.000 Kg/cm^2

Compresión :

- tensión última..... σ_{cu} = 446 Kg/cm^2
- límite elástico..... σ_{ce} = 374 "
- deformación en el límite elástico..... ϵ_{ce} = 0,40 %
- deformación en rotura ..... ϵ_{cu} = 1,03 %
- Módulo de elasticidad..... Ec = 93.500 Kg/cm^2

Admitiendo la hipótesis de la deformación plana de la sección, en los primeros estados de carga la ley de tensiones seguirá una distribución formada por dos rectas con diferente pendiente (figura 1.4.3.1b).

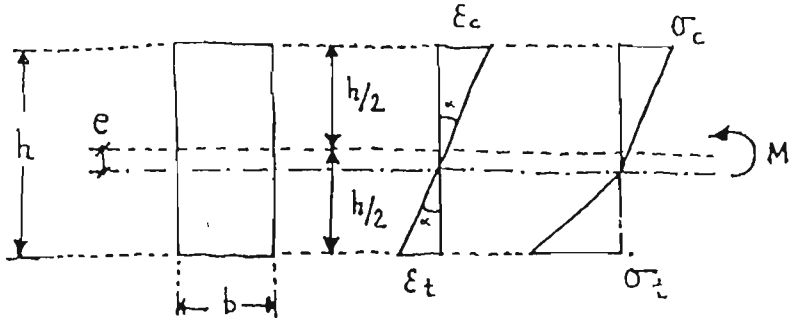

Figura 1.4.3.1b

En este caso las tensiones de tracción y de compresión se encuentran dentro de la zona elástica de la gráfica tensión deformación.

Al equilibrar internamente los volúmenes de tensiones normales, teniendo en cuenta la deformación plana de la sección obtenemos la desviación de la fibra neutra que tiene lugar:

$$e/h = \frac{\sqrt{Et}}{\sqrt{Et} + \sqrt{Ec}} - 0,50$$

siendo:

e = desviación de la fibra neutra hacia las fibras traccionadas.
h = canto de la pieza.
Et = módulo de elasticidad en tracción.
Ec = módulo de elasticidad en compresión.

Para tener una idea de su magnitud se pueden tomar los siguientes valores medios para una conífera:

Et = 129.000 Kg/cm2
Ec = 93.500 "

Esto implica una relación Et/Ec = 1,38

De donde se deduce una relación e/h = 0,04. Es decir, un 4 % del canto de la pieza. Se puede observar que se trata de un valor pequeño y si se tiene en cuenta que las tensiones de servicio no sobrepasan el límite elástico, se justifica que en la práctica no se tenga en consideración.

Ahora bien, si aumentamos la carga sobre la pieza, es decir incrementamos su deformación, llegará un momento en el que las tensiones de compresión sobrepasen el límite elástico, dando lugar a la distribución de tensiones de la figura 1.4.3.1c

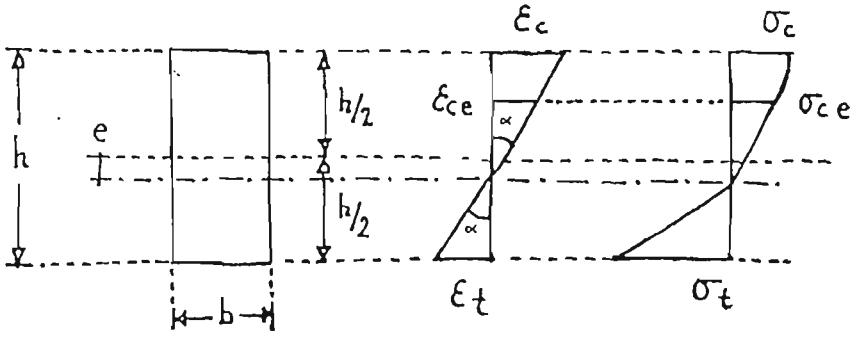

Figura 1.4.3.1c

En este estado, las tensiones de compresión aumentan a un ritmo más lento, dando lugar a un aumento de la desviación de la fibra neutra, para lograr el equilibrio con las tensiones de tracción.

La distribución de las tensiones de compresión sigue una ley recta en la zona en estado elástico y una curva en la zona que ha superado el límite elástico.

Si aumenta el giro de la sección, al incrementar la carga, llega un momento en el que las tensiones de com presión alcanzan el valor último, produciéndose una plas tificación en el borde comprimido. La rotura de la pieza no se produce todavía al no haberse agotado las tensiones de tracción. Pero aumenta la desviación de la fibra neutra y la deformabilidad de la sección. (Figura 1.4.3.1d)

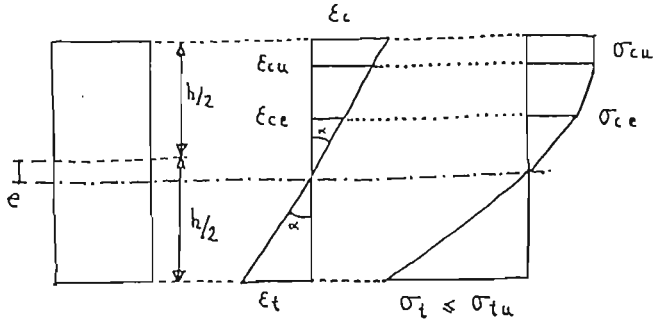

Figura 1.4.3.1d

En este momento la distribución de tensiones de compresión tiene tres tramos: una recta inclinada en la zona elástica, un tramo curvo en la zona plástica y una recta sin pendiente en las fibras extremas que han llegado a la tensión última.

En este estado, si aumenta el giro de la sección, se producirá la rotura de la pieza cuando las tensiones de tracción lleguen al valor de rotura (o deformación de rotura). En este instante se agota la capacidad de la sección, produciéndose la rotura de forma brusca. Aunque viene precedida por roturas parciales de fibras (crujidos).

A modo de ejemplo, la desviación de la fibra neutra e/h en el instante de la rotura y para los datos del ejemplo anterior, sería: e/h = 0,08. Se ha llegado, por tanto, a un 8 % del canto, duplicando la desviación correspondiente al estado elástico. Lógicamente estos valores dependerán de las características elásticas de cada especie.

El proceso anteriormente descrito, explica porque la rotura en flexión se produce por fallo de las fibras traccionadas, a pesar de que la resistencia a la tracción prácticamente duplica a la de compresión.

1.4.3.2. Influencia de la altura de la sección

Se ha comprobado experimentalmente mediante el ensayo en flexión de probetas con diferentes cantos (altura de la sección transversal), que la rotura de la pieza se produce a una tensión máxima de flexión, más pequeña, cuanto mayor sea su canto.

Existen varias teorías que intentan explicar este fenómeno. Una de ellas, la más conocida, es la de Newlin y Trayer (1924). Su argumento se basa en considerar que las fibras de la zona comprimida de la sección de la viga, actúan individualmente como si fueran pequeñas columnas sometidas a compresión y posibilidad de pandeo. Las fibras extremas con mayores tensiones se encuentran con una cierta restricción a su deformación por aquellas fibras que están relativamente menos comprimidas, más próximas al eje neutro de la sección. (Figura 1.4.3.2).

En una viga de poco canto, estas fibras están más próximas al borde comprimido. (La distancia es absoluta y no relativa, ya que el tamaño de las fibras es el mismo para diferentes cantos de vigas), que en el caso de una viga de mayor canto y, por tanto, el efecto de ayuda es mayor.

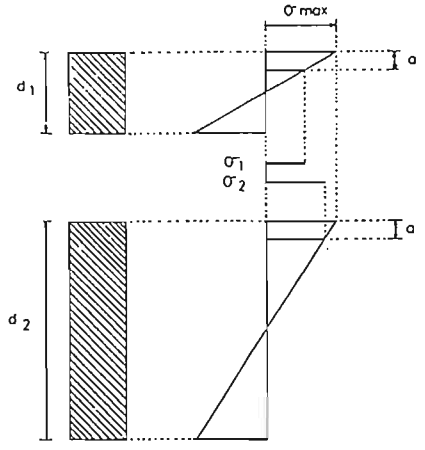

Figura 1.4.3.2 Influencia de la altura de la sección

1.4.3.3. Ensayo de flexión

La probeta tendrá normalmente una longitud mínima de 19 veces el canto nominal de la sección. La disposición y características del ensayo son las mismas que las indicadas para la determinación del módulo de elasticidad en flexión, en el apartado 1.4.1. Generalmente se determina el módulo de elasticidad y resistencia a la flexión en un mismo ensayo.

La carga se aplicará con un avance constante de la cabeza del pistón, de tal forma que la carga de rotura se alcance dentro de 300 ± 120 segundos.

La resistencia a la flexión, f_m, viene dada por la siguiente expresión :

$$f_m = \frac{a \cdot F_u}{2 \cdot W} \qquad (1.4.3.3)$$

donde

a es la distancia entre el punto de aplicación de una de las cargas y el apoyo más próximo

F_u es la carga de rotura

W es el módulo resistente de la sección

1.4.4 DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD EN TRACCION

Las dimensiones de la probeta tendrán como sección transversal la misma sección de la pieza y con una longitud suficiente para que entre las mordazas de la máquina de ensayo quede una longitud libre de al menos 9 veces la anchura nominal de la sección, (es decir la mayor dimensión de la sección transversal).

La probeta se somete a carga utilizando unas mordazas que deben lograr en lo posible, una tensión uniforme evitando la flexión.

La deformación se mide sobre una longitud base de 5 veces el ancho nominal de la probeta, que debe estar separada del final de las mordazas al menos 2 veces la anchura de la sección. Se utilizan dos extensómetros colocados de forma diagonalmente opuesta sobre las cargas de la pieza para compensar el posible efecto de distorsión. (Figura 1.4.4).

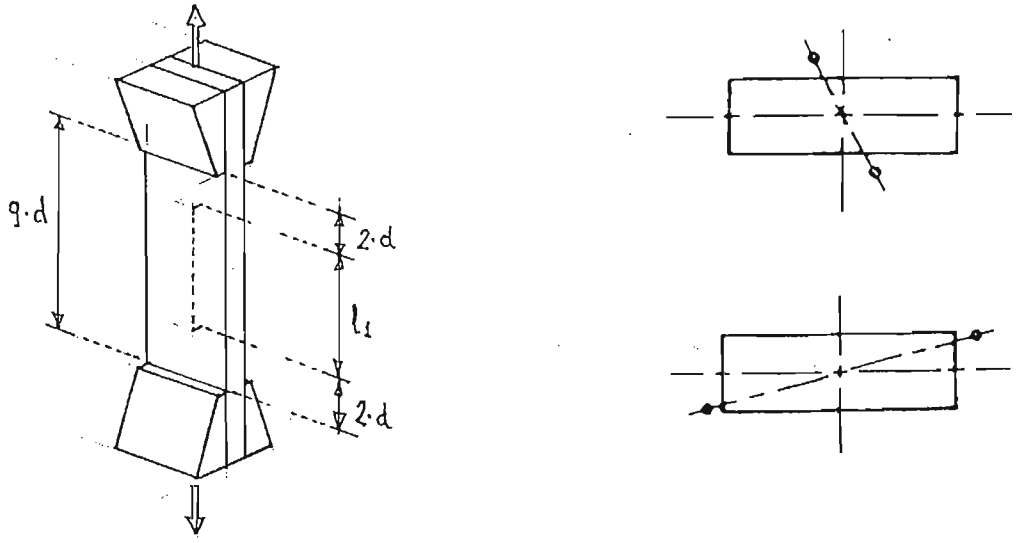

Figura 1.4.4 Ensayo para la determinación del módulo de elasticidad en tracción

El módulo de elasticidad en tracción, E_t, viene dado por la siguiente expresión :

$$E_t = \frac{l_1 \cdot \Delta F}{A \cdot \Delta\delta} \qquad (1.4.4)$$

donde

l_1 es la longitud sobre la que se toman las lecturas de deformación

ΔF es un incremento de la carga por debajo del límite de proporcionalidad

A es el área de la sección transversal

$\Delta\delta$ es la deformación correspondiente al incremento de carga ΔF

1.4.5 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA TRACCION PARALELA A LA FIBRA

La probeta tiene unas dimensiones iguales a las especificadas para la determinación del módulo de elasticidad en tracción, apartado 1.4.4.

La aplicación de la carga se efectúa mediante un sistema de mordazas, con un avance constante de la cabeza del pistón, de tal forma que la carga de rotura se alcance dentro de 300 ± 120 segundos.

La resistencia a la tracción viene dada por la siguiente expresión:

$$f_t = \frac{F_u}{A} \qquad (1.4.5)$$

donde

F_u es la carga de rotura

A es el área de la sección transversal

1.4.6 DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD EN COMPRESION

La longitud de la probeta debe ser 6 veces la anchura nominal, (es decir la mayor dimensión de la sección). Las testas deberán cortarse con exactitud para garantizar su paralelismo.

La probeta se somete a una carga concéntrica utilizando cabezas con rótulas esféricas u otros dispositivos que permitan la aplicación de una compresión uniforme sin introducir flexión. Las caras de la probeta deberán arriostrarse para prevenir el pandeo en un número suficiente de puntos de tal forma que la longitud libre no supere una distancia superior a 6 veces el espesor (es

decir la menor dimensión de la sección de la pieza).

La carga se aplicará de forma contínua o a intervalos, evitando efectos de impacto. La velocidad de la cabeza del pistón, si se utiliza un movimiento constante será inferior a $5 \cdot 10^{-5} \cdot l$ mm/s, donde l es la longitud de la probeta en mm.

La deformación se mide sobre una longitud centrada de 4 veces el ancho nominal de la probeta. Se utilizan dos extensómetros colocados sobre puntos diagonalmente opuestos sobre las caras de la probeta para compensar los efectos de la distorsión.

El módulo de elasticidad en compresión, E_c, viene dado por la siguiente expresión:

$$E_c = \frac{l_1 \cdot \Delta F}{A \cdot \Delta\delta} \qquad (1.4.6)$$

donde

l_1 es la longitud sobre la que se toman las lecturas de deformación

ΔF es un incremento de carga por debajo del límite de proporcionalidad

A es le área de la sección transversal de la pieza

$\Delta\delta$ es la deformación correspondiente al incremento de carga ΔF

1.4.7 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA A LA FIBRA

La probeta tiene unas dimensiones iguales a las del ensayo de determinación del módulo de elasticidad en compresión.

La carga se aplica con una velocidad constante de avance de la cabeza del pistón, de tal forma que la carga de rotura se alcance dentro de 300±120 seg.

La resistencia a la compresión paralela a la fibra, f_c, viene dada por la siguiente expresión:

$$f_c = \frac{F_u}{A} \qquad (1.4.7)$$

donde

F_u es la carga de rotura

A es el área de la sección transversal