

**APUNTE ELABORADO POR LA CÁTEDRA**

**CONSTRUCCIONES 2**

PLAN DE ESTUDIOS 2007

**UNIDAD N° 1**

**“PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN”**

**“ENSAYOS y NORMALIZACION”**

**AUTORES:**

**Ing. Rudy Omar Grether**

**Arq. Esteban Lucas Tomatis**

## “PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN” NECESIDAD DE SU CONOCIMIENTO

Es obvio que un adecuado conocimiento de las propiedades de los materiales a utilizar es de fundamental importancia en la construcción, mantenimiento o reparación de una obra de arquitectura o ingeniería. Pero no menos importante es este aspecto en la etapa de diseño y proyecto de la misma.

El desconocimiento o conocimiento imperfecto de las posibilidades y limitaciones de los materiales a utilizar (es decir de sus *propiedades*) puede traducirse en una imposibilidad de ejecutar correctamente el diseño previsto y, por lo tanto, en el abandono parcial o total del proyecto.

Por otra parte el desconocimiento o el conocimiento imperfecto de las propiedades de los materiales traen como consecuencia la limitación del proyectista para el desarrollo de su idea, dada su inseguridad sobre las posibilidades de realización de su concepción y la performance en servicio de la obra.

La consideración de la cuestión constructiva desde los primeros momentos del proyecto influye al menos de tres modos:<sup>1</sup>

- Impone límites razonables al proyecto. Hoy cuando casi todo es técnicamente posible sólo algunas opciones son razonables
- Incentiva la creatividad. El revisar los antecedentes de obras que ya han resuelto de algún modo la problemática de mi proyecto aporta posibles formas probadas a la vez que evita el pensar la solución “desde cero”, lo cual nunca es razonable.

### 1. CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Si consideramos la naturaleza de las magnitudes puestas en juego al momento de analizar las diferentes *propiedades*, podemos clasificarlas en físicas, químicas, mecánicas y tecnológicas, haciendo la salvedad que las propiedades a estudiar en esta cátedra, son las que interesan desde la perspectiva de la utilización de los materiales en arquitectura, ya que obviamente las propiedades de los materiales constituyen un número mayor, pero muchas de ellas carecen de importancia en el uso de los mismos en la construcción.

---

<sup>1</sup> PARICIO, Ignacio, “La construcción de la Arquitectura, Tomo 1, Las Técnicas”, Editorial UPC, 2003. Disponible en Biblioteca UCSF.

Un resumen (al que podrían agregarse nuevas subdivisiones y casos particulares) es el que se indica a continuación:

Propiedades físicas:

- Dimensiones, formas
- Densidad y/o peso específico
- Porosidad
- Contenido de humedad
- Absorción
- Permeabilidad
- Higroscopicidad
- Propiedades térmicas
- Propiedades acústicas
- Propiedades ópticas
- Propiedades eléctricas

Propiedades químicas:

- Composición química
- Resistencia a la corrosión y a la oxidación
- Estabilidad química

Propiedades mecánicas:

- Resistencia a los esfuerzos
- Tenacidad y fragilidad
- Elasticidad y plasticidad
- Rigidez
- Dureza
- Isotropía

Propiedades tecnológicas:

- Propiedades de separación
- Propiedades de agregación
- Propiedades de transformación

## 2. PROPIEDADES FÍSICAS

Son las características propias de la naturaleza del material. Se manifiestan sin necesidad de ninguna intervención.

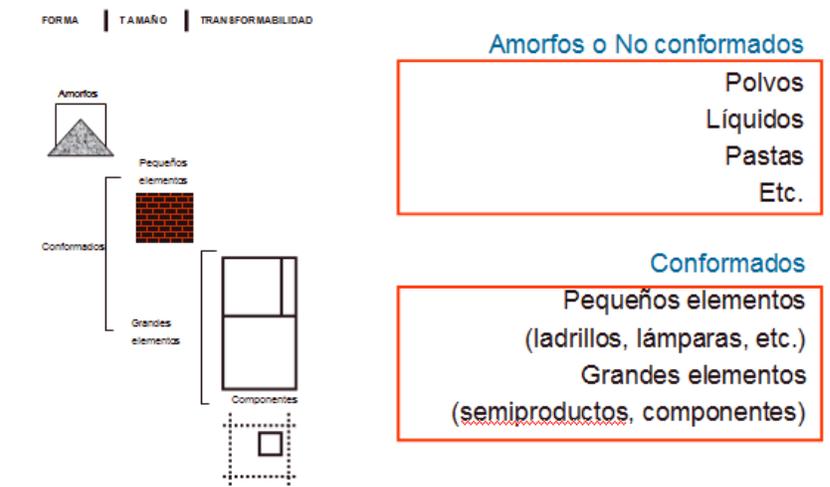
### 2.1 Dimensiones y formas

Con el término *dimensiones* nos referimos a las medidas que definen el *tamaño* de un cuerpo (por ejemplo: largo, ancho, espesor, etc.). En este aspecto suele tener importancia no sólo el valor mismo de estas dimensiones sino también la regularidad con que se presentan en un grupo de elementos supuestamente iguales.

Por ejemplo, es importante especificar las dimensiones de una serie de piezas iguales a producir, pero también lo es la *tolerancia* que puede admitirse en las desviaciones con respecto a las dimensiones establecidas.

La determinación de la *forma* implica la comprobación de que un cuerpo responde a un determinado modelo. Por ejemplo la planaridad de una superficie puede verse afectada por depresiones o protuberancias; la forma rectilínea, la perpendicularidad o el paralelismo pueden estar alterados por desviaciones, etc.

#### Clasificación de los materiales de construcción por su forma



## 2.2 Densidad y/o peso específico

A los fines prácticos de esta materia no haremos en adelante distinciones entre la *masa* (propiedad intrínseca de la materia, independiente del marco de referencia) y el *peso* de un cuerpo (fuerza correspondiente a la acción de un campo gravitatorio sobre la masa del mismo). Esto es válido siempre que nos mantengamos en el mismo sistema gravitacional.

Hecha esta salvedad, en lo sucesivo asumiremos como “sinónimos” a los conceptos densidad y peso específico de un material.

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso del cuerpo}}{\text{Volumen del cuerpo}}$$

Estrictamente densidad es el cociente entre masa y volumen del cuerpo. El peso específico se expresa en unidades de peso por unidad de volumen, por ejemplo: kg/m<sup>3</sup>, ton/m<sup>3</sup>, kg/dm<sup>3</sup>, kg/lit, g/cm<sup>3</sup>, etc.

Para calcular la densidad de un material será necesario determinar sobre una porción del mismo el peso (con una balanza) y el volumen. Si el volumen responde a una forma geométrica conocida podemos medir sus dimensiones y calcular luego su volumen. Si, en cambio, la forma no es regular se determina su volumen mediante el desplazamiento de un líquido en aparatos llamados *volumenómetros* o mediante el principio de Arquímedes, pesando el cuerpo sumergido en agua u otro líquido.

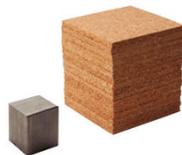
Densidad: es la relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo. No confundir con el peso.

$$d = \frac{m}{v}$$

*d = densidad*

*m = masa*

*v = volumen*



Tenemos la misma masa de corcho que de plomo, pero el plomo ocupa mucho menos volumen porque es más denso.

Observa el aceite y el agua.  
¿Cuál es más denso?



Es importante destacar que cuando el volumen es el de un material compacto, sin poros o vacíos (ej. aceros, vidrios, etc.) al mismo se lo llama volumen absoluto o real ( $V_{abs}$ ), mientras que si se trata de un material poroso (ej. maderas, hormigones celulares, etc.) o materiales pulverulentos o disgregados (ej. cementos, cales, arenas, piedra partida, etc.) se considera además del volumen absoluto, el volumen aparente o relativo ( $V_{ap}$ ) que es el que incluye a los poros o vacíos.

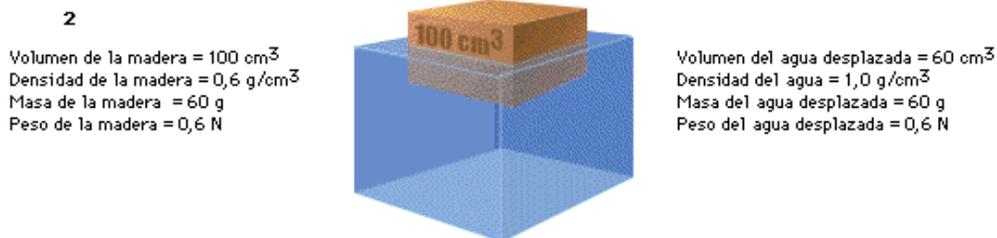
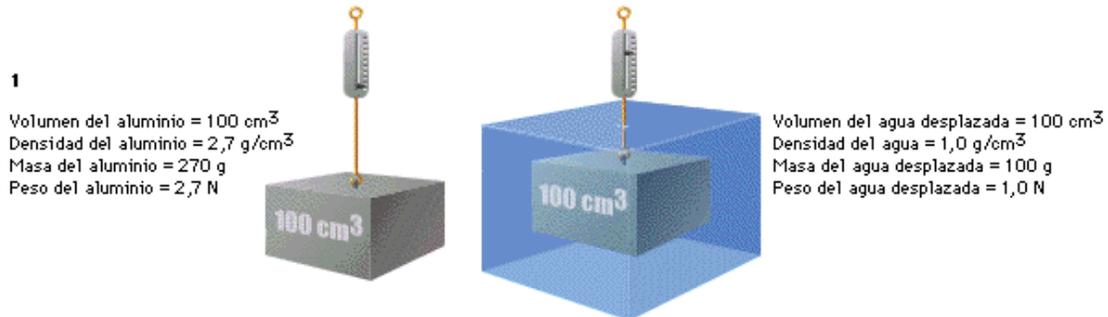
$$V_{absoluto} = V_{aparente} - V_{vacios}$$

De esta manera tenemos por consiguiente dos tipos de pesos específicos, el real o absoluto y el aparente o relativo.

$$\text{Peso específico absoluto} = \gamma_{abs} = \frac{\text{Peso del cuerpo}}{\text{Volumen absoluto del cuerpo}}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \gamma_{ap} = \frac{\text{Peso del cuerpo}}{\text{Volumen aparente del cuerpo}}$$

Se reitera la utilidad del concepto de peso específico aparente el caso de los materiales porosos, pulverulentos o disgregados, ya que en caso de los materiales de estructura compacta ambos pesos específicos, el real y el aparente, son iguales.



### 2.3 Porosidad

Es el cociente entre el volumen de poros de un sólido y su volumen aparente total. Los poros contenidos en un material son de dos clases: externos (en comunicación con el exterior) o internos (inaccesibles desde el exterior). En consecuencia pueden definirse dos tipos de porosidad: la aparente y la absoluta.

$$\text{Porosidad} = \frac{\text{Volumen de poros}}{\text{Volumen aparente}}$$

La porosidad se expresa generalmente en forma porcentual. Esta propiedad está estrechamente asociada a la durabilidad, ya que la presencia de poros externos es una vía de ingreso de agentes externos al material.

Ejemplo de ello es el fenómeno de heladicidad que se produce en climas fríos al congelarse en agua dentro de los poros del material. Al variar de estado (de líquido a sólido) el agua sufre un aumento de su volumen lo que trae aparejado esfuerzos de tracción sobre las paredes del poro con el consiguiente fisuramiento y desgaste de dichas áreas. A la larga este fenómeno termina decapando el material (Ej. Hormigones, ladrillos) debilitado de dichos poros y dejando expuesto el mismo al ingreso de otros agentes atmosféricos o biológicos.

No menos frecuente es también el ataque de sales en atmósferas marinas (cercanas a la costa marítima Argentina por ejemplo) o la llamada "lluvia ácida", que se produce en los grandes conglomerados urbanos debido a la presencia de smog que asciende a la atmósfera y queda en un estado inestable precipitando luego y deteriorando los materiales.

### 2.4 Contenido de humedad

La cantidad de agua contenida en un cuerpo se expresa generalmente en forma porcentual con respecto a su peso seco:

$$\text{Contenido de humedad \%} = \frac{\text{Peso humedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \cdot 100$$

Para medir el contenido de humedad puedo pesar el cuerpo húmedo (en el estado en que se encuentra) y luego llevar el mismo a secado a estufa a temperatura de 100°C hasta que su peso se mantenga constante.

Es evidente que dicho método no se puede aplicar a todos los materiales por lo que existen otras alternativas de medición "indirecta". Una de ellas es la que mide la resistencia al paso de una corriente eléctrica o los métodos "colorímetros" que utilizan reactivos que totalizan de distintos colores una cinta de modo de informar sobre el contenido de humedad presente por ejemplo en una madera.

En algunos casos se prefiere referir la cantidad de agua presente al volumen total del cuerpo (en vez de referirla al peso seco).

El contenido de humedad influye considerablemente sobre las restantes propiedades del material (por ejemplo: en las maderas la resistencia mecánica disminuye a medida que aumenta el contenido de humedad; también aumenta el riesgo de ataques de agentes bióticos; disminuye su resistencia eléctrica; aumenta su peso; etc).

## 2.5 Absorción

Es la cantidad de agua que un material puede incorporar cuando se logra su  *saturación*. Al igual que el contenido de humedad, se expresa en forma porcentual con respecto al peso seco:



$$\text{Absorción \%} = \frac{\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \cdot 100$$

## 2.6 Permeabilidad

La permeabilidad indica la facilidad con que un material puede ser atravesado por los fluidos (líquidos y gases); siendo usual considerar, en el caso de materiales de construcción, la  *permeabilidad al agua y al vapor de agua*.

El paso del agua a través de un material puede producirse por capilaridad, por presión o por ambas causas combinadas.

El concepto de  *permeabilidad* no debe confundirse con el de  *porosidad*, ya que un material puede ser muy poroso y no ser permeable, la condición para que un material poroso sea permeable es que los poros tengan comunicación entre sí y accedan al exterior, o existan capilares que permitan el ingreso del fluido al interior del material.

La permeabilidad debe ir asociada siempre a un determinado fluido. Un material puede ser impermeable al agua en estado sólido pero permeable al vapor de agua. Por ejemplo esto es muy importante en la resolución de paramentos interiores de una vivienda.

### 2.6.1 Condensación

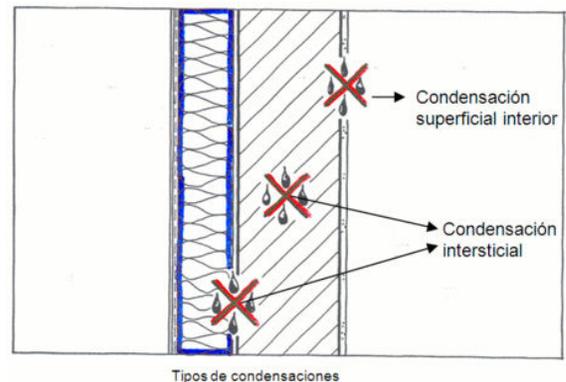
Un fenómeno asociado a la permeabilidad es el de la condensación.

El aire lleva siempre una determinada cantidad de agua en estado de vapor. La cantidad de agua en el aire se puede medir en términos absolutos o en términos relativos: en el primer caso se habla de humedad absoluta, y en el segundo de humedad relativa, esto es, del % de agua presente en el aire respecto de la cantidad máxima o de saturación.

#### Condensación superficial y condensación intersticial.

Una vez alcanzado el nivel de saturación, el aire es incapaz de contener más agua, y ésta precipita en forma de lluvia, o bien puede condensarse sobre distintas superficies (caso del rocío, o de los "cristales empañados"). Sin embargo, cuando la condensación no se produce en la superficie de un material, sino que se produce dentro del mismo, se habla de "condensación intersticial".

La **condensación intersticial** es un fenómeno de condensación que se produce en el interior de un material debido a una brusca caída de temperatura entre uno de sus lados y el otro. Este fenómeno es típico en la mayoría de los aislantes térmicos.



#### Inconvenientes

El aire es muy buen aislante térmico, por lo que la mayoría de materiales aislantes se obtienen mediante estructuras que atrapan aire o a veces gas. Cuando se producen condensaciones intersticiales, este aire es sustituido por agua, que al contrario que el aire, es buena conductora del calor. Por este motivo, cuando los materiales aislantes se mojan, pierden sus propiedades.

Para evitar esto, en los cerramientos se colocan barreras de vapor, que dificultan y ralentizan el paso de vapor a través de la pared, y permiten que el aislamiento permanezca seco. Las barreras de vapor se colocan en combinación con cámaras de aire, que permiten la adecuada ventilación del aislante.



## 2.7 Higroscopicidad

Es la propiedad que tienen algunos materiales de absorber agua (generalmente en forma de vapor) del medio que los rodea y modificar su volumen.

Un material de construcción higroscópico por excelencia es la madera. Ejemplos de ello podemos constatar un día con algo índice de humedad como las puertas de madera se “hinchán” y cuesta cerrarlas.

**Higroscopicidad:** es la capacidad que tienen los materiales para absorber la humedad del medio.



Los materiales higroscópicos como la celulosa y el gel de sílice los usamos como absorbentes de humedad.

Los materiales poco higroscópicos se usan para la fabricación de elementos impermeables.



## 2.8 Propiedades térmicas

Dentro de estas propiedades estudiaremos solamente algunas que nos interesan desde la perspectiva de los materiales aplicados a la construcción, a saber:

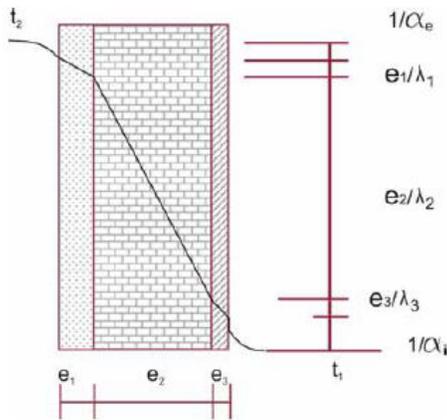
- Transmisión del calor
- Reflexión del calor
- Dilatación

## 2.9 Transmisión del calor

El calor, que es una forma de energía, puede transmitirse por tres formas distintas: *conducción*, *convección* o *radiación*. El fenómeno de transporte por **conducción**, es a nivel molecular, sin movimiento visible y se da exclusivamente en los *sólidos*.

La cantidad de calor, que por ejemplo atraviesa un muro homogéneo durante un determinado tiempo, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \lambda \cdot \frac{\Delta t \cdot S \cdot T}{e}$$



Donde:

Q: Cantidad de calor, expresado en kilocalorías (kcal)

$\lambda$ : Coeficiente de conductibilidad térmica del material constitutivo del muro, expresado en Kcal/m.h.°C.

$\Delta t$ : Diferencia de temperatura entre ambas caras del muro, expresada en °C

S: Superficie de la cara del muro, expresada en m<sup>2</sup>.

T: Tiempo, expresado en horas.

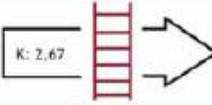
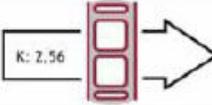
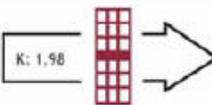
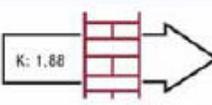
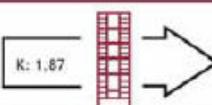
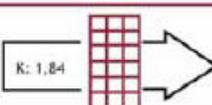
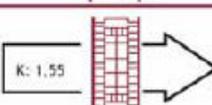
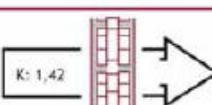
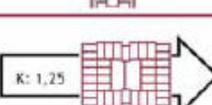
El coeficiente “K” de **transmitancia térmica** puede definirse como “la cantidad de calor que transmite un cerramiento en estado de régimen, por metro cuadrado de superficie, por hora y por gradiente unitario de temperatura entre los ambientes interior y exterior”.

El **coeficiente de conductibilidad térmica** es un indicador de la capacidad de *aislación térmica* de los materiales. En términos sencillos, es una medida de la capacidad de un material para conducir el calor a través de su masa. Cada material, ya sea aislante o de otro tipo, tiene un valor de conductividad térmica específico que permite determinar su eficacia como aislante del calor. Puede definirse como la cantidad de calor o energía que puede conducirse por unidad de tiempo a través de la unidad de superficie de un material de espesor unitario, cuando la diferencia de temperatura es la unidad.

El coeficiente de conductibilidad térmica se identifica mediante la letra griega  $\lambda$  (lambda) y se define como la cantidad de calor (en kcal) conducido en una hora a través de 1 m<sup>2</sup> de material, de un espesor de 1 m, cuando la diferencia de temperatura entre los lados del material en condiciones de flujo continuo de calor es de 1 °C. La conductancia térmica se determina experimentalmente y es el parámetro básico de cualquier material aislante.

La **resistencia térmica** (R) es la inversa de  $\lambda$ : ( $1/\lambda$ ) y se utiliza para calcular la resistencia térmica de cualquier material, simple o compuesto. El valor R puede definirse, sencillamente, como la resistencia que ejerce un material determinado al flujo de calor. Un buen material aislante tendrá una resistencia térmica (R) alta. Para espesores diferentes de 1 m, la resistencia térmica aumenta en proporción directa al aumento del espesor del material aislante, es decir,  $x/\lambda$ , donde x representa el espesor del material en metros.

Cuadro comparativo de los valores de Transmitancia térmica (K) para cerramientos verticales más usuales en nuestro medio, de acuerdo a la norma IRAM 11601.

| TIPO DE MAMPUESTO  | CUADRO COMPARATIVO  | VERIFICACIÓN   |
|--|---|--|
| Ladrillo macizo<br>e= 0,15 m<br>P= 175 Kg/m <sup>3</sup>                                       |    | No verifica en ninguna zona bioambiental.                      |
| Bloque de hormigón<br>e= 0,23 m<br>P= 225 Kg/m <sup>3</sup>                                    |    | No verifica en ninguna zona bioambiental.                      |
| Ladrillo cerámico hueco<br>e= 0,15 m<br>P= 150 Kg/m <sup>3</sup>                               |    | No verifica en ninguna zona bioambiental.                      |
| Ladrillo macizo<br>e= 0,30 m<br>P= 290 Kg/m <sup>3</sup>                                       |    | Verifica solamente en zonas bioambientales Ia, Iia, Iva y Ivb. |
| Bloque cerámico portante<br>e= 0,15 m<br>P= 160 Kg/m <sup>3</sup>                              |   | No verifica en ninguna zona bioambiental.                      |
| Ladrillo cerámico hueco<br>e= 0,21 m<br>P= 200 Kg/m <sup>3</sup>                               |  | Verifica solamente en zonas bioambientales Ia, Iia, Iva y Ivb. |
| Bloque cerámico portante<br>e= 0,21 m<br>P= 230 Kg/m <sup>3</sup>                              |  | Verifica en todas las zonas bioambientales menos V y VI.       |
| Ladrillo cerámico hueco (puente térmico interrumpido)<br>e= 0,21 m<br>P= 200 Kg/m <sup>3</sup> |  | Verifica en todas las zonas bioambientales menos V y VI.       |
| <br>e= 0,30 m<br>P= 208 Kg/m <sup>3</sup>  |  | Verifica en todas las zonas bioambientales.                    |

Los valores de “K” suministrados en el cuadro anterior han sido extraídos de la norma IRAM 11.601 y corresponden a un muro con revoque de 1,5 cm de espesor en cada paramento.

En la norma IRAM 11.605 se establecen los valores máximos de “K” para tres niveles de confort higrotérmico (A, B y C) exigiendo la Secretaría de Vivienda de la Nación con carácter de obligatorio el cumplimiento del nivel “ C “ .

En las viviendas ejecutadas a nivel particular su observancia no es obligatoria.

Se establecen en la citada norma valores máximos admisibles de transmitancia térmica K para las condiciones de invierno y verano. La verificación debe realizarse para ambas condiciones.

Para la condición de invierno es necesario conocer la temperatura exterior de diseño llamada temperatura mínima de diseño (TDMN) que se obtiene para cada localidad del país mediante la norma IRAM 11603, debiendo verificar que

$$K \text{ del cerramiento} < K \text{ admisible}$$

### Materiales aislantes utilizados en construcción: resistencia térmica (R), ventajas e inconvenientes

| Material aislante   | Valor de R por pulgada (2,54 cm) | Ventajas  | Inconvenientes  |
|---|----------------------------------|---|---|
| Poliuretano, en plancha   | 6,25                             | Muy buena R; puede usarse con resinas de fibra de vidrio  | No siempre es fácil de obtener; relativamente caro  |
| Poliuretano, rociado  | 7,0                              | Muy buena R; puede usarse con resinas de fibra de vidrio; aplicación sencilla con equipo de rociado | No siempre es fácil de obtener; caro; exige equipo especial de rociado                      |
| Poliuretano, vertido (mezcla química de dos componentes)  | 7,0                              | Muy buena R; puede usarse con resinas de fibra de vidrio; aplicación relativamente sencilla         | No siempre es fácil de obtener; caro; los volúmenes deben calcularse muy cuidadosamente     |
| Poliestireno, en láminas (lisas), nombre comercial «Styrofoam»  | 5,0                              | Fácilmente disponible, de bajo costo, R razonable   | No puede usarse con resinas de fibra de vidrio, a no ser que se proteja; se daña fácilmente |
| Poliestireno, expandido in situ y en perlas moldeadas expandidas. Conocido como Isopor, Polypor, etc. | 3,75 a 4,0                       | Valores de R razonables, menor costo que las láminas de superficie lisa                             | No puede usarse con resinas de fibra de vidrio, a no ser que se proteja; se daña fácilmente |
| Plancha de corcho   | 3,33                             | Disponible en muchos mercados; costo razonable; puede recubrirse con fibra de vidrio                | R menor que la del poliuretano para espumas de estireno                                     |
| Rollos de lana de fibra de vidrio   | 3,3                              | Bajo costo; instalación fácil   | Absorbe agua u otros líquidos con facilidad, y pierde capacidad aislante al mojarse         |

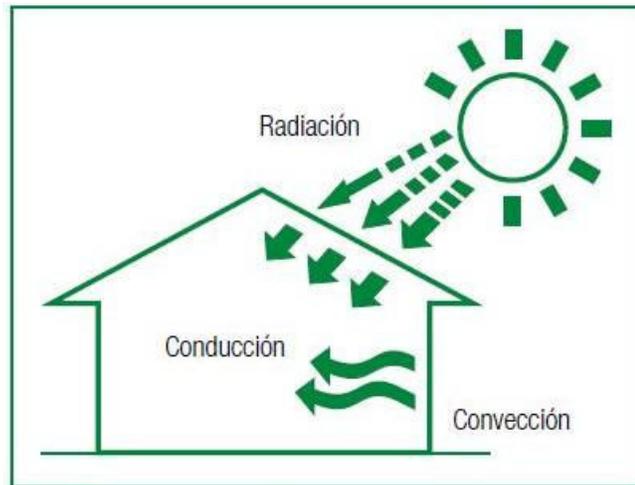
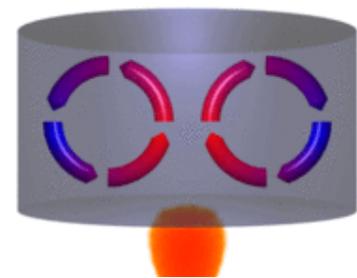
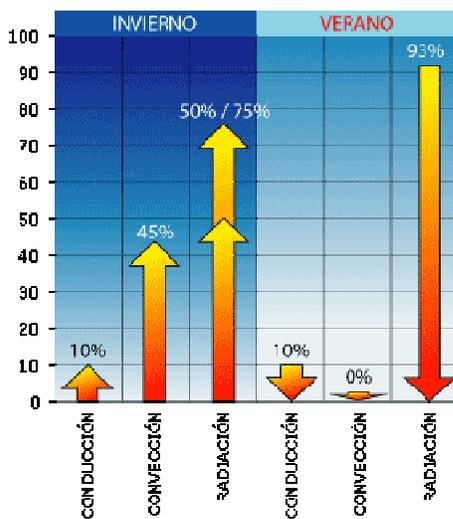


Imagen: ingreso de calor a la vivienda por transmisión del calor en sus diversas formas.

La **convección** se da en los *fluidos (líquidos y gases)* y es un fenómeno a nivel macroscópico caracterizado por el movimiento del fluido originado por las diferencias de densidades generadas por los cambios de temperatura, esto es lo que se denominan corrientes convectoras. (gráfico derecha)



Finalmente la transmisión por **radiación** se produce sin la intervención de medio material alguno y a través de ondas.

Un vistazo al gráfico de la izquierda, nos permite demostrar que la forma de transmisión de calor más importante *-tanto en invierno como en verano-* es la radiación.

Los materiales no reflexivos permiten el paso del 70% de la radiación mientras que los reflexivos sólo emiten hacia el interior el 3% de la radiación recibida.

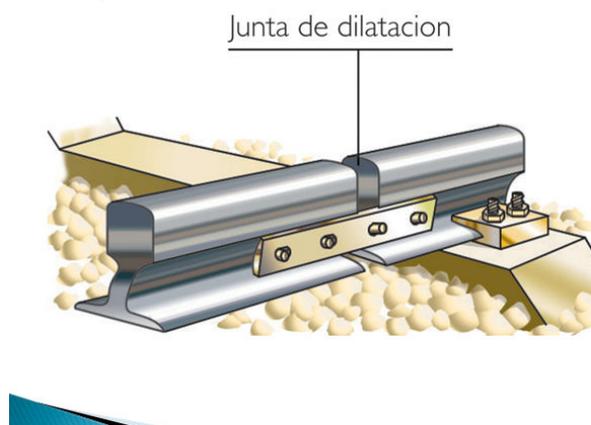
## 2.10 Reflexión del calor

Los cuerpos pueden clasificarse según su permeabilidad al calor radiante, en atérmanos o sea impermeables en mayor o menor medida a las radiaciones caloríficas y en diatérmanos a los permeables al calor radiante. La energía absorbida se transforma en calor y aumenta la temperatura en los cuerpos atérmanos. El conocimiento del poder reflejante o de absorción del calor de los diversos materiales tiene gran importancia en la construcción, sobre todo de aquellos que constituyen la envolvente de un edificio (muros, cerramientos y techos) ya que influyen sobre las condiciones de habitabilidad higrotérmica del mismo. Finalmente es importante destacar que las condiciones de reflexión y absorción del calor de un material, se ven fuertemente influenciadas por las características superficiales del mismo (color, brillo, etc.)

## 2.11 Dilatabilidad

La *dilatabilidad térmica* es la propiedad de los materiales de modificar sus dimensiones con los cambios de temperatura a que se ve sometido, el indicador de esta propiedad es el coeficiente de dilatación de un material, el cual puede ser lineal, superficial o volumétrico, siendo el más usual el coeficiente de dilatación lineal, expresado en  $\text{mm}/\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}$ , o sea  $1/^\circ\text{C}$ .

**Coeficiente de Dilatación:** tiene que ver con el aumento de volumen que se produce en los materiales con los cambios de temperatura.



A la hora de diseñar estructuras es necesario tener en cuenta la variación de tamaño de sus componentes debido a la temperatura, por ello es necesario dejar **juntas de dilatación**.

## 2.12 Propiedades acústicas

El sonido se origina por vibraciones que pueden propagarse en el aire o a través de los cuerpos. Al chocar contra un cuerpo puede ser reflejado, absorbido, o ambas cosas a la vez. La determinación del poder reflectante y la capacidad de disipación y transmisión sonora de los materiales se efectúan con el objeto de controlar y regular su intensidad en los ambientes.

## 2.13 Propiedades ópticas

Mencionaremos aquí únicamente el comportamiento de los materiales en lo que respecta a la *absorción* de la luz (lo que define el color de los mismos) y a la *transmisión* de la luz (en materiales transparentes y traslúcidos). Este aspecto tiene una importancia predominantemente estética (y no técnica) en el diseño.

**Comportamiento Óptico:** según si permiten o no el paso de la luz a través de ellos los materiales se clasifican en: **transparentes, traslúcidos y opacos.**



## 2.14 Propiedades eléctricas

Mencionamos solamente la *conductividad eléctrica* (y por oposición la resistividad) como capacidad de los materiales de permitir el paso de la energía eléctrica a través de su masa, con lo cual se define a un determinado material como conductor o no de la energía eléctrica.

Conductividad Eléctrica: según se comporten frente a la corriente eléctrica, los materiales podemos clasificarlos en **conductores**, **aislantes** (o dieléctricos) y **semiconductores**.



Los **metales** son buenos **conductores** de la electricidad. Los **plásticos** son buenos **aislantes**. Combinando ambas propiedades podemos crear cables eléctricos aislados. Los **semiconductores** (usados en electrónica) se comportan como conductores o aislantes en determinadas circunstancias.

### 3 Propiedades químicas

#### 3.1 Composición química

El conocimiento de la composición química de un determinado material tiene importancia ya que la presencia o ausencia de determinados compuestos, puede influir sobre sus propiedades o bien en su interrelación con otros materiales. Además de la composición cualitativa interesa en muchos casos conocer los porcentajes de cada elemento, ya que ello puede ser determinante para un uso específico.

#### 3.2 Resistencia a la corrosión y a la oxidación

Los materiales tienen la característica de deteriorarse por la acción del tiempo y de los agentes naturales o artificiales que los rodean. Esta acción hace que las propiedades originales del material vayan cambiando paulatinamente. Entre las causas de deterioro se destacan la *oxidación* y la *corrosión*.

La *oxidación* es producida por la acción del oxígeno sobre los metales, fenómeno que se intensifica con la temperatura, o sea que la oxidación es un fenómeno químico. Se origina una película de óxido sobre la superficie del metal; si esta película es cerrada (no porosa) se transforma en una capa protectora que impide el avance de la oxidación: es lo que sucede con el aluminio. En cambio si la película de óxido es porosa, el oxígeno penetra carcomiendo los niveles interiores, como en el caso del hierro.

La *corrosión* se distingue de la oxidación por que el agente intensificador es la electrólisis (mecanismo que se desarrolla al entrar en acción el agua, generalmente proveniente de la humedad ambiente), con lo cual la corrosión es un fenómeno electroquímico.



#### 3.3 Estabilidad química

En general es una propiedad más importante que la anterior. Interesa la resistencia que opone un material al ataque de los agresivos químicos o de la acción ambiental, que pudieran alterar otras propiedades tales como la resistencia a los esfuerzos mecánicos, el pulimento, el color, etc. No siempre la inestabilidad química es distintiva de un proceso perjudicial, ya que precisamente la inestabilidad bajo ciertos estados es lo que caracteriza a determinados materiales de construcción como los aglomerantes.

## 4 Propiedades mecánicas

### 4.1 Resistencia a los esfuerzos

Se denomina *resistencia mecánica* de un material al mayor o menor grado de oposición que presenta a las fuerzas que tratan de deformarlo. Es importante destacar que cuando se habla de resistencia de un material es necesario indicar ante que esfuerzo se trata (tracción, compresión, corte, flexión, torsión). El grado de resistencia se define, para la mayoría de las sollicitaciones, como el cociente entre el esfuerzo que se ejerce sobre el cuerpo y la sección (superficie) que soporta dicho esfuerzo.

Las unidades, por lo tanto, son de fuerza por unidad de superficie. Por ejemplo:  $\text{kg/cm}^2$ ,  $\text{ton/cm}^2$ , Pa (Pa = Pascal = Newton /  $\text{m}^2$ ), etc.

### 4.2 Tenacidad y fragilidad

Tenacidad: es la capacidad que tienen los materiales para resistir golpes sin romperse. Lo contrario a tenaz es frágil.



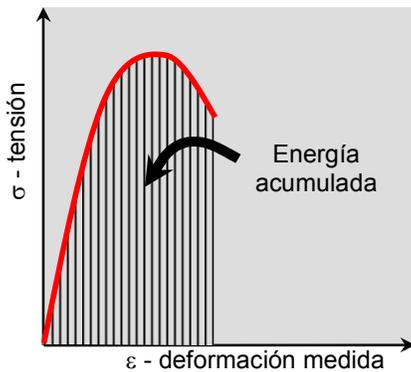
Los materiales blandos suelen ser tenaces, mientras que un aumento de la dureza implica un aumento de la fragilidad.

Se define como tenacidad a la medida de la energía requerida para hacer fallar un material.

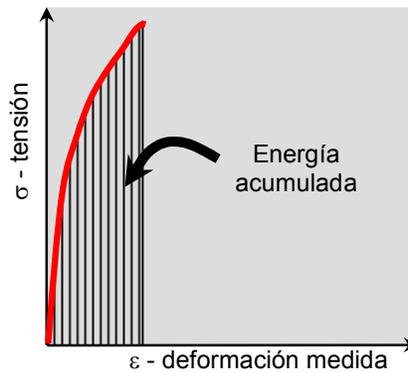
Difiere de la resistencia, que es la medida del esfuerzo requerido para alcanzar la rotura.

Esta cantidad de energía está asociada con la deformación que sufre el material antes de romperse por lo que, a los fines prácticos, podemos decir que un material es tenaz cuando admite una gran deformación antes de la rotura. La capacidad de presentar gran deformación antes de la rotura suele expresarse usualmente además como *ductilidad*.

Por el contrario, entendemos por *fragilidad* la propiedad de los materiales de romperse con una pequeña deformación (es decir cuando se requiere una menor cantidad de energía para alcanzar la rotura).



Materiales tenaces: metales



Materiales frágiles: cerámicos, vidrios, hormigones

Se define como *tenacidad* a la medida de la energía requerida para hacer fallar un material. Difiere de la resistencia, que es la medida del esfuerzo requerido para alcanzar la rotura.

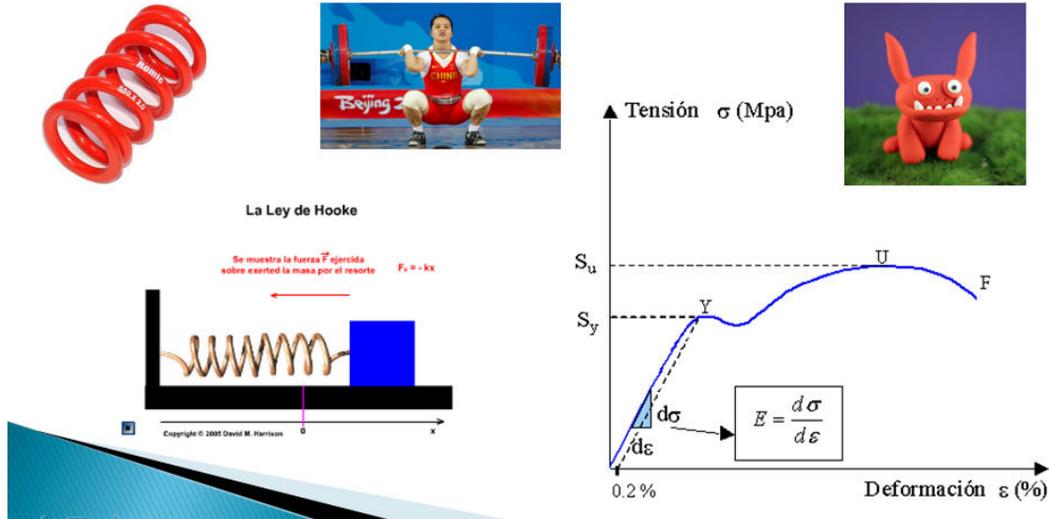
### 4.3 Elasticidad y plasticidad

Los materiales sometidos a esfuerzos sufren deformaciones. Si al suprimirse el esfuerzo que produjo la deformación ésta desaparece, se dice que el material es *elástico*. Por lo tanto la elasticidad es la capacidad de un material de recuperar su forma inicial luego de sufrir una deformación.

En rigor no existen materiales que sean perfectamente elásticos, ya que al recuperarse las deformaciones producidas queda una cierta parte llamada deformación permanente o residual. Sin embargo cuando estas deformaciones residuales son de magnitud suficientemente reducida el material es considerado elástico dentro de ciertos límites.

La *plasticidad* es el concepto contrario al de elasticidad: un material es plástico cuando mantiene la deformación después de haber eliminado el esfuerzo que la produjo (sin que se note pérdida apreciable de cohesión en el material, es decir sin que sobrevenga la rotura).

Elasticidad: es la capacidad que tienen los materiales para recuperar su forma una vez que cesa el esfuerzo sobre ellos. Lo contrario a la elasticidad es la plasticidad.



En función de los conceptos anteriores se habla de deformaciones elásticas y deformaciones plásticas. En general, en un proceso de carga continua de un material se presenta un período o zona de deformaciones elásticas seguido por un período plástico.

#### 4.4 Rigidez

La rigidez tiene que ver con la magnitud o importancia de la deformación que ocurre bajo la acción de los esfuerzos dentro del período de deformaciones elásticas. La rigidez se mide por el módulo de elasticidad; cuanto mayor es este coeficiente más rígido es el material (indica que se requiere un mayor esfuerzo para lograr una determinada deformación).

No existe ninguna medida de la rigidez en el período plástico.

#### 4.5 Dureza

Esta propiedad indica la resistencia a la penetración que tienen los materiales sólidos en su superficie. Existen diversos procedimientos de ensayo que permiten obtener un resultado expresado generalmente en función de una escala convencional (no se trata, por lo tanto de un valor *absoluto* como el de una resistencia a la tracción o a la compresión, sino de un valor *relativo* dentro de la escala adoptada).

La escala de **Mohs** es utilizada para medir la dureza de una sustancia. Fue propuesta por Friedrich Mohs y se basa en el principio que una sustancia dura puede rayar una sustancia más blanda pero no es posible al revés. Este geólogo escogió 10 minerales a los que atribuyó un determinado grado en su escala empezando con el talco que recibió el número 1 y terminando con el diamante al que se asignó el número 10. La tabla completa es la que se sigue.

### Escala de Mohs

| Dureza | Mineral   | Composición química       |
|--------|---|---------------------------|
| 1      | Talco (se puede rayar fácilmente con la uña).         | $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$    |
| 2      | Yeso (se puede rayar con la uña con más dificultad).  | $CaSO_4 \cdot 2H_2O$      |
| 3      | Calcita (se puede rayar con una moneda de cobre).     | $CaCO_3$                  |
| 4      | Fluorita (se puede rayar con un cuchillo).            | $CaF_2$                   |
| 5      | Apatito (se puede rayar difícilmente con un cuchillo) | $Ca_5(PO_4)_3(OH, Cl, F)$ |
| 6      | Ortoclasa (se puede rayar con una lija de acero).     | $KAlSi_3O_8$              |
| 7      | Cuarzo (raya el vidrio).                              | $SiO_2$                   |
| 8      | Topacio.  | $Al_2SiO_4(OH, F)_2$      |
| 9      | Corindón (zafiros y rubíes son formas de corindón).   | $Al_2O_3$                 |
| 10     | Diamante (el mineral natural más duro).               | C                         |

Por no guardar la misma proporción los intervalos se han establecido otras escalas de dureza, basadas en otros métodos, aunque la escala de Mohs aún se aplica en geología debido a su sencillez y facilidad para estimar la dureza de los minerales con medios simples.

#### 4.6 Isotropía

Esta propiedad, que en rigor no podemos considerarla sólo como una propiedad mecánica, indica que el material posee las mismas propiedades cualquiera sea la dirección en que se las considere, con lo cual se lo denomina isótropo. Por el contrario un material es anisótropo cuando sus propiedades varían conforme sea la dirección considerada, un ejemplo típico de material anisótropo lo constituye la madera.

#### 5 Propiedades tecnológicas

Estas propiedades, que no detallamos en particular por su gran número, son las que permiten a los materiales recibir las formas requeridas para su empleo, desde su elaboración hasta su posicionamiento definitivo en obra. En este procesamiento de los materiales entran en juego las propiedades de separación, agregación y transformación, asociadas a las respectivas operaciones.

Operaciones de *separación* son aquellas destinadas a dar la forma y el tamaño requerido al material cortándolo, separándolo o dividiéndolo (por ejemplo: operaciones de corte, trituración, etc.).

Las operaciones de *agregación*, por el contrario, están destinadas a la unión de materiales de la misma o distinta especie, por medios físicos, químicos o mecánicos (por ejemplo: los procesos de soldadura, pegado con adhesivos, etc.).

Finalmente las operaciones de *transformación* consisten en modificar la forma del material sin agregados ni supresiones. Aquí entran en juego propiedades como la forjabilidad (facilidad con que puede conformarse un material mediante golpes), la maleabilidad (facilidad de reducir un material a láminas delgadas), la ductilidad (posibilidad de extender un material reduciéndolo a hilos), etc.

Las propiedades tecnológicas se valoran generalmente con ensayos cualitativos, a diferencia de los ensayos mecánicos que son cuantitativos.

## “ENSAYOS Y NORMALIZACIÓN”

### ENSAYOS

#### Objeto

En el conocimiento y estudio de los materiales desempeñan un papel de importancia los ensayos. Estos son pruebas o estudios que permiten determinar, ya sea en forma cuantitativa o cualitativa, el comportamiento de los materiales en lo que respecta a una o más de sus propiedades. Estas pruebas pueden tener diversos objetivos, tales como:

verificar o controlar el comportamiento de un determinado material, generalmente para comprobar si el mismo cumple con especificaciones establecidas (ensayos de control).

estudiar un nuevo material o analizar aspectos no conocidos de un material (ensayos de investigación).

determinar constantes físicas o propiedades fundamentales de un material.

#### Clasificación de los ensayos

En función de los objetivos perseguidos por un determinado ensayo, como hemos citado precedentemente, surge la primera clasificación de los ensayos, o sea por su objeto, así tenemos:

- ✓ ensayos de control.
- ✓ ensayos de investigación.
- ✓ ensayos científicos.

Los **ensayos de control** son aquellos que se efectúan para verificar las propiedades de un material que fueron previamente establecidas mediante las especificaciones técnicas correspondientes. Generalmente son ensayos rutinarios, que requieren de equipamiento normal y son ejecutados por personal técnico que no requiere de una capacitación científica muy especializada.

También estos ensayos tienen como característica que siempre se basan en normas previamente establecidas, que además brindan el marco técnico-legal de discusión de eventuales conflictos derivados del no cumplimiento de las especificaciones técnicas de un material en una obra en particular.

Los **ensayos de investigación**, que tienen por objeto obtener información acerca de nuevos materiales o explorar propiedades o usos no convencionales de materiales conocidos, y que además lógicamente se insertan dentro de un programa de investigación, requieren por lo general de un equipamiento técnico más complejo y además son llevados a cabo por personal de mayor calificación técnico-científica. Puede darse el caso, en estos ensayos, que no existan normas para efectuarlos, por lo cual el investigador debe plantearse el método de ensayo e incluso en algunos casos proyectar el dispositivo de ensayo.

Por su parte los **ensayos científicos** son aquellos que suministran información muy precisa sobre constantes o propiedades de un material, las cuales serán utilizadas por otros usuarios para efectuar cálculos o determinaciones. Estos ensayos requieren de un equipamiento altamente sofisticado, de personal de máxima capacitación científica, son generalmente de larga duración, con numerosas determinaciones y

se realizan en algunos pocos laboratorios en el mundo (ejemplo: estudios de partículas a nivel subatómico, determinaciones de velocidad de la luz, determinaciones de propiedades ópticas muy específicas, etc.)

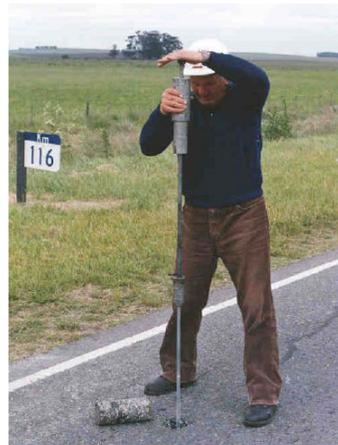
Otra forma de clasificar los ensayos es en función de las propiedades que evalúan, así tenemos:

- ensayos físicos.
- ensayos químicos.
- ensayos mecánicos.
- ensayos tecnológicos.

También se suele clasificar a los ensayos de acuerdo al lugar de realización de los mismos, teniendo de esta manera la siguiente clasificación:

- ensayos de campaña o ensayos in situ.
- ensayos de laboratorio.

Los **ensayos de campaña** se realizan en la propia obra, son de fácil realización y brindan una rápida información al profesional responsable de la misma o al inspector de obras. Por su parte los **ensayos de laboratorio** son aquellos que requieren para su realización de instrumental e instalaciones de mayor complejidad.



Ensayo de campaña: determinación de la resistencia del terreno por medio de ensayo de DCP

Ensayo de laboratorio: determinación de resistencia del terreno mediante ensayo de CBR

Finalmente otra forma de dividir los ensayos es a través de las consecuencias que sobre la probeta o muestra analizada tiene el ensayo, surge así la división siguiente:

- ensayos destructivos.
- ensayos no destructivos.

En los **ensayos destructivos** la probeta o muestra se inutiliza, ya sea por destrucción total, por cambio de formas o dimensiones o por alteración de las propiedades originales. Por el contrario en los **ensayos no destructivos**, de los cuales nos ocuparemos oportunamente, no provocan ningún tipo de alteración en la

probeta, esto conlleva varias ventajas tales como posibilidades de repetición de ensayos, incremento del número de determinaciones, factibilidad de evaluación de piezas o estructuras en servicio, etc.



Ensayo de destructivo: detección de la posición de armaduras de acero por roturas parciales



Ensayo no destructivo: detección de la posición de armaduras de acero por método magnético

## **NORMAS DE ENSAYO Y ESPECIFICACIONES DE CALIDAD**

La *normalización* (uniformización de definiciones, criterios, procedimientos, etc.) participa en la tecnología de los materiales con dos elementos fundamentales: las normas de ensayo y las especificaciones de calidad.

### **Normas de ensayo**

El comportamiento de los materiales se verifica mediante los ensayos. Por ejemplo, el comportamiento mecánico se verifica mediante los ensayos de resistencia o ensayos mecánicos en los que se determinan la carga de rotura, deformaciones, tensiones, etc. a fin de disponer de los datos técnicos necesarios para una mayor seguridad en el diseño.

Dada la gran variedad de materiales y las importantes diferencias en los resultados que se obtienen al estudiar sus propiedades por la influencia de la forma, dimensiones, temperaturas, humedad, etc. es necesario limitar todas estas posibilidades de variación. Para caracterizar un material obteniendo de las experiencias resultados que sean comparables y reproducibles, los ensayos no pueden realizarse a voluntad, sino siguiendo ciertos procedimientos que son fijados por las normas de ensayo.

Una norma de ensayo brinda generalmente la siguiente información:

- objetivo, claramente definido, de la experiencia a realizar.
- definiciones y referencias a otras normas relativas a la materia en estudio.
- equipamiento a utilizar en la realización del ensayo (dispositivos de aplicación de cargas, medición de resultados, etc.).
- características de la muestra de ensayo (porción del material que se ha seleccionado o separado para realizar sobre ella las experiencias) y/o de las probetas a ensayar.
- procedimiento a utilizar en las experiencias (pasos a seguir).
- forma de expresar los resultados obtenidos.

### **Especificaciones de calidad**

Este tipo de normas no tienen por objetivo principal definir la metodología empleada en el estudio de las propiedades de los materiales, sino establecer los valores que deben alcanzar los resultados si se pretende que el material alcance un determinado nivel de calidad.

Comparando los resultados que arrojan los ensayos con los valores establecidos por estas *especificaciones de calidad* puede procederse a:

establecer la aptitud o no aptitud del material para determinado fin (criterio de aceptación o rechazo).

clasificar el material dentro de los grupos o niveles establecidos en la especificación de calidad (criterios de clasificación).

Tanto las normas de ensayo como las especificaciones de calidad son establecidas por organismos o instituciones especializadas (generalmente oficiales).

El proceso de elaboración de una norma comienza con la preparación de un esquema (o "recomendación") que, luego de atravesar diferentes etapas de estudio, revisión y reformulación, culmina con la aprobación de una norma definitiva. No obstante, el avance de la tecnología obliga a la permanente revisión y actualización de las normas aprobadas.

En nuestro país mediante el Decreto N° 1.474/94 se creó el **"Sistema Nacional de Normas, Calidad y Certificación"** el cual tiene como objetivo brindar los instrumentos confiables tanto a nivel nacional como internacional para la certificación voluntaria de sistemas de calidad, productos, servicios o procesos, a través de un mecanismo que cuenta con los organismos de normalización, certificación y acreditación, integrado de acuerdo a la normativa internacional vigente.

El sistema está integrado por el *"Consejo Nacional de Normas, Calidad y Certificación"* como órgano máximo de gobierno del cual dependen el *"Organismo Argentino de Normalización"* (OAN), entidad responsable de la emisión y actualización de normas, y el *"Organismo Argentino de Acreditación"* (OAA), entidad responsable de la acreditación de los organismos de certificación, de los sistemas de calidad, de la acreditación de los laboratorios de ensayo y de calibración, y de la certificación de los auditores de sistemas de calidad.

Particularmente las funciones del OAN, la lleva adelante IRAM (Instituto Argentino de Normalización, antiguamente llamado Instituto Argentino de Racionalización de Materiales).

El estudio de una norma técnica, de acuerdo a los procedimientos seguidos por IRAM, comprende los siguientes pasos:

- detección de la necesidad de la normalización en una temática específica en el medio productivo, gubernamental, científico-tecnológico, etc.
- búsqueda de antecedentes.
- preparación de un esquema de norma.
- consideración por el subcomité respectivo.
- consideración del encargado del equipo de estudio.
- discusión pública.
- recopilación y clasificación de observaciones por el equipo de estudio y elevación al subcomité.
- consideración por el subcomité.
- consideración de la norma y el informe por el equipo de coordinación.
- consideración de la norma por el comité.
- consideración por el Comité General de Normas.
- aprobación e informe del Comité General de Normas.
- consideración y aprobación por el Consejo Directivo.
- norma IRAM en vigencia.

Otros organismos extranjeros de normalización de reconocida trayectoria, a cuyas normas suele recurrirse en ausencia de normas nacionales, son:

- ✓ American Society for Testings of Materiales (ASTM) - Estados Unidos.
- ✓ American Standart Association (ASA) - Estados Unidos.
- ✓ Deutsche Industrie Normen (DIN) – Alemania.
- ✓ British Standart Institut (BSI) – Inglaterra.
- ✓ Association Francaise de Normalization (AFNOR) – Francia.
- ✓ Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayos de Materiales (RILEM) – Internacional.
- ✓ International Standart Organisation (ISO) – Internacional.

Es importante destacar además que en el marco de integración regional con Brasil, Paraguay y Uruguay, actualmente se está trabajando en la redacción de las normas técnicas MERCOSUR.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- “Ensayo de materiales”, A. Helfgot, Editorial Kapelusz.
- “Laboratorio de ensayos industriales”, González Arias - Palazón, Editorial Litenia.
- “Ensayo de materiales y control de defectos en la industria del metal”, J. Stüdemann, Editorial Urmo.
- “Ensayos tecnológicos”, G. Luchessi, Editorial Labor.
- “Ensayos mecánicos de los materiales”, G. Luchessi, Editorial Labor.
- “La Construcción de la Arquitectura”, Tomo 1, 2 y 3, Paricio, Ignacio, 2006, Editorial ITeC, España.
- “Comportamiento térmico de mampuestos y techos cerámicos”, Cámara Industrial de la Cerámica Roja, Ficha Técnica N°1, 1998.