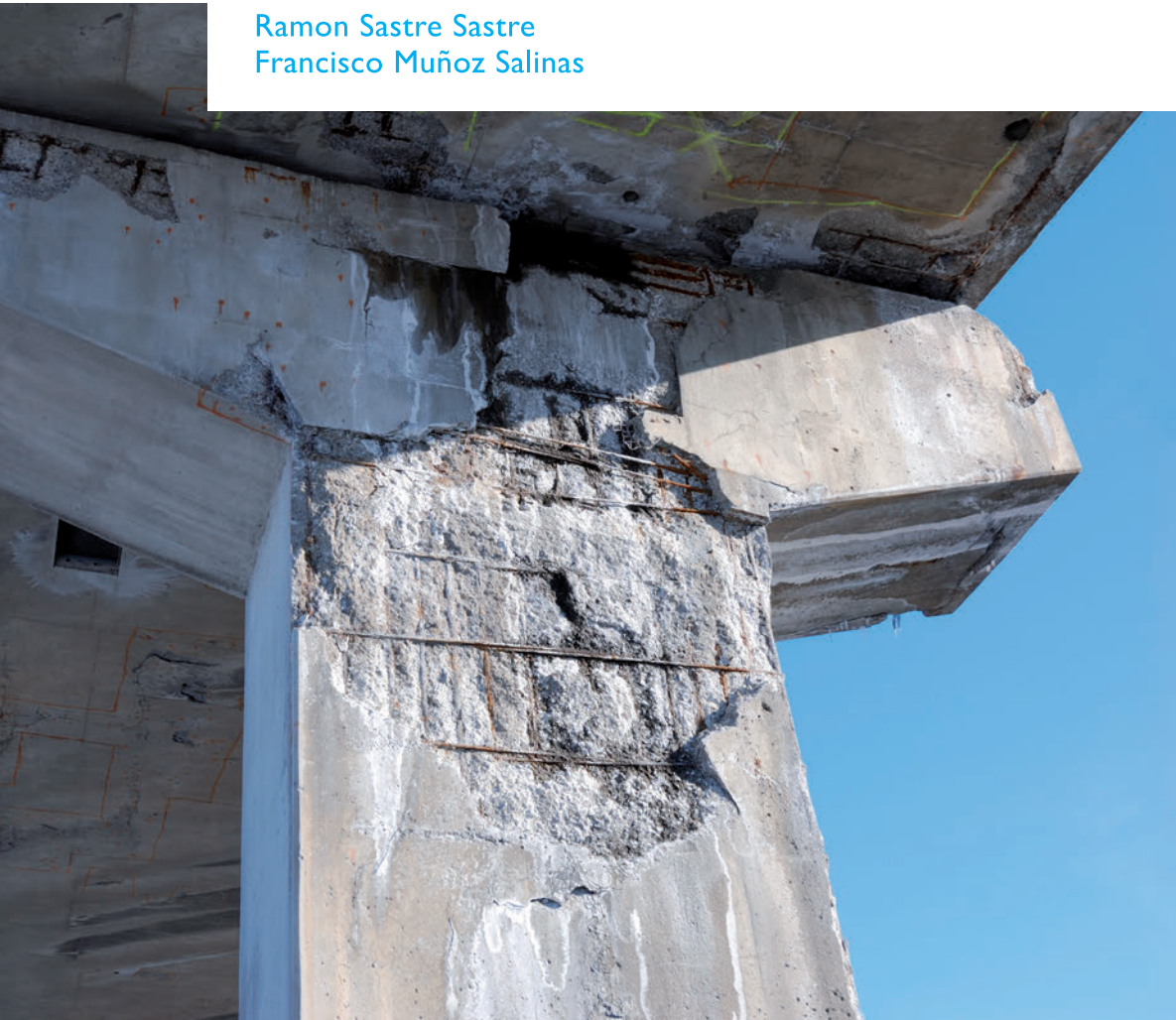




PROPIEDADES de los MATERIALES y elementos de construcción

Ramon Sastre Sastre
Francisco Muñoz Salinas



PROPIEDADES de los MATERIALES **y elementos de construcción**

Ramon Sastre Sastre
Francisco Muñoz Salinas



La presente obra fue galardonada en el quinto concurso
"Ajut a l'elaboració de material docent" convocado por la UPC

Diseño de la cubierta: Ernest Castelltort
Diseño de la maqueta interior: Tono Cristófol
Maquetación: Edicions UPC

Primera edición: noviembre de 2010

© los autores, 2010

© Edicions UPC, 2010
Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL
Jordi Girona Salgado 31, Edifici Torre Girona, D-203, 08034 Barcelona
Tel.: 934 015 885 Fax: 934 054 101
Edicions Virtuals: www.edicionsupc.es
E-mail: edicions-upc@upc.edu

Producción: LIGHTNING SOURCE

Depósito legal: B-45484-2010
ISBN: 978-84-7653-909-5

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, <http://www.cedro.org>) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

índice

1 Propiedades de los materiales de construcción	8
1.1 Introducción	9
1.2 El rigor	11
1.3 Los ensayos y la normativa	12
1.4 Las unidades	14
1.5 Magnitudes fundamentales	15
1.6 Magnitudes derivadas	16
1.7 Las propiedades	19
1.8 Los fenómenos	21
1.9 Los tratamientos	21
1.10 Los aditivos	22
 2 Estados de la materia. La masa	24
2.1 Introducción	25
2.2 Propiedades comunes a todos los materiales	26
2.3 La densidad	28
2.4 Interés tecnológico en la arquitectura	30
2.4.1 La densidad y el aislamiento acústico	30
2.4.2 La densidad y la inercia térmica de los edificios	30
2.4.3 La densidad y la estructura	31
2.5 Anisotropía en la construcción arquitectónica	32
2.6 Tabla de densidades de los materiales de construcción	33
 3 Propiedades de los gases, líquidos, pastas y sólidos granulares	34
3.1 Introducción	35
3.2 Los gases	35
3.2.1 La presión	36
3.2.2 La presión de vapor	37
3.2.3 La humedad (absoluta o relativa)	38
3.2.4 Otras propiedades del aire	39
3.3 Los líquidos	39
3.4 Las pastas	43
3.5 Materiales granulares	44
 4 Propiedades de la masa de los sólidos	50
4.1 Introducción	51
4.2 Los sólidos y sus vacíos	51
4.3 La absorción y la adsorción	52
4.4 La humedad	54

propiedades de los materiales de construcción

4.5	Las eflorescencias	55
4.6	La permeabilidad	56
4.7	Permeabilidad al vapor de agua	57
4.8	La filtración	60
5	Propiedades mecánicas de los sólidos	62
5.1	Introducción	63
5.2	La deformabilidad de los materiales y elementos de construcción	63
5.3	Los módulos de deformación	66
5.4	Elasticidad y plasticidad	68
5.5	La rotura	70
5.6	La resistencia de los materiales	71
5.7	La resistencia de cálculo	73
5.8	Otras propiedades mecánicas	74
6	Propiedades reológicas de los sólidos	78
6.1	Introducción	79
6.2	Los materiales y la temperatura	79
6.3	Los materiales y la humedad	81
6.4	La coerción de las deformaciones	85
6.5	La intumescencia	87
7	Propiedades térmicas de los sólidos	88
7.1	El calor y la temperatura	89
7.2	La transmisión de calor	90
7.3	La conducción del calor	90
7.4	El aislamiento térmico	93
7.5	El coeficiente de transmisión térmica	96
7.6	La inercia térmica	99
7.7	El retardo térmico	103
7.8	El amortiguamiento térmico	105
7.9	La temperatura interior de un edificio	107
7.10	El calentamiento de los cerramientos	109
8	Propiedades de los sólidos ante los fenómenos ondulatorios	112
8.1	Introducción a los fenómenos ondulatorios	113
8.2	Fenómenos ondulatorios que afectan a los edificios	115
8.3	Las ondas y los edificios	116
8.4	El sonido y los materiales y elementos de construcción	118
8.5	El aislamiento acústico	118
8.6	El aislamiento en las vibraciones. El ruido de impacto	121
8.7	El acondicionamiento acústico	122
8.8	Las ondas electromagnéticas	126

8.9 Comportamiento de los edificios ante las ondas electromagnéticas	126
9 Propiedades aparentes de los sólidos	130
9.1 Introducción	131
9.2 El olor, el gusto y el sonido	131
9.3 El tacto	132
9.4 La vista	133
9.5 El color de los objetos	134
9.6 La brillantez	135
9.7 La transmisión de la luz	136
9.8 La temperatura de los elementos constructivos	138
9.9 El efecto invernadero	139
10 Propiedades temporales de los sólidos	142
10.1 Introducción	143
10.2 La putrefacción	144
10.3 Los xilófagos	145
10.4 La meteorización	145
10.4.1 La helacidad	146
10.4.2 La expansibilidad	146
10.4.3 La solubilidad	146
10.4.4 Las alteraciones químicas	147
10.4.5 El desgaste por fricción	148
10.5 La oxidación y la corrosión	148
10.6 La corrosión electroquímica	149
10.7 La carbonatación en el hormigón armado	150
10.8 La durabilidad de los plásticos	151
10.9 La radiación ultravioleta	152
10.10 El fuego	152
11 Otras propiedades. Los costes	160
11.1 Los costes	161
11.2 Costes materiales	162
11.2.1 Tipos de precios	162
11.3 Costes energéticos	163
11.4 Costes ecológicos y ambientales	164
11.4.1 Reducir	164
11.4.2 Reutilizar	165
11.4.3 Reciclar	165
11.4.4 Sostenibilidad	166
11.4.5 Tratamiento de residuos	171
11.5 Costes de la salud	172
11.5.1 La posición y la ventilación	174
11.5.2 La degradación y el mantenimiento	175
11.5.3 Materiales tóxicos	176

propiedades de los materiales de construcción

11.5.4	Partículas suspendidas en el aire	176
11.5.5	Emisión de vapores en la colocación	177
11.5.6	Volatilización a largo plazo	177
11.5.7	Los formaldehídos	178
11.5.8	Polvos: actividad de mantenimiento	179
11.5.9	Radiación	179
Bibliografía		182
Notas		184



propiedades de los materiales de construcción

1.1 Introducción

Cada día es más difícil escoger los materiales de construcción con los cuales se construyen los edificios. Esta complejidad tiene causas diferentes; hasta cierto punto, todas tienen un origen similar.

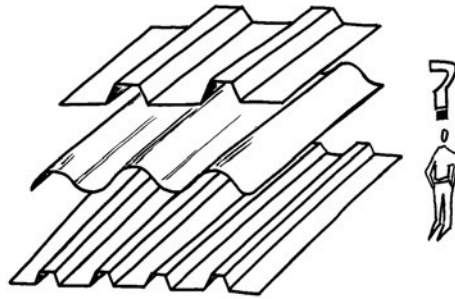
En primer lugar se han incrementado mucho las ofertas. Solo hay que entrar en cualquier establecimiento de venta de materiales de la construcción para darse cuenta de que el número de productos utilizados en la edificación ha aumentado de forma exponencial en las dos o tres últimas décadas. Los almacenes están llenos de productos conocidos de toda la vida, o de productos desconocidos, de los cuales con poco trabajo se puede deducir su función.

Así mismo, las revistas de arquitectura, de ingeniería o de construcción, suelen tener páginas con apartados dedicados a la promoción de estos productos arriba mencionados. En este caso, también es fácil encontrar nuevos productos con fotografías de edificios que hacen referencia a su utilización.

Y no hablemos de las ferias (por ejemplo: Construmant, Construtec, Construlan, Batimat) del sector de la edificación. Cada vez son más numerosas y más grandes. Las superficies de exposición y el número de expositores aumentan de año en año, y recorrerlas con atención requiere muchas horas.

Pero no se trata solamente del número de productos. También, ha aumentado enormemente la variedad. No se puede hablar de cemento, mortero, hormigón, etc., hay que definir muy bien qué tipo de cemento, mortero u hormigón se requiere. La variedad de posibilidades implica conocer muy bien el producto a utilizar.

Así pues, ni los materiales de siempre: madera, vidrio, acero, cerámica, conglomerados, etc., se libran de esta especialización, y se ofrecen al usuario bajo múltiples denominaciones, de acuerdo con los aditivos empleados, la proporción de sus componentes, el método de su fabricación, etc.



Finalmente, por si eso no fuera suficiente, se ha entrado en la época de los llamados nuevos materiales. La **ingeniería genética** aplicada a los materiales está produciendo unos **híbridos** que de alguna manera se han popularizado con el término anglosajón de **composites** y a los que podemos llamar simplemente compuestos.

Las mezclas de plásticos, cerámicas, vidrios y metales proporcionan un tipo de aleación de posibilidades y números inimaginables. Pero no solo se utilizan para la edificación, sino que estos materiales hechos a medida pueden ser empleados en infinidad de aplicaciones, por lo cual cada vez más serán más competitivos, tanto en prestaciones como en precios.

De todo este panorama, se puede obtener una conclusión rápida: **hay que saber elegir.**

¿Qué significa eso? Sencillamente, que hay que elegir lo mejor, es decir, seleccionar el material que mejor cumpla los requerimientos para los cuales ha sido elegido. Y es en este momento cuando entra en juego el conocimiento de sus propiedades. Cuando el número de materiales era muy reducido, cuando cada material tenía su propia misión, cuando cada parte de la edificación tenía su propio material, no había posibilidades de elegir, y por tanto no había posibilidades de error.

El diseño constructivo consiste en evaluar correctamente los requerimientos que ha de respetar un determinado elemento, y ver entre las diversas posibilidades cuáles son aquellas que tienen las propiedades que se adaptan de la mejor manera a las solicitudes mencionadas. Es por eso que, cada vez más, el técnico ha de conocer más estas propiedades y el industrial o fabricante ha de hacerlas publicas más ampliamente.

Afortunadamente, los catálogos, prospectos, folletos, etc., que acompañan los diversos productos de la construcción son cada vez más completos. Ahora es más fácil encontrar una información más objetiva y coherente y no una serie de afirmaciones gratuitas, no demostradas, que predicán la extraordinaria cualidad de ese producto. Aun así, estas tablas de propiedades llegan a ser, algunas veces, inútiles bien por falta de conocimientos del usuario que las lee, o bien por la excesiva complejidad de la información aportada.

Efectivamente, para poder entender y asimilar esta información hay que conocer el significado de cada una de las propiedades de manera clara y objetiva. No hay que confundir términos semejantes pero no idénticos. Y finalmente, hay que tener una noción de los valores más lógicos

de cada una de estas propiedades, con el objetivo de poder valorar la bondad del material en cuestión. En fin, para poder optar por la mejor elección, es imprescindible el estudio y el consecuente conocimiento de las propiedades de los materiales.

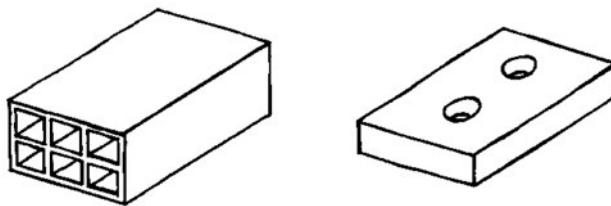
De alguna manera, se puede considerar el estudio de las propiedades de los materiales como alternativa actual al estudio tradicional, mucho más general, de los materiales de construcción. Esta es una ciencia compleja y absolutamente necesaria si se quiere alcanzar un nivel científico o especializado de la disciplina. Pero, por otro lado, tal y como se ha mencionado anteriormente, la cantidad creciente día a día del número de materiales de construcción, y la complejidad del nivel de investigación al cual se puede llegar, hacen que para un estudiante de arquitectura se convierta en una asignatura inabordable.

Tanto es así que la Ciencia de los Materiales (en general, no solamente de construcción) se ha convertido en una disciplina con identidad propia, compuesta de diferentes asignaturas o áreas, que llegan a formar un verdadero especialista, lo cual sobrepasa las posibilidades de los conocimientos de un arquitecto generalista.

1.2 El rigor

La exactitud, la precisión, el rigor, etc., son términos que se deberían aplicar siempre en las definiciones de un proyecto arquitectónico. Ahora bien, si en algún caso eso es completamente ineludible, lo será en las definiciones que afectan al proceso constructivo y, en definitiva, a los materiales y a sus propiedades.

Desgraciadamente, hay cantidad de ejemplos que nos demuestran que eso no es así. Sea por un auténtico desconocimiento, sea por dejadez o negligencia, la verdad es que muchas veces los proyectos están llenos de faltas o términos confusos que pueden dar lugar a costosos errores, monetarios o constructivos.



A continuación se expone una brevísimas lista de algunas de estas confusiones más habituales.

- cemento-mortero-hormigón
- plástico (polímero)-material plástico (plasticidad)
- fibra de vidrio-plástico reforzado con fibra de vidrio
- hierro-acero
- fuerza-esfuerzo
- poliestireno-poliestireno expandido-poliestireno extruido

propiedades de los materiales de construcción

- chapa-contrachapa
- plástico-muy deformable
- resistencia al fuego-no inflamable-no combustible
- gres (roca)-gres(cerámica)
- maó-tocho-Mao de cuarto
- absorción-adsorción
- amianto-asbesto-fibrocemento
- aislamiento-barrera
- nudo rígido-nudo empotrado
- ignifugo-incombustible-autoextinguible
- inflamable-combustible
- etcétera

Si la confusión de términos, como los anteriores, puede llevar a errores importantes, la confusión de marcas registradas con los productos puede comportar problemas económicos a la hora de fijar un presupuesto. En este sentido hay que saber diferenciar muy bien los dos conceptos. A continuación se exponen algunos ejemplos:

- Uralita®-placa ondulada de fibrocemento
- Porexpan®-poliestireno expandido
- Grifi®-cemento pórtland blanco
- Rea®-barra de acero corrugada
- Pam®-cemento cola
- Gravent®-ventana de lamas horizontales de vidrio
- Spitrock®-taco o fijación de alta resistencia
- Fórmica®-chapa de melamina o similar
- Y muchos más

1.3 Los ensayos y la normativa

Desde un punto de vista semántico **propiedad** quiere decir: *aquello que es propio de alguna cosa, cualidad peculiar, característica*. Desde el punto de vista técnico, es decir, como término aplicable a los materiales de construcción, *propiedades* son todas las *características que pueden ser medidas de forma objetiva*.

Esta última definición comporta automáticamente la aparición de un concepto: el ensayo. Un ensayo es cada una de las experiencias a que se somete a un material a fin de valorarse objetivamente sus características.

Si por ejemplo, se quiere averiguar cuál es el peso de un cuerpo, se coloca este en el plato de una balanza y se observa el valor que marca el fiel. En este caso el peso es la propiedad, colocarlo en la balanza y observar el fiel es el ensayo y, finalmente, el valor observado es el resultado.

El ensayo para obtener el peso de un cuerpo es muy sencillo y para obtenerlo solo hace falta una balanza. Pero si se quiere ser riguroso, se deben de exigir algunas cosas más. La balanza no tan

solo ha de ser de precisión (que mida gramos, decigramos, centigramos, etc.) sino que también, a menudo, ha de poder ser comprobada para establecer su correcto funcionamiento. Además, alguien ha de haber establecido un sistema de referencia (afortunadamente disponemos del sistema internacional que casi todos seguimos) que permita valorar el resultado, en este caso en una cantidad numérica. Finalmente, es bien sabido que el peso de algunos objetos es susceptible de variar de acuerdo con su propia humedad, por tanto si el valor final ha de ser objetivo, se ha de definir cuál es la humedad que ha de tener el cuerpo al ser pesado. Y si aún se quiere ir más lejos, el peso de un objeto no es nada más que el producto de su masa por la aceleración de la gravedad de la tierra. Si esta aceleración varía (a nivel del mar, en lo alto del Everest o en el fondo del abismo más profundo), el resultado también variará. Por tanto habría de fijarse una aceleración de la gravedad concreta con el fin de obtener unos valores coherentes.

De todo eso se deduce que la técnica de los ensayos puede ser muy compleja. La misión de los laboratorios es disponer de los medios necesarios para llevar a buen término esa tarea, mientras que la misión de las comisiones técnicas (locales, nacionales o internacionales) es la de establecer una normativa que explique cómo se han de realizar los ensayos, qué condiciones se han de cumplir y, sobre todo, indica cómo se han de interpretar y especificar los resultados obtenidos.

Hay propiedades, como por ejemplo la dureza, que puede ser experimentada con diversos ensayos (Mohr, Brinell, Barcol, etc.). Evidentemente los resultados obtenidos son inherentes al propio ensayo, y por tanto difícilmente comparables los unos con los otros. Así mismo, pueden existir tablas de conversión entre los diferentes resultados. Estas tablas pueden ser exactas, pero lo más probable es que solo sean aproximadas, ya que la mayoría de las veces los resultados obtenidos dependen directamente del tipo de ensayo.

Para otras propiedades, como por ejemplo el color, son muy difíciles de definir de forma objetiva. O bien se definen las energías lumínicas reflejadas con valores numéricos, correspondientes a las diferentes longitudes de onda, lo cual es completamente ininteligible para un profano, o se utiliza una tabla de colores estándar y se define por aproximaciones a uno de ellos, o simplemente se define un color genérico con o sin calificaciones: rojo, verde claro, naranja, rubí, etc.

En el mundo de la construcción quien establece el marco de cómo se han de hacer los ensayos y de cómo se han de interpretar los resultados obtenidos es la normativa. La normativa, como ya se ha comentado, puede ser local (comunidades autonómicas), estatal o interestatal (europea, internacional, etc.). El estado español dispone de un grupo normativo llamado UNE (Una Norma Española) que consta de centenares de normas específicas sobre la forma más clara e inconfundible de realizar los ensayos. Cada una de estas normas se identifican mediante las letras UNE y un número complejo, por ejemplo: UNE 7.083-54. Pero, en ocasiones, se utilizan normas de otros ámbitos, ya que se utilizan materiales provenientes de otros países. Normas DIN, ISO, ASI, etc., que son ejemplos cotidianos.

1.4 Las unidades

Los resultados de un ensayo, como ya se ha descrito, pueden ser heterogéneos. Es decir, puede ser un número, una calificación, un nombre, etc. Si el resultado es numérico, entonces aparece un nuevo concepto de vital importancia: las unidades que miden la propiedad estudiada.

Los sistemas de unidades conforman una información coherente que permite medir cualquier magnitud relacionada con las propiedades de los materiales. A causa del desarrollo histórico de los diferentes países, han existido, y siguen existiendo, diferentes sistemas de unidades. Cada vez más, la comunidad internacional tiende a utilizar una de ellas: el sistema internacional (SI). El hecho de que un país tan poderoso como es los Estados Unidos de América no lo asuma ha impedido que al día de hoy el SI sea el único sistema aceptado a nivel científico. Otros sistemas de unidades ampliamente utilizados son el CGS, MKSA, el sistema imperial británico IU, etc.

Antes de entrar al estudio de las unidades, es necesario hacer un pequeño repaso a los prefijos que el SI utiliza para definir sus múltiplos y submúltiplos. En la tabla 1 se detallan los más usuales.

TABLA 1		
Factor de multiplicación	Prefijo	Símbolo
10 ²⁴	Iota	I
10 ²¹	Zeta	Z
10 ¹⁸	Exa	E
10 ¹⁵	Peta	P
10 ¹²	Tera	T
10 ⁹	Giga	G
10 ⁶	Mega	M
1.000	Kilo	k
100	Hecto	h
10	Deca	da
0,1	Deci	d
0,01	Centi	c
0,001	Mili	m
10 ⁻⁶	Micro	μ
10 ⁻⁹	Nano	n
10 ⁻¹²	Pico	p
10 ⁻¹⁵	Femto	f
10 ⁻¹⁸	Atto	a
10 ⁻²¹	Zepto	z
10 ⁻²⁴	Yocto	y

En la tabla 2 se expone una lista de las unidades simples del SI, de tal forma que el resto de unidades son siempre derivadas de estas.

TABLA 2		
Magnitudes	Unidades	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Intensidad eléctrica	amper	I
Intensidad luminoia	candela	cd
Temperatura	grado centígrado	K (°C)

Es interesante tener a mano alguna tabla de conversión de unidades, ya que no siempre es fácil obtener los resultados de un ensayo, o la medida de una característica en las mismas unidades. Además, muchas veces tenemos que trabajar con datos procedentes, sobre todo, de países de ascendencia británica, donde las unidades imperiales IU aún están vigentes. Las tablas que se presentan a continuación pretenden cubrir la gran mayoría de las conversiones útiles en el campo de los materiales de construcción.

1.5 Magnitudes fundamentales

TIEMPO

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Segundo	s	
Minuto	min	
Hora	h	
1 h = 60 min = 3600 s		
1 min = 60 s		

LONGITUDES

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Kilómetro	km	1 milla = 1,609 km
Metro	m	1 yarda = 0,914 m
Centímetro	cm	1 pie = 30,5 cm
Milímetro	mm	1 pulgada = 2,54 mm
Ejemplo: un mao = 5 x 14 x 29		

propiedades de los materiales de construcción

MASA

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Kilogramo	kg	1 libra = 0,454 kg
Gramo	G	1 onza = 28,37 g
Tonelada	t	1 T (UK) = 1,016 Kg 1 T (USA) = 907 Kg
1 T = 1.000 Kg. Ejemplo: un maó = 2.500 g. Un coche = 1.000 Kg.; Un camión = 13 t		

CORRIENTE ELÉCTRICA

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Amperio	A	
Unidades relacionadas: Potencial eléctrico V 1 voltio = 1 vatio / 1 amperio Resistencia eléctrica Ω 1 ohmio = 1 voltio / 1 amperio		

INTENSIDAD LUMINOSA

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Candela	cd	
Unidades relacionadas: Flujo luminoso: lumen lm 1 candela / estereoradian Luminancia: lux lx 1 lumen / m ²		

TEMPERATURA

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Grado (kelvin)	K	Grado (Fahrenheit) = 5/9 °K
Unidades relacionadas: Grado Celsius: nivel °C = °K+273 °F = 9/5 °C + 32 °K = °C-273 °C = 5/9 (°F-32) diferencia °C = °K °C = 5/9 °F °F = 5/9 °C		

1.6 Magnitudes derivadas

SUPERFICIE

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Kilómetro cuadrado	km ²	1 milla ² = 2,59 km ²
Hectárea	ha	1 acre = 0,405 ha
Metro cuadrado	m ²	1 jarda ² = 0,836 m ²
Centímetro cuadrado	cm ²	1 pie ² = 930 cm ²
Milímetro cuadrado	mm ²	1 pulgada ² = 645,16mm ²
Ejemplo: un dormitorio = 10m ² ; un campo de fútbol = ½ ha		

propiedades de los materiales de construcción

VOLUMEN

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Metro cúbico	m ³	1 jarda ³ = 0,765 m ³
Centímetro cúbico	cm ³	1 pie ³ = 28,320 cm ³
Milímetro cúbico	mm ³	1 pulgada ³ = 1,639 mm ³
Ejemplo: una habitación = 30 m ³		

CAPACIDAD

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Litro	l	1 galón(UK) = 4,546 l 1 galón(USA) = 3,785 l
Ejemplo: 1 litro = 1 decímetro cúbico (1dm ³)		

DENSIDAD

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Kilogramo por metro cúbico	kg/m ³	1 libra/pie ³ = 16,019 kg/m ³
Gramo por centímetro cúbico	g/cm ³	
1 kg/m ³ = 1 kg/dm ³ = kg/l 1 g/cm ³ = 1 t/m ³		
Ejemplo: agua = 1 g/cm ³ ; hormigón = 2,5 t/m ³ ; acero = 7,85 T/m ³		

FUERZA (Peso)

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Newton	N	1 libra-fuerza = 4,448N
1N = 0,103 kg.m/s ² 1 dyn (dina) = 1 g/cm/s ² = 10 ⁻⁵ N		
Unidades alternativas: 1 N 0,103 kgf (kp) 1kp = 9,8N ≈ 10N		
Ejemplo: peso 1 litro de agua = 9,8 N		

propiedades de los materiales de construcción

PRESIÓN

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Pascal	Pa N/m ²	1 libra-fuerza/pulgada ² =16,019 N/m ²
Megapascal	MPa MN/m ² N/mm ²	1 libra-fuerza/pie ² =16,019 N/m ²
Unidades alternativas: 1 bar = 1 daN/cm ² ≈ 1 kp/cm ² 1 mbar = 0,001 bar = 100 M/m ² 1 atmósfera = 1kp/cm ² = 1,013 mbar ≈ 1 bar 1 mca (metro de columna de agua) = 0,1 atmósfera 10 mca = 1 atmósfera = 1 kp/cm ² 1 mmca (milímetro de columna de agua) ≈ 0,1 mbar 1 N/mm ² = 1 Mpa ≈ 10 kg/cm ²		
Ejemplo: un neumático de coche = 1,8bar; una cubierta inflable = 20mmca		

VELOCIDAD

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
metro por segundo	m/s	1 yarda/segundo=0,914 m/s
Kilómetro por hora	km/h	1 milla/hora = 1,609 km/h
1 km/h = 0,278 m/s		
1 m/s = 3,6 km/h		
1 milla/h = 0,447 m/s		

ENERGÍA, CALOR

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Julio	J N*m	1 BTU = 1,055 j
1 J = 1 W·s = 0,278 kW·h = 0,000278 W·h 1 kW·h = 3.600.000 J = 3,6·10 ⁶ J		
Unidades alternativas: 1 cal (caloría) = 4,184 J 1 kcal (kilocaloría) = 4,184 J = 1,13 W·h 1 J = 0,2389 cal		

POTENCIA

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Vatio	W J/s	1 BTU/h = 0,293 W
1 W = 1 J/S = 3600 J/h		
Unidades alternativas: 1 W = 0,868 kcal/h 1 kcal/h = 1,163 W 1 hp (caballo de fuerza) = 750 W		

FRECUENCIA

Unidades	Símbolo	Equivalencias (IU)
Hercio	Hz	
(ciclo por segundo) c.p.s.= Hz		

1.7 Las propiedades

Las propiedades o características de un material, de un cuerpo o de un elemento constructivo son muchas y muy variadas. Si se desea hacer un estudio sistemático de todas las que sean interesantes desde el punto de vista de la edificación y la arquitectura, sería importante clasificarlas.

Como en cualquier tipo de clasificación, siempre existe un primer tipo de agrupación que es más o menos intencionado con tal de obtener una distribución que nos ayude a situar el elemento o una propiedad dentro del conjunto global de todos los elementos o propiedades estudiadas.

Las clasificaciones como las que agrupan propiedades físicas o químicas son obvias y objetivas, evidentemente, pero no siempre serán las más oportunas y apropiadas para estudiar los materiales de la construcción.

Se ha de tener en cuenta, por tanto, que hay que hacer servir otro tipo de clasificaciones, hacer más referencia al estado de la materia (tal y como se ha descrito anteriormente) de forma que las propiedades sean una mera consecuencia de este estado.

En este sentido, aparece una clasificación como la que a continuación se detalla:

PROPIEDADES FÍSICAS

- Propiedades comunes a todos los materiales:
Masa, peso y densidad. Homogeneidad. Isotropía.
- Propiedades de los fluidos:
Presión. Tensión superficial, viscosidad, tixotropía.
- Propiedades de las pastas:
Consistencia (fluidez)
- Propiedades comunes a los sólidos granulares:

propiedades de los materiales de construcción

Porosidad y compacidad. Capilaridad. Cohesión. Finura. Ángulo de rozamiento interno. Ángulo de talud natural.

e) Propiedades comunes a todos los sólidos

– De la materia:

Porosidad. Capilaridad. Eflorescencia. Absorción. Adsorción. Permeabilidad. Difusibilidad. Pulidez. Rugosidad. Brillo. Color. Transparencia. Translucidez. Opacidad.

– Mecánicas:

Resistencia a la rotura, tenacidad. (tracción, compresión, flexión, etc.) Resiliencia. Dureza. Deformabilidad: elasticidad, plasticidad, fragilidad. Rigidez. Ductilidad, maleabilidad.

– Reológicas:

Dilatación térmica. Entumecimiento. Retracción. Intumescencia.

– Térmicas:

Conductividad. Calor específico. Fusión, Soldabilidad.

– Ondas de Luz, radiación, sonido:

Absorción. Reflexión. Transmisión. Refracción. Emisividad.

PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS

a) Resistencia a los productos químicos

b) Resistencia al fuego:

Combustibilidad. Inflamabilidad. Tratamiento ignífugo. Autoextinguibilidad.

c) Durabilidad:

Putrefacción¹. Resistencia a los insectos, Heladicidad. Resistencia a los rayos ultravioleta, Oxidación. Corrosión. Carbonatación.

OTRAS PROPIEDADES

a) Costos:

Ambientales. Energéticos. Monetarios (precio) (*extracción de las materias primas, elaboración, montaje, colocación, mantenimiento, derribos y transporte, etc.*)

b) Toxicidad:

Directa. Sublimación. Combustión.

c) Reciclaje:

Sostenibilidad

Es evidente que esta clasificación tiene muchos puntos interrelacionados. Eso es inevitable, ya que una misma propiedad puede ser contemplada desde diferentes puntos de vista. Por ejemplo: la carbonatación tanto es un proceso químico como un aspecto más de la durabilidad de un material (el hormigón). Así pues, la clasificación de las propiedades, tal y como se ha detallado, pretende ser más una herramienta coherente que permita estudiarlas ordenadamente que un catálogo cerrado e inamovible.

1.8 Los fenómenos

En la lista anterior de las propiedades de los materiales aparecen palabras que desde el punto de vista de la terminología no son propiedades: absorción, entumecimiento, retracción, etc. Muchas de estas palabras acabadas con el sufijo **-ción** representan fenómenos.

Desde el punto de vista técnico **un fenómeno** es eso que, manifestándose a los sentidos o a la conciencia, puede ser objeto de una experiencia o puede valorarse objetivamente.

De hecho, cuando anteriormente se hablaba de los ensayos, no se trataba de nada más que de la provocación de un cierto fenómeno a fin de valorar el comportamiento de un material y obtener unos valores llamados propiedades.

Así pues, no hay que confundir los términos de propiedades y fenómenos. Muchas veces existen los dos, como por ejemplo: conducción y conductividad, transmisión y transmitancia, etc. En ocasiones usamos prioritariamente el término que hace referencia al fenómeno y no el de la propiedad: corrosión (no corrosividad), eflorescencia (no eflorescividad), etc. Finalmente, existen términos usados para propiedades, mientras que el fenómeno al cual hace referencia no tiene un término reconocido: densidad, color, rigidez, etc.

Como norma general, podemos decir que los sufijos del tipo **-dad, -ancia, -encia**, etc., corresponden a propiedades, mientras que las acabadas en **-ión** corresponden a fenómenos. No obstante, podemos encontrar muchas excepciones, por lo cual esta norma tiene un carácter marcadamente orientativo.

1.9 Los tratamientos

Se denomina tratamiento de un material a la operación a que se somete a fin de conferirle una determinada cualidad o propiedad. A veces este tratamiento es solo superficial y, por tanto, queda enteramente visto (con la excepción de que fuese del todo transparente) y recibe el nombre de **acabados**.

Desde el punto de vista de las propiedades, debe de tenerse en cuenta que no es lo mismo un material que ya tiene una determinada propiedad que a otro que la adquiere con un tratamiento. Por tanto, la terminología empleada habría de ser diferente. Un material será incombustible e ignífugo, por tanto habrá que estar seguros de cuál de los dos términos se ha de emplear en un determinado caso.

Entre los tratamientos de los materiales más habituales se pueden citar los siguientes:

- Ignifugar
- Hidrofugar
- Galvanizar
- Anodizar
- Cuperizar
- Etcétera

propiedades de los materiales de construcción

Tampoco se ha de confundir el agente tratante con el material tratado. Es decir, no es lo mismo un ignifugante o ingnífugo que un ignifugado. Desgraciadamente, se pueden encontrar cantidades de textos donde esta precisión es ignorada, provocando en muchas ocasiones grandes confusiones.

En fin, se puede decir que un tratamiento va a aumentar, considerablemente, el número de propiedades de un material de construcción.

1.10 Los aditivos

A diferencia de los tratamientos, los aditivos son unas sustancias que forman parte de la masa del material desde el momento de su fabricación. Es decir, son un componente más en su configuración, aunque, al igual que sucede con los tratamientos, su misión es la de dotar al material con alguna propiedad que no tenía. Los aditivos se pueden encontrar en muchos materiales, pero obviamente habría que acotarlos en aquellos materiales en los que su composición es una mezcla de diferentes productos: pastas (mortero, hormigón, yeso), materiales compuestos (plásticos, tableros aglomerados, **composites**), etc.

Los aditivos más típicos y más usados que se pueden encontrar son: aireantes, plastificantes, modificadores del endurecimiento, (retardadores, aceleradores), hidrofugantes, espumantes. etc.

2



estados de la materia. la masa

2.1 Introducción

Según la física tradicional, el estado de agregación de un sistema material, es decir, según el grado de cohesión de las moléculas que lo forman, puede presentarse en tres fases fundamentales: sólida, líquida y gaseosa; y se denomina **cambio de estado** o **cambio de fase** al paso de uno de ellos a otro cualquiera.

Desde el punto de vista de los materiales de construcción, esta clasificación resulta muy genérica y no se adapta muy bien. Muchas veces los límites entre sólido y líquido son difíciles de definir, y por tanto, para ser más coherentes con sus características más relevantes, se propone una nueva clasificación. Se mantiene el estado gaseoso, se distingue entre líquidos y pastas, por un lado, y entre sólidos y materiales granulares por otro.

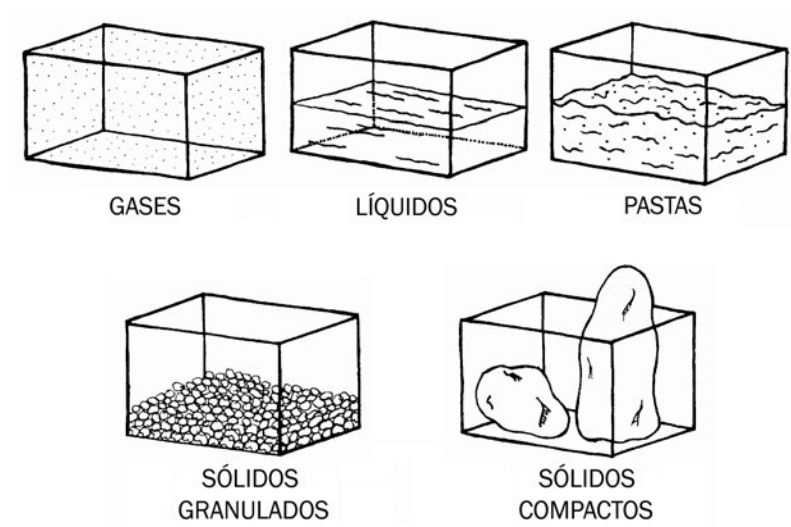
1.- Gases	Llenan el volumen del contenedor.
2.- Líquidos	Se adaptan al volumen del contenedor y forman una lámina si se les coloca sobre un plano.
3.- Pastas	Se adaptan al volumen del contenedor y forman una masa deformable, más o menos compacta, si se les coloca sobre un plano.
4.- Sólidos granulares	Se adaptan al volumen del contenedor y forman una masa en forma de cono, más o menos agudo, si se les coloca sobre un plano.
5.- Sólidos compactos	No se adaptan al volumen del contenedor ni cambian de forma.

Y además, dentro del grupo de los sólidos compactos se pueden diferenciar las siguientes características:

– amorfos, cristalinos, fibrosos, laminares, esponjosos, etc.

Esta clasificación permite estudiar los materiales de construcción y sus propiedades de una manera más ordenada, ya que, como se verá, algunas propiedades son inherentes solo a un pequeño grupo de materiales mientras que, por el contrario, otras son comunes a la totalidad de los materiales.

propiedades de los materiales de construcción



2.2 Propiedades comunes a todos los materiales

Evidentemente, todas las propiedades físicas de los materiales tienen que ver con la propia materia que los forma. La composición de la materia es algo que queda fuera del alcance de este texto. No obstante, como todos los materiales están compuestos por unas mismas partículas, moléculas, átomos, protones, electrones, etc., existen ciertas propiedades, directamente relacionadas con este hecho, comunes a todos los materiales, sean sólidos, líquidos o gaseosos.

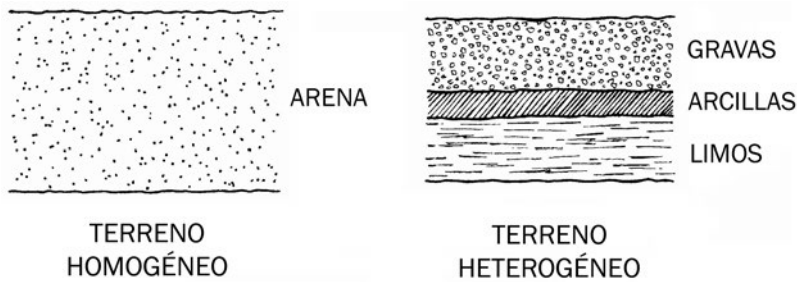
La primera de estas propiedades es aquella que cuantifica la propia materia. La que nos dice si hay mucha o poca. Esta propiedad es la **masa**. Todos los cuerpos tienen una cierta masa, y la ausencia de esta se denomina el vacío.

Masa:

Cantidad de materia considerable en un solo fragmento.

Unidades de medida: g (gramo), kg (kilogramo), t (Tonelada)

Palabras relacionadas: macizo, -a (a), masivo-iva (a), macizar (v)



La masa, es un concepto muy teórico, aunque tiene una importancia capital cuando se trata de hacer algo fuera del planeta. Nosotros apreciamos la masa en forma de **peso**, es decir, la fuerza producida por la aceleración de la gravedad, de acuerdo con la conocida ecuación:

$$f = m \cdot a$$

Peso:

Fuerza con que la tierra atrae un cuerpo cualquiera como consecuencia del fenómeno de la gravitación.

Unidades de medida: N (newton), dyn (dina), kgf, kp (kilogramos fuerza, kilopondio)

Palabras relacionadas: pesado (a), pesadez (f), pesar (v)

De la uniformidad en la composición de la masa se puede deducir la siguiente característica: homogeneidad y su contrario sería la heterogeneidad. Desde el punto de vista de los materiales de construcción, la homogeneidad no se evalúa a nivel molecular sino más bien a nivel de textura. Se puede decir, por tanto, que una pieza de madera es homogénea, aunque se puedan distinguir vetas, nudos, etc. Incluso se puede decir que una pieza de hormigón en masa es homogénea, a pesar de que el hormigón es un material compuesto.

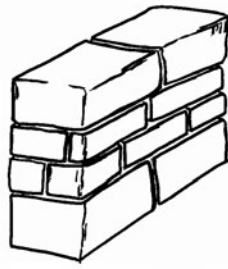
Homogeneidad:

Cualidad de los materiales contruidos de partes, elementos o individuos de la misma naturaleza o uniformemente integrados.

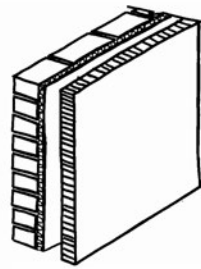
Antónimo: heterogeneidad

Palabras relacionadas: homogéneo(a), homogenizar (v), heterogéneo (a)

propiedades de los materiales de construcción



MURO
HOMOGÉNEO



MURO
HETEROGÉNEO

Finalmente, hay otra propiedad común a todos los materiales: la **isotropía**. Muy ligada a la homogeneidad, pero sin existir relación biunívoca, la isotropía proporciona información acerca del comportamiento, de las propiedades de un material, en función de la dirección en que se observa este comportamiento.

Isotropía:

Cualidad de las sustancias o medios que presentan las mismas propiedades físicas en todas direcciones.

Antónimo: anisotropía

Palabras relacionadas: isótropo, -a, isotropía (f), anisótropo, -a, anisotropía (f)

Unas sustancias pueden ser isótropas o anisótropas solo respecto a una determinada propiedad. Las sustancias amorfas son generalmente isótropas, y las cristalizadas en el sistema cúbico lo son respecto a las propiedades ópticas. En cambio, presentan anisotropía aquellas sustancias en los cristales de los cuales las moléculas o iones no están dispuestas idénticamente en todas direcciones. Se constatan diferencias sensibles en cuanto a la propagación de la luz (índice de refracción), resistencia a tracción, dilatación lineal, piezoelectricidad, etc.

2.3 La densidad

La masa y el peso de un cuerpo representan unos conceptos absolutos. Pero como sucede muchas veces, lo que interesa en un momento dado es un concepto relativo que nos permita comparar y, por tanto, tomar ciertas decisiones a la hora de escoger entre diversas opciones. Este valor relativo que haremos servir con la masa (e indirectamente con el peso) es la densidad. Con este concepto se puede relacionar el volumen aparente de un cuerpo, material o elemento constructivo con su masa.

Densidad:

Cantidad de masa por unidad de volumen.

Unidades de medida: g/cm^3 , t/m^3

Palabras relacionadas: denso –a (a)

Aparentemente las propiedades como la masa o el peso son totalmente objetivas, ya que pueden medirse mediante una balanza, lo que no sucede con la densidad. En este caso interviene el volumen, nos podemos encontrar con materiales y, sobre todo, elementos constructivos llenos de huecos o vacíos. Estos huecos o vacíos pueden ser claramente visibles, tales como los de la tochana o el gero, etc., o no, como es el caso de los poros de la propia cerámica, con la cual se fabrican los ladrillos, sean macizos o huecos.

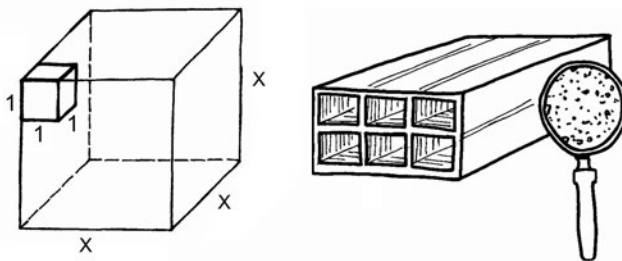
Así pues, en primer lugar hay que definir aquella densidad que se obtiene de dividir el peso de un cuerpo por su volumen global o aparente (incluso los huecos) que recibe el nombre de **densidad aparente o relativa**.

Si se calcula el volumen real de un material se procederá a restar del volumen aparente el volumen de los vacíos y poros, y si se utiliza el resultado para obtener la densidad, el valor obtenido es, obviamente, superior y se denomina **densidad real o absoluta**.

Es posible que estos huecos o vacíos no estén llenos de aire sino que lo estén de agua en parte o totalmente. En este caso el peso del elemento será variable y también lo será la densidad obtenida. En ese caso se llamará **densidad humedad** y tiene poca importancia por su falta de fiabilidad a lo largo del tiempo.

En muchas ocasiones la llamada **densidad aparente**, antes mencionada, no deja de ser una densidad húmeda. Si mediante un horno o con cualquier otro aparato se extrae toda el agua contenida en un cuerpo, se obtiene un peso que da lugar a la densidad seca (mínima aparente). Contrariamente, si por inmersión se colmatan todos los poros con agua, el peso final dará lugar a la **densidad saturada** (máxima aparente).

Pero aún existe otro tipo de densidad, la llamada **densidad sumergida**; que es el resultado de restar a la densidad saturada el peso del volumen del líquido que ocupa, es decir, el empuje hidrostático. Este es un valor muy útil, sobre todo, en el estudio que tiene relación con los terrenos anegados (bajo el nivel freático).



2.4 Interés tecnológico en la arquitectura

2.4.1 La densidad y el aislamiento acústico

El aislamiento acústico, al sonido aéreo, de un cerramiento homogéneo sigue la llamada **ley de masas**.

Esta ley establece que la reducción de la intensidad acústica a través de un determinado elemento es función del cuadrado del producto de la masa unitaria por la frecuencia del sonido considerado:

$$a \approx (f \cdot M)^2$$

ecuación que expresada en decibelios se transforma en:

$$a \approx 10 \log (f \cdot M)^2$$

En el capítulo dedicado al aislamiento acústico se detallará más a fondo esta ley y se podrán establecer una serie de valores numéricos que facilitan la comprensión de esta propiedad.



2.4.2 La densidad y la inercia térmica de los edificios

Cuando se estudia el comportamiento energético de un edificio y, en consecuencia, el de sus cerramientos, además de su capacidad de aislamiento térmico hay que considerar cuál es la inercia térmica propia de éstos.

La inercia térmica nos indica la capacidad de un edificio para mantener, lo más constante posible, su propia temperatura interior a pesar de los cambios de temperatura en su entorno.

Esta propiedad, entre otros factores, depende directamente de la capacidad calorífica (Q_c) de sus cerramientos, lo cual no es más que la suma de los productos de las masas de los materiales que los configuran por su calor específico:

$$Q_C = \Sigma M \cdot C_e$$

Si se tiene en cuenta que el calor específico de la mayoría de los materiales sólidos usados en la construcción se encuentra en torno a 0,2 Kcal./kg°C, nos daremos cuenta de que para un mismo volumen de edificio o cerramiento (no se trata de hacer paredes de dos metros de espesor), la capacidad calorífica depende prioritariamente de la masa de los materiales usados. Así, un edificio

hecho con muros de hormigón o paredes gruesas y macizas tendría mucha más inercia térmica que un edificio de dimensiones similares construido con cerramientos ligeros (madera, plafones de material porosos, etc.).

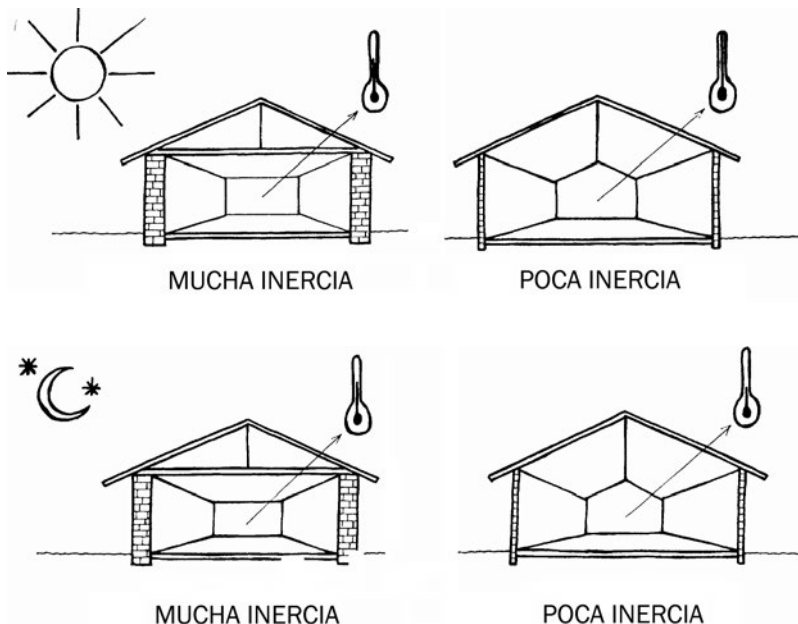
La conveniencia o no de que un edificio tenga mucha o poca inercia es un aspecto que se escapa del estudio de la densidad, pero que será comentada adecuadamente en otros capítulos.

2.4.3 La densidad y la estructura

La densidad tiene una importancia capital entre las propiedades de los materiales de construcción, ya que su repercusión, por lo menos desde el punto de vista estructural, es incuestionable.

A más densidad, más peso. Eso es obvio, y se puede decir que un edificio más pesado tendrá una estructura más significativa y resistente que la de uno más ligero. No obstante, la cuestión no es tan simple como parece cuando se trata de evaluar la propia estructura.

Está claro que el acero pesa más que el hormigón y que este pesa más que la madera. Aun así, para soportar una determinada carga no podemos asegurar, estrictamente, que una viga de acero pesará más que una de hormigón y esta más que una de madera. Habría que combinar otras propiedades del material y del elemento constructivo: forma de la sección, resistencia, elasticidad, etc. y el resultado será aleatorio.



2.5 Anisotropía en la construcción arquitectónica

Desde el punto de vista arquitectónico, la anisotropía tiene una importancia capital, ya que determina la forma de colocar o disponer un determinado elemento constructivo. El hecho de que las propiedades del material puedan variar según una determinada dirección, influirá, e incluso obligará en muchos casos, a usar una determinada forma, una determinada proporción, o a establecer un cierto sistema constructivo.

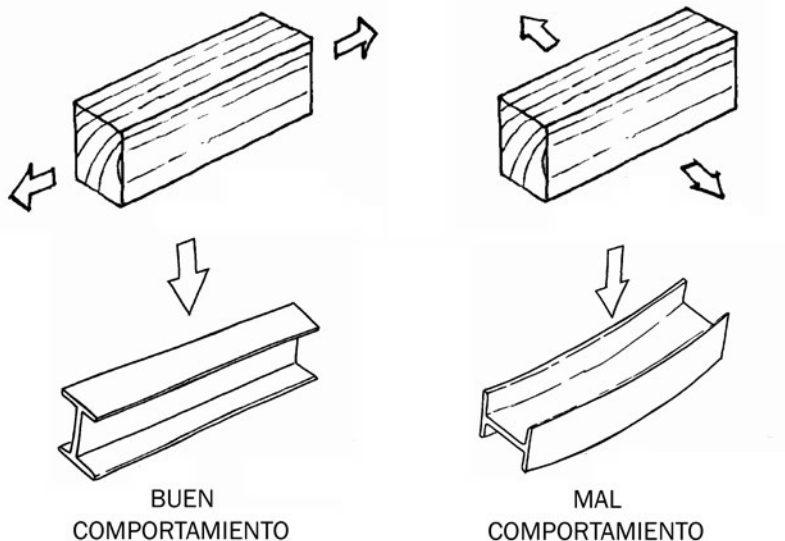
No hay que confundir la anisotropía con el hecho de que muchos materiales presentan unas diferencias muy grandes de resistencia a tracción y a compresión, como es el caso del hormigón. En este caso se trata de dos propiedades diferentes y por tanto no se puede hablar de isotropía o anisotropía.

Un caso muy diferente, y un buen ejemplo de anisotropía, es la madera. A causa de su estructura vegetal, de sus conductos verticales por donde circula la savia, de sus fibras alargadas, etc., este material presenta una resistencia a tracción muy diferente si se aplica el esfuerzo en el sentido de sus fibras que si se aplica perpendicularmente. Lo mismo se puede decir de la resistencia a compresión, al punzonamiento, etc.

Relación de materiales con importante comportamiento anisótropo:

- La madera y algunos de sus derivados
- La pizarra y otras rocas exfoliables
- Vidrios con tratamiento superficial

Además de las propiedades de la resistencia mecánica antes mencionada, otras propiedades que se ven afectadas a menudo por su direccionalidad son: la reflexión y absorciones lumínicas y acústicas, la capilaridad, la transparencia o la translucidez, etc.



2.6 Tabla de densidades de los materiales de construcción

Siendo como es una propiedad muy fácil de determinar y de gran importancia en la tecnología de la arquitectura, hay que conocer la densidad de la mayoría de materiales de construcción. A continuación se expone un resumen de la densidad de los más comunes.

Materiales o elementos constructivos	Kg / m ³
Aire	1,29
Poliestireno expandido	15-30
Espuma de poliuretano	24-30
Manta de fibra de vidrio	16-48
Corcho prensado	128
Madera de balsa	160
Plafón aislante ligero de fibras	240-350
Vermiculita exfoliada	80-144
Placas rígidas de espuma de vidrio	128-136
Plafones aislantes semipesados de fibras	350-800
Hormigón aireado de baja densidad	320-700
Placas de paja comprimida	365
Placas de lana de madera	450
Hormigón de vermiculita exfoliada	400-800
Tablero aglomerado	450-800
Madera (coníferas), contrachapado	513
Madera (frondosa)	769
Cal	1.000
Arcilla expandida, suelta	320-1.040
Muro de bloque de yeso	1.000
Muro de ladrillo hueco (tochana)	1.200
Yeso, escayola	1.250
Cemento	1.200-1.600
Muro de ladrillo perforado (Gero)	1.500
Muro de bloque de mortero	1.300-1.600
Mortero de cal	1.600
Mortero de cemento	2.000
Arena	1.500
Grava	1.700
Muro de ladrillo macizo (tocho)	1.800
Muro de ladrillo silicocalcáreo	2.000
Hormigón en masa	2.100-2.300
Roca calcárea	2.310-2.400
Arenisca	2.500-2.600
Hormigón armado	2.500
Vidrio	2.520-2.600
Mármol, roca calcárea compacta	2.800
Pizarra	2.590-2.800
Granito	2.660-2.800
Aluminio	2.700
Basalto	3.000
Zinc	7.200
Estaño	7.400
Acero	7.850
Bronce, latón	8.500
Cobre	9.000
Plomo	11.340

3



propiedades de los gases, líquidos, pastas y sólidos granulares

3.1 Introducción

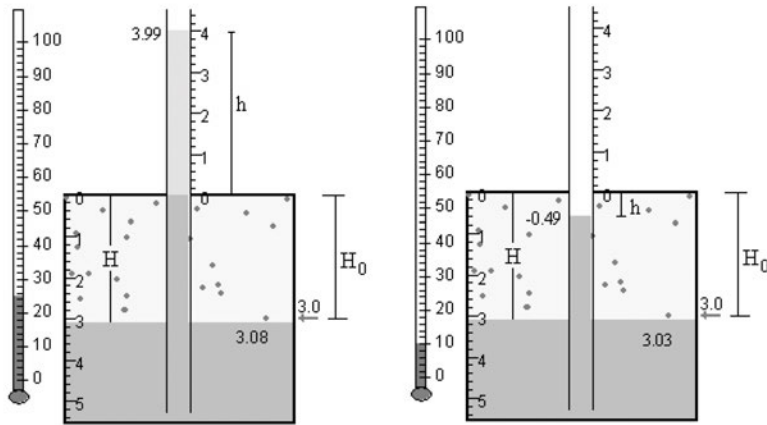
La casi totalidad de los materiales que configuran los edificios presentan un estado sólido de la materia. Es decir, se trata de materiales, objetos o elementos constructivos que no se deforman fácilmente y que no cambian de forma sea cual sea su contenedor. Es cierto que para fabricar alguno de estos materiales (por ejemplo el hormigón) se deben utilizar otros que no se pueden clasificar simplemente como sólidos, bien por que no lo son (es el caso de los líquidos y los gases), o bien porque tienen un comportamiento y propiedades peculiares, como los materiales granulares.

En este capítulo se abordarán las propiedades más características de estos materiales.

3.2 Los gases

En realidad es difícil hablar de gases como material de construcción. En general el único gas que suele aparecer, si bien no en los cálculos, sí en el estudio teórico de un edificio, es el aire y, de forma indirecta, el vapor de agua que contiene. El comportamiento de las cámaras de aire desde el punto de vista del aislamiento térmico y acústico, es un buen ejemplo. También el aire forma parte de los materiales porosos, sean poros abiertos o cerrados, y en este sentido habría que citar la presencia de otros gases en la fabricación de materiales espumados como son los plásticos utilizados como aislamiento térmico: poliuretano, polisocianurato, etc.

Estos gases, cuyos nombres no son muy interesantes desde el punto de vista arquitectónico, suelen tener un coeficiente de transmisión térmica inferior al del aire; por tanto, el conjunto formado por el plástico y el gas expansivo mejora el rendimiento aislante.



Las propiedades más interesantes de los gases que intervienen en la construcción son las siguientes:

3.2.1 La presión

Normalmente se considera la presión atmosférica del lugar donde se sitúa un edificio. No obstante, cuando intervengan instalaciones mecánicas de ventilación, o simplemente como consecuencia del movimiento del aire (efecto Venturi), se producirán sobrepresiones en un lugar respecto de otro. En este caso, la presión (o la sobrepresión) será un dato importante a considerar. Un ejemplo muy característico de esta importancia lo tenemos en las construcciones hinchables o neumáticas donde la forma y la estabilidad del conjunto se consigue gracias a esta sobrepresión.

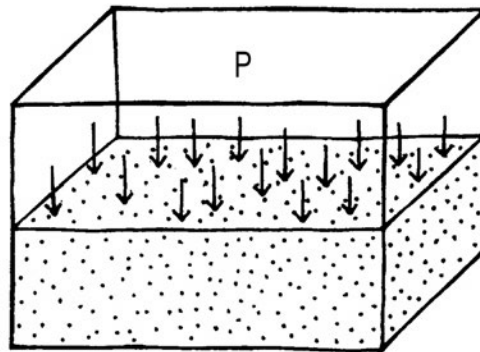
Presión normal del aire (a nivel del mar): 1 atm. 1013 mbar, 760 mmHg, 1kg/cm², 10 m.c.a.

Presión (de un fluido) (σ):

Fuerza que, por unidad de superficie, ejerce un fluido sobre un sólido. (Esta presión es función de la altura del fluido que existe sobre el punto donde se mide la presión).

Unidades de medida: N/m², kg/cm², atmosfera, bar, mmHg., m.c.a.

Palabras relacionadas: sobrepresión (f), compresión (f)



3.2.2 La presión de vapor

La presión de vapor de un gas es aquella en la cual el gas se encuentra en equilibrio con su propio líquido. En el caso del vapor de agua es, obviamente, con el agua. Esta propiedad, depende directamente de la temperatura.

Presión de vapor (P):

Presión constante en que un líquido se encuentra en equilibrio con su vapor, a una determinada temperatura.

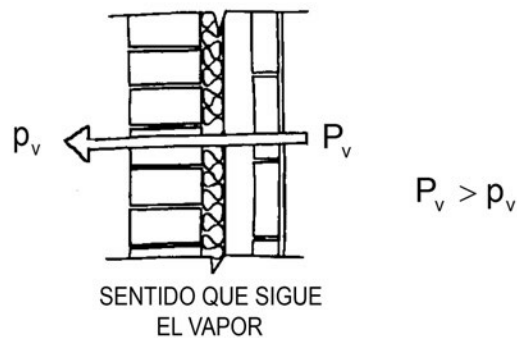
Unidades de medida: n/m^2 , kg/cm^2

Hay que prestar atención al hecho de que muchas veces los textos se refieren a la presión de vapor con el término de **presión de saturación**, mientras que utilizan el término **presión de vapor** para designar la presión parcial de vapor del agua en el conjunto del aire, ya que el aire, como es bien sabido, es una mezcla de nitrógeno (78%), oxígeno (21%) y otros gases (argón, CO_2 , Vapor de agua, etc.).

Presión de vapor del agua en función de su temperatura

Temperatura °C	Presión	
	mm.Hg	kPa
0	4,581	0,611
10	9,209	1,23
15	12,653	1,69
20	17,535	2,34
30	31,824	4,24
40	55,335	7,38

Desde el punto de vista de la edificación, esta presión de vapor (o presión parcial del vapor) es interesante, ya que indica cuál es el sentido del paso de vapor de agua a través de un cerramiento, ya que siempre irá desde el lado donde exista una mayor presión de vapor hacia el lado donde la haya menor.



3.2.3 La humedad (absoluta o relativa)

Como el aire suele contener una cierta cantidad de agua, esta puede ser medida. La cantidad de vapor que existe en un determinado volumen de aire es lo que se define por **humedad absoluta** del aire. Es un valor que por sí mismo no tiene gran utilidad.

Sin embargo, se utiliza para determinar la **humedad relativa**, ya que esta última es el cociente de dividir la humedad absoluta por la humedad de saturación.

Humedad absoluta (Ha):

Cantidad de vapor de agua que contiene una unidad de volumen de gas (el aire, por ejemplo.)

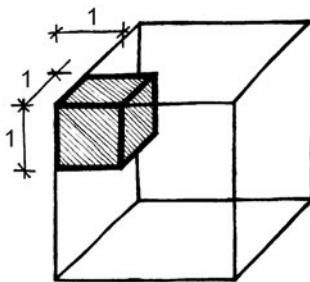
Unidades de medida: g/m^3

Palabras relacionadas: húmedo, -a (a), humedecer (v), humectante (m)

Humedad relativa (Hr):

Relación existente entre la humedad absoluta y la humedad de saturación.

Unidades de medida: unitario %



$$H_a = \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{unidad de volumen}}$$

$$H_r = \frac{H_a}{H_s}$$

La humedad de saturación indica la cantidad de vapor de agua que existe en un determinado volumen de aire en el momento en que se llega a la presión de vapor de agua, es decir, ya no

puede haber más, ya que en este caso se produciría la condensación del vapor para pasar al estado líquido. Se pueden, pues, establecer las siguientes relaciones equivalentes:

$$\text{Humedad relativa} = (\text{humedad absoluta} / \text{humedad de saturación}) * 100$$

$$\text{Humedad relativa} = (\text{presión de vapor} / \text{presión de saturación}) * 100$$

$$\text{Humedad relativa} = (\text{presión parcial de vapor} / \text{presión de vapor}) * 100$$

Humedad de saturación (Hs):

Cantidad de vapor de agua que contiene una unidad de volumen de un gas, cuando la presión parcial de vapor de agua es igual a la presión de vapor de agua a la temperatura en la cual se encuentra el gas.

Unidades de medida: g/m³

3.2.4 Otras propiedades del aire

Densidad: 1,29kg/m³

Conductividad térmica (λ): 0,026W/m·K=0,022Kcal/m·K·h

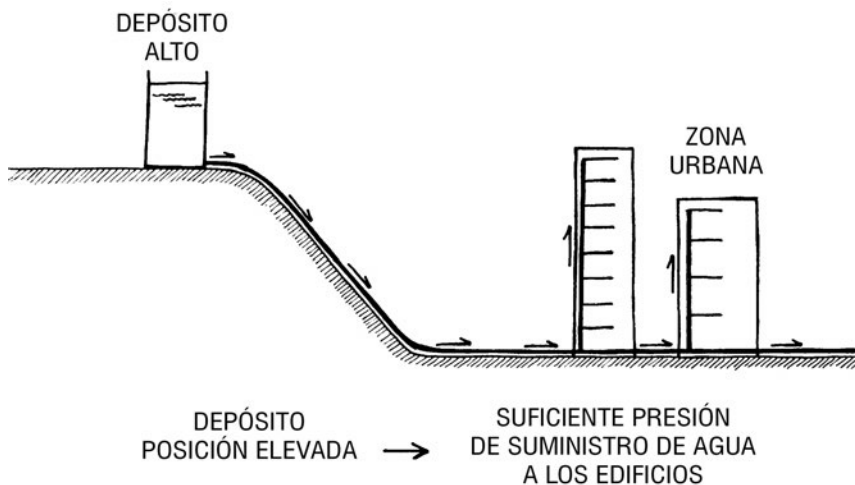
3.3 Los líquidos

Dejando de lado los líquidos que pueden formar parte de la maquinaria utilizada en el acondicionamiento higrotérmico de los edificios, es difícil encontrar líquidos como elementos que formen parte de los edificios (alguna cámara de agua, en todo caso). No obstante, muchos de los materiales o elementos constructivos utilizados en los edificios se han realizado utilizando agua o algún otro líquido. Tanto es así que se utiliza el término “construcción húmeda” para referirse a la construcción que usa agua (o compuestos que la necesitan) como elemento imprescindible.

Los líquidos, como fluidos que son, comparten propiedades con los gases, pero desde el punto de vista de la tecnología de la edificación nos referimos solo a algunas propiedades que pueden afectar la bondad del comportamiento del propio material. En este sentido habría que, en primer lugar, establecer cuánto y cómo interviene un líquido en la tecnología edificatoria.

Un primer aspecto a considerar es el de la distribución y conducción del agua potable en un edificio o en una zona urbana. Hay dos propiedades que son importantes: la **presión** y el **caudal**.

propiedades de los materiales de construcción



La **presión** indica la fuerza que ejerce el agua sobre los conductos donde está contenida y por tanto la capacidad de llegar más alto en una edificación, ya que, además de otras fuerzas de fricción, ha de vencer la fuerza de la gravedad. Obviamente, se utilizan unidades de presión para medirla (kg/cm^2 , bars, atm, etc.) aunque en este caso, las unidades m.c.a. (metros de columna de agua) son especialmente útiles, ya que dan, de forma rápida, una idea de hasta qué altura del edificio se puede llegar a suministrar agua sin necesidad de un soporte energético adicional. Las presiones de suministro de agua normales van desde 1 a 6 kg/cm^2 , una presión mayor (que permite llegar a alturas muy superiores) sería incómoda para los niveles inferiores y exigiría unas tuberías y unas conexiones mucho más caras. Por el contrario, una presión inferior produciría una carencia de confort en la ducha, lavamanos, etc., y haría inviable el uso de algunos aparatos domésticos o industriales.

El **caudal** indica la cantidad de agua que se puede utilizar por unidad de tiempo. Esta propiedad va muy ligada al concepto de simultaneidad de uso, ya que un caudal determinado puede ser suficiente de forma general, pero insuficiente en un momento determinado. Las unidades de medición más utilizados son los litros/segundo, litros/hora o m^3/hora .

Dejando a un lado estos aspectos, de interés para el usuario, desde el punto de vista de la mecánica de los fluidos (cálculo de instalaciones, sobre todo), hay que considerar dos propiedades de los líquidos que intervienen en una serie de fenómenos habituales en la edificación: la **tensión superficial** y la **viscosidad**.

Tensión superficial (λ):

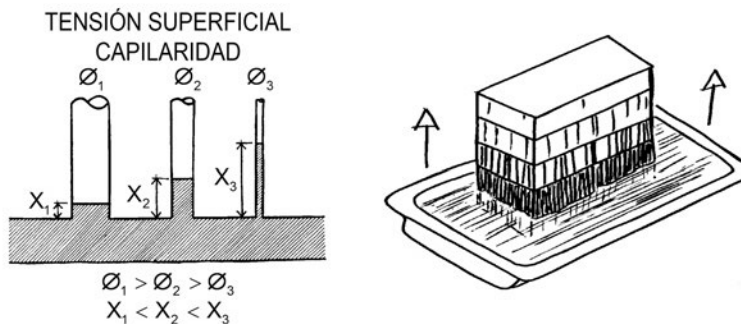
Manifestación de las fuerzas de cohesión molecular de una sustancia líquida o en una solución, en la superficie de separación con otro medio, que tiende a conferirle la forma de mínima energía potencial.

Unidades de medida: n/m , kg/cm

La **tensión superficial** de un líquido, que mide la fuerza necesaria para romper la superficie y que es la responsable de la forma esférica de las gotas de agua (reduciendo al mínimo posible la superficie de la gota), es también la responsable del fenómeno de la capilaridad. Esta tensión superficial provoca que al comunicar un líquido con un tubo, el nivel de éste suba a través del tubo hasta una altura determinada. La tensión superficial ha de soportar el peso de esta columna de líquido y por tanto, la altura disminuirá cuando aumente la densidad del líquido o el diámetro del tubo. Para que este fenómeno tenga una importancia significativa, el diámetro del tubo ha de ser realmente muy pequeño, es decir, un capilar (palabra derivada de cabello). En la construcción de edificios, con el fin de prevenir la capilaridad del agua a través de la mayoría de los materiales porosos o granulares, se requiere un diseño constructivo muy preciso para evitar, de esta forma, humedades no deseadas.

Tensión superficial del agua = 0,074 N/m

Pero no siempre el fenómeno de la capilaridad es negativo. Cuando se trata que un determinado producto (un hidrofugante, un fungicida, etc.) penetre en toda la masa de un material o elemento constructivo, la tensión superficial del líquido adquiere un aspecto positivo que hay que potenciar.



Viscosidad (η):

Resistencia que ofrece un fluido al movimiento relativo de sus partículas, fricción interna.

La **viscosidad** no tiene una consideración superficial, sino que mide el grado de fricción entre las moléculas que forman el líquido y la fricción entre ellas y las moléculas del conducto por donde circula. Es por eso que esta propiedad tiene una especial importancia cuando se valora el movimiento de este líquido. En la mecánica de fluidos en general, y en el diseño y cálculo de instalaciones en particular, a menudo se utilizará el **coeficiente de viscosidad “ η ”**.

La mayoría de las veces se trata de instalaciones de agua y de aire acondicionado; por tanto, lo que más interesa será el coeficiente de viscosidad del agua y del aire. Sin embargo, con el fin de comparar valores, la tabla siguiente detalla algunos de ellos.

propiedades de los materiales de construcción

Coefficiente de viscosidad de diversos fluidos

Fluido	T(°C)	$\eta(\text{mPas} \cdot \text{s})$
Agua	0	1,80
	20	1,00
	60	0,65
Sangre	37	4,00
Aceite de motor	30	200,00
Glicerina	0	10.000,00
	20	1410,00
	60	81,00
Aire	20	0,018

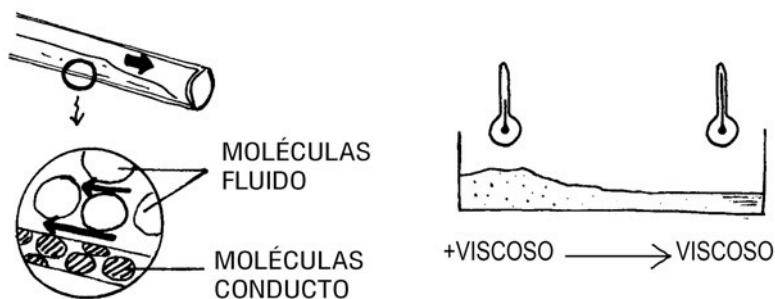
Es fácil de apreciar que en la mayoría de los fluidos baja el coeficiente de viscosidad a medida que aumenta la temperatura. En la edificación hay ciertos fluidos en los cuales el coeficiente de viscosidad baja cuando se remueven. Esta propiedad se llama **tixotropía** y tiene especial interés en los productos como las pinturas (viscosas en reposo y poco viscosas cuando se remueven) y los lodos utilizados en la construcción de pilotajes y pantallas de contención en terrenos poco coherentes. La propiedad inversa, **dilatancia**, es poco aprovechada desde el campo de la edificación arquitectónica.

Tixotropía:

Propiedad de ciertos materiales presentados en forma coloidal que cuando se remueven o se agitan se hacen más líquidos (disminuyendo su viscosidad) y cuando se dejan reposar tienen la capacidad de adquirir de nuevo su consistencia original.

Antónimo: dilatancia

Palabras relacionadas: tixotrópico, -a (a)



3.4 Las pastas

Se llamará pasta a aquel estado de la materia intermedio entre un líquido y un sólido; dicho de otra manera, aquel líquido que tiene una viscosidad muy elevada o aquel sólido que tiene una cohesión muy reducida. De las pastas, más que el coeficiente de viscosidad, interesa la capacidad de mantener la forma hasta que se endurezca, ya que el estado final de cualquier pasta en la edificación es el estado sólido.

Consistencia (docilidad):

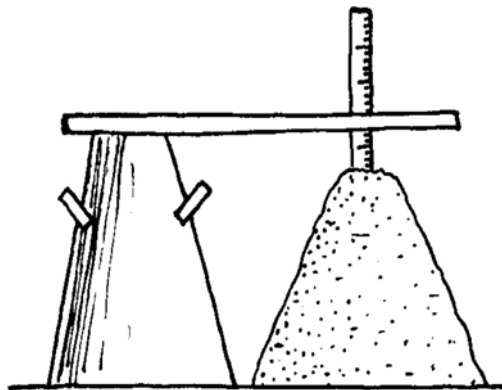
Manifestación de la cohesión existente entre las partículas que constituyen una masa pastosa.

Clasificación: líquida, fluida, blanda, plástica y seca

Palabras relacionadas: consistente (a)

A parte de las masillas, las pastas sellantes, etc., el hormigón (y también el mortero) es la pasta más común en la edificación. Y es precisamente la tecnología del hormigón la que ha desarrollado una forma muy particular de medir la docilidad o consistencia de una pasta. Se utiliza un molde en forma troncocónica, llamado **cono de Abrams**, que se llena de hormigón hasta la parte superior (la sección más angosta), después se retira el molde y se mide cuanto ha bajado la masa de hormigón, respecto a la vertical. En función de este descenso se establecen las consistencias siguientes:

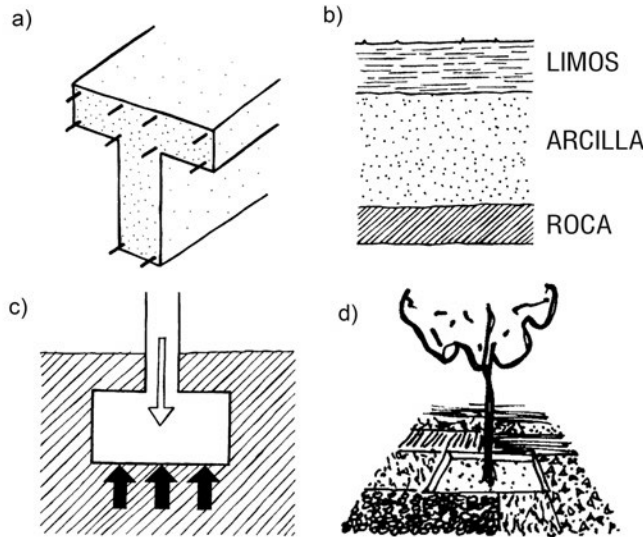
Asiento del cono de Abrams (cm)	Tipo de consistencia
0-2	Seca
3-5	Plástica
6-9	Blanda
10-15	Fluida



3.5 Materiales granulares

Son aquellos materiales compuestos por unidades de diámetros muy pequeños, y forman una masa que fácilmente tiende a ocupar el volumen que la contiene. En construcción se encuentran estos tipos de materiales en cuatro fases muy diferenciadas:

- Como elemento que sirve para formar otros compuestos: mortero, hormigón.
- Como elemento que se utiliza como tal, es decir, en forma granular: arcilla expandida, arena (terraplenes), etc.
- Como elemento que, sin utilizarse directamente, hace de soporte y ejerce presión sobre las edificaciones: el terreno natural.
- Como elemento configurador de zonas exteriores no pavimentadas: taludes, ajardinamientos.



A parte de las propiedades que, como sólidos que son, comparten con otros materiales de la construcción (por ejemplo la resistencia, el coeficiente de conductividad térmica, etc.), los materiales granulares tienen una serie de propiedades que los definen mucho mejor que ninguna otra. Entre otras se pueden considerar: el peso o densidad (aparente, seca, saturada, sumergida), porosidad, índice de huecos, humedad, ángulo de rozamiento interno, ángulo de talud natural, finura (granulometría), coeficiente de uniformidad, módulo de compresión edométrico, coeficiente de balasto (reacción), compacidad, etc

Compacidad:

Propiedad de un material granular que da una idea de su densidad aparente y, por tanto, de la cantidad de aire en oclusión dentro de su masa.

Antónimo: porosidad

Palabras relacionadas: compacto, -a (a), compactar (v), compactibilidad (f), compactación (f), compactadota (f), compactamiento (m), compactómetro (m), poroso, -a (a)

Finura:

Cualidad de un material granular que informa del diámetro de los granos que lo forman.

Palabras relacionadas: fino, -a (a)

La medida del grano (partícula elemental que forma un material granular) determina, de forma concreta, las propiedades de este material. En los suelos, según la medida del diámetro de la partícula (suponiendo un **coeficiente de uniformidad** alto), se puede distinguir los tipos siguientes:

Arcilla	$< \varnothing 0,002 \text{ mm}$
Limo	$< \varnothing 0,002 \text{ a } < \varnothing 0,06 \text{ mm}$ (fino, medio, grueso)
Arena	$< \varnothing 0,06 \text{ a } < \varnothing 2 \text{ mm}$ (fina, media, gruesa)
Grava	$\varnothing 2 \text{ a } 60 \text{ mm}$ (fina, media, gruesa)
Bolos	$\varnothing 60 \text{ a } 200 \text{ mm}$
Rocas	$> \varnothing 200 \text{ mm}$

El tamaño tan pequeño de los granos de arcilla confiere a este material una propiedad muy importante: la **cohesión**. También se puede encontrar en la mayoría de los suelos compuestos, y va ligada a la cantidad de arcilla que contiene el suelo. La **cohesión** también es la responsable de una propiedad de los terrenos llamada **altura crítica de excavación vertical** y que, como su nombre indica, hace referencia a la capacidad de excavar verticalmente un suelo sin tener que apuntalarlo. Generalmente, la cohesión de los materiales granulares es inversamente proporcional a su humedad.

Cohesión (c):

Fuerza de atracción que mantiene unidas las moléculas de un cuerpo o partículas de un material granular.

Unidades de medida: n/m^2 , t/m^2 , kg/cm^2

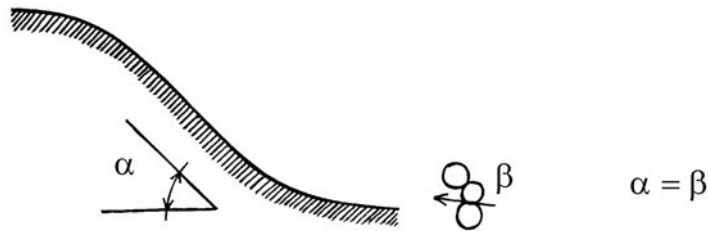
Palabras relacionadas: cohesivo, -iva (a), cohesionar (v)

En este sentido, se puede hablar de la consistencia del suelo coherente (arcilloso) y de los estados semisólidos, plásticos y líquidos de la arcilla. El punto de humedad que determina el paso de un estado a otro recibe el nombre de *límites de Atterberg* (en honor a su autor): límite líquido (W_L), límite plástico (W_p) y límite de retracción (W_s).

El **índice de plasticidad** (I_p) es la diferencia entre los límites líquido y plástico. Proporciona una idea de la confianza que, desde el punto de vista de la mecánica del suelo, merece un suelo arcilloso, en el sentido de la facilidad que tiene de perder resistencia.

propiedades de los materiales de construcción

Contrariamente a las arcillas, encontramos los suelos arenosos, suelos con poca o ninguna cohesión, ya que la medida del grano hace que las fuerzas de atracción molecular sean muy pequeñas frente al peso de cada partícula. En estos suelos se observan otras propiedades: el **ángulo de talud natural**, el cual da una idea de la capacidad de dejar un terreno en forma de plano inclinado; el **ángulo de rozamiento interno**, que siempre coincide con el ángulo de talud natural si la cohesión del suelo es cero y que informa de las fuerzas de rozamiento que se generan en el suelo y, por tanto, de la resistencia a corte del propio suelo en función de la compresión a la cual está sometido.



Ángulo de talud natural:

Ángulo o pendiente que tiende a adquirir la superficie de un material granular amontonado.

Unidades de medida: grados

Ángulo de rozamiento interno:

Ángulo teórico, la tangente del cual, relaciona la resistencia al corte de un material granular con la presión a la cual esta sometido (siendo c la cohesión del material granular).

Unidades de medida: grados

Normalmente, la mayoría de los suelos no son puros, sino que están compuestos por diferentes fracciones de cada uno de estos que se han considerado. A fin de poder ponderar o determinar la composición de un determinado suelo se ha de estudiar su **granulometría** (en realidad la **curva granulométrica**). Esta curva representa en las abscisas la abertura de un tamiz y en las ordenadas el tanto por ciento del peso del suelo que ha atravesado este tamiz. De la pendiente de esta curva (entre los valores de ordenadas correspondientes al 10 y 60 %) se obtiene el llamado **coeficiente de uniformidad "U"** que clasifica los suelos en homogéneos y uniformes por un costado y heterogéneos o continuos por otro.

propiedades de los gases, líquidos, pastas y sólidos granulares



$U < 5$	Suelo uniforme (por ejemplo el loess)
$15 > U > 5$	Suelo heterogéneo (arena, limo arcilloso)
$U > 15$	Suelo muy heterogéneo (gravas, suelo de meteorización, etc.).

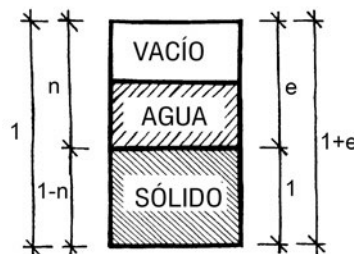
Los áridos del hormigón, como ejemplo, suelen tener un valor de **U** en torno a 36.

Los materiales granulares, incluso los más heterogéneos, contienen en su volumen una gran cantidad de espacios libres a causa de la propia geometría de los granos que los configuran. Estos espacios se llaman **vacíos** y su cuantificación se hace a través de dos propiedades: la porosidad y el índice de huecos. La **porosidad "n"** mide la parte del volumen unitario no ocupado por las partículas de la materia sólida, por tanto se mide con un valor de cero a uno. El **índice de huecos "e"** es la relación entre el volumen de los vacíos y el volumen de las partículas de la materia sólida. Su valor teórico oscila entre cero e infinito.

$$n = \frac{e}{(1 + e)}$$

$$e = \frac{n}{(1 - n)}$$

Es obvio que estos huecos pueden estar nada, parcialmente o totalmente ocupados por agua, ya que no se trata de una porosidad cerrada de un sólido verdadero.



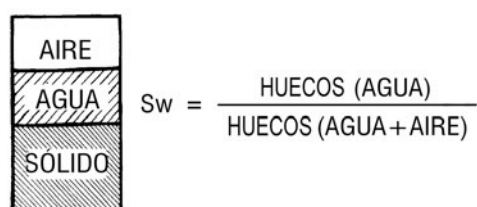
propiedades de los materiales de construcción

La **humedad (w)** es la propiedad que cuantifica esta agua y expresa la relación entre el peso del agua existente en el suelo y el peso en seco (de las partículas sólidas) de este suelo. Los valores de la humedad son muy variables:

Arena húmeda	0,02 a 0,10
Arcilla arenosa	0,20 a 0,40
Arcilla	0,20 a 0,60
Suelo orgánico	0,50 a 8,00

El **grado de saturación** “ S_w ” o “ n_w ” indica la humedad relativa, es decir, mide la proporción de los vacíos del suelo que están ocupados por el agua.

$S_w = 0,00$	suelo seco
$S_w = 0,00$ a $0,25$	suelo ligeramente húmedo
$S_w = 0,25$ a $0,50$	suelo húmedo
$S_w = 0,50$ a $0,75$	suelo muy húmedo
$S_w = 0,75$ a 1	suelo casi saturado
$S_w = 1$	suelo saturado



Como conclusión, y una vez descrita la estructura de un material granular, se pueden considerar los diferentes pesos (o densidades) que se utilizan en la tecnología de la edificación. Así pues, el **peso aparente** (o **peso húmedo**) (γ) será el peso de una muestra del material granular tal y como se encuentra *in situ*. El **peso seco** (γ_d) es el que se obtiene una vez que se ha desalojado el agua intrínseca (no el agua que se utiliza en la composición química del material). Por el contrario, el **peso saturado** (γ_{sat}) es el que corresponde a un suelo donde todos los huecos han sido ocupados por el agua. El **peso del material** (γ_s) designa el peso de las partículas sólidas que forman el suelo y se aproxima a $2,70 \text{ T/m}^3$. Finalmente, el **peso sumergido** (γ') es el que corresponde a una masa de suelo saturada, sumergida dentro del agua (*in situ*, bajo el nivel freático) y por tanto sometido al empuje de Arquímedes. De forma numérica se pueden relacionar todos estos pesos entre ellos con las ecuaciones siguientes:

$$\gamma = (1 - n) \cdot \gamma_2 + n_w$$

$$\gamma_d = (1 - n) \cdot \gamma_2$$

propiedades de los gases, líquidos, pastas y sólidos granulares

$$\gamma_{sat} = (1 - n) \cdot \gamma_2 + n$$

$$\gamma' = (1 - n) \cdot \gamma_2 + 1$$

El código técnico hace una clasificación de acuerdo con las características empíricas de los suelos.

Valores orientativos de densidades de suelos

Tipo de suelo	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)
Grava	20 – 22	15 – 17
Arena	18 – 20	13 – 16
Limo	18 – 20	14 – 18
Arcilla	16 – 22	14 – 21

Propiedades básicas de los suelos

Clase de suelo	Peso específico aparente (kN/m ³)	Ángulo de rozamiento interno
Terreno natural		
Grava	19 – 22	34° - 45°
Arena	17 – 20	30° - 36°
Limo	17 – 20	25° – 32°
Arcilla	15 – 22	16° – 28°
Rellenos		
Tierra vegetal	17	25°
Terraplén	17	30°
Pedraplén	18	40°

4



propiedades de la masa de los sólidos

4.1 Introducción

Los edificios están formados, principalmente, por materiales sólidos. Es cierto que durante el proceso de construcción pueden existir estados líquidos y pastas, pero una vez colocados en obra se endurecen y adquieren un estado sólido. Así pues, el análisis de las propiedades de los sólidos ocupará la mayor parte del estudio de las propiedades de los materiales de construcción.

En este capítulo se abordarán aquellas propiedades que muestran directamente cómo se estructura la materia que forma un elemento o material de construcción y como éstas afectan a su comportamiento. En capítulos sucesivos se abordarán sus otras propiedades.

4.2 Los sólidos y sus vacíos

Así como sucede con los materiales granulares estudiados en el capítulo anterior, los sólidos también suelen tener espacios vacíos en su interior. Esta propiedad se denomina **porosidad** y su contrario **compacidad**. La razón de estos huecos es muy diferente. No se trata ya de unir un conjunto de pequeños grandes sólidos que, a pesar de tener diferente granulometría, dejan espacios entre ellos (como si se tratara de un montón de bolas de vidrio), sino que hablamos de sólidos que durante su proceso de formación han encerrado volúmenes de aire en su interior. Es un proceso similar al de la formación de los huecos del conocido queso Gruyère.

Porosidad:

Volumen no ocupado por la fracción sólida. Normalmente estos vacíos están llenos de aire, pero pueden contener, normalmente, agua u otros gases o líquidos. Pueden distinguirse dos tipos de porosidad: abierta, cuando todos los poros están conectados entre sí, y cerrada, cuando los poros son independientes los unos con los otros.

Antónimo: compacidad

Unidades de medida: % ($100, \text{volumen de la fracción sólida} / \text{volumen total}$)

Compacidad:

Volumen de un material o elemento constructivo ocupado por la fracción sólida.

Antónimo: porosidad

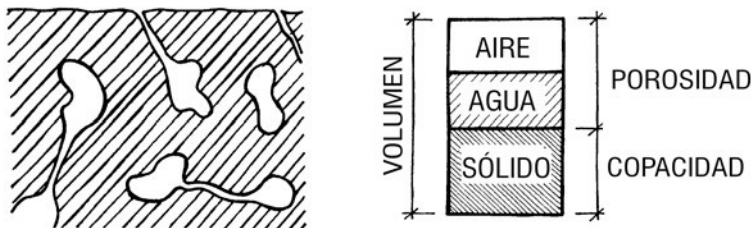
propiedades de los materiales de construcción

Unidades de medida: % (volumen de la fracción sólida / volumen total); "Proctor %"

La existencia de estos vacíos es importantísima en el comportamiento de estos materiales, si bien hay que diferenciar entre aquellos materiales en los que los huecos que contiene están conectados entre sí (por tanto se dirá que tienen una porosidad abierta) y aquellos otros donde los vacíos no están conectados entre sí (se considerarían con porosidad cerrada).

En primer lugar, y es obvio, una gran porosidad implica una disminución del peso o de la densidad en este material. No se pueden coger dos materiales diferentes y pretender hacer comparaciones entre ellos según sus respectivas porosidades o densidades. No solamente la densidad disminuye, sino que también lo hace la resistencia mecánica (en general), la masa, y, por tanto, la capacidad de aislamiento acústico ante el ruido aéreo, la capacidad calorífica del elemento constructivo hecho de este material, etc.

Pero no todas las propiedades disminuyen con este descenso de la masa o aumento de la porosidad. El hecho de que los vacíos interiores queden ocupados por aire y que este aire, sin posibilidades de hacer convecciones, se comporte como un buen aislamiento térmico, hace que los materiales muy porosos sean casi siempre materiales de baja conductividad térmica y, por tanto, se utilicen para la formación de elementos constructivos como aislantes térmicos.



4.3 La absorción y la adsorción

Si un material tiene poros abiertos, es decir, tiene espacios vacíos conectados entre sí y al interior y existe la posibilidad de que estos espacios queden ocupados por otros fluidos, se dirá que hay **absorción**. Desde el punto de vista de la construcción arquitectónica, el caso que más interesa es el de la **absorción** del agua o del vapor de agua.

Absorción:

Capacidad de un material o elemento constructivo poroso, de llenar sus poros con un fluido (agua, normalmente).

Unidades de medida: % (100, volumen de poros / volumen total)

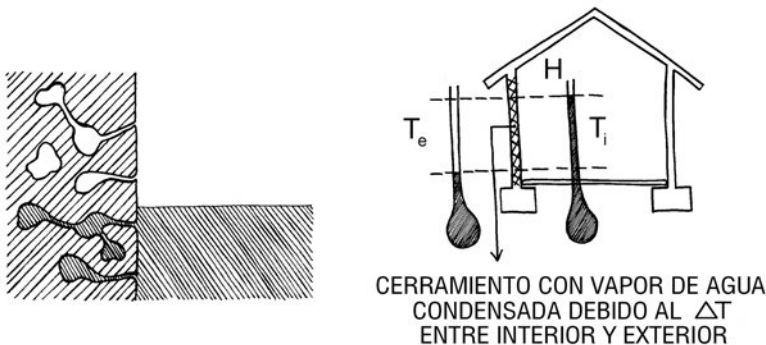
Palabras relacionadas: absorber (v), absorbente (a), abosorbilidad (f), absorciómetro (m)

Si la absorción es de vapor de agua del propio ambiente (la humedad del aire), la propiedad que se considera es la **higroscopicidad**. Es un fenómeno muy importante en la construcción, ya que esta humedad, que penetra en forma de gas hacia el interior de los materiales y los elementos constructivos, puede llegar fácilmente a condensarse (si el material está más frío que el aire del ambiente) y transformarse en agua.

Higroscopicidad:

Capacidad de un material o elemento constructivo poroso, de absorber rápidamente la humedad (vapor de agua).

Palabras relacionadas: higroscópico, -a (a) higrómetro (m), higrométrico, -a (a), higroscópico (m), higrometría (f)



Esta agua puede, simplemente, llenar los poros de los sólidos de forma que varíe la humedad relativa o, y eso es más importante, puede integrarse en la estructura molecular del sólido y formar una molécula hidratada. Este proceso puede ir acompañado, y así pasa en la mayoría de ocasiones, de un aumento de volumen del sólido, lo cual es origen de diversas patologías en el mundo de la construcción arquitectónica. Por otra parte, si se produce un fenómeno de hidratación hay que, generalmente, aumentar muchísimo la temperatura del sólido para extraer el agua asimilada, mientras que si no se produce esta hidratación, el fenómeno de desecación es espontáneo cuando baja la humedad relativa del aire del entorno.

Hidratación:

Proceso fisicoquímico a través del cual un material (generalmente formado por sales metálicas) asimila moléculas de agua que pasan a formar parte de su propia estructura.

Palabras relacionadas: hidratar (v), hidratable (a), hidratante

No se debe confundir el fenómeno de absorción con el de adsorción. Este último es un fenómeno que poco interesa en la tecnología de la arquitectura, aunque esté presente en técnicas de tratamiento superficiales de vidrios y otros similares.

Adsorción:

Adhesión de los átomos o moléculas de un material sobre la superficie de otro que produce un aumento de la concentración de este en la interficie, y que es debida a las fuerzas residuales físicas y químicas existentes en la superficie de sólidos y líquidos.

Palabras relacionadas: adsorbente (m), adsórbanse

4.4 La humedad

El agua absorbida por los materiales y elementos constructivos tiene una gran importancia, ya que puede alterar muchas de sus propiedades. De forma genérica, se puede decir que la **humedad** de un sólido aumenta su densidad, en ocasiones el volumen (entumecimiento), la conductividad térmica (por tanto pierde sus características de aislante térmico), la conductividad eléctrica, etc. y en materiales orgánicos facilita la putrefacción.

Humedad:

Cantidad de agua contenida en un sólido que puede ser eliminada por desecación.

Unidades de medición: % ($100 \cdot \text{agua} / \text{materia seca}$)

Pero no es a través de la higroscopicidad la única manera de que penetre el agua hacia el interior de un cuerpo. Evidentemente, se puede considerar la absorción directa cuando un cuerpo se sumerge dentro del agua o está en contacto directo y de forma continua (como es el caso de la lluvia). No obstante, existe otra vía típica de absorción del agua: se trata del fenómeno de la **capilaridad**.

Capilaridad:

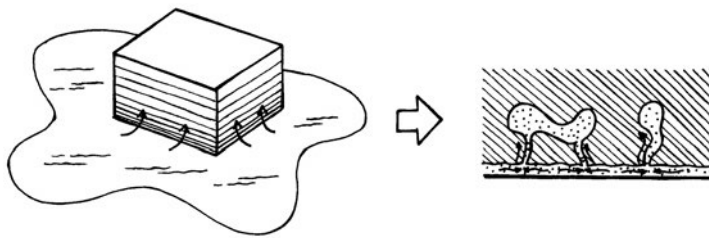
Cualidad de un material o elemento constructivo con porosidad abierta, que al ponerse en contacto con un líquido provoca una succión de éste, el cual pasa a llenar, en mayor o menor grado, los poros del sólido.

Palabras relacionadas: capilar (a) y (m)

Este fenómeno depende de dos características básicas: del diámetro de los capilares y de la tensión superficial del líquido absorbido. En la construcción el líquido será prácticamente siempre el agua, por lo que solo dependerá del diámetro de los capilares (poros abiertos de forma más o menos longitudinal o fibrosa). La capilaridad es la causa de graves problemas de humedad en los edificios: soleras en contacto directo con el terreno, paredes mojadas exteriormente por la lluvia, cerramiento en contacto con depósitos, cisternas, etc.

Hay que considerar a la **humedad** de un sólido, tal y como se hizo en el capítulo anterior, con los calificativos de **humedad relativa** (%), **humedad absoluta**(gr/m^3) y **humedad de saturación**

(100%), ya que cada uno de estos valores proporciona una idea del posible comportamiento de aquellos determinados materiales.



MATERIAL POROSO

4.5 Las eflorescencias

Consecuencia directa del fenómeno de desecación natural por evaporación del agua retenida por los sólidos son las **eflorescencias**. Se trata de un proceso de transformación de un cuerpo en una materia pulverizada por la pérdida del agua de cristalización, se forma una acumulación de sales solubles, a ras del terreno, por la evaporación de soluciones salinas del suelo, y en las superficies de los ladrillos, de los mortero o del hormigón cuando estas soluciones salinas provienen del interior de estos materiales.

Eflorescencia:

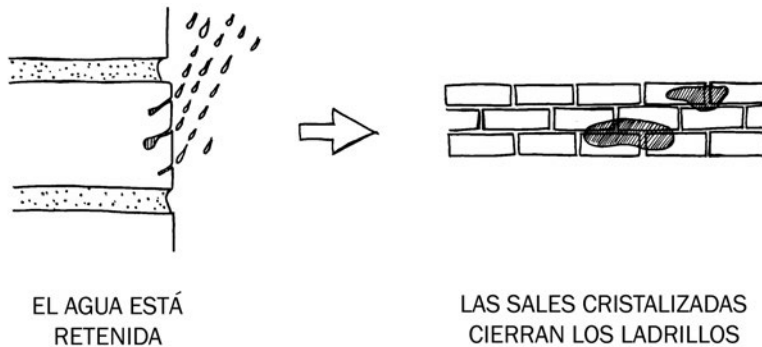
Mancha producida por la cristalización de las sales solubles en la superficie de un material, normalmente los ladrillos cerámicos.

Palabras relacionadas: eflorescente (a)

Aunque en ocasiones parezca lo mismo, no se debe confundir las eflorescencias con las manchas de mortero. Además, aunque en la mayoría de ocasiones las eflorescencias se producen en la superficie de los ladrillos (ya que su capilaridad suele ser superior a la del mortero), el origen de las sales solubles, causantes del problema, puede estar en cualquier de los elementos que configuran una pared: ladrillo y mortero (cemento, agua y áridos).

El fenómeno de las eflorescencias suele desaparecer con el tiempo, ya que las sales cristalizadas son disueltas por el agua de la lluvia y expulsadas fuera de la superficie donde se habían formado. Una excepción de este caso es aquella donde las soluciones salinas provienen directamente del suelo ya que, está claro, la cantidad de sal ahí existente es prácticamente ilimitada.

Dejando a un lado las cualidades estéticas de la superficie afectada, las eflorescencias no suelen provocar patologías en los materiales. Aun así, es posible que durante el fenómeno de cristalización de las sales se produzcan aumentos de volumen en el interior de los poros superficiales y provoquen una rotura, de forma que, a la larga, se lleguen a producir lesiones importantes en los materiales o elementos constructivos involucrados en este proceso.



4.6 La permeabilidad

La existencia de espacios vacíos comunicados entre sí (porosidad abierta) en el interior de un sólido permite el paso de la mayoría de fluidos a través de este. Esta propiedad, llamada **permeabilidad**, depende, obviamente, del tipo de fluido. En los líquidos habrá que fijarse en su viscosidad, en la tensión superficial, la consistencia, etc., mientras que en los gases dependerá, prácticamente, solo del tamaño de las moléculas de cada gas.

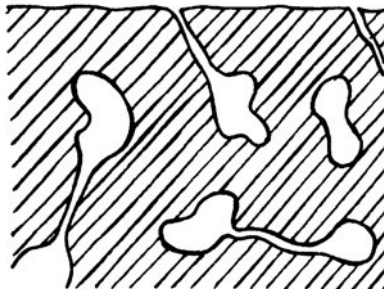
Expresiones como la **permeabilidad** al agua, a los gases, al vapor de agua, al CO_2 , etc., serán comunes en las tablas de características de los cerramientos, ya que tanto la **estanqueidad** de un elemento constructivo como la **condensación** superficial o interior de los cerramientos son propiedades de gran importancia.

Permeabilidad:

Capacidad de un material o elemento constructivo poroso de dejar pasar un líquido o un gas a través de sus poros.

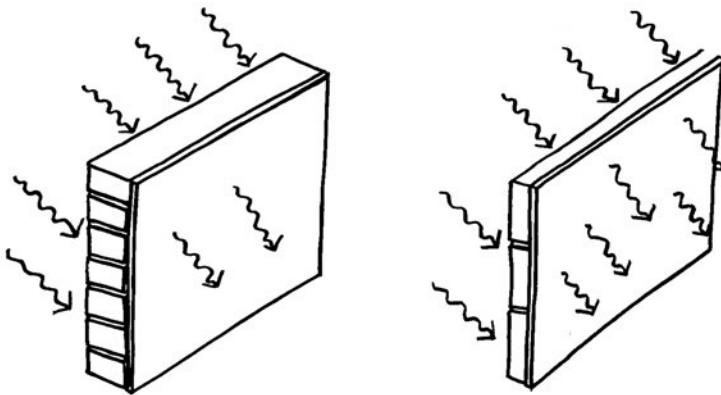
Antónimo: impermeabilidad, estanqueidad, hermeticidad (de un elemento móvil)

Palabras relacionadas: permeable (a), permeabilizar (v), estanco,-a, (a), hermético, -a (a)



4.7 Permeabilidad al vapor de agua

El vapor de agua, como la mayoría de los gases, es capaz de atravesar los sólidos. La cantidad de vapor que pasará (en gramos) a través de un sólido dependerá directamente de la presión a la cual se somete el gas contra el sólido, la superficie a través de la cual pasa, y el tiempo de aplicación, e inversamente al grueso del sólido que hay que atravesar. Del análisis empírico de este fenómeno, se puede establecer una constante propia de cada material que sirve para medir el vapor que pasa a través de éste. Esta propiedad se llama **permeabilidad** o **difusibilidad** al vapor de agua.



Difusibilidad (al vapor de agua):

Capacidad de un material poroso, de dejar pasar un gas (vapor de agua) a través de sus poros. Es la propiedad inversa a la resistividad (al vapor de agua).

Sinónimo: permeabilidad

Unidades de medición: $\text{g}\cdot\text{m}/\text{MN}\cdot\text{s}$ $\text{g}\cdot\text{cm}/\text{mmHg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{día}$

Equivalencias: $1 \text{ g}\cdot\text{m}/\text{MN}\cdot\text{s} = 1,152 \text{ gcm}/\text{mmHg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{día}$

$1,152 \text{ gcm}/\text{mmHg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{día} = 0,000868 \text{ g}\cdot\text{m}/\text{MN}\cdot\text{s}$

Cuando no se trata de evaluar un material sino un elemento constructivo con unas dimensiones determinadas, se utilizará la propiedad denominada **permeancia** al vapor de agua o su contrario **resistencia**.

Permeancia (al vapor de agua):

Capacidad de un elemento constructivo poroso de dejar pasar un gas (vapor de agua) a través de éste, es decir, se incorpora el espesor del elemento en el concepto. Es la propiedad inversa a la resistencia (al vapor de agua).

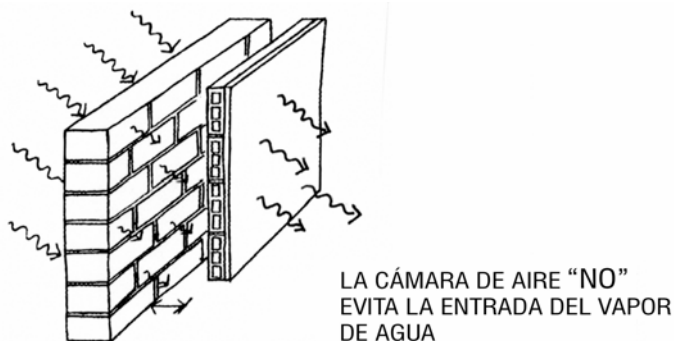
propiedades de los materiales de construcción

Unidades de medición: g/MN.s, g/mmHg.m².día

De acuerdo con el CTE – DB HS1 (salubridad), se puede considerar como **barrera de vapor** aquellos materiales laminados que tengan una resistencia a la difusión de vapor mayor que 10 MNs/g equivalente a 2,7 m².hPa/mg. La importancia de disponer de una barrera de vapor en un cerramiento suele ser difícil de evaluar.

Por un lado, si está colocada correctamente (es decir, al costado caliente del aislamiento térmico), evita que el vapor de agua se pueda condensar sobre este aislamiento y provocar su ineficacia temporal o definitiva (si se trata de un material que se deteriora con la humedad). Es cierto que existen algunos aislantes térmicos que no sufren este inconveniente, como es el caso del poliestireno extruido, pero eso es excepcional.

Por otro lado, con las barreras de vapor se evita una eliminación del vapor que se va producir de forma lenta pero continuada en muchos ambientes de uso cotidiano. Tal es el caso de las barreras de vapor involuntarias situadas en cubiertas cuando la barrera impermeable es un material tipo membrana o lámina (asfalto, PVC, betún). En este caso, o se escoge una solución en cubierta invertida o se debe de colocar, además de la barrera impermeable, una barrera de vapor de agua por debajo del aislamiento térmico.



En algunas publicaciones o en algunos cuadros de características de los materiales, se puede encontrar el llamado **factor de difusibilidad** o **coeficiente de difusibilidad**(μ) al vapor de agua. Este es un valor relativo comparado con la **resistividad al vapor de agua** del aire en reposo. Este factor, obviamente, no tiene dimensiones, ya que es un valor relativo.

RESISTIVIDAD AL VAPOR DE AGUA

Material	MN·s/g·m	mmHg·m²·día/g·cm
Aire en movimiento (ventilación)	0	0
Perlita expandida suelta	0	0
Placas de amianto-cemento	1,6 – 3,5	0,0001 – 0,003
Aire en reposo (cámaras)	5,5	0,004
Arcilla expandida en seco	10	0,0075
Fibra de vidrio	10,23	0,0088
Lana mineral	9,6 – 10,5	0,007 – 0,008
Tablero aglomerado	15 – 60	0,013 – 0,052
Obra de fábrica	30 – 55	0,026 – 0,048
Hormigón ligero – normal	30 – 100	0,026 – 0,086
Ladrillo hueco	34,16	0,0294
Maderas	45 – 75	0,030 – 0,066
Enyesado	60 – 68	0,052
Ladrillo macizo	62,59	0,0538
Enlucido (en general)	100	0,087
Obra de piedra natural	150 – 450	0,13 – 0,38
Contrachapado de madera	1,500 – 6,000	1,30 – 5,20
Ebonita expandida	11,000 – 60,000	9,515 – 51,9
Aluminio	4·10 ⁹	3,44·10 ⁶
Aislamiento térmico	MN·s/g·m	mmHg·m²·día/g·cm
Aglomerados de corcho	92	0,08
Poliestireno expandido	138 – 253	0,12 – 0,22
Poliestireno extruido	523 – 1,047	0,46 – 0,90
Espuma de poliuretano	76 – 184	0,066 – 0,166
Espuma de ureaformaldehído	20 – 30	0,017 – 0,026

Así pues, si un material tiene un factor de difusibilidad igual a 4, quiere decir que su resistividad al vapor de agua vale $4 \cdot 5,5 = 22 \frac{\text{MN} \cdot \text{s}}{\text{g} \cdot \text{m}}$.

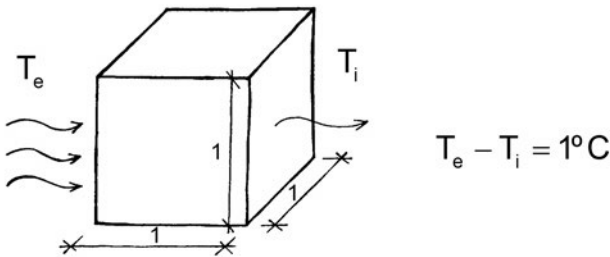
A partir de estos valores, multiplicándolos por el espesor de una capa o lámina, se obtendría la resistencia al vapor de agua de las distintas láminas utilizadas como una barrera de vapor. Considerando que la mayoría de veces se trata de láminas muy finas, de las cuales es muy difícil evaluar el espesor, en este apartado se muestra una tabla con valores de resistencia al vapor de agua.

RESISTENCIA AL VAPOR DE AGUA

<i>Materiales en láminas</i>	<i>MN·s/g</i>	<i>mmHg·m²·día/g</i>
Hoja de aluminio de 8 micras	4,000	347
Polietileno de 0,05 mm	103	9
Polietileno de 0,10 mm	230	20
Poliéster de 25 micras	24	2,08
Papel Kraft	0,43	0,037
Papel Kraft con oxiasfalto	9,7	0,84
Papel vinílico de revestimiento	5 – 10	0,43 – 0,86
Pintura al esmalte	7,5 – 40	0,65 – 3,48

4.8 La filtración

De la misma manera que la difusibilidad mide el paso de vapor de agua a través de un sólido (de un cerramiento en una edificación), se puede medir, de igual manera, el paso del aire a través de este mismo cerramiento. Esta medida se denomina **índice de filtración** del aire y se obtiene de forma experimental, ya que no existe de momento ninguna normativa que defina el tipo y las condiciones del ensayo correspondiente. Evidentemente, el resultado obtenido señala la calidad del aire (m³) que pasa a través de un cerramiento de espesor la unidad (m), y de superficie unitaria (m²), cuando la diferencia de temperaturas (y por tanto existe un gradiente de presión) es de 1°C.



ÍNDICE DE FILTRACIÓN

<i>Materiales tipo</i>	<i>índice (f) (m³/h · °C)</i>
Piedra	0,000124
Ladrillo	0,000201
Pasta de cemento	0,000137
Pasta de yeso	0,000041
Madera	0,001010

La filtración del agua a través de un cerramiento también podría ser motivo de estudio y de evaluación como propiedad de un material o de un cerramiento, pero de momento es un dato que no se recoge en ninguna tabla característica de los materiales ya que, sobre todo en arquitectura, no tiene una aplicación muy útil.

5



propiedades mecánicas de los sólidos

5.1 Introducción

En la construcción hay materiales que se utilizan para configurar la estructura de los edificios, sea de forma especializada (perfiles metálicos, pilares de hormigón, etc.), sea de forma indirecta (paredes de cerramientos, cubiertas en bóvedas, etc.). De estos materiales, las propiedades que más interesan en la edificación, sin duda, son las mecánicas, es decir, aquellas que tienen que ver con el equilibrio o movimiento de los sistemas físicos bajo la acción de las fuerzas.

De todas maneras, no solo interesan las propiedades mecánicas de los materiales o elementos estructurales, sino también de todos los materiales, ya que han de soportar su propio peso, lo cual ya es una acción o una fuerza.

Además, se verá como las propiedades reológicas de los materiales también van ligadas de forma muy directa con las propiedades mecánicas, ya que en la mayoría de ocasiones los movimientos reológicos de los elementos constructivos son coartados o impedidos por otros elementos contiguos.



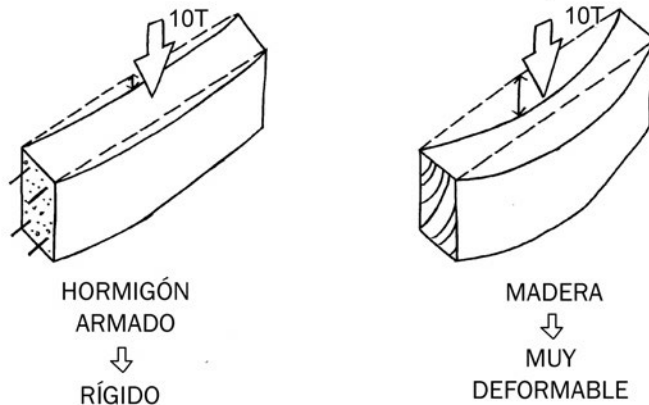
5.2 La deformabilidad de los materiales y elementos de construcción

Todos los materiales sólidos, se empleen o no en la construcción, responden de la misma forma a una acción exterior.

1. Adquieren una aceleración que es proporcional a su masa (según la ley de Newton, lo cual no tiene interés particular en este texto).

propiedades de los materiales de construcción

2. Se deforman almacenando una energía que compensa el trabajo efectuado por la acción al deformar el propio cuerpo.



Así pues, en primer lugar la propiedad que parece más obvia de considerar es la **deformabilidad** del material. No todos los materiales se deforman de forma similar. Una misma pieza, con las mismas dimensiones y sometida a la misma acción, puede tener deformaciones diferentes dependiendo del material con el cual está configurada. En este sentido, se puede hablar de materiales muy deformables, altamente deformables, o sencillamente deformables, y en el otro extremo, de materiales poco deformables, muy poco deformables o sencillamente no deformables (lo cual no es cierto de forma estricta). La propiedad inversa a la deformabilidad es la rigidez, por lo cual se puede considerar un material con la expresión de muy deformable o poco rígido.

La forma de valorar de manera objetiva esta propiedad será obteniendo su módulo de deformación, es decir, aquel valor que relaciona la acción aplicada y el grado de deformación que sufre la pieza o el material afectado. Ahora bien, cuando se somete un cuerpo o un elemento constructivo a una determinada acción, esta provoca sobre el elemento, además de su propia deformación, una reacción igual y de sentido contrario (tercera ley de Newton). La acción y la reacción conjuntamente, son las que en definitiva deforman el cuerpo o elemento de una forma determinada: estirándolo, acortándolo, torciéndolo, flechándolo, etc.

Deformabilidad:

Capacidad de un material o elemento constructivo de deformarse (cambiar de forma). Normalmente esta deformación se produce al modificar el estado tensional del material o elemento.

Antónimo: rigidez

Palabras relacionadas: deformable (a), deformación (f), deformador, -a (a) deformar (v)

propiedades mecánicas de los sólidos

Nota: Cuando se dice que un material es deformable nos referimos al hecho de que es muy deformable, ya que deformables, en mayor o menor grado, lo son todos los materiales.

Rigidez:

Capacidad de un material o elemento constructivo de oponerse a una deformación. Normalmente esta deformación se produce al modificar el estado tensional del material o elemento.

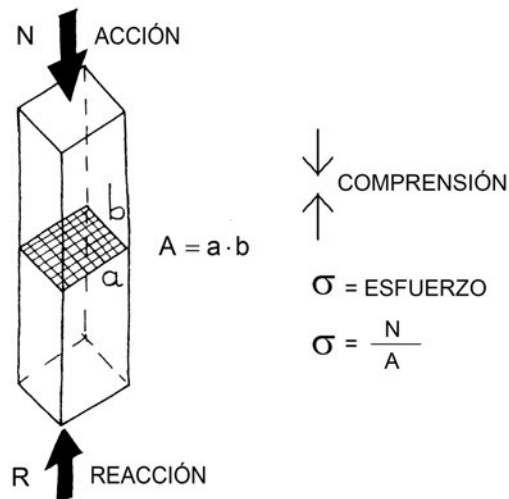
Antónimo: deformabilidad

Palabras relacionadas: rígido, -a (a), rígidamente (adv.), rigidizar (v)

Nota: Cuando se dice que un material es rígido nos referimos al hecho de que es muy rígido, ya que rígidos, en mayor o menor grado, lo son todos los materiales.

Estos diferentes tipos de deformación provocan, en una determinada sección o el plano de cuerpo deformado, unas aproximaciones, separaciones, deslizamientos, etc. de las moléculas que delimitan esta acción. Este fenómeno recibe el nombre de **esfuerzo**, y puede ser de diferentes índoles: de tracción, de compresión, de cizallamiento, de flexión, etc. La forma de cuantificar estos esfuerzos recibe el nombre de **tensión**. La tensión es aquel valor que se obtiene al dividir la acción por la propiedad geométrica que se opone o que resiste esta acción.

Si se trata de un esfuerzo de tracción, compresión o cortante, la propiedad geométrica es la sección transversal perpendicular a la acción (área, m²); si es un esfuerzo de flexión o de torsión, esta propiedad geométrica es el llamado **módulo resistente** (m³).



propiedades de los materiales de construcción

Tipos de esfuerzos	Tensión
Tracción Compresión Cortante	$\sigma = F / S = N / m^2$
Flexión Torsión	$\sigma = M / W = m \cdot N / m^3 = N / m^2$

En general, se puede decir que la tensión a la cual está sometido un material se mide en unidades de fuerza por unidad de superficie (N/m^2), por tanto la geometría afectada por una determinada acción se medirá en unidades adecuadas para que:

$$\text{Tension} = \frac{\text{accion}}{\text{geometria}} = \frac{N}{m^2}$$

Si se efectúa un ensayo en el cual sea posible medir tensiones y deformaciones, se verá que no en todos los materiales, ni en todos los casos, se obtienen unos resultados que permitan considerar un valor de módulo de deformación constante y propio del material. Normalmente, hasta una determinada tensión, se puede considerar que la mayoría de los materiales presentan un valor constante. Esta tensión límite (si existe) se denomina **límite de proporcionalidad** del módulo de deformación.

5.3 Los módulos de deformación

Cuando se trata de esfuerzos axiales (tracción y compresión), el módulo de deformación del material recibe el nombre de **módulo de Young (Y)** o módulo de **elasticidad (E)**. La relación entre el módulo de deformación, la propia deformación y la tensión viene determinada por la conocida ecuación:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

A continuación se expone una tabla con una relación de los módulos de elasticidad más comunes en los materiales de construcción (o de otros ajenos, para poder compararlos).

Módulo de elasticidad

<i>Material</i>	<i>GN/m²</i>	<i>kg/cm²</i>
Acero, níquel	207	2.100.000
Aluminio	70	700.000
Cobre	110	1.100.000
Hierro forjado	190	1.900.000
Latón	90/101	900.000
Plomo	16	160.000
Vidrio	73	730.000
Roca calcárea	6,8 / 31,8	68.000 / 318.000
Arenisca	6,9 / 21	69.000 / 210.000
Mármol	30 / 60	300.000 / 600.000
Granito	41,2 / 70,7	421.000 / 707.000
Pizarra	60 / 90	600.000 / 900.000
Hormigón	20,70 / 34,5	207.000 / 345.000
Hormigón de alta resistencia	34,5 / 44,8	345.000 / 448.000
Hormigón ligero	6,89 / 20,70	68.900 / 207.000
Hormigón aireado.	1,45 / 3,12	14.500 / 31.200
Ladrillo con mortero de cal	1,40	14.000
Ladrillo con mortero de cemento	6,20	62.000
Ladrillo de alta resistencia con mortero de cemento	19	190.000
Madera blanda (conífera)	5 / 11	50.000 / 110.000
Madera dura (frondosa y tropical)	7,4 / 21,6	74.000 / 216.000
Polietileno	1,07 / 1,09	10.700 / 10.900
Polietileno de baja densidad	0,17 / 0,28	1.700 / 2.800
PVC	2,4 / 4,1	24.000 / 41.000
Polipropileno	1,14 / 1,55	11.400 / 15.500
Poliestireno	2,28 / 3,28	22.800 / 32.800
Metacrilato (PMMA)	2,24 / 3,24	22.400 / 32.400
Poliéster	2,07 / 4,41	20.700 / 44.100
Neopreno (100% deformación)	0,7 / 20	7.000 / 200.000
Poliuretano (elastómero 100% def.)	0,17 / 34,5	1.700 / 345.000
Caucho natural (100% def.)	3,3 / 5,9	33.000 / 59.000
Huesos (tracción)	16	160.000
Huesos (compresión)	9	90.000

Si se trata de un esfuerzo de cizallamiento (cortante), la tensión y la deformación también son proporcionales entre sí según la expresión:

$$G = \tau / \gamma$$

$$\tau = G \cdot \gamma$$

Donde **G** es el llamado **módulo de cizallamiento**, **τ** es la tensión y **γ** la deformación.

propiedades de los materiales de construcción

Por otro lado, si sobre un material se aplica un esfuerzo axial (tracción o compresión), se sabe que se produce una deformación en la misma dirección de la acción (alargamiento o acortamiento). Pero no solo se producen estas deformaciones contrarias que tienden a dejar invariable el volumen total del elemento. Es decir, si un objeto se alarga para una tracción, transversalmente se acortará y viceversa.

El parámetro llamado **coeficiente de Poisson (v)** es el cociente entre las deformaciones axiales y transversales de un cuerpo. El módulo de elasticidad, el módulo de cizallamiento y el coeficiente de Poisson están relacionados entre sí a través de la fórmula:

$$E = 2 \cdot G(1 + \nu)$$

$$G = \frac{E}{(2 + 2\nu)}$$

El coeficiente de Poisson oscila entre 0,20 y 0,50 prácticamente en todos los materiales sólidos. Así pues, si se conoce el valor de **E** se puede, fácilmente, averiguar de forma muy aproximada el valor de **G**.

Coeficiente de Poisson (v)

Aluminio	0'33
Latón	0'35
Cobre	0'35
Magnesio	0'29
Níquel	0'31
Acero	0'27
Titanio	0'36
Tungsteno	0'28
Vidrio	0'22
Hormigón	0'20

5.4 Elasticidad y plasticidad

Un aspecto importantísimo que se ha de considerar en el tema de las deformaciones es el de la **reversibilidad** del fenómeno, es decir, si el material recupera o no su forma inicial una vez que ha finalizado la aplicación de la acción que ha provocado la deformación. Si la deformación es reversible, se considera que el material tiene un comportamiento **elástico**, mientras que en el caso contrario, si no recupera, totalmente o parcialmente, la forma inicial, se considera que el material tiene un comportamiento **plástico**.

Elasticidad:

Capacidad de un material o elemento constructivo de contraerse, de dilatarse, de deformarse bajo un determinado esfuerzo (compresión, tracción, flexión, etc.) y recuperar su forma y su volumen primitivo cuando cesa esta acción.

Antónimo: plasticidad

Palabras relacionadas: elástico, -a (a), elásticamente (adv), elastómero (m)

Nota: Es común confundir, en muchas ocasiones, el concepto de elasticidad con deformabilidad. Por tanto se ha de tener mucho cuidado en este sentido.

Límite elástico

<i>Material</i>	<i>kg/cm²</i>
Acero A-37	2.400
Acero A-42	2.600
Acero A-52	3.600
Aluminio Magnal	550/2200
Aluminio Cobral	1300/4000
Aluminio Simagal	850/2600
Aluminio Zincal	1700/4600

La mayoría de los materiales tienen un comportamiento elástico si las tensiones aplicadas no son muy elevadas. Esta tensión límite, a partir de la cual el material ya no tiene un comportamiento elástico, se llama **límite elástico** del material. Si además de tener comportamiento elástico, el material tiene un módulo de deformación constante dentro de unos límites normales, en los cuales trabajará realmente el elemento constructivo concreto, se puede decir que el material en cuestión es linealmente elástico o que su módulo de deformación (también llamado en este caso **módulo de elasticidad** o **módulo elástico**) **E** es constante.

Plasticidad:

Capacidad de un material o elemento constructivo de contraerse, dilatarse, deformarse bajo un determinado esfuerzo (compresión, tracción, flexión, etc.) y conservar indefinidamente esta deformación cuando cesa la acción que la ha provocado.

Antónimo: elasticidad

Palabras relacionadas: Plástico (m), plástico, -a (a), plásticamente (adv), plastificar (v), plastificación (f), plastificante (m) y (a)

Por ello, los materiales se pueden clasificar, de forma simplista, en materiales elásticos, plásticos o elastoplásticos. Según su comportamiento ante tensiones normales de trabajo será elástico, plástico o elástico en una primera fase y plástico después, (no hay en el mundo de la construcción comportamientos plastoelástico dignos de mencionar).

propiedades de los materiales de construcción

Sobre todo cuando ya se ha llegado al periodo de comportamiento elástico de un material, puede aparecer un fenómeno llamado **fluencia**. Este fenómeno consiste en un aumento de la deformación sin que exista ningún aumento de la tensión. La fluencia puede ser instantánea, (es decir, se produce al alcanzar una determinada deformación) o diferida. La fluencia diferida, la que se produce a lo largo del tiempo, es la más común en los materiales de construcción. De hecho, hay materiales (como por ejemplo el hormigón) en los cuales esta fluencia puede llegar a durar algunos años, dependiendo de las condiciones climáticas: humedad, temperatura, etc.

Fluencia:

Cualidad que tienen ciertos materiales (generalmente elásticos) de deformarse plásticamente, sin ningún aumento apreciable del esfuerzo al cual está sometido, cuando alcanza el límite de comportamiento elástico y se aproxima al punto de rotura.

Palabras relacionadas: fluir (v), fluente (a), fluido (m), fluido, -a (a), fluidez (f)

5.5 La rotura

Hay materiales (casi todos) que a base de aumentar la tensión, y por tanto las deformaciones, llegan a romperse, es decir, a descomponerse en dos o más unidades. Se dirá, por tanto, que se ha producido la rotura del material. Si se ha seguido el proceso de rotura analizando las tensiones y las deformaciones que se han producido, se puede establecer un gráfico de tensión deformación y definir los valores de **tensión de rotura** y de **deformación de rotura**.

Fragilidad:

1. *Vulgarmente: Cualidad de los materiales que se rompen fácilmente.*
2. *Tecnología: Propiedad de un material o elemento constructivo de romperse sin presentar, previamente, deformaciones aparentes (estas deformaciones existen). No tienen ninguna relación directa con su propia resistencia.*

Palabras relacionadas: frágil (a), frágilmente (adv)

Cuando la deformación de rotura es muy pequeña, no se observa a simple vista. Si se comparan con las deformaciones de rotura de la media de los materiales, se dirá que se trata de un material **frágil**. Hay que observar que este significado no se corresponde mucho con la acepción popular de la palabra. En construcción, los materiales frágiles (hormigón, hierro fundido, etc.) presentan un peligro potencial de rotura inesperada (sin avisar, como se dice normalmente) que hay que resolver mediante la aplicación de unos **coeficientes de seguridad** mucho más altos que en otros materiales menos frágiles (o más deformables, que viene a ser lo mismo).

La **ruptura** de un material no se produce siempre en el mismo estado tensional. Hay materiales que tienen, en este sentido, un comportamiento más fiel y presentan unas tensiones de rotura constantes, pero en la mayoría de los materiales de construcción se pueden apreciar dos fenómenos que, haciendo siempre referencia al paso del tiempo, afectan el proceso de rotura de

los elementos de construcción: la **fatiga** y el **cansancio**. Como puede verse, se trata de dos palabras extraídas del lenguaje popular que hacen mención al estado físico de las personas.

Tal y como puede verse en la propia definición, el término **fatiga** hace referencia a cambios frecuentes en el estado de cargas de un elemento constructivo. Tiene mucha importancia cuando se trata de estructuras que soportan máquinas o aparatos que producen vibraciones, o cuando un edificio se encuentra próximo a una fuente vibratoria: vía de tren, un puente, etc.

Fatiga:

Disminución de la resistencia a la rotura de un material o elemento constructivo elástico sometido a tensiones de intensidad y signo variables.

Palabras relacionadas: fatigación (f), fatigante (a), fatigar (v)

El **cansancio** se refiere a otro concepto. Afecta principalmente a las estructuras o elementos constructivos que soportan siempre grandes cargas, eso es típico de aquellas estructuras con pesos propios muy elevados (cargas permanentes), ya que esta es una carga que está siempre presente. No obstante, es obvio que es posible referirse a estructuras ligeras que soportan acciones constantes que nunca dejan de actuar.

Cansancio:

Disminución de la resistencia a la rotura de un material o elemento constructivo elástico sometido a cargas permanentes muy elevadas.

Palabras relacionadas: cansar (v), cansado, -a (a)

5.6 La resistencia de los materiales

Una vez expuesto el fenómeno de la rotura de un material o elemento constructivo, hay que entrar en una de las propiedades más importantes de estos materiales o elementos: la **resistencia**.

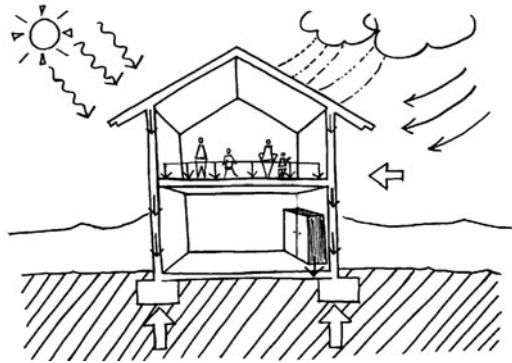
Resistencia:

1. Capacidad de un material o elemento constructivo para soportar acciones externas o internas sin romperse, deformarse excesivamente o malograrse.

2. Oposición que presenta un material o elemento constructivo de ser atravesado por cualquier otro agente externo (corriente eléctrica, vapor, calor, etc.)

Palabras relacionadas: resistente (a), resistibilidad (f), resistible (a), resistir (v)

propiedades de los materiales de construcción



Muchas veces se habla de resistencia sin aclarar a qué tipo de acción resiste el objeto que se ha estudiado. Normalmente cuando se dice que un material o elemento constructivo es muy resistente se hace referencia a la gran **resistencia mecánica**, ya que si no fuese así se diría que es muy resistente a los ácidos, a los rayos ultravioleta, al ataque de los insectos, etc.

Resistencia mecánica:

Capacidad de un material o elemento constructivo para soportar esfuerzos y deformaciones sin romperse ni deformarse excesivamente.

Según el tipo de esfuerzo o deformación aplicada, se pueden definir los siguientes tipos de resistencia mecánica:

- Resistencia a tracción
- Resistencia a compresión
- Resistencia a flexión
- Resistencia a cortante o al cizallamiento
- Resistencia a torsión
- Resistencia a flexotracción, flexocompresión, etc. (compuestos)
- etcétera.

El que un material tenga una gran resistencia a un determinado tipo de esfuerzo no quiere decir que también la tenga a otros. Esta es una característica importantísima que no se debe olvidar a la hora de escoger los materiales, sobre todo en el campo estructural. Un ejemplo típico en el mundo de la construcción arquitectónica es el caso del hormigón o de las rocas naturales. Estos materiales presentan una resistencia a la compresión bastante elevada (algunos hormigones especiales superan fácilmente los 1000 kg/cm^2), mientras que su resistencia a la tracción suele ser del orden de 25 veces menor. Contrariamente, el acero es un material de construcción que, en situaciones normales, soporta de igual forma los esfuerzos a tracción y los de compresión, hablamos en este caso de un material con una gran **tenacidad**.

Tenacidad:

Capacidad de un material o elemento constructivo para soportar esfuerzos de tracción, flexión, estiramiento, etc., propia de los materiales que presentan una gran cohesión.

Palabras relacionadas: tenaz (a), tenazmente (adv)

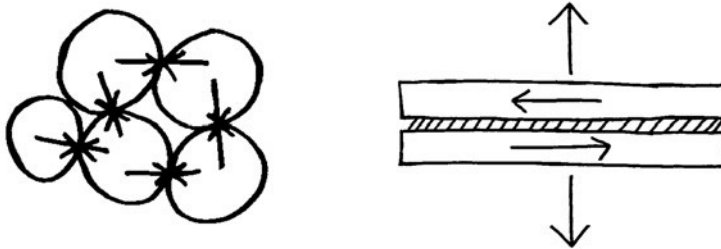
La razón de esta propiedad hay que buscarla en el proceso de rotura de los cuerpos. Cuando solo depende de la **cohesión** interna de los materiales, la resistencia a tracción y compresión suelen ser similares, pero cuando aparecen otros factores, como por ejemplo la fisuración o microfisuración de muchos sólidos rocosos, la acumulación de tensiones de tracción producidas por las discontinuidades de los materiales provoca una rotura mucho más rápida que en el caso de esfuerzos a compresión, ya que en este caso las discontinuidades no interrumpen la transmisión de tensiones que se transfieren simplemente por contacto.

Cohesión:

Fuerza de atracción que mantiene unidas a las moléculas o partículas de un cuerpo.

Palabras relacionadas: cohesivo, -a (a), cohesionar (v)

Además, cuando se utiliza la palabra **resistencia** sin precisar a qué, se entiende que estos objetos ya llevan implícito el tipo de esfuerzo o de acción que soportarán. Si se valora la resistencia de un cable, no hace falta decir que se trata de valorar la resistencia a tracción. Si lo que se valora es la resistencia de una cola, está claro que se habla implícitamente de la **adherencia**: resistencia a la tracción y al esfuerzo cortante o rasante, etc.



5.7 La resistencia de cálculo

La **resistencia a la rotura** es un valor que informa de los resultados de un ensayo en el cual se ha roto una determinada pieza. El resultado siempre se da citando el esfuerzo al cual está sometido el objeto y el valor numérico de la tensión solicitada. Sería una temeridad utilizar este valor para diseñar los edificios, ya que un error en la valoración de la acciones que actúan sobre el elemento, estructural o no, o una desviación de la resistencia del material llevaría a la rotura del elemento, y eso, obviamente, es lo último que busca un arquitecto.

Esta reflexión es la que lleva a establecer los llamados **coeficientes de seguridad**. Estos coeficientes (valores numéricos) tienen la misión de garantizar que nunca se llegue a valores de tensión de trabajo que se aproximen a las tensiones de rotura, evaluada en los ensayos, del material o del elemento en cuestión. Existen dos tipos de coeficientes de seguridad, los **coeficientes de mayoración** y los **coeficientes de minoración**.

propiedades de los materiales de construcción

Los **coeficientes de mayoración** son valores que aumentan los datos que se utilizan en el cálculo. Son valores superiores a la unidad (1.1, 1.5, etc.) si se multiplican por algún dato o inferiores a la unidad (0.9, 0.5, etc.) si se dividen. Estos coeficientes se aplican, por ejemplo, a las acciones que hay que evaluar en un diseño estructural determinado. La razón de estos coeficientes es la de prevenir dos cosas: que las acciones reales sean superiores a las utilizadas en el cálculo o que los métodos de cálculo sean aproximados y, por tanto, susceptibles de producir o acumular errores. Cuanto más grande sea la posibilidad de inexactitud, más elevado será el coeficiente de mayoración.

Los **coeficientes de minoración** son valores que disminuyen los datos que se utilizan en el cálculo. Son valores superiores a la unidad (1.1, 1.5, etc.) si se dividen los datos o inferior a la unidad (0.9, 0.5, etc.) si se multiplican. Estos coeficientes se aplican, por ejemplo, a las resistencias de los materiales que forman los elementos de una estructura. La razón de estos coeficientes es la de garantizar dos cosas: que la propiedad del material real sea inferior a la del material ensayado o que el método de ensayo sea susceptible de proporcionar valores más o menos dispersos y, por tanto, con muchas posibilidades de producirse o acumularse errores. Cuanto más grande sea la posibilidad de inexactitud, más elevada será el coeficiente de minoración.

Por tanto, los procesos para determinar las características (normalmente las dimensiones) de un determinado elemento constructivo donde intervenga la resistencia mecánica son los siguientes:

$$\text{Caract. del elemento} = \frac{\text{Acciones que actúan} \cdot \text{coefic. de mayoración}}{\text{Resistencia del material} \cdot \text{coefic. de minoración}}$$

$$\text{Características de seguridad} = \frac{\text{Coeficiente de mayoración} (> 1)}{\text{Coeficiente de minoración} (< 1)}$$

$$\text{Resistencia de cálculo} = \frac{\text{Resistencia del material}}{\text{Coeficiente de seguridad}}$$

$$\text{Características del elemento} = \frac{\text{Acciones que actúan}}{\text{Resistencia de cálculo}}$$

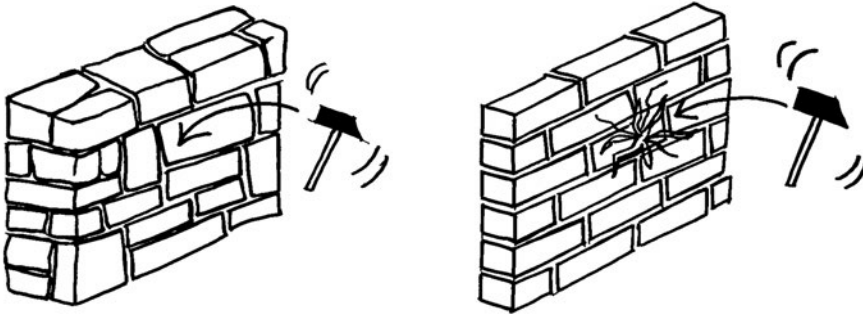
Con este valor de resistencia de cálculo (que no siempre es fácil de determinar, ya que los coeficientes de mayoración y minoración dependen de diversos factores) se puede simplificar, muchas veces, los procesos de diseño estructural de los elementos constructivos.

5.8 Otras propiedades mecánicas

La resistencia mecánica no es la única propiedad de los materiales y elementos de construcción que interesa. Si se trata de un elemento estructural, es posible que sea así, pero si se trata de algún otro elemento (de cerramiento, aislante, etc.) eso no es muy cierto.

Casi siempre se pueden agrupar estas propiedades en un conjunto que se definirá como **resistencia a...**, ya que evalúan algunas características mecánicas que hacen frente a un determinado tipo de acción.

Un ejemplo típico es la **resistencia al choque o resiliencia**, propia de muchos objetos que han de sufrir este tipo de acciones en su vida útil. Esta propiedad mide la capacidad de absorber energía elástica cuando se deforma un elemento sin romperse y la capacidad de ceder esta energía de nuevo cuando se deja de aplicar la acción.



Resiliencia:

Resistencia que presentan los sólidos al romperse por un choque.

Unidades de medición: n·m / cm (ensayo Charpa / Izod)

Consecuentemente, los materiales que presentan una buena resiliencia son aquellos que tienen un límite elástico muy alto y un módulo de elasticidad muy bajo, como sucede en aleaciones metálicas utilizadas en moldes.

En otro apartado se ha hablado de la *resistencia a la fricción, a la abrasión, al desgaste, etc.* En definitiva son términos que valoran, de un material, la **resistencia a ser rayados** superficialmente o lo que es lo mismo: la **dureza**.

Dureza:

Cualidad que tienen ciertos materiales que presentan una fuerte resistencia a ser penetrados, rayados: que no ceden fácilmente a la presión.

Unidades de medición: (según diferentes escalas: Mohs, Barcol, Brinell, Rockwell, Shore, Knoop, Martens, Meyer, Vickers, E.C.P., etc.

Palabras relacionadas: duro, a (a), duramente (adv)

Nota: A pesar de la creencia popular, la dureza de un material no va ligada directamente a su resistencia mecánica ni a su fragilidad.

propiedades de los materiales de construcción

Escala de durezas según MOHS

1	Talco
2	Tiza
3	Calcita
4	Fluorita
5	Apatita
6	Ortosa, ortoclasi
7	Cuarzo
8	Topacio
9	Corindó
10	Diamante

Desgraciadamente, no es fácil valorar la dureza de una manera objetiva y fácilmente comparable, ya que existen una gran cantidad de posibles ensayos que se pueden realizar para cuantificar esta propiedad. Dependiendo de que se trate de valorar la dureza de un metal, de una pieza cerámica, de un trozo de plástico, etc., se hará servir un determinado ensayo y se obtendrá un valor en una escala que generalmente toma el nombre de la persona que diseñó este ensayo.

Con el hormigón (en masa o armado) se utiliza mucho un ensayo no destructivo en el cual se hace servir un instrumento llamado **esclerómetro**. Se trata de un cilindro con un pistón en el interior que golpea violentamente la superficie del hormigón, marcando una longitud de retroceso del pistón contra un muelle interior. De este valor de retroceso, a través de unas tablas que incorpora el propio esclerómetro, se deduce una resistencia a compresión aproximada del hormigón. Es decir, se relaciona la **dureza** del material con su **resistencia a compresión**. Hay que decir que es un ensayo poco fiable y que se han de hacer muchas lecturas a fin de desestimar los valores extremos que pueden indicar muchas alteraciones: Hormigón mal vibrado, proximidad de las armaduras, etc.

En otras ocasiones, lo que mide una determinada propiedad mecánica no es la *resistencia a...* sino lo contrario, es decir, la *facilidad para...* Este es el caso de dos propiedades muy utilizadas en la industria metalúrgica relacionada con la construcción arquitectónica: la **ductilidad** y la **maleabilidad**.

Ductilidad:

Capacidad que tienen ciertos materiales de poder ser estirados significativamente sin romperse. Es una propiedad típica de la mayoría de los metales.

Palabras relacionadas: dúctil (a)

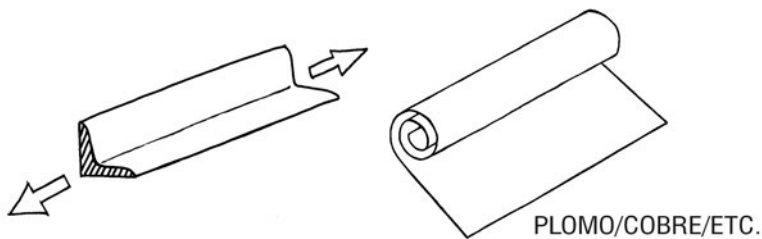
La ductilidad es una propiedad que tiene una importancia capital en los procesos industriales en la fabricación de productos extruidos: hilos, alambres, perfiles metálicos en general, etc. De hecho, esta propiedad tiene una relación inversa con la fragilidad de los materiales y una relación directa con la capacidad de comportarse plásticamente (sea en frío o en caliente) mucho antes de llegar a las tensiones de rotura. En lo que respecta a perfiles conformados en frío se pueden encontrar principalmente de acero o de aluminio, mientras que los perfiles laminados en caliente (es otra forma de decirlo) existen principalmente de acero.

Maleabilidad:

Capacidad que tienen ciertos materiales de estirarse en láminas por la acción de un esfuerzo externo. Es una propiedad típica de la mayoría de los metales y aumenta, claramente, con la temperatura.

Palabras relacionadas: maleable (a), maleabilización (f), maleabilizar (v)

La maleabilidad es una propiedad utilizada en muchos oficios (por ejemplo la orfebrería, el recubrimiento de oro y plata de muchos objetos). En la construcción también se pueden encontrar ejemplos de esta utilidad, en la colocación de láminas de plomo en cubiertas (se adaptan a todos los rincones) u otros tipos de láminas plásticas, asfálticas, etc.



6



propiedades reológicas de los sólidos

6.1 Introducción

En el estudio de las propiedades mecánicas de los sólidos se ha visto como estos materiales y, consecuentemente, los elementos constructivos hechos a partir de ellos, se deforman cuando se someten a un esfuerzo determinado producido por cualquier acción externa (fuerza o momento) y su correspondiente reacción.

Pero no siempre las deformaciones producidas en un sólido son debidas a fuerzas o momentos aplicados exteriormente. Hay otras acciones externas (radiación solar, temperatura, humedad ambiental, etc.) que modifican las propiedades internas de los sólidos (temperatura y humedad propia, principalmente) y provocan también deformaciones en los materiales y elementos constructivos. Estas deformaciones, tanto o más importantes que las deformaciones mecánicas, son estudiadas, entre otras más, por la ciencia llamada **reología** y, por tanto, las propiedades relacionadas con ellas se denominan **reológicas**.

6.2 Los materiales y la temperatura

Es un hecho bien conocido que la mayoría de los materiales aumentan de volumen cuando aumenta su temperatura y viceversa. Estos fenómenos, llamados **dilatación** y **contracción térmica**, se aprovechan, entre otros muchos ejemplos, en el funcionamiento de los termómetros, bien mediante la dilatación de un líquido por el interior de un tubo muy estrecho, o bien mediante la dilatación de una espiral metálica, etc.

Dilatación:

Acción por la cual un material o elemento constructivo aumenta de volumen, se alarga, aumenta su espesor, sin aumentar su masa original.

Antónimo: Contracción Unidades de medición (unitario), Δl (absoluto) en mm/m

Palabras relacionadas: dilatar (v), dilatarse (v), dilatable (a), dilatabilidad (f), contraer (v), contraerse (v)

La dilatación de los materiales se puede estudiar de maneras muy diversas: Linealmente (largo, ancho, espesor, etc.), superficialmente o volumétricamente. Es decir, se puede considerar cual es el aumento (o la disminución) de una longitud, de una superficie o del volumen de un

propiedades de los materiales de construcción

determinado material o elemento constructivo. Empíricamente es fácil observar como esta deformación es característica de cada material y sigue una ley muy simple.

$$dL = \alpha \cdot L \cdot dT$$

$$dS = \beta \cdot S \cdot dT$$

$$dV = \gamma \cdot V \cdot dT$$

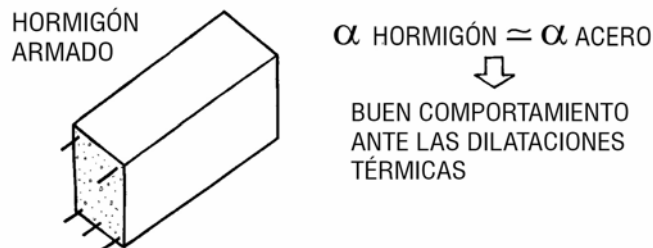
Donde (es fácilmente demostrable)

$$\beta = 2 \cdot \alpha$$

y

$$\gamma = 3 \cdot \alpha$$

siendo **dL**, **dS** y **dV** las deformaciones lineales, superficiales y volumétricas del elemento estudiado y **L**, **S** y **V** la longitud, la superficie y el volumen inicial del llamado elemento. La constante α , propia de cada material, se denomina **coeficiente de dilatación térmica** y sus unidades son K^{-1} (es decir $1/^{\circ}C$). Normalmente se trata de un valor muy pequeño (el del acero es 0,000012), por lo cual se suele presentar en forma exponencial negativa. En este caso, pues, se dirá que el acero tiene una $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$. A continuación se expone una tabla con una serie de valores de α agrupados en tres categorías: poco, más y muy dilatables. Evidentemente, esta es una clasificación poco científica y solo pretende dar una idea de compatibilidad de deformaciones cuando se colocan en una obra, de forma concreta, elementos constructivos hechos de diversos materiales.



Es también interesante comprobar como la utilización de un material, tan conocido como lo es el hormigón armado, es posible gracias al hecho de que los coeficientes de dilatación térmica del acero de las armaduras y del hormigón en masa son prácticamente iguales. Si no fuese así en el primer cambio sustancial de temperatura se produciría una rotura (se desgarraría la armadura del hormigón) en la pieza de hormigón armado.

Coefficientes de dilatación térmica

Material	α (10^{-6} K^{-1})
Madera (longitudinal)	3 - 6
Tablero de fibra y cemento	5
Ladrillo cerámico: Soga	4 - 8
Hormigón aireado	8
Rocas calcáreas	1,7 - 9
Mármol	1,4 - 11
Vidrio	6 - 9
Pizarra	4,5 - 10
Granito	3,7 - 10
Ladrillo cerámico: tizón y grueso	8 - 12
Tablero contrachapado	4 - 16
Arenisca	3,7 - 16
Hormigón armado	11
Acero	11 - 13
Morteros	11 - 13
Hormigones normales	11 - 14
Enyesado	16,6
Cobre	17,3
Acero inoxidable	17,3
Latón	18
Hormigón con fibra de vidrio	13 - 20
Poliéster	18 - 25
Aluminio	24
Plomo	29
Zinc	31
Fenólicos	15 - 45
Madera (transversal)	30 - 70
PVC	70
Acrílicos	72 - 90
Polietileno (alta densidad)	144
Polietileno (baja densidad)	198

6.3 Los materiales y la humedad

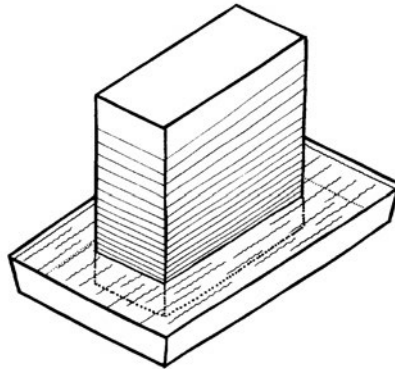
Excepto algunos casos muy evidentes (hablamos de materiales o elementos que han hecho ampollas, por ejemplo una pintura), no es un hecho muy conocido que algunos materiales de construcción aumentan o disminuyen de volumen cuando varía su humedad. De hecho eso pasa con todos los materiales que son capaces de contener humedad, es decir, que tienen agua ocupando una parte o la totalidad de sus poros. Si no existen poros, no hay humedad interna y no aparecerá ninguna variación del volumen.

Entumecimiento:

Dilatación reversible de un material o elemento constructivo producida por el aumento de la humedad.

Unidades de medición: ε (unitario), Δl (absoluto) en mm (mm/m)

Palabras relacionadas: entumecer (v)



El fenómeno que produce una variación de volumen se denomina **entumecimiento** y normalmente hace referencia al aumento del volumen de un sólido cuando sube la humedad, es decir, hace referencia a una variación positiva. No obstante, está bien claro que esta variación de volumen es negativa cuando baja la humedad. En este caso no se acostumbra a dar ningún nombre a este fenómeno (en todo caso, de forma no correcta del todo, se habla de retracción), pero este hecho permite definir el entumecimiento como un movimiento reversible de los materiales porosos.

Con el fin de ser más exactos, se debería de valorar el entumecimiento en función del aumento de la humedad del sólido. Eso, es muy difícil y se suele dar como **valor de entumecimiento** de un sólido aquel valor que expresa el aumento de su volumen al pasar de una humedad mínima (0% si es posible) a una máxima (saturación). Este aumento de volumen acostumbra a producirse de forma idéntica en todas las dimensiones (exceptuando ciertos materiales anisótropos como la madera) y por eso se expresan en valores unitarios o porcentuales.

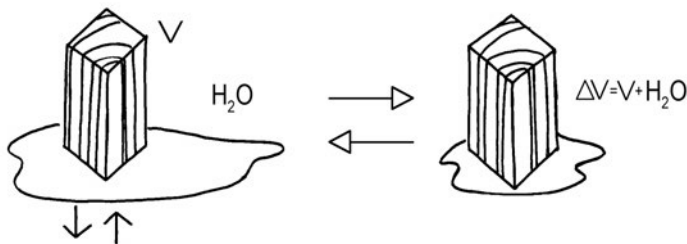
La **retracción**, en cambio, es un *movimiento irreversible* de los materiales. Hace referencia a la variación de la humedad inherente (no la que llena los poros sino la que forma parte de la composición del material, es decir, de sus moléculas más o menos hidratadas) en el periodo posterior a su fabricación.

Todos los materiales formados a base de algún conglomerado: cal, cemento o yeso, necesitan agua en su configuración. Normalmente la cantidad de agua incorporada es superior a la estrictamente necesaria para las reacciones químicas que se producirán en el proceso de endurecimiento de la pasta formada. Esta agua puede ser necesaria por otras razones: facilitar la puesta en obra de la pasta, mantener la temperatura de la reacción, etc.

propiedades reológicas de los sólidos

Una vez finalizado, totalmente, el proceso de endurecimiento de la pasta (periodo que puede oscilar entre unos minutos o unos años, según el tipo de conglomerado o las condiciones del entorno), el agua sobrante tiende a evaporarse y, por tanto, el elemento constructivo pierde masa y volumen.

Esta claro, pues, que si el movimiento depende de una reacción química, no puede ser reversible, ya que la reacción tampoco lo es. Muchas veces, el fenómeno de la **retracción** (sobre todo cuando se produce a través de un periodo muy largo) se mezcla con el del **entumecimiento**, dando lugar a unos movimientos reversibles que pueden confundir al observador.



Valores de entumecimiento

Material	ε	mm/m
Roca calcárea densa	0,0001	0,1
Roca calcárea muy porosa	0,0008	0,8
Arenisca	0,0007	0,7
Hormigón normal	0,0003 - 0,0004	0,3 - 0,4
Hormigón ligero	0,00016 - 0,0009	0,16 - 0,9
Hormigón aireado (al aire)	0,0022	2,2
Hormigón aireado (autoclave)	0,0006	0,6
Mortero		
Ladrillo cerámico	0,0001 - 0,0002	0,1 - 0,2
Yeso	0,0015 - 0,002	1,5 - 2
Ladrillo silicocalcáreo	0,00001 - 0,0005	0,01 - 0,5
Ladrillo de mortero	0,0004 - 0,0006	0,4 - 0,6
Bloque de hormigón ligero	0,0005 - 0,0006	0,5 - 0,6
Madera: longitudinal (°)	Valor despreciable.	
Madera: tangencial (°)	0,0037	3,7
Madera: radial (°)	0,00185	1,85

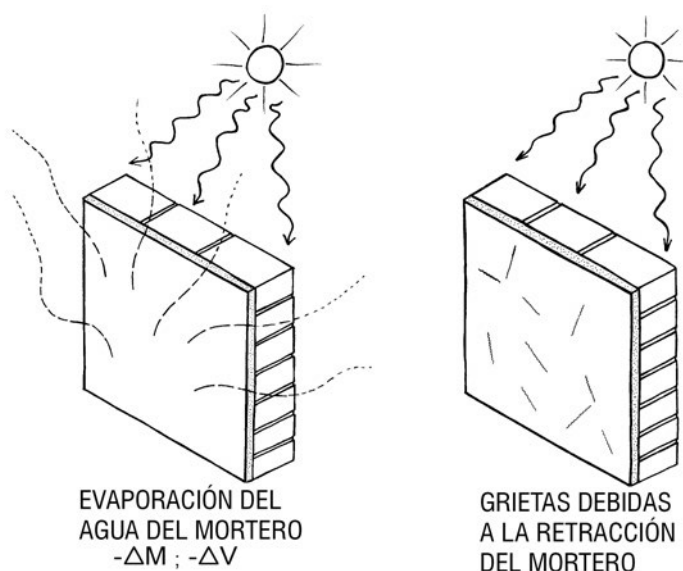
(°) Por unidad de humedad relativa.

Retracción:

Contracción no reversible de un material al perder parte del agua propia de su configuración.

Unidades de medición: ε (unitario), (mm/m), Δl (absoluta) en mm

Palabras relacionadas: retraer (v), retraerse (v)



Generalmente, la **retracción** se produce por una pérdida de agua y por tanto ocasiona un movimiento de contracción (disminución del volumen). Aun así, hay casos (como es el de la cerámica) donde la formación del material se hace a través de temperaturas muy elevadas que eliminan más agua de la necesaria. Estos materiales se vuelven ávidos de agua con tal de hidratar correctamente sus moléculas y, en lugar de contraerse, aumentan de volumen en el periodo inmediato a su fabricación. Tienen, se podría decir, una **retracción negativa**.

Valores de la retracción.

Valores de la retracción:		
Materiales	ε	mm/m
Hormigón	0,00035 - 0,0008	0,35 - 0,8
Hormigón armado	0,00025	0,25
Mortero	0,0004 - 0,001	0,4 - 1
Ladrillo cerámico	0,001 - 0,002 (*)	1 - 2
Yeso: 1 hora	0,0015 - 0,0035	1,5 - 3,5 (*)
Yeso: definitivo	0,0002 - 0,0015 (*)	0,2 - 1,5 (*)
Ladrillo silicocalcáreo	0,0001 - 0,0005	0,1 - 0,5
Ladrillo de mortero	0,0003 - 0,0004	0,3 - 0,4
Bloque de hormigón ligero	0,0006	0,6
Ytong®	0,00015	0,15
Madera	Ver los datos de entumecimiento	
(*) Retracción negativa = Dilatación permanente		

6.4 La coerción de las deformaciones

Hasta ahora se ha hablado de deformaciones producidas en un sólido, sin la aparición de esfuerzos (ni tensiones, por supuesto) debidos a cambios de humedad y de temperatura. La realidad suele ser diferente, ya que los elementos constructivos forman parte de un todo que es el edificio. Cada elemento esta conectado a otros mediante uniones, las cuales también pueden ser muy diferentes con lo que respecta a la capacidad de absorber esfuerzos.

Así pues, es posible encontrar uniones simples, que solo soportan esfuerzos de compresión simplemente por contacto entre los dos elementos; uniones con capacidad de suportar esfuerzos de cizallamiento o cortante (muchas veces por la fricción que se genera al existir una compresión) y, finalmente, uniones rígidas, capaces de soportar cualquier tipo de esfuerzo (tracción, flexión, etc.).

Sea cual sea el tipo de unión existente entre los elementos constructivos de un edificio, es muy posible que algunas de estas deformaciones reológicas no se puedan producir libremente, ya que la deformación de un elemento implica, automáticamente, la deformación de otro elemento. En este caso se dirá que la deformación esta coercida parcial o totalmente.

Cuando aparecen estos casos, el equilibrio del conjunto se producen en una fase o estado intermedio, en que los elementos constructivos que habrían de sufrir una deformación reológica solo han experimentado una deformación muy pequeña (o prácticamente nula), mientras que otros elementos contiguos, con diferentes propiedades reológicas y similares, pero de magnitudes diferentes, presentan una deformación mayor de la prevista.

En ese momento se produce un hecho importante: la aparición de esfuerzos y, por tanto, de tensiones. El valor de estas tensiones es igual a las que se producen en el propio elemento sí, mediante fuerzas o deformaciones externas, se hubiese situado al elemento en cuestión, deformado libremente de forma reológica, en la fase definitiva, es decir, con la deformación coercida.

Veamos un ejemplo: Supongamos un pilar de hormigón de 4 m. de altura que por dilatación térmica debería alargarse 10 mm. Como el pilar forma parte de toda la edificación, esta deformación se ve coercida (impedida) a solo 6 mm. Eso se puede interpretar como que el pilar, una vez alargado los 10 mm, se ha visto sometido a unas fuerzas producidas por los elementos constructivos que lo envuelven y se ha acortado 4 mm. Si se conoce el módulo de deformación E del material que configura este elemento (el hormigón), se podrá saber cuál es la tensión generada que ha provocado este acortamiento.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{-4}{400} = -10^{-3} E_{\text{hormigón}} = \frac{200.000 \text{ Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = \frac{-200 \text{ Kg}}{\text{cm}^2} (\text{compresión})$$

Esta tensión, aplicada a la sección del pilar, producirá una fuerza total que ha de ser contrarestada por unas fuerza similares y de signo contrario que actuarán sobre los elementos contiguos, de

propiedades de los materiales de construcción

forma que la suma total de las fuerzas sobre el conjunto sea igual a cero, ya que no actúa ninguna fuerza exterior. Es decir, seguro que en torno al pilar aparecerán elementos comprimidos, traccionados o flectados que, de la misma forma que sucede con el pilar, provocan unas tensiones que, globalmente, equilibran la compresión de éste.

El estudio de la compatibilidad de deformaciones es una parte muy importante en el análisis del comportamiento estructural de un edificio, tanto en la fase de diseño como en el estudio de las patologías de los edificios. Hay que comprobar que no se produzcan tensiones excesivas o inaceptables en los elementos constructivos que, tarde o temprano, acabarán por provocar fisuras o grietas en el conjunto.

La propiedad de un elemento constructivo que permite evaluar su compatibilidad de deformaciones con los elementos contiguos recibe el nombre de **rigidez** (se podría decir rigidez geométrica). La rigidez geométrica de un elemento (no hay que confundirla con la rigidez de los materiales) va ligada a la geometría del elemento y a las constantes de deformación del material (módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, etc.). Además también depende del tipo de acción y de deformación que se contempla.

En el cálculo de estructuras se habla de la **matriz de rigidez** de un elemento como el conjunto de las diferentes rigideces del elemento en función del tipo de deformación (alargamiento, giro de una punta, giro de la otra punta, etc.) Si, por ejemplo, se considera una viga rígida por ambos lados, de longitud **L** con una sección **A**, la cual tiene un momento de inercia **J** en el plano de las flexiones, formada por un material con un módulo de elasticidad **E**, es posible definir (entre otras) las rigideces siguientes de la viga:

Tipos de acción considerada sobre la viga

Rigidez lineal (tracción o compresión): fuerza, deformación	$E \cdot A/L$
Rigidez transversal de una punta: fuerza, deformación	$12 E \cdot J/L^2$
Rigidez transversal de una punta: momento, deformación	$6 E \cdot J/L^2$
Rigidez de rotación de una punta: momento, rotación	$4 E \cdot J/L^2$



6.5 La intumescencia

Una propiedad mucho menos conocida de los materiales es la **intumescencia**. De hecho, son muy pocos los materiales que presentan esta propiedad. Se trata de un aumento muy importante y aparente del volumen de un elemento constructivo causado por un gran aumento de la temperatura. No se trata ya de una dilatación térmica normal producida por la variación de la temperatura ambiente, sino por el incremento excesivo de la temperatura (fuego, calentamiento de origen mecánico o eléctrico, etc.).

Intumescencia:

Aumento de volumen considerable causado por la acción del calor (y en ocasiones por la acción del agua).

Unidades de medición: unitario, %

Palabras relacionadas: intumescente (a)

Este aumento tan notable del volumen se consigue mediante una expansión (de los poros llenos de aire) del material. Esta particularidad hace que el producto final tenga una gran capacidad de aislamiento térmico. Esta es la razón por la cual se utilizan las pinturas intumescentes como elementos de protección contra incendios en las estructuras metálicas.

Si se pinta una estructura metálica con pintura intumescente no combustible, en caso de incendio se producirá la expansión de la pintura y, por tanto, al aumentar de volumen protegerá a la estructura de las altas temperaturas, de esta manera se evitará la pérdida de resistencia y el colapso. Normalmente, esta protección no impedirá el colapso de la estructura indefinidamente, sino que lo que se pretende es alargar lo más posible el tiempo en que la estructura se mantenga en pie.

Un proceso similar es el que se produce cuando ciertos materiales entran en contacto con el agua. Esta propiedad es muy utilizada en materiales sellantes de uniones que han de ser estancas: tubos que atraviesan una pared, uniones de pantallas de hormigón con losas de cimentación, muros de una piscina, etc.

En este caso no se trata, normalmente, de pinturas, sino de materiales tipo mástil, formado cilindros, bandas o láminas más o menos gruesas. Así, la protección producida por esta expansión suele ser de larga duración, sino definitiva, ya que el agua no suele afectar la durabilidad del material en cuestión.

7



propiedades térmicas de los sólidos

7.1 El calor y la temperatura

El calor es la manifestación de la energía interna de un cuerpo debido al movimiento de sus partículas moleculares. Estos tipos de energía que, como cualquier otra, son capaces de transformarse y manifestarse de diversas maneras tienen una importancia capital en la tecnología de la edificación, ya que afectan, por una parte, a los mismos edificios y, por otra, al confort de sus ocupantes.

La temperatura es una magnitud que sirve para poner en evidencia este calor, haciendo siempre una comparación con otro cuerpo que nos sirve de referencia. La temperatura de un cuerpo, que puede ser medida con un termómetro, puede tener un valor teórico mínimo (-273°C), que corresponde a la inactividad total de sus moléculas, pero no tiene un valor máximo. De cualquier manera, las temperaturas que nos interesan en la tecnología de la edificación están limitadas por unos valores muy ajustados.

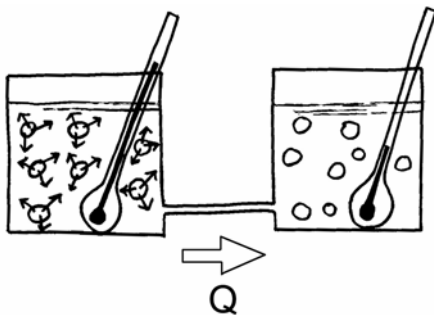
Calor (Q):

Energía que se manifiesta por un aumento de temperatura y procede de la transformación de otras energías; es originada por los movimientos vibratorios de los átomos y las moléculas que forman los cuerpos.

Antónimo: frío

Unidades de medición: cal, kcal, J, W

Palabras relacionadas: calorífugo, -a (a), calorífugado (v)



Temperatura (T):

Magnitud termodinámica que pone en evidencia la temperatura de un cuerpo respecto a otro.

Unidades de medición: °C (Celsius), °K (Kelvin), °F (Fahrenheit)

Palabras relacionadas: Templado, -a (a)

De una forma simplificada, y utilizando un símil hidráulico, podemos decir que si un cuerpo es un depósito, el calor de éste sería la cantidad de líquido que contiene mientras que la temperatura sería la altura o nivel del propio líquido. Aunque son valores relacionados, es obvio que nadie confundiría los términos. Esta misma analogía nos ayuda a comprender el fenómeno de transferencia de calor desde un cuerpo hacia otro. Así como el agua viaja desde el depósito que tiene el nivel más alto a otro que tiene el nivel más bajo, independientemente de la cantidad de agua que exista en cada depósito, de la misma manera el calor se transmite del cuerpo con más temperatura a otro con menos, independientemente de la energía calorífica que tenga cada cuerpo. Es decir, en el universo existe una tendencia a que todos los cuerpos tengan la misma temperatura.

7.2 La transmisión de calor

Ya se ha dicho que el calor se propaga desde un punto de temperatura más elevada a otra más baja. Esta propagación se puede efectuar de tres maneras: por **conducción**, por **convección** y por **radiación**. Estas tres formas de transferencia de energía se presentan en un edificio, tanto entre sus partes: a través de la cubierta, del suelo, de sus particiones, de la chimenea, de la calefacción, del aire acondicionado, de la ventilación natural, etc., como entre los edificios y las personas; es lo que se denomina el **confort térmico**.

Es cierto que el confort de las personas es más un confort higrotérmico² (humedad y temperatura, conjuntamente) que un confort térmico (temperatura exclusivamente). Sin embargo, habría que reconocer que aunque la humedad puede modificar el confort térmico, éste tiene un comportamiento mucho más complejo, ya que el campo de fluctuación de la temperatura es mucho más grande que el de la humedad. Además, si se quiere conseguir un confort completo, se ha de añadir, a la temperatura y la humedad, la velocidad o movimiento del aire.

7.3 La conducción del calor

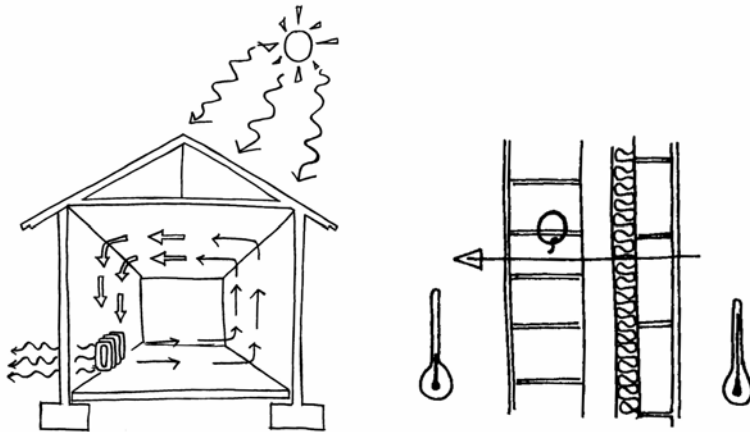
Esta forma de propagación del calor se produce cuando existe contacto directo entre dos cuerpos que tienen diferente temperatura, o cuando entre los dos existe otro de forma ininterrumpida, sin que exista movimiento de material. Esta es la forma típica de transferencia de calor a través de un cerramiento. Cuando el aire interior de un edificio y el del exterior se encuentran a diferentes temperaturas, se establece un flujo de calor a través de ellos. Pero no es este el único ejemplo que se puede encontrar de conducción de calor en la edificación; pensemos en la sensación de

propiedades térmicas de los sólidos

caminar descalzo sobre el pavimento, la emisión de calor de una bolsa caliente en la cama, la resistencia eléctrica dentro de un acumulador de agua caliente, etc.

El paso de calor, es decir, de energía, a través de un cuerpo no es siempre el mismo. Se puede decir que la cantidad de energía que pasa a través de un cuerpo por unidad de tiempo depende de la diferencia de temperatura entre sus dos costados, de la superficie de paso, del grueso o espesor del cuerpo y, finalmente, de una característica o propiedad particular de este cuerpo, λ , denominada coeficiente de conductividad térmica.

$$Q = \frac{h \cdot S \cdot \lambda \cdot \Delta t}{e} \quad (Q = \text{Transferencia de calor})$$



Con tal de obtener las unidades de λ , se aísla de la ecuación anterior y se obtienen las siguientes unidades: $W/m \cdot K$ (o lo que es lo mismo, $kcal/h \cdot m \cdot ^\circ C$).

Este valor es muy utilizado en construcción porque cuando se calcula el aislamiento térmico de un cerramiento, hay que sumar el aislamiento de cada una de las capas que lo conforman y, por tanto, de todos los materiales que lo configuran. Cuando un material tiene una λ muy alta diremos que es un buen conductor del calor (o mal aislante térmico), mientras que si tiene una λ muy baja diremos que es un buen aislante o simplemente un aislante térmico (o mal conductor del calor).

En ocasiones, el valor que nos interesa no es el **coeficiente de conductividad térmica** λ , sino su inverso, que se denomina **coeficiente de resistencia térmica** (r) ($1/\lambda$), sus unidades son: $h \cdot m \cdot ^\circ C/kcal$ o $m \cdot K/W$.

Cuanto más alto sea este valor mejor aislante será el material.

propiedades de los materiales de construcción

Coefficiente de conductividad térmica		
λ		
$kcal/h \cdot m \cdot ^\circ C$	$W/m \cdot K$	Material
Materiales básicos		
0,51/0,52	0,59/0,61	agua, hielo
0,22	0,26	aire
Rocas y suelos		
3,0	3,5	rocas compactas, 2.500-3.000 kg/m ³
2,0	2,33	rocas porosas, 1.799-2.500 kg/m ³
1,2	1,4	arena con humedad natural
1,8	2,1	suelo coherente con humedad natural
0,8	0,93	arcilla
Materiales secados al aire libre		
0,5	0,58	arena
0,7	0,81	grava rodada y machaqueada
0,16	0,19	escoria de carbón
0,35	0,41	derribo de cerámica
Aislantes térmicos		
0,073/0,098	0,085/0,114	arcilla expandida
0,034/0,040	0,039	corcho
0,029	0,034	espuma elastométrica
0,038/0,031	0,044/0,036	fibra de vidrio, 10/91 kg/m ³
0,036/0,040	0,042/0,047	lana mineral, 30/130 kg/m ³
0,049/0,022	0,057/0,026	poliéster expandido, 10/25 kg/m ³
0,028	0,033	poliéster extruido
0,033	0,038	poliéster reticular
0,022	0,026	espuma de poliisocianurato
0,020/0,034	0,023/0,040	espuma o plafón rígido de poliuretano, 32/80 kg/m ³
0,029/0,030	0,034/0,035	espuma de ureaformol, 10/14 kg/m ³
0,030	0,035	vermiculita expandida
0,038	0,044	vidrio celular
Materiales bituminosos		
0,60	0,70	asfalto
0,15	0,17	betún
0,16	0,19	láminas bituminosas
Revestimientos en seco		
0,16	0,19	linoleum
0,04	0,05	moquetas, alfombras
0,13/0,18	0,15/0,21	madera de frondosas
0,09/0,12	0,11/0,14	madera de coníferas
0,12	0,14	contrachapado
0,07	0,08	tablero aglomerado de partículas

Revestimientos húmedos		
0,75	0,87	de cal o bastardo
1,20	1,40	de cemento
0,26	0,30	de yeso
0,16	0,18	de perlita
Vidrio		
0,0/1,0	0,7/1.16	vidrio plano
Cerámica		
0,75	0,87	pared de ladrillo macizo
0,65	0,76	pared de ladrillo perforado
0,42	0,49	pared de ladrillo hueco
0,90	1.05	plaqueta de revestimiento
Hormigones		
0.10	0,12	hormigón en masa, 500 kg/m ³
0.47	0,55	hormigón en masa, 1500 kg/m ³
1.0	1,16	hormigón en masa, 2000 kg/m ³
1.40	1,63	hormigón en masa, 2.400 kg/m ³
0,38/0,48	0,44/0,56	bloque de mortero, 1.000/1.400 kg/m ³
0,30/0,60	0,35/0,70	bloque de mortero celular, 600/1,200 kg/m ³
0.48/0.68	0.56/0.79	ladrillo silicocalcario, 1,600/2,500 kg/m ³
Metales		
14/21	16/25	acero inoxidable
35/40	30/35	plomo
44/55	38/47	estaño
40/55	46/52	fundición (gris, esferoide, maleable)
41/45	48/52	acero (alto, bajo en carbón)
55	64	bronce
69	80	hierro
69/107	80/92	níquel
103	120	latón
96/131	82/113	zinc
86/199	100/231	aluminio (aleaciones)
210	244	aluminio puro
345/370	297/318	oro
330/400	384/465	cobre
359/369	418/429	plata

7.4 El aislamiento térmico

Cuando se contemplan las propiedades térmicas de un edificio, se puede considerar como más importantes aquellas que hacen referencia a la capacidad de evitar que el calor se escape del edificio en épocas frías o que penetre en épocas cálidas. Si eso es así, se puede garantizar una

propiedades de los materiales de construcción

continuidad del ambiente agradable en el interior, sin un gasto considerable en la calefacción o en la refrigeración. A eso se le denomina **aislamiento térmico** del edificio.

Considerando que lo que nos interesa es una relación interior-externa, el aislamiento térmico pasa a ser una cualidad propia de los cerramientos exteriores de los edificios y, como tal, corresponde más a una propiedad del elemento empleado que a un determinado material de forma individual.

De forma muy simple se puede decir que el aislamiento que nos proporciona un plafón homogéneo (de un solo material) es función del coeficiente de resistividad térmica que tiene este material y de su espesor, y recibe el nombre de **resistencia térmica (R_t)**.

$$R_t = \text{espesor}(e) \cdot r = \text{espesor}(e) \cdot \left(\frac{1}{\lambda} \right)$$
$$\left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)$$
$$\left(\frac{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}{Kcal} \right)$$

El antónimo de este valor se denomina **conductancia térmica (C_t)** del elemento, sus unidades son, obviamente, las inversas de la **resistencia térmica (R_t)**.

Cuando un cerramiento no es homogéneo, sino que está configurado por más de una capa, es decir, que se trata de un cerramiento multicapa, la resistencia térmica de éste es la suma de las resistencias térmicas de cada una de las capas que lo configuran:

$$R_t = \frac{\sum e}{\lambda}$$
$$\left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)$$
$$\left(\frac{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}{Kcal} \right)$$

siendo **e** y **λ** el espesor y el coeficiente de conductividad térmica, respectivamente, de cada una de las capas que forman el cerramiento.

Además, si lo que se quiere es establecer el flujo total del calor a través del cerramiento, se ha de tener en cuenta cómo se transfiere el calor entre el aire (de los dos lados del cerramiento) y de las superficies interiores y exteriores de éste. Esta facilidad de paso de calor entre la superficie de un cerramiento y el aire que lo envuelve se mide con el denominado **coeficiente superficial de transmisión de calor (h)**. El inverso de este coeficiente recibe el nombre de **resistencia térmica superficial (1/h)** del cerramiento.

Esta transferencia de calor en estas dos capas límites se hace siguiendo el conocido mecanismo de radiación, conducción y convección. La radiación entre un cerramiento normal de un edificio y el aire que lo envuelve es prácticamente nulo comparado con los otros mecanismos. En cambio, el mecanismo de convección depende de una serie de factores diversos.

- de la posición del cerramiento (horizontal, vertical, etc.)
- de la dirección del flujo de calor (ascendente, descendente)
- de las corrientes de aire (forzado, natural, el viento, etc.)
- de la rugosidad de la superficie
- etcétera

Con el fin de evitar las formulaciones complejas de estos valores, la normativa, en este caso la NRE-AT-87, la NBE-CT-79 y actualmente en vigor el CTE, fijan unos valores de h para los diferentes casos que pueden encontrarse en una edificación estándar. Llamando h_i al *coeficiente superficial de transmisión de calor* de la superficie interior de un cerramiento y h_e al de la superficie exterior (o la que proporciona un local abierto correctamente ventilado) del mismo cerramiento, tenemos:

Resistencias térmicas superficiales de los cerramientos

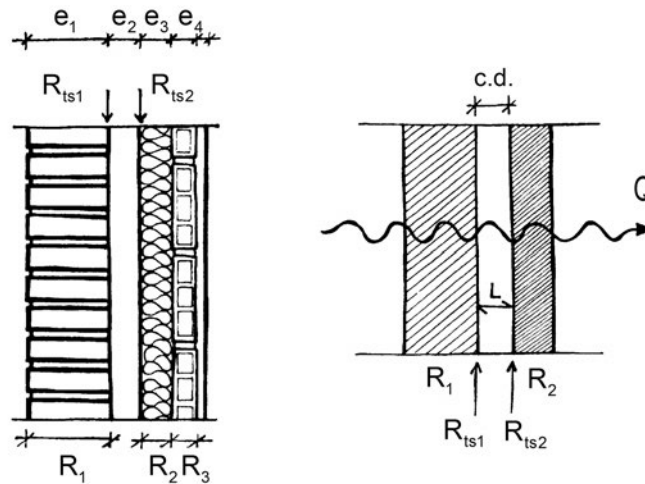
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	$1/h_i$		$1/h_e$	
	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot h \cdot ^\circ C/kcal$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot h \cdot ^\circ C/kcal$
Vertical o pendiente mayor de $60^\circ C$ flujo horizontal	0,11	0,13	0,06	0,07
horizontal o pendiente inferior a 60°				
flujo ascendente	0,09	0,11	0,05	0,06
flujo descendente	0,17	0,20	0,05	0,06

Una cámara de aire no ventilada es un caso particular de elemento constructivo ya que proporciona una resistencia térmica a través de las resistencias térmicas de las dos caras que la forman. El valor de esta resistencia depende de las dimensiones de la cámara, de su posición y del tipo de flujo de calor que se establezca.

Resistencias térmicas de una cámara de aire no ventilada ($m^2 \cdot K/W$)

Posición de la cámara y sentido del flujo de calor	Espesor de la cámara, en mm				
	10	20	50	100	≥ 150
Vertical o pendiente mayor de $60^\circ C$ flujo horizontal	0,14	0,16	0,18	0,17	0,16
horizontal o pendiente inferior a 60°					
flujo ascendente	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16
flujo descendente	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16

De esta manera, puede concluirse que la **resistencia térmica total (R_T)** de un cerramiento es la suma de las **resistencias térmicas (R)** de los diferentes elementos que lo forman, más la resistencia térmica superficial, interior y exterior, del mismo cerramiento.



7.5 El coeficiente de transmisión térmica

El inverso de R_T se denomina **coeficiente de transmisión térmica** de un cerramiento (**K**) o también transmitancia de un cerramiento y es un valor que informa de la cantidad de calor que se pierde por metro cuadrado de cerramiento y por unidad de tiempo, suponiendo que exista una diferencia de temperaturas entre ambos lados del cerramiento igual a un grado.

$$K = \frac{1}{R_T}$$

$$\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

A continuación se presenta una serie de tablas donde se pueden encontrar valores de R_T y **K** típicos de soluciones constructivas habituales en nuestro entorno. Evidentemente, hay muchas más de las que se muestran aquí, pero se trata de exponer un orden de magnitudes sin ser tan exhaustivo.

Resistencia térmica aproximada de algunos tipos de forjados

(Sin revestimiento ni pavimentos)	
Tipos de forjado	$R_f \left(m^2 \cdot K / W \right)$
Unidireccional, viguetas de hormigón, bovedilla cerámica simple.	11<h<15 cm. 0,08/0,16
Unidireccional, viguetas de hormigón, bovedilla cerámica doble.	15<h<30 cm. 0,13/0,34
Unidireccional, viguetas de hormigón, bovedilla hormigón simple.	15<h<30 cm. 0,11/0,19
Unidireccional, viguetas de hormigón, bovedilla hormigón doble	25<h<30 cm. 0,22/0,27

En el cuadro anterior se detallan valores de **resistencia térmica y no de su transmisión térmica** por tratarse de elementos incompletos a los cuales entre otras capas (aislamientos, pavimentos, enyesado, etc.) habría que añadirles la **resistencia térmica superficial**, que depende de diferentes factores tales como su inclinación, la ventilación de los espacios que lo limitan, etc.

Coefficientes de transmisión térmica aproximada de algunas cubiertas inclinadas

Tipos de cubierta	$K \left(W / m^2 \cdot K \right)$
Teja árabe. mortero (1), forjado (20+3), yeso (1,5), sin aislamiento	2,37
Teja árabe. mortero (1), forjado (20+3), aislamiento (3/5/10), yeso (1,5)	0,78/0,53/0,30
Teja árabe. machihembrado cerámico (5), viguetas de madera	1,48
Teja árabe. placas de marés (5), viguetas de madera	1,67
Teja árabe. mortero (1), aislamiento (3/5/10), machihembrado cerámico o marés y viguetas de madera	0,64/0,47/0,28
Azotea 2 capas de baldosas con su mortero, hormigón celular (10), forjado (20+3), yeso (1,5)	0,64
Azotea 2 capas de baldosas con su mortero, hormigón celular (10), aislamiento (3/5/10), forjado (20+3), yeso (1,5)	0,38/0,33/0,21
Azotea 2 capas de baldosas con su mortero, doble machihembrado cerámico (10), cámara de aire no ventilada (10), forjado (20+3), yeso (1,5)	0,99
Terrado 2 capas de baldosas con su mortero, doble machihembrado cerámico (10), cámara de aire no ventilada (10), aislamiento (3/5/10), forjado (20+3), yeso (1,5)	0,53/0,41/0,26
Teja árabe o placa de fibrocemento , machihembrado cerámico (5), cámara de aire no ventilada (10), forjado (20+3), yeso (1,5)	1,36
Teja árabe o placa de fibrocemento , machihembrado cerámico (5), cámara de aire no ventilada (10), aislamiento (3/5/10), forjado (20+3), yeso (1,5)	0,53/0,41/0,26
Nota: El aislamiento que se ha considerado tiene una $\lambda = 0,035 \text{ W/m}^2 \cdot K$ (espesor en cm.)	

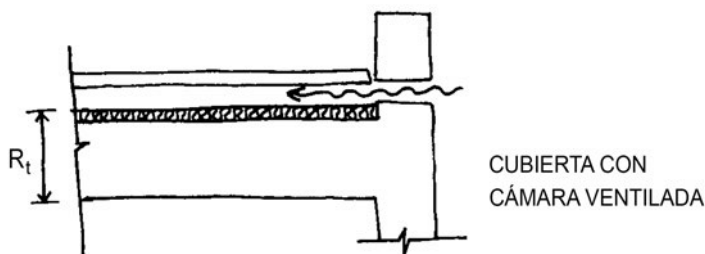
propiedades de los materiales de construcción

Coefficientes de transmisión térmica aproximada de algunas fachadas

Tipos de cerramiento (espesores en cm.)	$K (W / m^2 \cdot K)$
Ladrillo macizo (14) (con/sin) cámara de aire, ladrillo hueco (5), yeso (1,5)	1,55/2,19
Ladrillo macizo (14), aislamiento (3/5/10), ladrillo hueco (5), yeso (1,5)	0,76/0,52/0,30
Ladrillo macizo (14), (con/sin/ cámara de aire, cartón yeso (1,5)	1,49/2,04
Ladrillo macizo (14), aislamiento (3/5/10), cartón yeso (1,5)	0,76/0,52/0,30
Revoco (1,5), ladrillo (14), cámara de aire (5), ladrillo hueco (5), yeso (1,5)	1,21
Revoco (1,5), ladrillo (14), ladrillo hueco (5), yeso (1,5)	0,66/0,48/0,28
Muro de piedra calcaria , densidad relativa entre 1,8 y 2,2 (40/60)	2,44/1,86
Muro de piedra granito, densidad relativa entre 2,5 y 3,0 (40/60)	3,49/2,91
Muro de piedra (40/60), aislamiento (3/5/10), ladrillo hueco (5), yeso (1,5)	0,77/0,53/0,30
Revoco (1,5), bloque arcilla expandida (20-25), cámara de aire (5), bloque del mismo material (5), yeso (1,5)	0,77
Revoco (1,5), bloque arcilla expandida (20-25), aislamiento (3/5/10), bloque del mismo material (5), yeso (1,5)	1,09
Revoco (1,5), bloque de mortero normal (20-25), aislamiento (3/5/10), bloque del mismo material (5), yeso (1,5)	0,62/0,45/0,28
Nota: El aislamiento que se ha considerado tiene una $\lambda = 0,035 W/m^2 \cdot K$ (espesor en cm.)	

Es interesante observar como los coeficientes de transmisión térmica **K** son prácticamente iguales en aquellos cerramientos donde el aislamiento térmico es muy alto, independientemente del tipo de cerramiento.

Si se diseña un cubierta con cámara de aire muy ventilada (como es el caso de la azotea a la catalana), habría que tener en cuenta que se debe de colocar el aislamiento térmico, si lo hay, por debajo de la cámara de aire y no se deben contar para el cálculo de la **k** todos los elementos que se encuentran por encima de la cámara, por que podemos considerar que la temperatura de la cámara es la misma que la del exterior.



Coefficientes de transmisión térmica aproximada de algunos huecos

Tipos de huecos	K (W / m ² · K)
Ventana con marco de madera, vidrio sencillo, vertical(>60°)	5,0
Ventana con marco de madera, vidrio sencillo, horizontal (>60°)	5,5
Ventana con marco de madera, vidrio sencillo, vertical (>60°)	5,8
Ventana con marco de madera, vidrio sencillo, horizontal (<60°)	6,5
Ventana con marco de madera, vidrio doble 6/12 mm. vertical (>60°)	3,3/2,9
Ventana con marco de madera, vidrio doble 6/12 mm. horizontal (>60°)	3,5/3,1
Ventana con marco de madera, vidrio doble 6/12 mm. vertical (>60°)	4,0/3,7
Ventana con marco de madera, vidrio doble 6/12 mm. horizontal (<60°)	4,3/4,0
Doble ventana con marco de madera, cámara >30 mm. vertical (>60°)	2,6
Doble ventana con marco de madera, cámara >30 mm. horizontal (>60°)	2,6
Doble ventana con marco de aluminio, cámara >30 mm. vertical (>60°)	2,6
Doble ventana con marco de aluminio, cámara >30 mm. horizontal (<60°)	2,6
Hormigón traslucido (pavés), vertical (>60°)	3,5
Hormigón traslucido (pavés), horizontal (>60°)	3,7
Puerta de madera opaca en el interior	3,5
Puerta de madera opaca en un local sin calefacción	2,0
Puerta de madera con vidrio simple <30%/>30%	4,0/4,5
Puerta de madera con vidrio doble	3,3
Puerta metálica con vidrio doble (cámara de 6 mm.) <30%/>30%	5,5/4,8
Puerta de vidrio, metálica o mixta, en el exterior	5,8
Puerta de vidrio simple, metálica o mixta, en un local con calefacción	4,5

Si se hace la media ponderada de todas las **k** diferentes de los cerramientos que forman un edificio, se obtendría el llamado **coeficiente de transmisión térmica global** del edificio (**K_G**).

$$K_G = \Sigma \left(\frac{K_i \cdot S_i}{\Sigma S_i} \right)$$

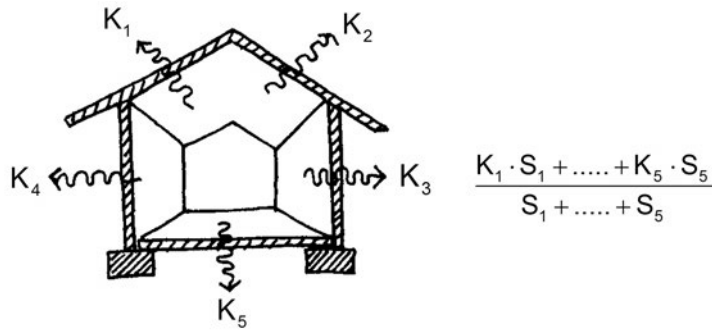
Siendo **K_i** y **S_i** los coeficientes de transmisión de calor y la superficie de cada cerramiento exterior del edificio, respectivamente.

7.6 La inercia térmica

En el estudio del confort térmico de los edificios existe un aspecto muy importante que hay que tener en cuenta (además del aislamiento térmico) y que hace referencia a la forma en que los edificios cambian su propia temperatura frente a los cambios de temperatura exteriores.

Cuando un cuerpo se sitúa en un ambiente (normalmente el aire que lo envuelve) con una temperatura diferente a la que se encuentra, tiende a igualar su temperatura con la del entorno, cediendo o ganando calor según se encuentre la temperatura ambiente, más fría o más cálida.

propiedades de los materiales de construcción

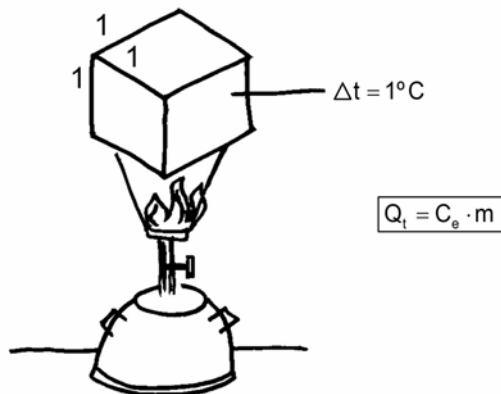


Esta ganancia de calor se hace a través de la superficie de contacto del material y del entorno teniendo en cuenta los *coeficientes de conductividad térmica* y la *resistencia térmica superficial* de los dos materiales. Ahora bien, esta ganancia de calor no va ligada, proporcionalmente, a una ganancia de temperatura, sino que depende de cada material. La característica que define esta relación ganancia de calor/ganancia de temperatura se denomina **calor específico (C_e)** del material.

Calor específico (C_e):

Cantidad de calor requerido para aumentar una unidad de temperatura de una unidad de masa.

Unidades de medición: J/Kg·K, cal/g·°C



A continuación se detalla una tabla con una serie de valores de calor específico de diversos materiales de construcción. Vale la pena observar que la mayoría de materiales sólidos se sitúan en la franja de 0,22/0,36. Es decir, se trata de un valor que no varía demasiado de un material a otro. Otro dato a tener en cuenta es el elevado valor correspondiente al agua.

Calor específico

Material	kcal/kg.°C	J/kg·K
Agua	1,00	4.187
Aire	0,24	1.000
Polietileno	0,55	2.300
Hielo	0,50	2.100
Vapor de agua	0,42	1.760
Madera	0,36/0,60	1.500/2.510
Lámina acrílica	0,35	1.460
Plafón de fibras aislantes	0,33	1.400
Plafón aglomerado denso	0,30	1.250
Poliestireno	0,30	1.250
PVC	0,25	1.040
Mortero de cemento	0,25	1.046
Mortero de cal, yeso	0,20	830
Hormigón	0,21/0,26	840/1.040
Cerámica	0,22/0,24	920/1.000
Granito	0,16	650
Rocas calcáreas	0,22	920
Vidrio, fibra de vidrio	0,20	840
Aluminio	0,20/0,215	830/950
Acero	0,11/0,12	450/512
Cobre, Zinc	0,092	386/390
Plomo	0,031	128/130
Estaño, plata	0,055	230/240

Tal y como queda reflejado en la definición, los valores de **calor específico** hacen referencia a la unidad de masa. Por tanto, si se desea saber la cantidad de calor necesario para variar la temperatura de un cuerpo o de un elemento constructivo, habría que aplicar este valor a toda la masa, obteniendo así una característica propia de los cuerpos (no de los materiales) que se denomina **capacidad térmica**(Q). Evidentemente, el valor de esta magnitud se obtiene multiplicando la masa del cuerpo por su calor específico.

Capacidad térmica (Q):

Capacidad de un cuerpo de almacenar calor.

Sinónimo: masa térmica (M_t)

Unidades de medición: J/K, cal/°C

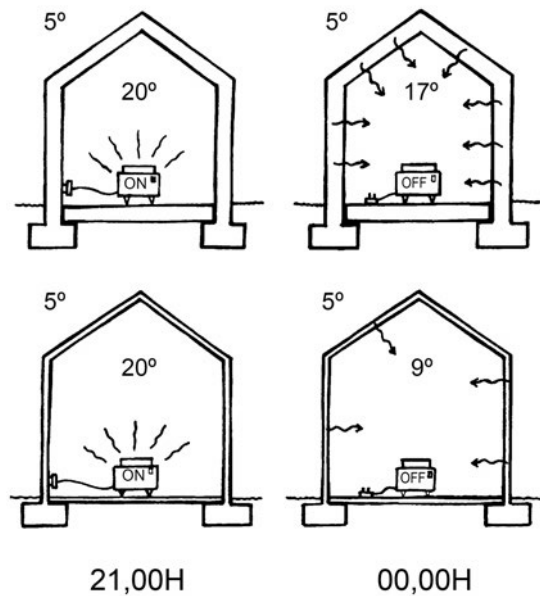
Un determinado material puede, en función de su **calor específico** (C_e), de su **densidad** (γ) y de su **conductividad térmica** (λ), conseguir calentarse más o menos de prisa. Hay una propiedad de los materiales que hace referencia a esta capacidad y se llama **difusibilidad térmica** (α) de los materiales.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\gamma \cdot C_e}$$

propiedades de los materiales de construcción

La **difusibilidad térmica** de un material equivale al cociente entre la **conductividad térmica** y la **capacidad calorífica** de una unidad de volumen del propio material. Es una propiedad que indica la facilidad con que los cambios de temperatura se propagan dentro de un cuerpo. Cuando más grande es el valor de α más rápida es la propagación de los cambios de temperatura.

Si continuamos con este razonamiento y consideramos un edificio (sobre todo su piel exterior: fachadas, soleras, cubiertas, etc.) como una unidad, podremos definir la capacidad térmica de los cerramientos como la suma de las capacidades térmica de cada uno de los cerramientos exteriores.



Este valor dará una idea del calor necesario para modificar la temperatura de la piel de un edificio y, relacionándolo con otras propiedades, se puede establecer el tiempo que tardará en realizarse esta modificación. Este concepto de retardo en la modificación de la temperatura de un edificio se denomina **inercia térmica** del edificio.

Difusibilidad térmica (α):

Propiedad de un material que mide la propagación de los cambios de temperatura a través de un sólido.

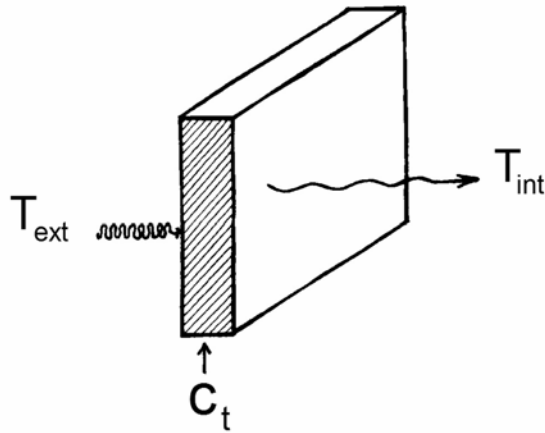
Unidades de medición: m^2/s

Difusibilidad térmica (α)	
Material	$\alpha(10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})$
Cobre	112
Aluminio	84
Latón (70% Cu. 30% Zn.)	34,2
Aire (1 atm.)	22,5
Acero	18,8
Mercurio	4,4
Acero inoxidable. 18-8	3,9
Fibra de vidrio	1,6
Hormigón	0,75
Vidrio Pirex®	0,51
Terreno arcilloso	0,5
Corcho	0,16
Agua	0,15
Neopreno	0,08
Madera de pino	0,07
PVC	0,05

7.7 El retardo térmico

En construcción arquitectónica trabajamos siempre con unas temperaturas exteriores del edificio que no son constantes. Las temperaturas cambian continuamente a lo largo del día y a lo largo del año. Estos cambios pueden ser suaves o muy bruscos, en función del asoleamiento, de la llegada de una perturbación meteorológica, etc. No obstante, se puede aceptar que la fluctuación térmica del aire exterior en un edificio se puede representar mediante una gráfica sinusoidal, con un periodo de 24 horas.

Evidentemente, el calentamiento o enfriamiento de los cerramientos de un edificio, descrito en el apartado anterior, también sufrirá variaciones en el mismo sentido y, en consecuencia, el aire o el ambiente interior de un edificio también tendrá una variación de forma sinusoidal. Ahora bien, según la capacidad térmica de los cerramientos, existirá un desfase entre la onda que representa la temperatura exterior y la onda que representa la interior. En principio, cuanto más grande sea la capacidad térmica de los cerramientos, más grande será el desfase de las dos ondas. Este **desfase de onda térmica** recibe el nombre de **retardo térmico**(R_t) de los cerramientos de un edificio.



Si se tratase de unas variaciones perfectamente sinusoidales (ya se ha visto que la realidad es mucho más compleja) y los cerramientos fueran homogéneos, se podría calcular el valor exacto del retardo térmico con la siguiente ecuación.

$$R_t = \frac{t}{2} \cdot L \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot C_e}{\pi \cdot \lambda \cdot t}}$$

donde:

R_t = Retardo térmico.

t = Periodo de la onda térmica (24 horas).

L = Espesor del cerramiento.

λ = Conductividad térmica del material (W/m^2K)

C_e = Calor específico del material (W/m^2K)

γ = Densidad del material (kg/m^3)

$\pi = 3,1416$

Por tanto, esta ecuación del retardo térmico, para un cerramiento de un edificio, se puede escribir de forma directa:

$$R_t = 1,382 \cdot L \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot C_e}{\lambda}}$$

O también en función de la **difusibilidad térmica (α)** del material.

$$R_t = \frac{1,382 \cdot L}{\sqrt{\alpha}}$$

Retardo térmico (R_t) de diferentes materiales	
Material (1m. de espesor)	R_t horas
Aluminio	2,5
Aire en reposo (10°C)	5,45
Aislamiento térmicoplástico	6,93
Piedra natural	21,8/23,12
Mortero de cemento	25,85
Hormigón en masa	29/30
Ladrillo macizo	30,28
Ladrillo perforado	30,66
Ladrillo hueco	33,04
Hormigón aligerado	33,70
Enyesado	34,28
Bloque cerámico aligerado	44,81
Agua	61,80
Corcho	67,00
Madera	58/74
Caucho	80,00

7.8 El amortiguamiento térmico

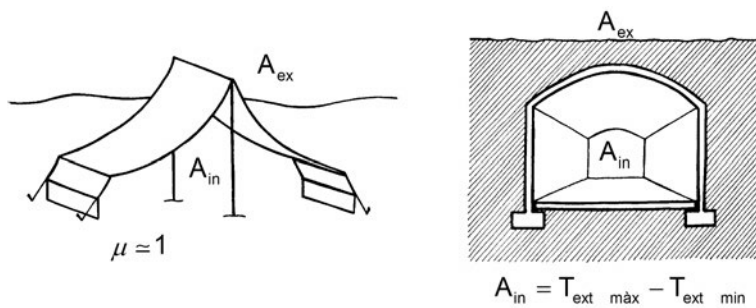
Los efectos en un cerramiento frente a una acción térmica de forma sinusoidal no son solo de retardo térmico, sino que también provocan una pérdida de amplitud de esta onda. Es decir, si la variación de las temperaturas exteriores vale A_{ex} (igual a la diferencia entre la máxima y la mínima al exterior), la variación de temperaturas interiores valdrá A_{int} (igual a la diferencia entre la máxima y la mínima hacia el interior), del tal forma que:

$$A_{ext} > A_{int}$$

La relación entre estos dos valores se denomina **coeficiente de amortiguamiento térmico**(μ) del cerramiento y, por tanto, no tiene unidades de medida.

$$\mu = A_{int} / A_{ext}$$

Obviamente, los valores de μ oscilan entre cero y uno. Un valor igual a cero significa que la variación de temperaturas internas es nula, es decir, que no importa cuál sea la temperatura exterior, en el interior se mantiene una temperatura constante. Este es el valor propio de una cueva profunda, y próxima a la que presenta una catedral, una bodega, etc. Por el contrario, un valor igual a la unidad significa que la variación de temperaturas interiores es igual a la de las exteriores: es como si no existieran cerramientos. Sería el caso de una tienda de campaña, de un edificio de vidrio, etc.



Hay que notar que raramente se encuentran valores de μ igual a 1, ya que a causa del **efecto invernadero**, las temperaturas más bajas se suelen mantener, a no ser que además de tener un cerramiento con muy poca capacidad térmica existan grandes corrientes de aire que llegasen a anular el llamado efecto invernadero.

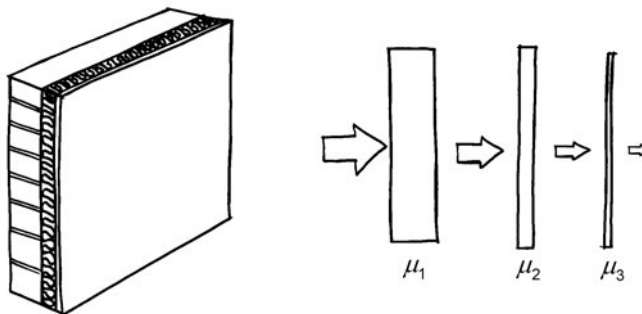
El valor del **coeficiente de amortiguamiento térmico**(μ) de un cerramiento homogéneo determinado puede evaluarse a través de la siguiente ecuación:

$$\mu = e^{-L \sqrt{\frac{\mu \cdot \gamma \cdot C_e}{t \cdot \lambda}}}$$

Donde los términos de la ecuación tienen el mismo significado que los reseñados en el apartado anterior cuando se evaluaba el **retardo térmico**(R_t). El hecho de tratarse de una ecuación exponencial hace que de ninguna manera el coeficiente μ sea proporcional al espesor L del cerramiento.

Cuando se trata de un cerramiento multicapas formado por diferentes espesores de diferentes materiales, el cálculo de los coeficientes de amortiguamiento térmico se hace un poco más complejo. La idea es que cada capa amortigüe la capa anterior, por tanto el valor resultante para el conjunto de un cerramiento de n capas es:

$$\mu = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \mu_4 \cdot \dots \cdot \mu_n$$



RESISTENTE AISLAMIENTO ACABADO

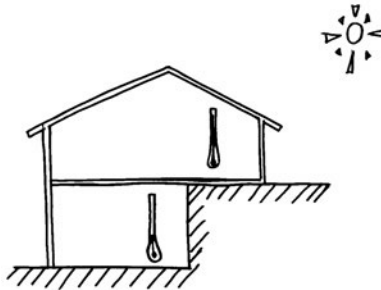
7.9 La temperatura interior de un edificio

Hasta ahora se ha comentado como los cerramientos de un edificio regulan la transmisión del calor a través de tres parámetros:

1. Aislamiento térmico
2. Retardo térmico
3. Amortiguamiento térmico

Estos tres parámetros dan una idea de lo que pasa en la superficie interior de un cerramiento, pero no de lo que sucede al interior del edificio. De hecho, el concepto de temperatura interior de un edificio es un concepto complejo.

Si, mediante un termómetro, se comprueba cuál es la temperatura interior de un edificio, se verá que no es un valor concreto. Hay una variedad de diferentes temperaturas en función de dónde se realiza la medición; próximo al techo, al pavimento, a un cerramiento exterior, etc., y todo eso suponiendo que no existan radiación solar directa, ni convecciones muy fuertes producidas por la calefacción, ni ventilación exterior, ni otras situaciones que afecten directamente a la temperatura.



De alguna manera, se puede asegurar que la temperatura media del interior de un edificio va en función de tres componentes básicos:

1. La temperatura superficial interior de los cerramientos y de sus resistencias térmicas superficiales
2. La capacidad térmica del interior del edificio
3. El factor de forma del edificio

Ya se ha comentado sobradamente en los apartados anteriores acerca de la temperatura superficial interior de los cerramientos y de la resistencia térmica superficial.

En lo que respecta a la capacidad térmica del interior de un edificio tendríamos que hacernos las siguientes preguntas: ¿Evolucionará de la misma manera la temperatura interior de dos edificios idénticos exteriormente, con los mismos cerramientos exteriores pero con unos interiores completamente distintos? Es decir, ¿un edificio vacío (pabellón deportivo, iglesia, almacén vacío, etc.) y uno lleno (viviendas, oficinas, almacén lleno, etc.) tienen la misma evolución de temperatura en el interior? Evidentemente no. Así como las propiedades térmicas de los cerramientos afectan la temperatura superficial interior de los cerramientos, las propiedades térmicas de los elementos interiores de un edificio afectarán la temperatura media de su interior. De forma sencilla se puede

propiedades de los materiales de construcción

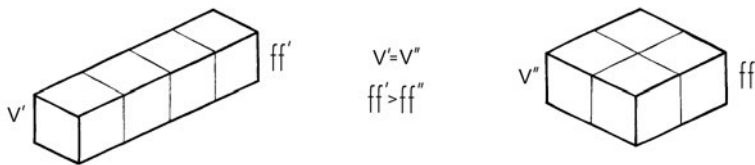
decir que cuanto más grande sea la capacidad térmica del interior del edificio, más uniforme (más pequeño μ) se mantendrá la temperatura interior.

Finalmente, queda hacer mención del factor de forma (**ff**) del edificio. Esta propiedad relaciona la piel (el cerramiento del edificio) con el interior. Es decir, valora la importancia de los cambios de temperatura que, a través de la piel, afectarán a todo el interior del volumen.

Factor de forma (ff):

Cociente entre la superficie exterior de un edificio y el volumen interior del mismo edificio.

Unidades de medición: m^{-1}



Si un edificio tiene un **factor de forma** muy alto quiere decir que para, un mismo volumen, tiene una gran superficie de piel para intercambiar calor con el exterior, por tanto, la variación de temperaturas del interior será más grande (más grande será μ) que en otro edificio con el mismo volumen pero con una piel más pequeña, lo que significa un factor de forma inferior.

Parece obvio que cuanto más grande sea este factor más incidencia tienen los cambios exteriores de temperatura sobre la interior, ya que hay más superficie, proporcionalmente hablando, por donde repercutir estos cambios.

Así pues, queda clara la dificultad de establecer una ecuación matemática que relacione la temperatura interior de un edificio con la exterior. Existen estudios teóricos y experimentales que proporcionan fórmulas aproximadas para calcular estos valores, pero quedan fuera del alcance de este texto. No obstante, se puede establecer la siguiente relación de valores:

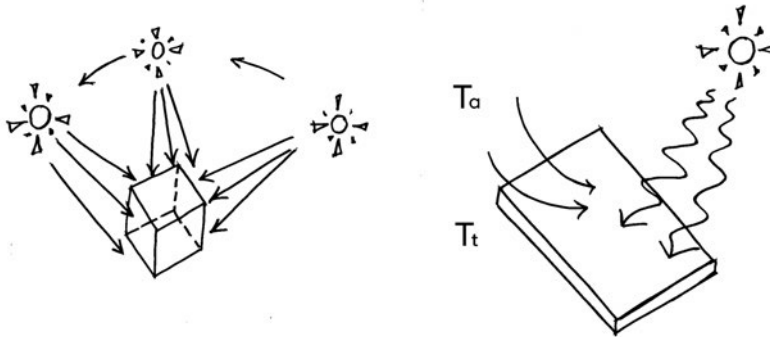
$$A_i = f \left(\frac{A_e \cdot ff}{Q_{ti}} \right)$$

Donde A_i es la amplitud de onda de temperaturas interiores A_e es la amplitud de onda de temperaturas exteriores, **ff** es el factor de forma del edificio y Q_{ti} la capacidad térmica de los elementos del interior del edificio.

De forma similar se puede valorar el retardo térmico o desfase de las dos ondas térmicas, la del interior y la del exterior del edificio, con la ecuación:

$$R_{ti} = f \left(\frac{R_t}{Q_{ti}} \right)$$

Donde R_{ti} es el retardo térmico de la temperatura interior respecto a la del exterior y R_t es el retardo térmico de la cara interior de los cerramientos, tal y como se ha evaluado en apartados anteriores.



7.10 El calentamiento de los cerramientos

El estudio del comportamiento térmico de los edificios y el confort del interior es una materia de gran importancia en el desarrollo de un proyecto arquitectónico. No obstante, muchas veces, en los estudios térmicos se pone muy poca atención a la temperatura que pueden alcanzar los cerramientos sometidos a la radiación solar directa o difusa, y a sus consecuencias.

Es muy fácil saber cuál es la temperatura exacta de un cerramiento expuesto directamente a la radiación solar, ya que con el movimiento de la tierra, varía constantemente la posición del Sol respecto al cerramiento. Eso por una parte, pero además se ha de tener en cuenta el proceso de conducción del calor a través del propio cerramiento hacia el interior.

No obstante, si se admite un momento ideal de equilibrio (un estado estacionario) se puede deducir la temperatura máxima a la cual llegará un cerramiento (T_t) en función de la temperatura del aire exterior, (T_a) y de la radiación solar total (I_s) incidente en el cerramiento (directa y difusa) en el momento determinado.

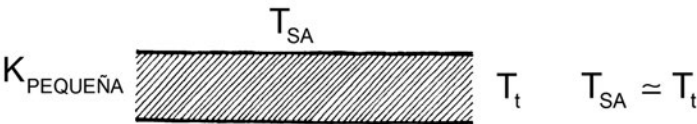
De forma teórica se puede calcular la denominada temperatura sol-aire T_{sa} , que es aquella temperatura hipotética del aire exterior que provocaría un aumento de temperatura y un flujo de calor igual al que provoca la temperatura real del aire más la radiación solar. La temperatura Sol-aire se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

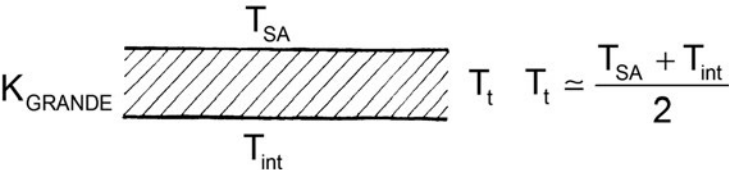
$$T_{SA} = T_a + \frac{1}{h_e} \cdot (I_s \cdot \alpha_s - \varepsilon \cdot I_L)$$

Donde h_e es el coeficiente superficial exterior de transmisión de calor de un cerramiento α_s es la absorbancia media de la superficie exterior del cerramiento, ε es la emitancia de la superficie del

propiedades de los materiales de construcción

cerramiento y I_L es la radiación de onda larga (baja frecuencia) emitida por un cuerpo de color negro a la temperatura del cerramiento.


$$K_{\text{PEQUEÑA}} \quad T_{SA} \quad T_t \quad T_{SA} \approx T_t$$


$$K_{\text{GRANDE}} \quad T_{SA} \quad T_t \quad T_{int} \quad T_t \approx \frac{T_{SA} + T_{int}}{2}$$

En las fachadas, el valor de la radiación de onda larga I_L emitida por el cerramiento puede omitirse, ya que es compensada por la radiación de onda larga emitida por la tierra o por los objetos, edificios, etc., que envuelven al cerramiento. En las cubiertas la situación real se asemeja más a la teórica y no se puede desestimar este valor.

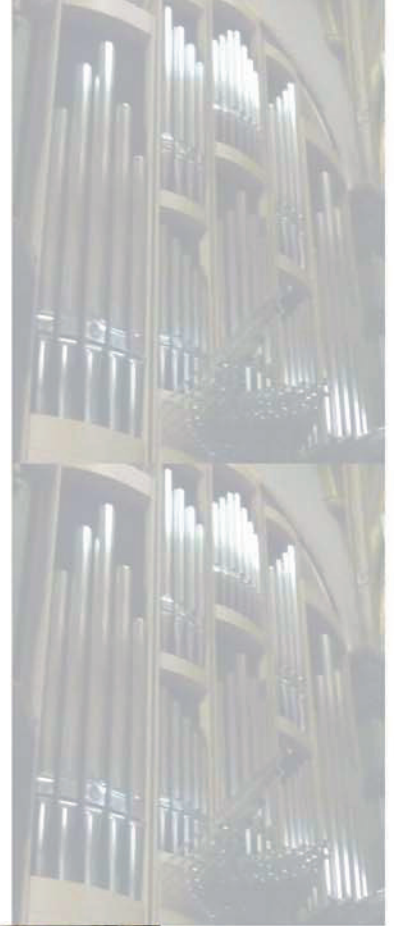
Una vez obtenida la temperatura teórica Sol-aire, se podrá realizar el estudio de temperaturas superficiales de un cerramiento, conociendo así la temperatura interior T_i del edificio y la K total del cerramiento. Así pues, la temperatura superficial exterior del cerramiento T_t será:

$$T_t = T_{sa} - (T_{sa} - T_i) \cdot \left(\frac{K}{h_e} \right)$$

Esta temperatura máxima es útil, entre otras cosas, para calcular la dilatación térmica de las hojas exteriores de las fachadas y cubiertas, para calcular la entrada de calor por conducción hacia el interior del edificio, etc.

Hay que observar que cuando la K es muy pequeña (cerramientos muy aislados), la temperatura superficial del cerramiento T_t , es prácticamente igual a la temperatura sol-aire T_{sa} , mientras que con cerramientos muy poco aislados (una chapa de aluminio), donde la K tiene un valor alto, la temperatura del cerramiento será del orden de la media entre la temperatura sol-aire y la temperatura interior del edificio.

8



propiedades de los sólidos ante los fenómenos ondulatorios

8.1 Introducción a los fenómenos ondulatorios

La mayoría de los fenómenos físicos que interesan en la edificación, es decir, que afectan o son afectados por los materiales y elementos de construcción, se pueden medir de forma concreta y proporcionan normalmente un valor preciso al realizarse esta medida. Por tanto, se puede decir que un momento determinado, la temperatura del aire es de 25 °C, la presión atmosférica es de 1012 mbars, el empuje del viento es de 75 kg/m², etc.

No obstante, existen una serie de fenómenos físicos que, si se pudieran medir, no ofrecerían una cantidad concreta o precisa, sino una serie de valores oscilantes, en unas ocasiones más altos y en otras más bajos. Estas variaciones no son aleatorias, sino que muchas veces responden a una variación sinusoidal o en forma de onda. Es decir, los valores altos y bajos se van repitiendo en una cadencia continua y más o menos uniforme. A cada una de estas repeticiones se las denomina **ciclo**, por tanto al fenómeno ondulatorio también se le puede llamar fenómeno cíclico y, paralelamente, a cada ciclo, también se le puede decir **onda**.

Dado que en la medida y valoración de este fenómeno interviene el tiempo, es decir, el tiempo que transcurre entre las diferentes fases o repeticiones del fenómeno, automáticamente aparecen una serie de valores que relacionan todas estas variables.

Periodo (T):

Duración de un ciclo completo de un fenómeno ondulatorio.

Inverso: frecuencia

Unidades de medición: segundos (s)

Palabras relacionadas: periódico. –a (a), periodicidad (f)

Frecuencia (f):

Número de oscilaciones por unidad de tiempo en un fenómeno periódico, igual al inverso del periodo.

propiedades de los materiales de construcción

Inverso: periodo

Unidades de medición: hz. (Hertz = ciclo/segundo), s^{-1}

Palabras relacionadas: recuencial (a), frecuencímetro (m)

Otra de las variables que nos interesan en un fenómeno ondulatorio es la diferencia entre el valor máximo y mínimo de la variable ondulatoria y el valor medio, es decir, su **amplitud**. En ocasiones se habla de **amplitud doble** si se refiere a la diferencia entre los valores máximos y mínimos.

Amplitud (A):

En la propagación de un fenómeno ondulatorio, es el valor que toma la magnitud variable, objeto del fenómeno, en un semiperiodo.

Unidades de medición: (las unidades típicas de la magnitud)

Otro aspecto singular en la observación de los fenómenos ondulatorios es el hecho de obtener una determinada medida (propia del fenómeno) en dos o más puntos diferenciados. Lo más probable es que los valores obtenidos en cada una de estas medidas, en un mismo instante, sean diferentes. Aun así, si variamos la posición de los puntos de observación, encontraremos una serie de puntos que miden siempre el mismo valor de magnitud. Estos puntos, diremos, están separados un número entero de **longitud de onda**.

Longitud de onda (λ):

En un fenómeno ondulatorio, distancia mínima entre dos puntos que se encuentran en el mismo estado de variación.

Unidades de medición: m, Å (ångstrom = 10^{-10} m.)

Un vez definida la longitud de onda (medida con unidades de longitud) y la frecuencia (medida con unidades de tiempo), podemos definir de manera fácil una nueva magnitud obtenida de multiplicar las dos magnitudes mencionadas λf que se denomina **velocidad de onda**:

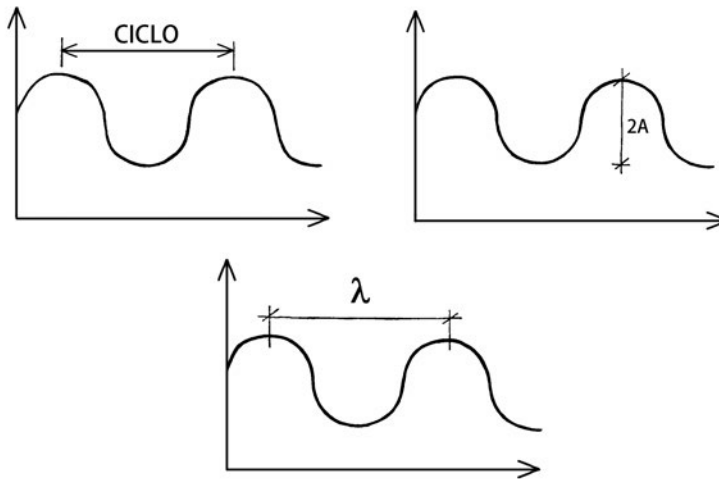
$$v = \lambda \cdot f$$

Velocidad (de fase, de onda):

En la propagación de un fenómeno ondulatorio, es la velocidad la cual se propagan los puntos que se encuentran en el mismo estado de perturbación.

Unidades de medición: m/s, km/s

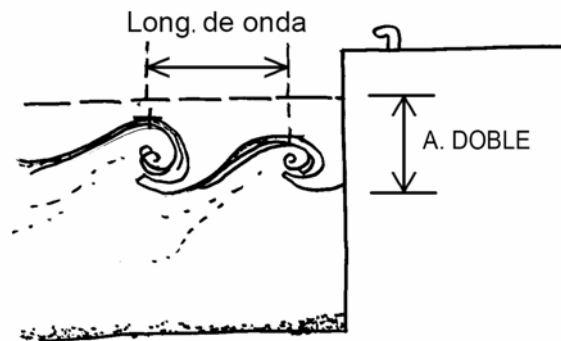
propiedades de los sólidos ante los fenómenos ondulatorios



8.2 Fenómenos ondulatorios que afectan a los edificios

En la naturaleza se pueden encontrar muchos y diferentes fenómenos ondulatorios. Uno de los más típicos, dado que puede ser observado a simple vista, es el de las olas del mar, el cual da nombre a este fenómeno. En este caso, la magnitud que se mide es la altura del nivel del agua, la cual varía de forma uniforme en el tiempo. La altura de estas ondas es la amplitud doble antes mencionada, la distancia entre las crestas de las olas es la longitud de onda.

No obstante, no todos estos fenómenos interesan en la construcción arquitectónica, es decir, en los edificios. De hecho, podemos decir que hay solo tres tipos de fenómenos ondulatorios que interesan: el sonido, las vibraciones y las ondas electromagnéticas (luz, calor, rayos ultravioletas, etc.) Si bien estos tres fenómenos son muy diferentes (el primero mide las vibraciones en la presión del aire, el segundo la deformación de un sólido y el tercero mide variaciones en el campo electromagnético), en ciertos aspectos tienen un comportamiento similar. Es por ello que se puede realizar un estudio general del comportamiento de estos fenómenos en los edificios y después, cuando sea necesario, hacer un estudio más particular de cada uno de ellos.



8.3 Las ondas y los edificios

Cuando una onda (energía que provoca el fenómeno ondulatorio) incide en un edificio (un objeto o un cambio de medio inesperado en su desplazamiento rectilíneo), se producen una serie de fenómenos que pueden ser estudiados de forma genérica y de forma simple con la siguiente teoría:

- Una parte de la energía que lleva la onda atraviesa el objeto en cuestión (el cerramiento de un edificio, por ejemplo), creando una nueva onda de idénticas características al otro lado del objeto. Este fenómeno recibe el nombre de **transmisión**. Si la dirección de la onda generada al otro costado no coincide con la propagación de la dirección de onda incidente, sino que se ha generado un cambio de dirección, diremos que se ha producido un fenómeno de **refracción**.

Transmisión:

Acción por lo cual la superficie de un objeto deja pasar, totalmente o parcialmente, la energía de una onda incidente.

Tipos: normal (directa), difusa, dispersa (semidifusa)

Unidades de medición: unitario, %

Palabras relacionadas: transmisividad (f), transmisor -a (a), transmitir (v), transmitancia (f), transmisible (a), transmisibilidad (f)

Refracción:

Movimiento de la trayectoria de un rayo o de una fuente de onda que atraviesa una superficie que limita dos medios diferentes.

Palabras relacionadas: refractar (v), refractivo -a (a), refractividad (f), refractómetro (m) refractario -ría (a)

- Una parte de la energía se refleja por el objeto, y crea una nueva onda de características similares en el mismo lado del objeto. Este fenómeno recibe el nombre de **reflexión**.

Reflexión:

Acción por el cual la superficie de un cuerpo hace que la energía de una onda incidente, totalmente o parcialmente, no penetre y se aleje tomando una nueva dirección.

Tipos: especular (regular, directa), difusa, dispersa (semidifusa)

Unidades de medición: unitario, %

Palabras relacionadas: reflectancia (f), reflector, -a (a), reflectivo (v), reflejo (m), reflexible (a), reflexibilidad

- c) Una parte de la energía es absorbida por el objeto, transformándose en otro tipo de energía, normalmente calorífica, que calienta, dilata, etc., el objeto en cuestión. Este fenómeno recibe el nombre de **absorción**. En ocasiones la energía absorbida por el objeto es capaz de transformarse de nuevo en otra onda y emitirse tanto por un costado del objeto como por el otro. Estas ondas no tienen por qué ser idénticas a las originales y, de hecho, no suelen serlo nunca.

Absorción:

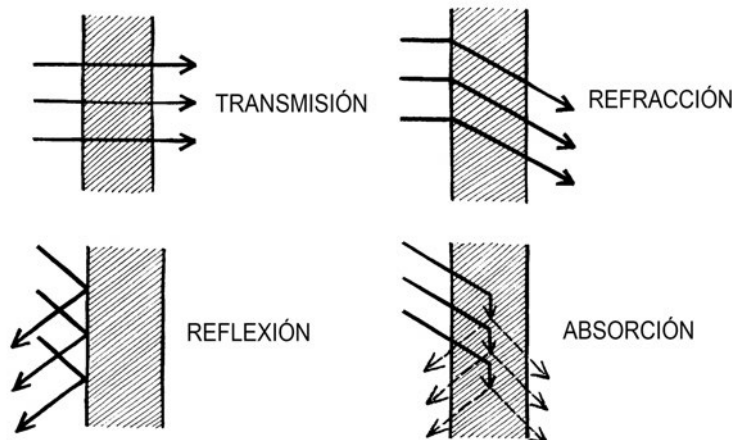
Acción de hacer penetrar y retenerlo dentro. Pérdida de intensidad de un flujo de radiación u ondas sonoras que atraviesan un medio absorbente.

Unidades de medición: unitario, %

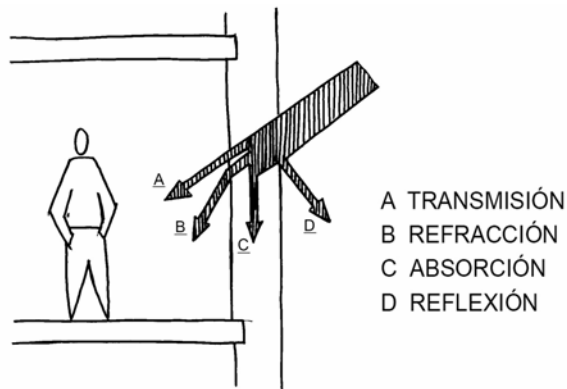
Palabras relacionadas: absorber (v), absorbible (a), absorbilidad (f), absorciómetro (m)

Absorbancia:

Valor numérico de absorción que se produce cuando la luz o cualquier otra energía radiante atraviesa un material o un elemento constructivo.



Como conclusión de este apartado, hay que hacer una mención especial del hecho que los fenómenos de transmisión, reflexión, y absorción de una onda sobre un objeto (para nuestro caso siempre será el cerramiento de un edificio) depende, del material y de las características físicas del objeto, pero también de la longitud de onda incidente (o de la frecuencia, que es su inversa). Esto tiene una importancia fundamental, tal y como se verá más adelante, ya que tanto el sonido percibido por el oído humano como las diferentes ondas electromagnéticas que nos llegan desde el espacio exterior, pero sobre todo del sol, están formadas por un conjunto muy diverso y amplio de ondas de diferentes longitudes.



8.4 El sonido y los materiales y elementos de construcción

La variación de la presión y la densidad del aire (también podría tratarse de otro fluido o de un sólido) producida de forma ondulatoria, es decir, una vibración puede ser percibida por los órganos auditivos de los animales si se producen con una frecuencia e intensidad adecuada. De hecho, no todos los animales son sensibles a las mismas frecuencias del sonido. De todos es bien sabido que hay quienes utilizan ultrasonidos para comunicarse, o bien para desplazarse (delfines, murciélagos, etc.).

El ser humano es capaz de percibir, en condiciones óptimas del oído, sonidos con frecuencias comprendidas entre los 20 Hz y los 15 kHz aproximadamente, la frecuencia de máxima sensibilidad se sitúa alrededor de los 2 KHz. A medida que aumenta el envejecimiento de las personas, estos valores se reducen sensiblemente. No hace falta recordar que para percibir un determinado sonido es necesario, además de tener una frecuencia determinada, que éste tenga una intensidad (una amplitud) adecuada.



8.5 El aislamiento acústico

Cuando una onda sonora llega al cerramiento de un edificio, en función de su longitud de onda y de las características físicas del cerramiento, parte de esta onda atraviesa el cerramiento a causa del fenómeno de transmisión.

Si la energía de onda transmitida es pequeña comparada con la energía de la onda incidente, diremos que el cerramiento es un buen aislante acústico (al menos en esta frecuencia). Para entender por qué un determinado cerramiento es o no un buen aislante acústico, hay que hacer una reflexión sobre el fenómeno de transmisión del sonido.

La energía de onda acústica (variación de la presión del aire) que llega al cerramiento de un edificio provoca una vibración, es decir, transforma parte de esa energía en energía mecánica que intenta mover el cerramiento. Automáticamente, este movimiento provoca un cambio de presión en el aire que existe al otro costado del cerramiento, es decir, provoca la aparición de otra onda sonora de la misma frecuencia que la incidente.

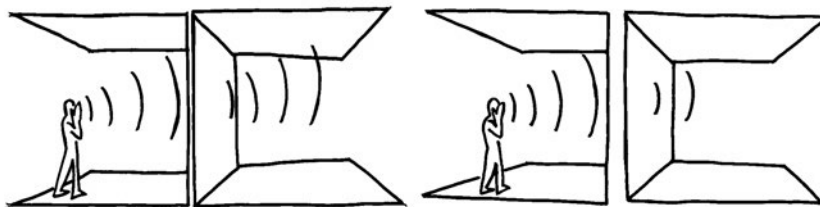
Aislamiento acústico:

Diferencia entre el nivel de presión acústica del local donde se produce el sonido y el local donde se recibe.

Unidades de medición: dB (decibelios), dBA (decibelios de escala ponderada)

Tipos:

- a) De un elemento constructivo
- b) Bruto entre dos locales
- c) Normalizado entre dos locales (teniendo en cuenta la reverberación del local receptor)



Si este es el fenómeno, es fácil entender que cuanto más pese el cerramiento más costará moverlo y, por tanto, menor será la intensidad de la onda transmitida. En un **cerramiento homogéneo**, es decir, de un solo material, se han realizado estudios teóricos y empíricos del proceso descrito anteriormente que conducen a la llamada **ley de masas**. Esta ley establece que la reducción de la intensidad acústica a través de un determinado elemento es función del cuadrado del producto de la masa unitaria por la frecuencia del sonido aéreo considerado.

$$a \approx (f \cdot M^2)$$

Esta ecuación expresada en decibelios se puede transformar en:

$$a \approx 10 \log(f \cdot M)^2$$

propiedades de los materiales de construcción

De esta ecuación se puede deducir que, para una determinada frecuencia, el aislamiento acústico aumenta 6 dB cuando se dobla la masa del cerramiento. Lo mismo sucede si se mantiene la masa pero se dobla la frecuencia del sonido. Pero estos son valores teóricos. Los ensayos realizados sobre diferentes soluciones constructivas proporcionan valores que a menudo no corresponden en absoluto a la ley de masas. De hecho, muchos ensayos proporcionan un valor experimental de 4 dB, en lugar de 6 dB, teóricos. Depende, entre otras cosas del espesor o de la masa del cerramiento sobre el cual se realiza el experimento.

Aislamiento acústico				
Tipos de pared	Espesor cm	Masa kg/m ²	Aislamiento dBA	
Muro de ladrillo perforado ¹	14	250	46	
	29	460	56	
Muro de ladrillo macizo ¹	14	286	48	
	29	532	58	
Muro de ladrillo silitocalcáreo ¹	11,5	252	46	
	24	484	56	
Muro de bloque de hormigón ¹	14	225	44	
	19	270	47	
	29	370	52	
Muro de hormigón armado ¹	14	350	51	
	20	500	57	
	30	750	63	

¹ Superficie revestida (enlucida, enyesada, etc.) por las dos caras

Condiciones mínimas de la tabiquería según el CTE:

En la siguiente tabla se expresan los valores mínimos de la masa por unidad de superficie, *m*, y del índice global de reducción acústica, ponderado A, RA, que deben tener los diferentes tipos de tabiquería.

Parámetros de la tabiquería		
Tipo	<i>m</i> kg/m ²	RA dBA
Fábrica o <i>paneles prefabricados pesados</i> con apoyo directo.	70	35
Fábrica o <i>paneles prefabricados pesados</i> con <i>bandas elásticas</i> .	65	33
<i>Entramado autoportante</i> .	25	43

Con RA como índice de reducción acústica

Hay que observar los dos datos se han sido mencionados: **sonido aéreo** y **homogéneo**. Si se trata de un **sonido de impacto** o una **vibración**, es posible que sean más importantes otros factores como la flexibilidad de la superficie del cerramiento o su porosidad, etc., y no su propia masa. Por

tanto, en un caso así se debería de poner especial atención en todos aquellos aspectos que afectan la producción y la transmisión del impacto o vibración.

Así mismo, cuando un cerramiento no es homogéneo (o monocapa), el proceso de transmisión del sonido a través suyo se complica bastante, ya que entran en funcionamiento los mecanismos de absorción entre capa y capa, de manera que un cerramiento multicapa bien diseñado puede ser un mucho mejor aislante acústico que otro de monocapa de mucha más masa.

8.6 El aislamiento en las vibraciones. El ruido de impacto

Hasta ahora se ha considerado el fenómeno de transmisión de un sonido a través del aire o de un elemento constructivo. Aun así, existe la posibilidad de que el sonido se genere sobre un sólido a través de un golpe o de un impacto. Este impacto hace vibrar el elemento sólido y automáticamente se crea un sonido más alto por el costado donde se ha producido el impacto y más bajo por el otro costado. En este tipo de sonidos, denominado **ruido de impacto**, lo que se trata es de absorber la energía de la vibración a fin de evitar que el sonido se propague al otro costado.

La solución más efectiva consiste en colocar una capa elástica que a través de su propia deformación disipe la máxima energía. Esta capa elástica es más eficaz si se coloca superficialmente por el lado donde se produce el impacto. Si no es posible, se situará en el interior del cerramiento, formando un elemento sándwich o multicapa que, en el caso de particiones horizontales, recibe el nombre de **pavimento flotante**.

Nivel de ruido de impacto normalizado (L_N):

Nivel de sonido producido por la máquina de impacto que se describe en la norma UNE 74-040-84, en el local situado en el otro costado.

Unidades de medida: dB (decibelios)

La capacidad de aislamiento al ruido de impacto de un cerramiento (normalmente horizontal) no mide la resistencia al paso de la energía sonora (tal y como se hace con el sonido aéreo), sino el nivel de ruido perceptible al otro costado del cerramiento analizado cuando se produce un impacto (según normativa). Si no se dispone de resultados de laboratorio, se puede considerar que el **nivel de ruido de impacto normalizado (L_N)** de un cerramiento es igual a:

$$L_N = 135 - R(\text{dBA})$$

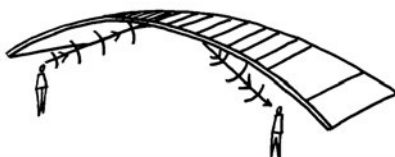
Es decir, cuanto más alto es el valor L_N menos aísla, y viceversa. Ahora bien, si este cerramiento dispone de alguna capa elástica, el aislamiento mejora, es decir, el valor L_N disminuye.

Mejora del aislamiento al ruido de impacto (CTE) (NBE-CA-88 derogada)

dBA	Pavimentos
2	Plásticos (PVC, vinílicos, etc.)
6	Flotante de hormigón sobre fieltro
7	Plástico sobre corcho
8	Plástico sobre fieltro
10	Parquet sobre corcho
11	Plástico sobre espuma
15	Flotante de hormigón sobre fibra mineral
18	Flotante de hormigón sobre placas elásticas de poliestireno expandido
16	Moqueta
18	Flotante de parquet
20	Moqueta sobre fieltro
22	Moqueta sobre espuma
Techos	
10	Cielo raso flotante

8.7 El acondicionamiento acústico

Se entiende por acondicionamiento acústico todas aquellas disposiciones constructivas o proyectuales, fruto de un estudio teórico o práctico, que consiguen que el sonido perceptible en un determinado lugar (normalmente en un local o en una sala de un edificio) llegue a ser lo más confortable para las personas. Es decir, que sea claro, sin interferencias de otros sonidos (un buen aislamiento), sin interferencias del propio sonido (que no exista eco) y con una intensidad adecuada (ni muy fuerte ni muy suave). Podríamos hablar incluso de cualidades más precisas del sonido, como por ejemplo la ecualización o la direccionalidad, pero estos estudios quedan fuera del ámbito de este texto.



Antes se ha estudiado el tema de la transmisión de las ondas sonoras y del aislamiento acústico. Por tanto, si se quiere estudiar el acondicionamiento acústico de un local, hace falta abordar el tema de la reflexión acústica.

Cuando una onda incide sobre un cerramiento y se refleja, produce sobre las personas un fenómeno particular, que se denomina el **eco** o **reverberación**, el cual consiste en escuchar el sonido dos o más veces (cada vez con menor intensidad) por el hecho de que una misma onda llegue de forma directa, reflejada por un cerramiento, o por otro, etc.

propiedades de los sólidos ante los fenómenos ondulatorios

Tiempo de reverberación:

1. *Tiempo que se continúa escuchando un sonido, una vez escuchado de forma directa desde el lugar donde se ha producido, a causa de la reflexión de este sonido en las diferentes paredes que cierran el local.*
2. *(NBE-CA-88 derogada) Tiempo en el cual la presión acústica se reduce a la milésima parte de su valor inicial (tiempo que tarda en reducirse el nivel de presión en 60 dB), una vez finalizada la emisión de la fuente sonora. En general, es función de la frecuencia.*

Puede calcularse con una cierta aproximación mediante la siguiente expresión: $T = 0,163 \cdot V/A$

Donde: V = es el volumen del local en m^3 A = es la absorción del local $m^2 = \sum S \cdot \alpha$
(Superficie·coeficiente de absorción)

Unidades de medida: s (segundos)

No obstante, si el **tiempo de reverberación** de un local es muy alto, no tan solo puede provocar una audición poco confortable del propio sonido sino que, además, muchas veces es la causa de que se tenga que subir la intensidad del mismo (o de los sonidos, si se trata de una sala donde existen diversas fuentes sonoras). Este aumento provoca una situación incontrolable, ya que al subir la intensidad, aumenta el tiempo de reverberación y se repite de nuevo el proceso desde el inicio.

NBE-CA-88

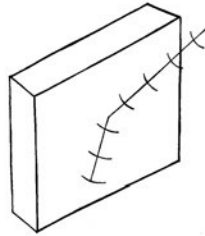
Tipo de edificio	Local	Tiempo de reverberación Recomendado(en segundos)
Residencial	Salas, dormitorio y servicios	≤ 1
	Zonas comunes	≤ 1.5
Administrativo y oficinas	Despachos profesionales y oficinas	≤ 1
	Zonas comunes	≤ 1.5
Sanitarios	Zonas de estar	$0.8 \leq T \leq 1.5$
	Zonas comunes	$\leq 1.5 \leq T \leq 2$
	Dormitorios	≤ 1
Docente	Aulas, salas de lectura	$0.8 \leq T \leq 1.5$
	Zonas comunes	≤ 1.5

Valores límite de tiempo de reverberación según el CTE:

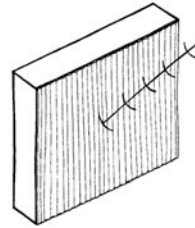
1. En conjunto, los elementos constructivos, acabados superficiales y revestimientos que delimitan un aula o una sala de conferencias, un comedor y un restaurante tendrán la absorción acústica suficiente de tal manera que:
 - a) El tiempo de reverberación en aulas y salas de conferencias vacías (sin ocupación y sin mobiliario), cuyo volumen sea menor que $350 m^3$ no será mayor que 0,7 s.
 - b) El tiempo de reverberación en aulas y en salas de conferencias vacías, pero incluyendo el total de las butacas, cuyo volumen sea menor que $350 m^3$ no será mayor que 0,5 s.
 - c) El tiempo de reverberación en restaurantes y comedores vacíos no será mayor que 0,9 s.

propiedades de los materiales de construcción

2. Para limitar el ruido reverberante en las *zonas comunes* los elementos constructivos, los acabados superficiales y los *revestimientos* que delimitan una *zona común* de un edificio de uso residencial o docente colindante con *recintos habitables* con los que comparten puertas, tendrán la absorción acústica suficiente de tal manera que el área de absorción acústica equivalente, A , sea al menos $0,2 \text{ m}^2$ por cada metro cúbico del volumen del *recinto*.



HORMIGÓN



HORMIGÓN +
REVESTIMIENTO
TÉXTIL

Así pues, no ha de extrañar que la forma más corriente de controlar el acondicionamiento acústico de un local sea mediante el control de la absorción acústica de los cerramientos. De forma simple, pero muy aproximada a la realidad, se puede decir que la absorción en un cerramiento de un edificio depende, prácticamente, nada más del material y de la textura de su superficie. Los materiales más duros y con una textura lisa tienden a producir mucha reflexión sonora y por tanto ayudan a aumentar el tiempo de reverberación de un sala. Por el contrario, los materiales blandos y con texturas rugosas y, sobre todo, porosos (poros abiertos) tienden a reducir la reflexión y, consecuentemente, el tiempo de reverberación.

Coefficiente de absorción acústica (α):

Es la relación entre la energía acústica absorbida por el material y la energía acústica incidente sobre éste, por unidad de superficie. Depende de la frecuencia.

Unidades de medida: unitario, %

La medición de la absorción o de la reflexión (son valores complementarios) de un cerramiento se hace a través del **coeficiente de absorción** de la capa superficial. Este coeficiente varía entre cero y la unidad. Cero significaría una absorción nula o una reflexión total, mientras que la unidad representaría lo contrario. Hay que recordar que, como la mayoría de propiedades acústicas de los materiales y elementos constructivos, la absorción y la reflexión acústica dependen de la frecuencia de onda incidente (con la mayoría de materiales, pero no con todos, la absorción aumenta con la frecuencia).

En ocasiones, estos valores de absorción vienen dados de forma global para un objeto completo, es decir, tienen en cuenta la superficie del elemento u objeto en cuestión. Hablemos ahora del **área de absorción equivalente**, que es el resultado de multiplicar la superficie de un elemento constructivo por su coeficiente de absorción.

propiedades de los sólidos ante los fenómenos ondulatorios

$$A = \alpha \cdot S(m^2)$$

Coefficientes de absorción (α)¹					
	<i>Frecuencia en Hz</i>				
Revestimiento	125	250	500	1000	2000
Hormigón pulido y pintado	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05
Pared de obra vista (o pintada)	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
Pared de bloque de mortero rugoso	0.30	0.45	0.30	0.25	0.40
Pared de bloque de mortero pintado	0.10	0.09	0.08	0.09	0.10
Enlucido muy rugoso	0.08	0.09	0.10	0.18	0.50
Enyesado	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00
Madera barnizada	0.10	0.11	0.10	0.09	0.08
Placas acústicas (máximo)	0.41	0.50	0.94	0.86	0.82
Placas acústicas (mínimo)	0.09	0.24	0.60	0.29	0.55
Poliéster expandido	0.30	0.45	0.60	0.42	0.40
Fibra de vidrio	0.35	0.54	0.72	0.79	0.70
Corcho (o aglomerante de corcho)	0.12	0.28	0.85	0.82	0.72
Terciopelo fruncido	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70
Vidrios pequeños (puertas)	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07
Grandes plafones de vidrio	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02
Cortinas de algodón	0.10	0.20	0.40	0.50	0.65
Agua de una piscina	0.01	0.01	0.01	0.015	0.025
Ventana abierta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Pavimentos					
Terrazo	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Mármol, granito	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
Baldosas plásticas encoladas	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02
Parquet encolado	0.04	0.04	0.07	0.07	0.07
Parquet sobre rástres	0.20	0.15	0.12	0.10	0.08
Moqueta	0.05	.10	0.25	0.40	0.60
Moqueta sobre fieltro	0.10	0.20	0.50	0.60	0.80

¹ La mayoría de estos valores provienen de ensayos no normalizados, por lo cual se pueden encontrar valores diferentes según la fuente de información

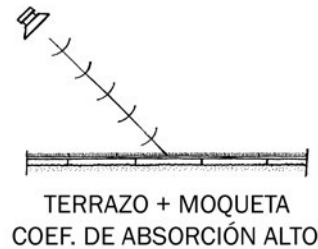
Absorción acústica (α):

Es la magnitud que cuantifica la energía extraída del campo acústico cuando la onda atraviesa un medio determinado o con el choque de la onda con las superficies límites del recinto. Depende de la frecuencia.

Unidades de medida: m^2

Área de absorción equivalente

Objeto	125	250	500	1000	2000	Hz
Persona sentada	0.20	0.36	0.45	0.50	0.50	
Butaca tapizada de plástico	0.15	0.40	0.40	0.40	0.30	
Butaca tapizada de terciopelo	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	



8.8 Las ondas electromagnéticas

El universo está formado por una multitud de astros la mayoría de los cuales se encuentran a unas temperaturas muy elevadas (miles de grados). A estas temperaturas los astros emiten radiaciones electromagnéticas en todas las direcciones y en una gama de longitudes de onda (frecuencias) amplísimas. Hay que recordar que el sol no es una excepción y, por tanto, como estrella más próxima a la tierra, es la principal responsable de las radiaciones electromagnéticas que llegan a nuestro planeta, y por consiguiente, a los edificios.

Cuando esta radiación llega a la tierra, es reflejada, absorbida, transmitida a través de la atmósfera, y es filtrada por las diferentes capas que encuentra: ozono, aire, CO_2 , etc., y finalmente incide sobre los cerramientos exteriores de los edificios. Ya se ha comentado que no toda la radiación tiene el mismo comportamiento en este proceso, ya que de acuerdo con su longitud de onda, nos encontramos que sólo cierta parte del espectro incide sobre los edificios de forma significativa.

De una manera simplificada se puede asegurar que, desde un punto de vista de la tecnología arquitectónica, sólo nos interesan las radiaciones siguientes:

Radiación ultravioleta: Afectan a la durabilidad de muchos materiales

Radiación visible: Percepción a través de la vista.

Radiación infrarroja: Máxima aportación de calor.

En lo que respecta a otro tipo de radiaciones, no está clara su influencia sobre las edificaciones ni sobre las personas, pero es obvio que esta influencia existe y no siempre es positiva, sino al contrario. Por tanto, es conveniente dejar un apartado abierto, en este sentido, a fin de ir comprobando la evolución de la ciencia y la tecnología en este campo.

8.9 Comportamiento de los edificios ante las ondas electromagnéticas

En nuestro entorno, todos los objetos están sometidos a la influencia de las ondas electromagnéticas producidas por la radiación. Estas ondas viajan a través del espacio con un

propiedades de los sólidos ante los fenómenos ondulatorios

espectro de frecuencias muy amplias a la velocidad de la luz ya conocida de 300.000 km/s (de hecho la luz se considera un tipo de radiación electromagnética).

Radiación:

Emisión y transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas.

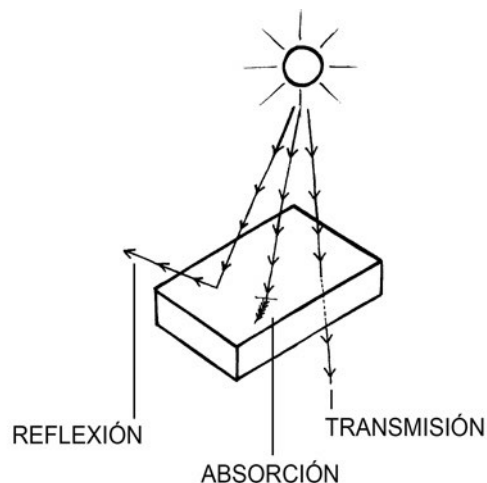
Palabras relacionadas: radiador (m), radiar (v), radiante (a), radiancia (f), irradiar (v), irradiación

Cuando una onda electromagnética incide en un edificio y choca con sus cerramientos, una parte de la energía de la onda es absorbida por este, transformándose en calor y aumentándole la temperatura, otra parte es reflejada, con una onda de características similares, y la parte restante se transmite hacia el interior, también en forma de onda igual a la incidente.

Emisión:

Producción en un punto dado y transmisiones al espacio de ondas electromagnéticas, de partículas elementales, de calor (cuerpo negro), de vibraciones mecánicas (sonido) y gaseosas.

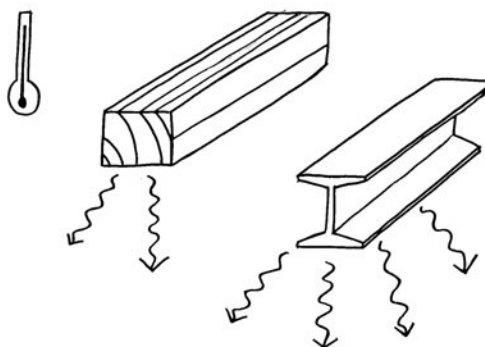
Palabras relacionadas: emisor (m), emitir (v), emitancia (f), emisividad (f), emitido, -a (a)



Radiaciones electromagnéticas

Tipos de radiación	Frecuencia Hz	Longitud de onda m
Rayos gama	$>10^{18}$	$<10^{-10}$
Rayos X	10^{16} a 10^{20}	10^{-9} a 10^{-12}
Rayos ultravioletas	$7,5 \cdot 10^{14}$ a 10^{17}	$4 \cdot 10^{-7}$ a 10^{-9}
Rayos visibles	$4 \cdot 10^{14}$ a $7,5 \cdot 10^{14}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$ a $4 \cdot 10^{-7}$
Violeta	$7 \cdot 10^{14}$	$4,25 \cdot 10^{-7}$
Azul	$6,3 \cdot 10^{14}$	$4,75 \cdot 10^{-7}$
Verde	$5,7 \cdot 10^{14}$	$5,25 \cdot 10^{-7}$
Amarillo	$5,2 \cdot 10^{14}$	$5,75 \cdot 10^{-7}$
Naranja	$4,6 \cdot 10^{14}$	$6,5 \cdot 10^{-7}$
Rojo	$4 \cdot 10^{14}$	$7 \cdot 10^{-7}$
Rayos infrarrojos	10^{12} a $4 \cdot 10^{14}$	10^{-4} a $7,5 \cdot 10^{-7}$
Microondas	10^{11} a 10^{12}	10^{-3} a 10^{-4}
Radar	10^9 a 10^{11}	10^{-1} a 10^{-3}
Televisión (UHF, VHF)	10^7 a 10^9	10 a 10^{-1}
Radio FM	10^8 a 10^9	1 a 10^{-1}
Radio AM	10^3 a 10^8	1 a 10^5
Ondas hertzianas	$<3 \cdot 10^4$	10^4
Corriente alterna	50 a 60	$5 \cdot 10^6$ a $6 \cdot 10^6$

Sabiendo que muchos cerramientos son heterogéneos en superficie (partes opacas y aberturas) o en espesor (cerramientos multicapa), habría que estudiar estos fenómenos de reflexión, absorción y transmisión de forma separada por cada zona del cerramiento, por cada capa y por cada frecuencia. Es obvio que la **transmisión** será muy alta en los acristalamientos de las aberturas, mientras que en un cerramiento pintado de blanco lo que será muy alto es la **reflexión** y, finalmente, se tendrá una gran **absorción** en un cerramiento pintado de negro.

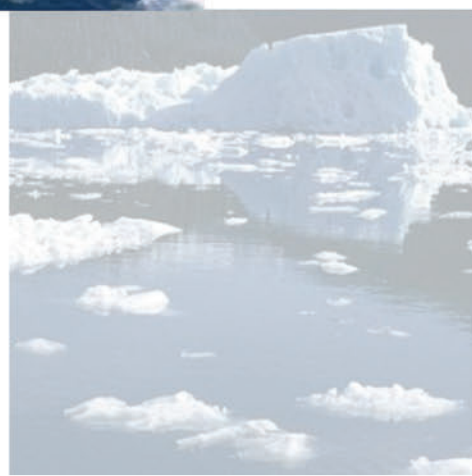
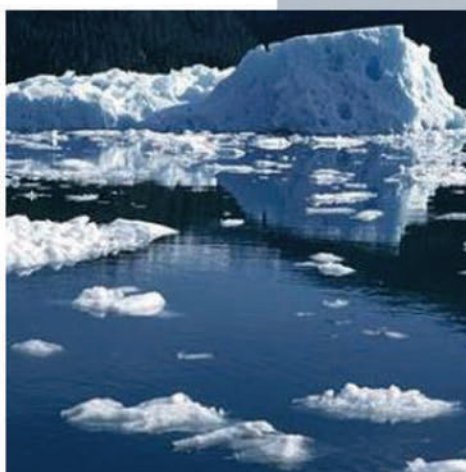


Como estos fenómenos no son iguales con todas las frecuencias, de forma genérica (poco exacta), se puede decir que las radiaciones de onda corta presentan un valor alto de transmisión, mientras que las ondas de onda larga provocan una mayor absorción y reflexión. La facilidad de emitir radiaciones de onda corta está en función de la temperatura de los cuerpos emisores, la cual suele ser muy alta, mientras que a temperaturas bajas se produce una emisión de radiación en onda larga (infrarrojos).

propiedades de los sólidos ante los fenómenos ondulatorios

Además, no todos los objetos a una misma temperatura tienen el mismo poder de emisión, la misma **emisividad**, sino que depende de cada material y, en ocasiones, de la textura de su superficie.

Todo eso nos lleva a la conclusión de que el comportamiento de los edificios frente a la radiación solar (y otras ondas electromagnéticas) es un fenómeno complejo, que depende tanto del tipo de radiación como de las propiedades particulares del material que configuran los cerramientos.



propiedades aparentes de los sólidos

9.1 Introducción

Hasta aquí se han estudiado una serie de propiedades de los materiales y elementos de construcción (sean sólidos, granulares, líquidos, etc.) que se podrían considerar con el calificativo de técnicas, ya que no son, normalmente, comprendidas por la gente de la calle.

No obstante, sin utilizar adjetivos muy técnicos, cualquier persona es capaz de describir las propiedades de un material o elemento constructivo basándose únicamente en la percepción de sus sentidos corporales.

Este tipo de propiedades, que son percibidas por el tacto, por la vista, por el oído, por el olfato e incluso por el gusto, se denominan **propiedades aparentes**. En ocasiones se hace otra clasificación de estas propiedades, llamadas **propiedades organolépticas**, que engloban solo aquellas que son percibidas por el tacto, el gusto y el olfato, pero esto es más una cuestión semántica que técnica.

Sin embargo, hay que entender que, por el hecho de ser percibidas por los sentidos, no quiere decir, ni mucho menos, que estas propiedades no puedan ser evaluadas de forma rigurosa y científica mediante ensayos.

9.2 El olor, el gusto y el sonido

Entre las propiedades aparentes, las que son ser percibidas por el olfato, el gusto y el oído son las menos utilizadas en la construcción. La más interesante, quizás, es el olor, y más de forma indirecta que directa. Es decir, el olor de ciertos materiales de construcción puede hacerse presente durante la fabricación, colocación, uso, etc. Este olor, además de ser característico de los materiales, puede ser indicador de ciertos peligros, ya que, muchas veces, se debe a productos volátiles que tienen un probado grado de **toxicidad**. Entre estos materiales encontramos la mayoría de las pinturas, barnices, y elementos que contienen disolventes en su propia composición.

En cuanto al gusto, hay que decir, seguramente, que es el sentido menos utilizado en la valoración de las propiedades de los materiales de construcción. No es que los materiales o elementos de construcción no tengan nunca gusto (cosa cierta en muchas ocasiones), sino que en el caso de que lo tengan existe el peligro de que sean tóxicos, por este motivo es mejor no utilizar este sentido si no se está completamente seguro de la inocuidad del producto analizado.

propiedades de los materiales de construcción

Prácticamente se puede decir lo mismo del sonido y del sentido del oído. Los materiales y los elementos constructivos por sí solos no producen ningún sonido. Ahora bien, cuando son afectados por cierto tipo de energía (un golpe, el viento, las vibraciones, etc.) pueden generar algún sonido, tienen una **sonoridad**. Así, por ejemplo, una forma de distinguir entre una placa de metacrilato o una de vidrio puede ser a partir de la valoración del sonido producido al darle un pequeño golpe con los nudos de los dedos. De igual manera se podrían describir otros ejemplos.

9.3 El tacto

El tacto es, ciertamente, un sentido muy utilizado en la valoración y percepción de las propiedades aparentes de los materiales y elementos constructivos. Al pasar la mano (una de las partes del cuerpo más utilizadas por el tacto) sobre de un determinado cuerpo, se pueden apreciar en su superficie diversas cualidades. Hablamos de la textura de un material o elemento.

Textura:

Aspecto perceptivo visual, táctil, etc., de un cuerpo o una sustancia por la forma de cómo están dispuestas sus partículas.

Normalmente, la sensación más fácil de describir es aquella que nos determina el grado de **rugosidad**. Esta es una propiedad muy importante en los elementos constructivos, ya que va ligada a muchas otras. La rugosidad suele ser directamente proporcional a la absorción acústica y luminosa, proporciona cualidades antideslizantes a los pavimentos, se ensucia más fácilmente y cuesta más de limpiar, puede producir heridas si se genera un rozamiento fuerte de la piel con la superficie, etc.

Rugosidad:

Cualidad de la superficie de un cuerpo que presenta pequeñas protuberancias, surcos, poros abiertos, etc.

Antónimo: pulidez

Palabras relacionadas: rugoso, -a (a)

La rugosidad de un material se debe al grueso de las partículas que lo forman y que se hacen presentes en su superficie. No obstante, hay materiales que son susceptibles de ser tratados adecuadamente para que adquieran una superficie lisa, es decir, se pueden pulir. La **pulidez** de elemento constructivo le otorga unas propiedades contrarias a las comentadas en el párrafo anterior sobre la rugosidad. El material consigue un grado de brillantez que le aumenta la reflexión luminosa y sonora, se vuelve deslizante, se ensucia poco, y es fácil de limpiar, etc.

Pulidez:

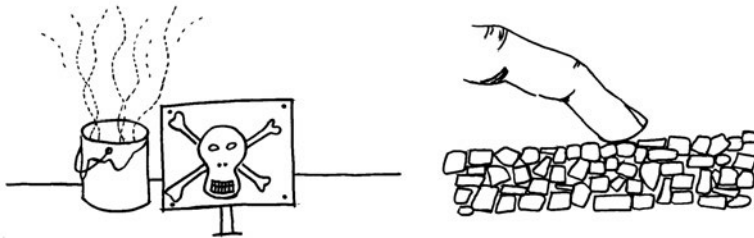
Cualidad de la superficie de un cuerpo que presenta una textura lisa y reluciente.

Antónimo: rugosidad

Palabras relacionadas: pulir (v), pulidor, -a (a), pulcro, -a (a)

Con el tacto también se pueden valorar otras propiedades que, de forma habitual, no llamaríamos propiedades aparentes. Un ejemplo típico es la capacidad de conducción térmica de un material. De forma simple, se habla de materiales cálidos (corcho, moqueta, etc.) o materiales fríos (mármol, acero, etc.) por la sensación que se obtiene al tocar estos materiales con la mano o con los pies descalzos a una temperatura ambiente (menor a 30°C). Como el cuerpo humano se encuentra a una temperatura en torno de los 37°C, al tocar un cuerpo de menor temperatura se pierde calor a través de este contacto por conducción. Esta pérdida, y por tanto esta sensación, es más alta cuanto más grande sea el coeficiente de conducción térmica del material. Aun así, esta definición de materiales fríos y calientes es poco científica, ya que, si la temperatura del cuerpo que se toca fuese superior a los 37°C, la sensación sería a la inversa y llamaríamos materiales cálidos a los que anteriormente se habían calificados como fríos, y viceversa.

Otras propiedades no consideradas aparentes que se pueden valorar con el tacto son la densidad, la dureza, la resistencia mecánica, etc.



9.4 La vista

Finalmente, se abordará el sentido más utilizado para describir muchas de las propiedades aparentes de los materiales y elementos constructivos. Se trata de la vista. La primera propiedad que nos aporta la vista es la **forma** del cuerpo. Normalmente la forma que un cuerpo presenta va ligada a dos conceptos muy claros en la arquitectura: la estética y la funcionalidad. La primera se escapa de los objetivos de ese texto. La segunda, en cambio, va ligada a algunas de las propiedades analizadas en éste y en anteriores capítulos, pero normalmente estas propiedades se estudian desde otros puntos de vista más que desde la forma. Hay casos en que la forma de un elemento constructivo puede ser determinante en algunas propiedades, pensar en como afectaría las sonoridad de un local con una superficie cóncava o convexa, como se produce el pandeo de un elemento sometido a compresión en función de su esbeltez, etc.

Dejando de lado la forma, la siguiente propiedad que nos aporta la vista es el **color** de un objeto o cuerpo. Esta propiedad, tan elemental desde un punto de vista cotidiano, engloba otras propiedades que hay que considerar.

Color:

Cualidad de los fenómenos visuales que depende del distinto efecto que produce sobre la retina los rayos luminosos de diferente longitud de onda.

Unidades de medida: hz (también con nombre propio: azul, rojo, etc.)

Palabras relacionadas: coloración, (f), colorante (a)(m), colorar (v), colorímetro (m), colorimetría (f)

De la definición del **color** se puede deducir que esta propiedad, percibida por la retina de los ojos, va ligada totalmente a los fenómenos ondulatorios, especialmente a las ondas electromagnéticas, estudiadas en el capítulo anterior. Estas ondas, provienen de un cuerpo y con una frecuencia situada dentro de la gama visible ($4 \cdot 10^{14}$ a $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz), y pueden tener dos orígenes bien diferentes: emisión o reflexión.

9.5 El color de los objetos

Todos los cuerpos, a causa de su calor interno (temperatura superior a 0°K), emiten por radiación una parte de esta energía en forma de ondas electromagnéticas. Normalmente esta radiación aparece en diferentes longitudes de onda (diferente frecuencia) y crea un determinado **espectro**. A temperaturas bajas (las de la superficie de la tierra, por ejemplo) el espectro de la radiación incluye ondas con una frecuencia muy baja y son totalmente imperceptibles por la vista. En este caso, los objetos o materiales no pueden ser vistos en la oscuridad. A medida que aumenta la temperatura (una barra de acero en un forja), aumenta la frecuencia de las ondas emitidas por el cuerpo y, poco a poco, el material adquiere un color que comienza por un rojo oscuro, pasando por el rojo, naranja, amarillo, y blanco azulado. Estos colores son propios del cuerpo y pueden ser percibidos perfectamente en la oscuridad.

En el caso del sol, el espectro de la radiación solar es muy amplia (desde los rayos gama hasta las ondas hertzianas), pero desde el punto de vista del color solo nos fijaremos en aquellos rayos visibles citados anteriormente. Esta radiación visible, que la retina de los ojos aprecia globalmente de color blanco, es una mezcla no homogénea de diferentes longitudes de onda que, separadas convenientemente (arco iris), permite apreciar, sin solución de continuidad, los colores violeta, azul, verde, amarillo, naranja, y rojo.

Cuando esta radiación afecta a un cuerpo (como ya se ha estudiado), parte de ella se refleja. Ahora bien, sabemos que la mayoría de las propiedades que son afectadas por las ondas electromagnéticas están en función de su frecuencia y, efectivamente, eso pasa con los rayos visibles. Es así que, en función de la estructura interna molecular de un cuerpo, ciertas longitudes de onda son reflejadas mientras que otras son absorbidas. Eso hace que la radiación que llega a la retina de los ojos, proveniente de un cuerpo por reflexión, tenga un espectro muy diferente al de la radiación incidente sobre este cuerpo.

Si un cuerpo absorbe todas las frecuencias menos aquella que se encuentran en torno a los $5,7 \cdot 10^{14}$ Hz (verde), el ojo lo percibirá de color verde, ya que ésta es la única frecuencia que

percibimos. Este mismo objeto “verde”, si se observara en un laboratorio fotográfico donde solo hubiera luz roja ($4 \cdot 10^{14}$ Hz), se percibiría de color negro, ya que absorbería la radiación roja y no reflejaría ninguna otra. Este fenómeno es un ejemplo muy extremo, pero cuando se habla de luz artificial adquiere una gran importancia. La mayoría de las fuentes luminosas artificiales tienen un espectro de radiación visible muy diferente al sol y, además, discontinua (faltan ciertas frecuencias incluidas en la gama de los rayos visibles). Cuando se observa un objeto bajo esta luz se pueden apreciar colores diferentes a los que apreciamos bajo la luz del sol. Ésta es la explicación de aquel hecho tan típico de salir a la calle para comprobar el color de un tejido, de la ropa, etc., que esta expuesta en una tienda.

9.6 La brillantez

Los objetos, tal y como se acaba de comentar, en función de su estructura molecular interna seleccionan cuales frecuencias son absorbidas y cuales reflejadas. Es decir, tienen una respuesta cualitativa en cuanto a la reflexión. Ahora bien, en función de la textura de la superficie (rugosidad, pulidez, etc.), tienen también una respuesta cuantitativa (de la radiación incidente, una parte es absorbida no por el cuerpo sino por la superficie). Lo mismo se puede decir del color propio, es decir, del que emite un cuerpo: puede hacerse con mucha energía o con poca, siempre sin modificarse el espectro de la radiación.

Brillantez:

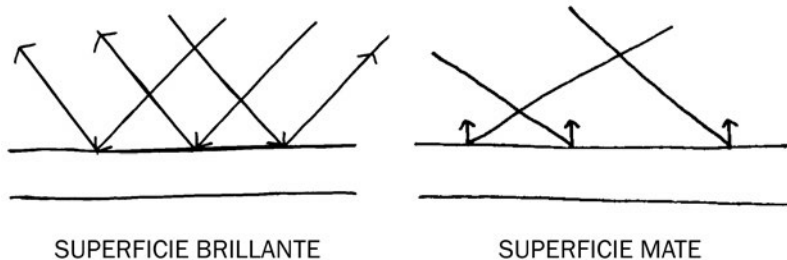
Cualidad de un cuerpo que esparce una luz viva y trémula, propia o reflejada.

Antónimo: cualidad del mate

Sinónimo: brillo, brillante

Palabras relacionadas: brillante (a), brillar (v), Lucir, lucido, -a(a), satinado, -ada (a)

Un objeto puede ser verde luminoso o verde apagado. Se dirá por tanto que se trata de un objeto brillante, reluciente o satinado o de un objeto mate. Cuando la superficie del cuerpo es pulida y brillante en extremo, se puede hablar de superficies especulares, que producen una reflexión directa, como es el caso de un espejo.



Valores orientativos del coeficiente de reflexión (Cr) de la luz de diferentes colores

Color	Cr
blanco (en general)	0,7 – 0,8
superficie acabada de blanquear	0,85 – 0,9
mármol blanco	0,5 – 0,6
gris claro	0,3 – 0,5
amarillo, naranja, y rojo claro	0,5 – 0,7
rojo oscuro, azul vivo	0,3
verde claro	0,5
gris oscuro, azul oscuro, verde oscuro	0,1 – 0,3
negro brillante	0,15 – 0,2
negro mate	0,0 – 0,1

Nota: Los valores superiores a 0,7 exigen superficies muy poco rugosas.

9.7 La transmisión de la luz

Al estudiar el color de los objetos se ha hablado de los fenómenos de emisión y reflexión (obviamente también de absorción). Queda otro fenómeno muy importante: el comportamiento de los materiales y elementos constructivos frente a la radiación que pretende atravesarlos.

Cuando una radiación encuentra en su trayecto un cuerpo, en función de su longitud de onda o frecuencia, parte de la energía atraviesa este cuerpo. Este fenómeno tiene una importancia especial cuando se trata de radiaciones visibles, ya que eso permite ver a través de los objetos. El vidrio plano de una ventana es seguramente el ejemplo más paradigmático. Se dirá que este cuerpo o material es transparente.

Transparencia:

1. *Cualidad del material o elemento constructivo que deja pasar la luz de manera que se puede ver distintamente los objetos a través de ellos.*
2. *Que deja pasar, sin absorción, cierto tipo de radiación o fases de partículas.*

Antónimo: opacidad

Unidades de medida: unitario %

Palabras relacionadas: transparente (a), transparentar (v) transparentemente (adv)

Si la transparencia es una palabra más general, desde el punto de vista técnico se utiliza una propiedad llamada **factor de transmisión luminosa**, que se aplica, sobre todo, a los vidrios y otros elementos similares, y tiene un valor numérico mucho más preciso.

Factor de transmisión luminosa (TL):

Relación entre el flujo luminoso transmitido y el flujo luminoso incidente.

Unidades de medida: unitario %

En ocasiones, a causa de las imperfecciones interiores o superficiales de este vidrio o material transparente, es posible ver a través de éste la claridad de la luz, incluso ciertas formas, pero no llegan a distinguirse los contornos ni los perfiles de las cosas. En este caso, se puede decir que se trata de un material u objeto **traslúcido**. Existen una serie de materiales naturales que son más o menos traslucidos: el alabastro, las rocas cristalizadas, etc. pero en la construcción se utilizan sobre todo vidrios tratados (glaseados, grabados, con rugosidad o lavados con ácido fluorhídrico) o plásticos glaseados (metacrilato o policarbonato).

Traslucidez:

Cualidad del material o elemento constructivo que deja pasar la luz pero no ver distintamente los objetos a través suyo.

Palabras relacionadas: traslucido, -a (a), traslucidad, traslucidez (f)

Ciertos moldeados de vidrio, en forma de bloques más o menos prismáticos, proporcionan una cualidad de translucidez muy apreciada. Sin embargo, cuando lo que se trata de medir es la capacidad de un material o elemento constructivo para no dejar pasar la luz, se valorará la propiedad contraria a la **transparencia**, la llamada **opacidad**. Ésta es una propiedad típica de los cerramientos de los edificios, cuando no se desea que la luz del exterior penetre hacia el interior, o de ciertos locales: laboratorios fotográficos, salas cinematográficas.

Opacidad:

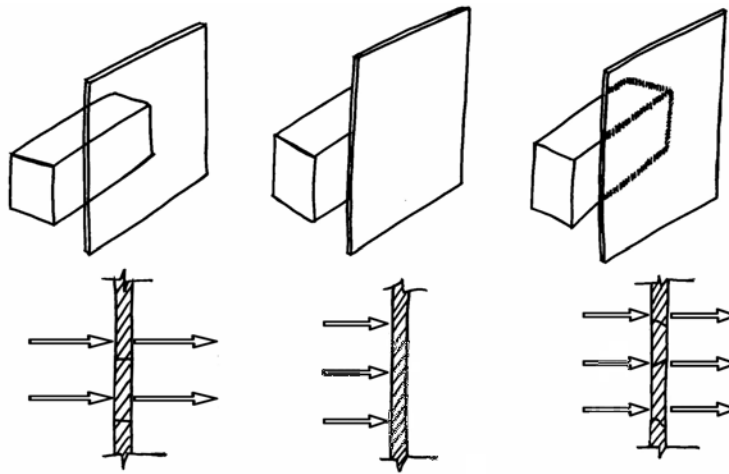
Cualidad del material o elemento constructivo que no deja pasar la luz a través suyo.

Antónimo: transparencia

Unidades de medida: unitario %

Palabras relacionadas: opaco, -a (a), ocultamente (adv)

La transparencia y la opacidad no hacen referencia exclusivamente al paso de la luz (radiación visible), sino a cualquier tipo de radiación. Así pues, se puede decir que una madera es transparente a los rayos X y que el plomo será opaco.



9.8 La temperatura de los elementos constructivos

Es muy difícil saber cuál es la temperatura exacta de un objeto expuesto directamente a la radiación solar, pero se puede asegurar que depende, principalmente, de tres parámetros: la temperatura del aire que lo envuelve (intercambio de calor por conducción y por convección), la radiación que recibe (directa y difusa) y la radiación que emite (de onda larga).

En este sentido, las propiedades de los materiales que forman parte de los elementos constructivos y que determinan estos valores son: el **coeficiente de conductividad térmica** (λ) del material, la **absorbancia media** (α_s) y la **emisividad** (ϵ) de la superficie exterior del elemento constructivo en cuestión.

Es importante establecer la importancia del término **superficie exterior**, ya que la simple pintura de un elemento constructivo afecta totalmente los valores de α_s y ϵ del elemento, mientras que el valor de la conductividad térmica λ de este elemento no recibe prácticamente ninguna variación.

Absorbancia media:

Relación entre la radiación absorbida por un material o elemento constructivo (no transmitida ni reflejada) y la radiación total incidente sobre este material o elemento constructivo.

Unidades de medida: unitario %

Emisividad:

Poder mayor o menor de la emisión. Relación entre el poder emisivo total de un cuerpo y el poder emisivo total de un cuerpo negro perfecto a la misma temperatura.

Unidades de medida: unitario %

9.9 El efecto invernadero

Una consideración serena del proceso de transmisión, absorción y reflexión de las ondas electromagnéticas sobre los edificios (y sobre el planeta tierra) nos llevan a comprender qué es el llamado **efecto invernadero**. Su nombre proviene de las construcciones llamadas invernaderos (grandes cubiertas y paredes de vidrio donde generalmente se cultivan plantas en condiciones más favorables que a la intemperie), donde se produce principalmente este efecto.

La radiación solar (ultravioleta, visible e infrarroja) incide sobre los cerramientos del invernadero. Una parte de esta radiación se refleja y retorna hacia el exterior, otra parte es absorbida calentando el cerramiento, el cual emite radiación tanto hacia el interior como hacia el exterior, y, finalmente, otra parte se transmite a través del cerramiento hacia el interior (**factor de transmisión energética**).

Valores orientativos de la absorbancia media α_s en la radiación solar y de la emisividad ϵ en los rayos infrarrojos de diversos tipos de superficies.

Superficie	α_s	ϵ
Cubiertas asfálticas	0,9	0,85
Fibrocemento	0,6	0,93-0,96
Teja cerámica	0,7	0,9
Hormigón	0,7	0,94
Roca natural		0,92
Cerámica		0,85-0,95
Grava		0,28-0,44
Vidrio	0,2	0,94
Esmalte blanco		0,90
Yeso		0,90-0,92
Madera		0,78-0,90
Ladrillo	0,7	0,90
Aluminio pulido	0,05	0,05
Aluminio oxidado	0,15	0,12
Papel Blanco	0,2	0,8-0,95
Textil		0,95
Agua	0,9	0,95

Factor de transmisión energética (TE):

Relación entre la energía transmitida y la energía incidente.

Unidades de medida: unitario %

Esta energía que ha entrado en forma de radiación es de dos tipos: de onda corta, la que proviene del exterior, y de onda larga, la emitida por el cerramiento calentado. Las dos son absorbidas y reflejadas en mayor o menor grado por el aire y los objetos con que se encuentra. Éstos, una vez calentados, emiten energía en forma de radiación de onda larga, la cual no puede atravesar el cerramiento, porque es opaco a este tipo de radiación, con lo cual el calor generado al interior

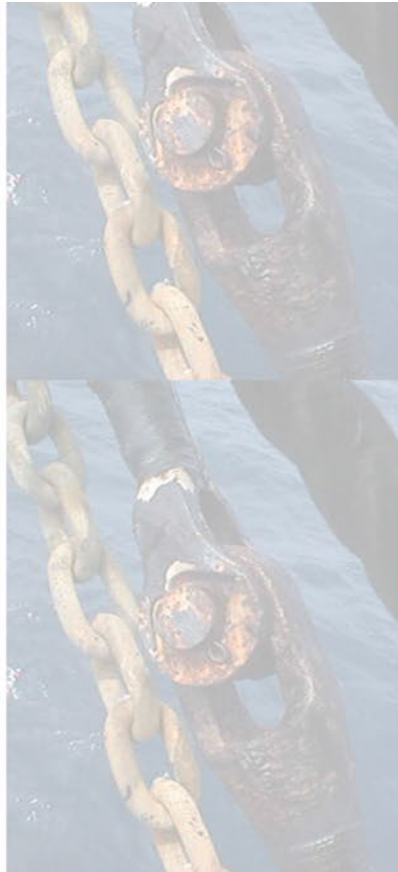
propiedades de los materiales de construcción

solo se puede escapar por conducción a través del cerramiento, y eso es muy lento. Solo una parte de la energía de onda corta reflejada por los objetos del interior puede escaparse a través del cerramiento (otra parte es reflejada o absorbida de nuevo hacia el interior).

Características de algunos vidrios				
Tipos de vidrio	espesor	TL	FS	K
		mm	%	% kcal/h°Cm ²
Vidrio normal incoloro	6	89	85	4,9
Climalit®	6-12-6	80	72	2,6
Climalit® con Planitherm S®	6-12-6	67	52	1,5
<i>Climalit® = Doble vidrio con cámara de aire interio</i>				
<i>Planitherm S® = Capa metálica invisible de aspecto neutro</i>				

En definitiva, la temperatura dentro de un invernadero se mantiene alta y bastante constante a lo largo del día. En el caso de la tierra, el fenómeno es el mismo, con la diferencia de que el “cerramiento” en este caso está formado por una serie de gases que configuran parte de la atmósfera. Algunos gases contribuyen mucho a este fenómeno porque son muy abundantes (CO₂), otros no lo son pero son más eficaces (H₂O, CH₄, CFC_s, ozono, etc.) En fin, entre todos juntos contribuyen al llamado calentamiento global del planeta.

10



propiedades temporales de los sólidos

10.1 Introducción

Hablar de propiedades temporales puede parecer una imprecisión, ya que de hecho todas las propiedades de los cuerpos son temporales, al menos cuando cogemos un periodo de tiempo lo suficientemente largo: la formación del planeta, del sol, etc. Es obvio, sin embargo, que desde el punto de vista de la construcción de los edificios, lo que interesa son tiempos mucho más cortos, que normalmente se denominan **vida útil** del edificio y que, en muchos casos, no superan los cien años.

Que los materiales o elementos constructivos conserven durante este tiempo, o en un tiempo más corto, si no hay otro remedio, las propiedades para las cuales han sido seleccionados es un factor determinante para valorar su bondad, la calidad y, en definitiva, la idoneidad de este material o elemento. Esta capacidad de mantener las propiedades se denomina **durabilidad**.

Durabilidad:

Periodo de tiempo en el cual un material o elemento constructivo conserva sus propiedades.

Antónimo: caducidad

Unidades de medición: años

Palabras relacionadas: durable (a), durar (v)

La durabilidad no siempre se considera una propiedad absoluta, sino que la mayoría de veces va en función de una serie de actuaciones, precauciones, condiciones, etc., que se han de efectuar o tener en cuenta a lo largo de la vida del producto y a esto se le llama **mantenimiento**. Por tanto, el estudio del envejecimiento de los materiales y de los elementos de construcción, de su obsolescencia, debería realizarse siempre de acuerdo con unas condiciones de uso, sin las cuales sería muy difícil realizar cualquier pronóstico sobre su durabilidad.

Mantenimiento:

Conjunto de acciones que hay que realizar sobre un determinado material o elemento constructivo para asegurar su durabilidad.

Palabras relacionadas: mantenedor, -a (a), mantener (v)

propiedades de los materiales de construcción

Está claro que no todos los materiales ni los elementos constructivos tienen la misma durabilidad, pero detrás de las diferentes cualidades de los materiales, de su mantenimiento más o menos realizado correctamente, etc., no se debe de olvidar cuál es la razón principal por la que un material pierde sus propiedades y sus características.

De forma muy simplista se puede decir que los materiales o elementos de construcción tienen una tendencia a regresar a su estado original. Eso quiere decir que el material empleado, si se utiliza con la misma configuración con que fue encontrado en la naturaleza, tendrá una durabilidad superior a aquel otro que se haya obtenido a través de un proceso de transformación. Se ha dicho que si el periodo de referencia fuese muy grande, se llegaría a la conclusión de que todos los materiales son producto de una transformación y, por tanto, tienden a evolucionar y a cambiar.

Aunque eso es cierto, desde el punto de vista de la tecnología edificatoria no tiene ninguna relevancia y se habrían de realizar otras aproximaciones al problema del envejecimiento o de la durabilidad. Parece ser que una manera ordenada de entrar en este problema es estudiar de forma diferenciada los diferentes procesos de degradación propios de cada grupo de materiales.

10.2 La putrefacción

Como el resto de materiales orgánicos, aquellos que son utilizados en la construcción tienen una tendencia (si no se realiza un tratamiento determinado) a descomponerse. Los hongos y las bacterias y un medio adecuado (contenido de humedad CH > 20% y una temperatura entre los 20 y 30°C) transforman la materia orgánica en materia mineral, muchas veces liberando gases de muy mal olor.

Putrefacción:

Descomposición de un material orgánico por la acción de las bacterias, hongos, etc., con la pérdida de sus propiedades.

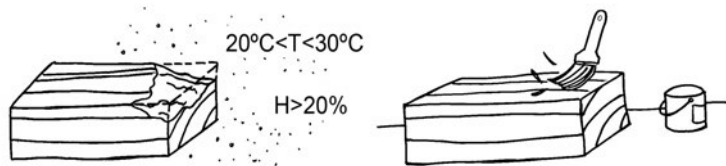
Sinónimo: pudrimiento

Palabras relacionadas: putrefacto (a), putrefactivo, -iva (a), putrescencia (f), putrescente (a), putrescibilidad (f), putrescible (a), pudridor, -a (a), pudrir (v), podrido, a (a)

En los sistemas constructivos españoles no se utilizan los materiales orgánicos de una forma tan exhaustiva como lo hacen en otras culturas, pero aun así es posible encontrarse con los siguientes materiales los cuales pueden ser objeto de pudrición:

1. La madera y sus derivados: tableros contrachapados, tableros conglomerados de virutas, etc.
2. Esteras hechas con tejidos trenzados de junco, de paja, de esparto o de yute.
3. Cubiertas de los mismos materiales nombrados anteriormente.
4. Tejidos (velas, toldos, cortinas, tapices, etc.) de algodón, de lino, de seda, de lana.
5. Moquetas de lana
6. Mastique y masillas orgánicas
7. Pinturas a la cola, empapelados de paredes
8. Etc.

A fin de evitar estos fenómenos, normalmente, hay que efectuar un tratamiento con líquidos impregnados de biocidas, antihongos o simplemente hidrofugantes. Hay que tener en cuenta la durabilidad por evaporación de estos productos y, en este caso, considerar un plan determinado de mantenimiento.



10.3 Los xilófagos

Un problema similar en la degradación de la materia orgánica es el que se produce con el ataque de insectos, especialmente coleópteros, que se alimentan de estas fibras. El caso más importante, por el perjuicio económico de sus destrozos, es el de los xilófagos: las termitas, las carcomas, polillas y otros insectos que van devorando toda la madera desde el interior o desde el exterior pueden llegar a reducir a nada estructuras completas de los edificios, muebles, cerramientos, etc.

La prevención de estos ataques obliga a tomar decisiones muy importantes en el proyecto de edificios susceptibles de ser atacados por estas plagas, ya que desde la tierra pueden llegar a atravesar espesores considerables del hormigón, mortero o ladrillo hasta llegar a la madera. Se han llegado a utilizar láminas plásticas, tóxicas para los insectos, haciendo toda una capa que envuelve las cimentaciones y la solera, como si se tratase de impermeabilizar bajo el nivel freático.

Evidentemente, el tratamiento de la madera con productos adecuados puede prevenir este ataque, siempre que la impregnación sea completa y la durabilidad del producto esté garantizada.

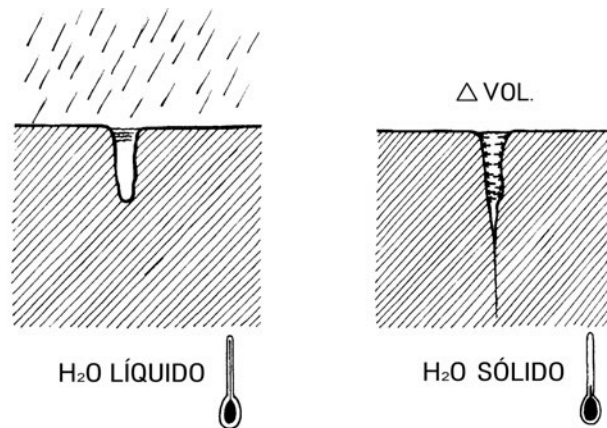
10.4 La meteorización

Dejando a un lado los materiales de origen orgánico, nos encontramos con los materiales más típicos de la construcción húmeda de nuestro entorno: la piedra natural y artificial, los hormigones, los muros y la cerámica. El proceso de envejecimiento de estos materiales es, obviamente, muy similar al resto de las rocas que forman la Tierra. Es por eso que se ha seleccionado el término de **meteorización** para agrupar toda una serie de formas de degradaciones de estos materiales.

Meteorización:

Alteración y machaqueo de las rocas de la corteza terrestre por la acción mecánica y química de los agentes erosivos atmosféricos.

Palabras relacionadas: meteorizar (v)



10.4.1 La helacidad

Una de las formas de meteorización más típica es la producida por el efecto expansivo de las heladas. El agua penetra en los poros abiertos, las fisuras y las grietas de las rocas o de los materiales cerámicos, al producirse la helada el agua aumenta de volumen y comprime las paredes de las cavidades donde se encuentra. Si esta compresión es suficientemente fuerte puede llegar a disgregar el material. Esta disgregación que en la naturaleza puede llegar a producir grandes bloques de piedra, en la construcción se traduce en una escamación continua de la superficie del material.

Los materiales cerámicos o pétreos que, generalmente por una ausencia de porosidad o una porosidad muy baja, no se ven afectados por este fenómeno, se dice que son **resistentes a las heladas**.

10.4.2 La expansibilidad

Se trata de un tipo de patología similar a la producida por las heladas. En este caso, la razón del aumento de volumen no es el agua congelada, sino por causas diferentes, pero con las mismas consecuencias o similares. Entre estas causas se pueden citar:

- Dilatación por cambios de temperatura
- Dilatación por cambios de humedad (entumecimiento)
- Reacciones químicas entre los sólidos y el ambiente más o menos agresivos que los envuelven.

10.4.3 La solubilidad

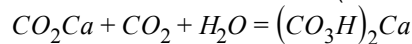
Más bien afecta a ciertos tipos de rocas calcáreas, pero no tanto a la cerámica. La solubilidad de diferentes componentes de las rocas hace que éstas, si están expuestas a la lluvia o a una corriente continua de agua, se vayan disolviendo y formen cavidades, poros abiertos, etc., con lo cual se incrementa el proceso de meteorización. La propiedad del material para que evita este fenómeno es la **insolubilidad**.

10.4.4 Las alteraciones químicas

Las alteraciones químicas producidas por las complicadas reacciones que pueden producirse en las diferentes rocas utilizadas en la construcción arquitectónica conducen, casi siempre, a los dos fenómenos de meteorización antes mencionados: la **expansibilidad** y la **solubilidad**. Es posible reunir estas alteraciones en dos grupos. Aquellos que afectan a los materiales pétreos y los que afectan al hormigón y a los morteros.

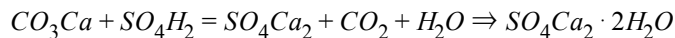
– Alteraciones que afectan a los materiales pétreos:

1. **Bicarbonatación:** Producida por el óxido de carbono (CO_2), que vuelve ácidas las aguas de lluvia y que afecta los carbonatos de las rocas, principalmente de calcio y magnesio (poco solubles), y que se transforman en bicarbonatos (mucho más solubles).



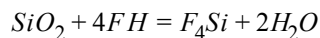
También pueden resultar afectados los granitos (feldespatos y mica que los componen) y convertirse en arcilla.

2. **Sulfatación:** Producida por el dióxido de azufre (SO_2) procedente de las atmósferas contaminadas urbanas e industriales, se oxida en SO_3 , al ser higroscópico se combina con el agua formando ácido sulfúrico (SO_4H_2), y combinado con el carbonato cálcico de las rocas calcáreas forma sulfato cálcico anhídrido, que se precipita en forma dihidratada (yeso).



Si esta reacción se produce hacia el interior, el aumento de volumen puede ser muy peligroso, mientras que si se produce en la superficie desaparece rápidamente, al ser soluble. Prácticamente se puede decir lo mismo si en lugar de hablar del SO_2 (azufre) se hablara de NO_2 (óxido de nitrógeno), entonces el proceso sería el de **nitratación**.

3. Finalmente, los fluoruros, presentes también en las atmósferas urbanas contaminadas y sobre todo industriales afectan más a aquellas rocas con importantes contenidos de silicio:



donde el tetrafluoruro silícico, que es volátil, tiende a desaparecer.

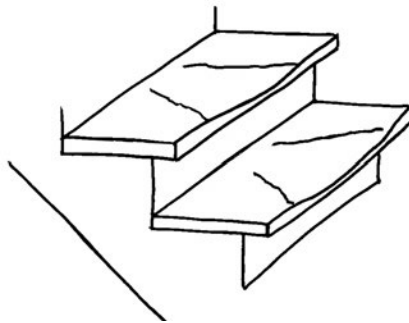
– Alteraciones que afectan a los morteros y hormigones:

1. Ataque por ácidos: Proceso idéntico a los mencionados en la sulfatación, nitratación y carbonatación, además de los ataques por ácido clorhídrico, que afectan a todos los compuestos cálcicos del hormigón y morteros (hidróxido cálcico, silicato cálcico hidratado y aluminato cálcico hidratado). Por otro lado, algunas sales de magnesio y amonio actúan como si fueran ácidos, ya que intercambian el radical metálico que tienen los compuestos de hormigón.
2. Las aguas puras (de lluvia) o blandas disuelven los compuestos cálcicos de forma muy similar a como lo hacen los ácidos.
3. Los sulfatos, y sobre todo el sulfato de magnesio, reaccionan con los aluminatos y forman las sales de *Candiot* (sulfoaluminato tricálcico) que provocan un gran aumento de volumen. También lo hacen con el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) y forman el ya mencionado sulfato de calcio dihidratado (yeso), muy expansivo.

10.4.5 El desgaste por fricción

Una acción mecánica continuada sea por fricción, sea por un choque de partículas (como es el caso del viento o del agua en movimiento) hace que la superficie de las rocas y materiales cerámicos se vayan desgastando. A nivel microscópico, parte de los materiales son arrancados por estas fuerzas de fricción o de impacto. Es el típico desgaste de las huellas de las escaleras, pasamanos de barandillas, etc.

En este caso, la característica del material que evita o dificulta este fenómeno es la **dureza**, aunque muchas veces se hace servir el término de **resistencia a la fricción**, **resistencia a la abrasión** o **resistencia al desgaste**.



10.5 La oxidación y la corrosión

La mayoría de los metales se encuentran en la naturaleza en forma de óxidos, hidróxidos y sales. Es lógico, pues, que la tendencia sea la de recuperar esta forma inicial más estable. Los metales más nobles, como el oro, la plata, o el cobre, que pueden encontrarse en la naturaleza en forma metálica permanecen inalterados.

Oxidación:

Proceso por el cual un elemento pierde electrones. Combinar una sustancia con oxígeno u otros radicales oxidantes.

Antónimo: reducción

Palabras relacionadas: oxidar (v), óxido, oxidabilidad (f), oxidable (a), oxidante (a), moho (m), enmohecer (v), mohoso, -a (a)

El primero de estos procesos de volver a la forma inicial más estable suele ser siempre el de **oxidación**. Sea directamente a través del oxígeno, del aire o del agua, sea a través de otros elementos oxidantes (ácido, sales, etc.), la mayoría de los metales empleados en la construcción, pierden los electrones de sus últimas capas y quedan oxidados. Este óxido se deposita en forma de capa sobre los propios metales, y hace que pierdan el brillo que los caracteriza. A partir de este momento el proceso puede ser muy diferente.

Existe la posibilidad de que la misma capa de óxido, pegada perfectamente a la superficie del metal, detenga el proceso de oxidación al no permitir que se ponga en contacto con el oxígeno. Es lo que sucede en los llamados metales no férricos (cobre, aluminio, zinc, plomo, estaño, etc.) y algunas de sus aleaciones (latón, bronce, etc.) En algunos casos esta oxidación se hace de forma controlada con tal de obtener una película de óxido continua y adherente (el anodizado del aluminio).

Otra posibilidad, la que afecta a los metales férricos (hierro, y la mayoría de aceros), es que la capa de óxido se transforme fácilmente en hidróxido soluble y desaparezca en contacto con una corriente de agua (la lluvia, por ejemplo). A partir de aquí el proceso de oxidación vuelve a iniciarse indefinidamente hasta que se agota el propio metal afectado. Este fenómeno recibe el nombre de **corrosión**.

Corrosión:

Proceso de degradación lenta y progresiva de un metal por la acción de un agente exterior: químico o eléctrico. (Causas diferentes de la acción mecánica; erosión, desgaste por rozamiento).

Palabras relacionadas: corroer (v), corrosible (a), corrosivo, -a (a)

10.6 La corrosión electroquímica

La corrosión se puede presentar en procesos muy diferentes. El más importante es el que se origina por la presencia de pilas electroquímicas, donde un metal actúa como un ánodo y, consecuentemente, a través de una acción compleja se va disolviendo. Cuando dos metales en contacto (contacto eléctrico) están inmersos en un líquido conductor (electrolito), se forma una pequeña pila galvánica. El metal del ánodo se va deshaciendo en iones positivos, mientras que el cátodo permanece inalterado.

La razón por la cual un metal se vuelve ánodo o cátodo de esta pila depende del potencial eléctrico que pueda desarrollar en contacto con el electrolito.

Potenciales relativos desarrollados por algunos metales

Metales	Potencial	Metales	Potencial
<i>(Cátodo: protegido)</i>		<i>(Cátodo: corroído)</i>	
Oro	+1,42/1,5	Cadmio	-0,4
Platino	+0,87/1,2	Hierro	-0,43/0,44
Plata	+0,8	Cromo	-0,71
Mercurio	+0,8	Zinc	-0,73/0,76
Cobre	+0,34/0,35	Aluminio	-1,67
Hidrógeno	0,0	Magnesio	-2,38
Plomo	-0,13	Sodio	-2,71
Estaño	-0,14	Potasio	-2,92
Níquel	-0,23/0,25	Litio	-3,02

La corrosión electroquímica, llamada también **corrosión galvanizada**, puede ocurrir de diversas formas:

- a) El contacto de dos metales dentro del electrolito, como por ejemplo en el agujero del galvanizado de zinc (ánodo) en un depósito de acero, o en el estaño (cátodo) de una hojalata, el ánodo de sacrificio (magnesio) en una instalación de agua caliente, etc.
- b) Partículas depositadas sobre un metal, como por ejemplo en las partículas de cobre o de plomo que pasan de tubos de este material a otros, posteriormente, de acero galvanizado.
- c) En algunas aleaciones puede establecerse una pila entre los componentes.
- d) Diferencias dentro del mismo electrolito (más o menos activo en una zona del metal que en otra).

No es de extrañar, pues, que en ocasiones nos encontremos con un tornillo de aluminio, por ejemplo, que por sí solo no se corroe, desapareciendo al cabo de un tiempo por el hecho de estar en contacto con un perfil de acero (galvanizado o no) que en principio es más “oxidable” que el aluminio. Es un tipo de corrosión que hay que tener muy en cuenta a la hora de escoger los metales de un detalle constructivo determinado.

10.7 La carbonatación en el hormigón armado

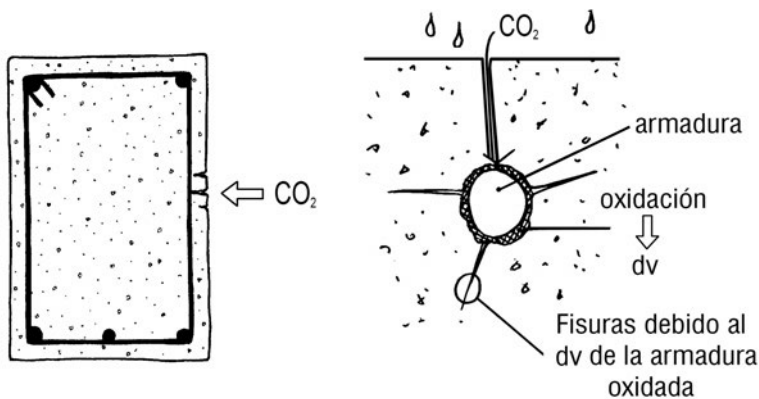
El hormigón armado es un material formado por hormigón en masa y armaduras de acero. Aunque existen armaduras de acero inoxidable o galvanizadas, la mayoría de las armaduras son de acero normal, es decir acero susceptible de oxidarse y corroerse. Así pues, cuando se estudia la durabilidad del hormigón armado se han de contemplar tanto los aspectos de durabilidad del hormigón como los de durabilidad del acero.

¿Por qué no se oxida y se corroe el acero de las armaduras? Se ha visto que la oxidación comienza con la presencia del oxígeno, agentes oxidantes (CO_2 o cloruros) o un medio electrolítico (agua) que crea una diferencia de potencial entre dos puntos de la armadura. Pues bien, el hormigón que envuelve las armaduras es el encargado de evitar cualquiera de estos supuestos. El pH del hormigón es ligeramente básico (>7), eso provoca que los agentes oxidantes que por **difusión** penetren en el hormigón reaccionen con estos compuestos básicos existentes sin llegar a la armadura. Es obvio que, tarde o temprano, estos compuestos básicos se acabarán, se producirá una despasivación de la armadura y, por tanto, puede comenzar el ataque al acero: oxidación y corrosión.

Carbonatación:

Proceso por el cual el dióxido de carbono (CO_2), que tiene propiedades débilmente ácidas, reacciona con óxidos y hidróxidos metálicos formando carbonatos. A lo largo de este proceso el material afectado pierde su pH básico, que protege de la oxidación a los metales que puedan haber al interior, y puede derivar en compuestos bicarbonatazos solubles.

Naturalmente este proceso se ve aumentado cuando el hormigón está fuertemente figurado, es muy poroso o su composición es defectuosa en cantidad o calidad del cemento.



10.8 La durabilidad de los plásticos

Desde el punto de vista de la ecología, todo mundo es consciente de la dificultad que presenta la eliminación de los plásticos. El material que fue el símbolo de la industria del siglo XX, que ha llegado a formar parte de cualquier actividad humana, presenta serios problemas al final de su vida útil.

Este problema, podría considerarse una virtud del material, ya que eso quiere decir que tiene una gran durabilidad. Pero no necesariamente es así. Que cueste eliminar el material, reciclarlo o descomponerlo no quiere decir que mantenga todas las propiedades como el primer día, que en definitiva es lo que se entiende por durabilidad.

Un plástico puro (sin aditivos) es un material formado por moléculas poliméricas, es decir, por largas moléculas que forman cadenas de pequeñas unidades llamados monómeros. Lo que suele pasar es que el plástico puro tiene unas propiedades muy limitadas (color, deformabilidad, plasticidad, etc.) que obligan a combinarlo con otras sustancias (otros plásticos, colorantes, elastificantes, etc.). De esta manera se obtiene en ocasiones un producto que (como pasa con el PVC) no tiene ni el 50% del plástico con el cual se configura. Así pues, la durabilidad o la degradación de un plástico se pueden presentar de dos formas:

- Descomposición propia de los aditivos, y eso hace que el producto pierda muchas de las cualidades que lo conformaban (color, elasticidad, etc.).
- Descomposición del plástico; se rompen las cadenas poliméricas y se forman otras mucho más cortas o se llega, incluso, a los monómeros originales.

La razón principal de este proceso es la radiación ultravioleta. Este tipo de radiación es la causa de muchas transformaciones y de la pérdida de propiedades de muchos materiales de construcción, y en el caso de los plásticos es la más importante. En cuanto a los aditivos, su durabilidad depende de los tipos. Muchos de ellos son volátiles y se desprenden por sublimación. Otros pueden reaccionar con las sustancias presentes en la atmósfera más o menos contaminada del entorno y, finalmente también pueden aparecer agentes tales como la temperatura, las deformaciones, etc., como causa de esta degradación.

10.9 La radiación ultravioleta

De todas las radiaciones que emite el sol, es decir, de su espectro electromagnético, llamamos radiación ultravioleta a la que le corresponde una longitud de onda de entre 1 a 400 nanómetros (10^{-9}m). La capacidad destructiva de las células vivas de esta radiación es muy elevada y es gracias al filtro atmosférico (el ozono y otros gases) que existe vida sobre el planeta. No obstante, esta radiación es la causa de la destrucción de la mayoría de materiales de construcción formados por células vivas o por moléculas en torno a la química del carbono (hidrocarburos y sus derivados).

Los productos orgánicos, dejando a un lado la putrefacción y el ataque por insectos (ya comentados anteriormente), que también son una agresión orgánica, sufren la destrucción progresiva de sus células por la radiación ultravioleta.

En los párrafos anteriores en los que se ha hablado de la durabilidad de los plásticos, se ha comentado este hecho. Pero no solo los plásticos, sino también la madera y sus derivados se ven afectados por esta radiación. Todos los pigmentos son destruidos y por eso cualquier madera se torna grisácea con el tiempo. Si se quiere conservar el color, habría que protegerla repetidamente con barnices que hacen de barrera contra la radiación o con una reposición de la pigmentación con líquidos impregnadores. Con más tiempo, la radiación llega incluso a la lignina de la madera.

A los materiales bituminosos (pinturas y las telas asfálticas, masillas, mastique, etc.) también les afecta la radiación ultravioleta. Esta radiación provoca la descomposición de las moléculas gruesas de hidrocarburos en otras más pequeñas que fácilmente se volatilizan, eso hace que pierdan la flexibilidad y la elasticidad del material.

10.10 El fuego

Hablar del fuego como un elemento que afecta a la durabilidad de los materiales y elementos de construcción quiere decir hablar de incendios.

Fuego:

Combustión caracterizada por una emisión de calor acompañado de humo o de flamas o de ambas cosas.

¿Qué sucede cuando aparece un incendio en un edificio? Pueden pasar tres cosas:

1. Que los materiales reaccionen ante el fuego, y se produzcan una combustión más o menos rápida y completa.

Combustibilidad:

Cualidad de los materiales capaces de combinarse con el oxígeno lo cual da lugar a una oxidación acompañada de un desprendimiento de luz y calor, con llama o sin ella.

Palabras relacionadas: combustible (a), combustión (f) comburente (a)

Reacción al fuego:

Respuesta de un material frente al fuego ante el cual está expuesto y alimenta.

Clasificación: A1, A2, B, C, D, E, F / s1, s2, s3 / d0, d1, d2

Inflamabilidad:

La aptitud de un material o de un producto por quemar con llamas.

Palabras relacionadas: inflamable (a), inflamar (V), inflamación (f), inflamador, -a (a)

2. Que llegue al punto de fusión del material o próximo a él y, por tanto, éste cambie de estado, pasando normalmente para una fase de material plástico muy deformable.

Fusión:

Proceso por el cual un sólido pasa a líquido por la acción del calor.

Palabras relacionadas: undir (v), fundido, -a (a), fundible (a), fundición (f), fusible (a), fusibilidad (f)

Puntos de fusión	
Material	°C
Acero estructural	1900
Níquel	1453
Acero inoxidable	1430
Cobre	1083
Oro	1063
Plata	960
Latón	904/990
Aluminio	660
Zinc	419
Plomo	327
Vidrio	1500
Plástico (punto de reblandecimiento)	80/295

3. Que el material permanezca totalmente estable, a pesar de sufrir grandes deformaciones térmicas.

En función del comportamiento de los materiales y elementos de construcción ante el fuego, la normativa define una clasificación de estos materiales.

Durante muchos años se ha empleado la clasificación M. La norma básica de la edificación NBE-CPI-96 identificaba los materiales en cinco clases: M0, M1, M2, M3 y M4 (La norma NBE-CPI-82 contemplaba incluso la clase M5).

M0: material no combustible frente a la acción térmica normalizada del ensayo (*vidrio, materiales pétreos y cerámicos, metales, tizas, lana de roca, etc.*)

M1: material combustible pero no inflamable, lo que implica que su combustión no se mantiene cuando desaparece la aportación de calor desde un foco exterior (*PVC, lana de vidrio, DM, fórmica, barnices ignífugos, etc.*)

M2: material con grado de inflamabilidad baja (*madera*)

M3: material con grado de inflamabilidad media (*madera*)

M4: material con grado de inflamabilidad alta

propiedades de los materiales de construcción

El CTE hace una clasificación más exhaustiva, ya que no solo contempla la combustibilidad: A1, A2, B, C, D, E y F (de menos a más combustible), sino que tiene en cuenta la producción de humo opaco s1, s2, s3, de menor a mayor (s de *smoke*) y el goteo o partículas inflamadas a medida que se va quemando d0, d1, d2, de menor a mayor (*d* de *drop*).

A1: No combustible. Sin contribución en grado máximo al fuego

A2: No combustible. Sin contribución en grado menor al fuego

B: Combustible. Contribución muy limitada al fuego

C: Combustible. Contribución limitada al fuego

D: Combustible. Contribución media al fuego

E: Combustible. Contribución alta al fuego

F: Sin clasificar

Además, se tiene en cuenta la situación del elemento dentro del edificio, ya que si se trata de revestimientos de suelos se incluirá el subíndice FL (*de floor*). Existen otros subíndices que también se utilizan, como el ROOF para recubrimientos de cubiertas, y el subíndice L para la protección de conductos lineales (tubos, cables, etc.).

A continuación se expone una tabla donde se detallan algunas de las clases exigibles correspondientes a los revestimientos de los elementos de construcción,

Clases de reacción al fuego de los elementos de construcción

Situación del elementos	Revestimiento	
	de techos y paredes	de suelos
Zonas ocupadas	C-s2, d0	E _{FL}
Aparcamientos	A2-s1, d0	A2 _{FL} -s1
Pasillos y escaleras protegidas	B-S1, d0	C _{FL} -s1
Recintos de riesgo especial	B-S1, d0	B _{FL} -s1
Espacios ocultos no estancos: Pacios de ventilación, falsos techos, suelos elevados, etc.	B-s3, d0	B _{FL} -s2

Eso en cuanto a los materiales; pero respecto a los elementos constructivos la norma tienen unas exigencias diferentes, según sean los requerimientos a los cuales está sometido el material. Se pueden contemplar las siguientes exigencias:

- Estabilidad y capacidad portante
- Ausencia de emisión de gases inflamables por la cara expuesta al fuego
- Estanqueidad al paso de llamas o gases calientes
- Resistencia térmica suficiente para impedir que se produzcan, en la cara no expuesta, temperaturas superiores a las que establece la normativa vigente

La antigua normativa definía unos conceptos referentes al comportamiento de los elementos constructivos frente al fuego, los cuales han quedado anticuados, pero que son muy claros.

Estabilidad al fuego (EF): *el elemento constructivo (estructura) garantiza la condición a).*

Parallamas (PF): *el elemento constructivo (cerramientos) garantiza las condiciones a), b), c).*

Resistencia al fuego (RF): *el elemento constructivo (cerramiento) garantiza las condiciones a), b), c) y d).*

El CTE actualmente ha modificado estas definiciones y utiliza un nuevo sistema de clasificación.

Clasificación europea de las propiedades de resistencia al fuego de los elementos constructivos

Principales nuevas clases:

R:	Capacidad portante (<i>resistance</i>)
E:	Integridad (<i>integrity</i>)
I:	Aislamiento (<i>insulation</i>)

También se contemplan las siguientes clasificaciones para algunos casos concretos:

W:	Radiación
M:	Acción mecánica
C:	Cierre automático
S:	Estanqueidad al paso de los humos
P o HP:	Continuidad de la alimentación eléctrica o de la transmisión de la señal
G:	Resistencia a la combustión de hollines
K:	Capacidad de protección contra incendios
D:	Duración de la estabilidad a temperatura constante
DH:	Duración de la estabilidad considerando la curva normalizada tiempos-temperatura
F:	Funcionalidad de los extractores mecánicos de humo y calor
B:	Funcionalidad de los extractores pasivos de humo y calor

La escala de tiempos normalizada es 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180 y 240 minutos.

Con esta clasificación, las clases quedan de la siguiente manera

R(t): Tiempo durante el cual se cumple la estabilidad fuego o capacidad portante (similar al concepto de *estabilidad al fuego*, EF)

RE(t): Tiempo durante el cual se cumple la estabilidad y la integridad al paso de las llamas y gases calientes (similar al concepto de *parallamas*, PF)

REI(t): Tiempo durante el cual se cumple la estabilidad, la integridad y el aislamiento térmico (similar al concepto de *resistencia al fuego*, RF)

Resistencia al fuego:

Capacidad de un elemento de construcción para mantener durante un periodo de tiempo determinado la función portante que le sea exigible, así como la integridad y/o del aislamiento térmico en los términos especificados en los ensayos normalizados correspondientes.

Clasificación: 240, 180, 120, 90, 60, 45, 30, 20, y 15 minutos

Es evidente que una de las partes del edificio donde tiene más importancia la resistencia al fuego es la estructura. De hecho, el CTE diferencia el requerimiento de resistencia al fuego de un elemento estructural de otro que no lo es. Si se trata de un elemento estructural, aparece la letra R, mientras que si solo se trata de exigir una integridad y un aislamiento térmico, utiliza las letras E y I, por ejemplo R90 o EI120. En ocasiones se adjuntan los dos requerimientos y se utilizan todas las letras, por ejemplo REI180.

A continuación se exponen algunas tablas con algunos valores típicos.

Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales				
Uso del sector de incendio considerado	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio		
		<15 m	<28 m	≥28 m
Vivienda unifamiliar	R 30	R 30	-	-
Residencial vivienda, residencial público, Docente, administrativo	R 120	R 60	R 90	R 120
Comercial, pública concurrencia, Hospitalario	R 120 ⁽³⁾	R 90	R 120	R 180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)		R 90		
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)		R 120		

Para poder cumplir con la protección de los edificios frente a los incendios, ésta se compartimenta en zonas denominadas **sectores de incendios**; es necesario clasificar los elementos constructivos que delimitan estos sectores.

Resistencia al fuego de paredes, techos y puertas que delimitan sectores de incendios

Elemento	Plantas bajo rasante	Resistencia al fuego Plantas sobre rasante en edificio con altura de evacuación:		
		$h \leq 15 \text{ m}$	$15 < h \leq 28 \text{ m}$	$h > 28 \text{ m}$
Paredes y techos ⁽³⁾ que separan Al sector considerado del resto del edificio, siendo su uso previsto: ⁽⁴⁾				
- Sector de riesgo mínimo en edificio de cualquier uso	(no se admite)	EI 120	EI 120	EI 120
- Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	EI 120	EI 60	EI 90	EI 120
- Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	EI 120 ⁽⁵⁾	EI 90	EI 120	EI 180
- Aparcamiento ⁽⁶⁾	EI 120 ⁽⁷⁾	EI 120	EI 120	EI 120
Puertas de paso entre sectores de incendio	EI2 t-C5 siendo t la mitad del tiempo de resistencia al fuego requerido a la pared en la que se encuentre, o bien la cuarta parte cuando el paso se realice a través de un vestíbulo de independencia y de dos puertas.			

Nota: La clasificación C5 quiere decir que la puerta cumple con los requisitos de cierre automático con grado 5

En ocasiones, en un edificio hay zonas de **riesgo especial** que exigen a sus cerramientos una resistencia al fuego superior a la que tendría en condiciones normales. Para clasificar una zona como **riesgo especial** (bajo, medio y alto) se tiene que tener en cuenta el uso del local, su superficie, su volumen y su **carga de fuego**.

Carga de fuego:

Suma de las energías caloríficas que se liberan en la combustión de todos los materiales combustibles existentes en un espacio (contenido del edificio y elementos constructivos).

Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales de zonas de riesgo especial integradas en los edificios ⁽¹⁾

Riesgo especial bajo	R 90
Riesgo especial medio	R 120
Riesgo especial alto	R 180

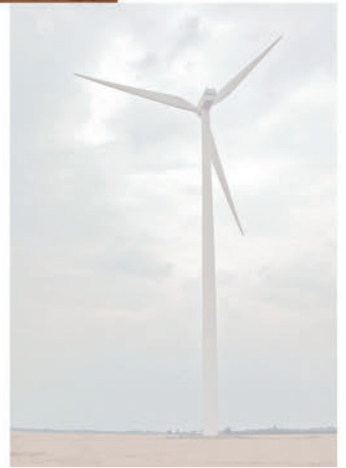
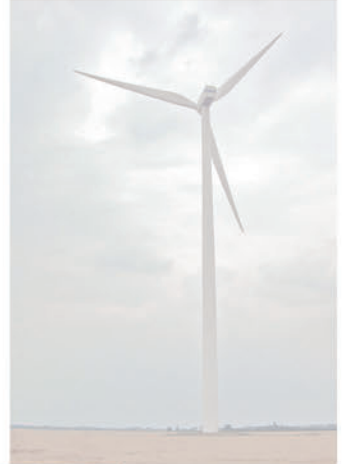
propiedades de los materiales de construcción

Condiciones de las zonas de riesgo especial integradas en los edificios

Características	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
Resistencia al fuego de la estructura portante	R90	R120	R180
Resistencia al fuego de paredes y techos que separan la zona del resto del edificio	EI90	EI120	EI180
Vestíbulos de independencia en cada comunicación de la zona con el resto del edificio	---	sí	sí
Puertas de comunicación con el resto del edificio	EI ₂ 45-C5	2xEI ₂ 30-C5	2xEI ₂ 30-C5
Máximo recorrido de evacuación hasta alguna salida del local	≤ 25m	≤ 25m	≤ 25m

Nota: La clasificación C5 quiere decir que la puerta cumple con los requisitos de cierre automático con grado 5

A continuación se muestra una lista de materiales que habrían de ser considerados con la clase A1 y A1_{FL} de reacción al fuego sin necesidad de ser ensayados: arcilla expandida, perlita expandida, vermiculita expandida, lana mineral, vidrio celular, hormigón, hormigones especiales, fibrocemento, cemento, cal, escoria de alto horno, cenizas volantes, áridos minerales, hierro, acero y acero inoxidable, cobre y aleaciones de cobre, zinc y aleaciones de zinc, aluminio y aleaciones de aluminio, plomo, yeso y pastas a base de yeso, mortero con agentes conglomerantes inorgánicos, piezas de arcilla cocida, unidades de silicato cálcico, productos de piedra natural y pizarra, unidades de yeso, terrazo, vidrio, vitrocerámica, cerámica.



otras propiedades. los costes

11.1 Los costes

Se entiende por coste aquello que hay que aportar o satisfacer para la obtención de alguna cosa, sea concreta o abstracta. Naturalmente, para la obtención de los materiales y elementos de construcción también hay que aportar o satisfacer diferentes conceptos y, por tanto, será necesario estudiar estos costes bajo diferentes puntos de vista.

De acuerdo con el tipo de aportación que haga falta hacer se pueden considerar:

- Costes materiales: Precio, aportación monetaria.
- Costes energéticos: Forman parte de los costos materiales, pero van muy relacionados con los costes ambientales.
- Costes ecológicos y ambientales: Degradación del entorno, sostenibilidad.
- Costes de la salud: Toxicidad. Posibilidad de enfermar.

Por otro lado, en la evaluación de cualquiera de estos costes, habría que contemplar el ciclo de vida del material o elemento constructivo en cuestión. Este ciclo, de forma genérica, incluye:

- Obtención de la materia prima
- Transporte a fábrica o taller
- Fabricación del material o confección del elemento
- Transporte a obra
- Montaje, colocación
- Mantenimiento
- Desmontaje, derribo.
- Transporte al almacén, obra, vertedero, taller, incineradora, etc
- Reutilización, reciclaje, eliminación (vertido, incineración, etc.)

Cualquiera de estos procesos parciales puede tener una importancia capital en el cómputo global de un coste determinado. Si, por ejemplo, se considera el coste material del agua en la construcción de un edificio, se puede comprobar que el precio del elemento es exclusivamente el precio del transporte (incluido el servicio de la compañía) desde el punto de obtención hasta la obra. Contrariamente, si se hace referencia al coste ecológico, se puede observar que en algunos plásticos, como por ejemplo el PVC, la fabricación y la eliminación son los puntos más importantes en el coste global.

Un buen análisis será esencial en el cálculo del coste (cualquier tipo de coste) de un material o elemento de construcción.

11.2 Costes materiales

Este tipo de coste es el más fácil de entender, ya que en nuestra sociedad **todo tiene un precio**, como se dice vulgarmente. Es obvio que si se quiere conseguir cualquier cosa, por ejemplo un material o elemento de construcción, habría que pagar una cierta cantidad de dinero.

Aun así, hay que saber qué se está pagando: cuáles de los procesos señalados en el apartado anterior están incluidos en este precio. De forma genérica se puede decir que el precio base siempre incluye todos los costes hasta la fabricación del material o la confección del elemento. A partir de aquí habrá que comprobar si el transporte o la colocación forman parte de este precio.

Hay elementos muy aparatosos, como es el caso de grandes jácenas prefabricadas, donde el transporte puede ser más caro que el coste de la fabricación de la propia jácena. En otros casos, la colocación puede ser el factor determinante en el precio, sería el caso de una pintura exterior con cal o un pavimento con una baldosa cerámica muy sencilla.

11.2.1 Tipos de precios

En general, se pueden diferenciar diversos tipos de precios, según se incluyan o no una serie de servicios u opciones. A continuación se muestran los más usuales.

- 1. Precio base: Es el precio que suele figurar en los catálogos de los fabricantes. Dado que le faltan una serie de opciones, suele ser de más utilidad para los constructores o promotores que para el usuario final.
- 2. Precio ya colocado en obra: Este precio incluye el transporte del material o elementos hasta la obra. En algunos casos es muy importante aclarar si la colocación del material incluirá o no las ayudas necesarias para esta colocación. Pensar, por ejemplo, en el caso del hormigón y de los trabajos necesarios para llevarlo dentro de los encofrados.
- 3. Precio total: Habrá que incluir los impuestos indirectos (IVA) u otras tasas del lugar (municipio, comarca, etc.). Habrá que incluir los descuentos por pago al contado o los recargos por pago a largo plazo.

En otras ocasiones la clasificación de los precios se hace diferenciando el hecho de que un elemento o material este configurado por otros elementos o materiales, o bien que sea un material simple. En este caso se pueden distinguir entre:

- 1. Precio simple: Es el correspondiente a los elementos simples: material, mano de obra y maquinaria.

Radiador de plafón de acero de 600 mm de largo para agua caliente de 6 bar y 110 °C como máximo, de 300 mm de altura	
máxima.....	7,00€/U

- 2. Precio compuesto: Es aquel que se obtiene con la suma de una serie de precios simples, una vez cuantificadas cada unas de las partes que intervienen en este precio.

Hormigón de dosificación 150 Kg/m³ de cemento Pórtland, elaborado en obra		
Mano de obra especializada	0,6 h.	x 6,00 = 3,60
Agua	160 l	x 0,01 = 1,60
Arena de cantera de piedra granítica para hormigones	720 kg.	x 0,05 = 36,00
Grava de cantera de piedra granítica para hormigones	1.400 kg.	x 0,02 = 28,00
Cemento Pórtland en sacos PA-350	150 kg.	x 0,09 = 13,50
Hormigonera de 250 l	0,2 h	x 1,60 = 0,32
Total		= 83,02

3. Partida de obra: Es el precio correspondiente a una parte de la construcción que se realiza simultáneamente y que incorpora una serie de precios simples y precios compuestos en su cuantificación.

Bordillo recto con rigola, de piezas de hormigón, de 50 x 20 cm colocada sobre explanada compactada, y rejuntada con mortero M-40/b		
Oficial de 1ª de obra pública	0,47 h	x 6,20 = 2,914
Mano de obra	0,47 h	x 5,00 = 2,35
Mortero M40/b	0,004m ³	x 0,5 = 0,002
Pieza recta prefabricada de hormigón, para bordillos Con rigola, de 50x20 cm.	1,050 m	x 6,10 = 6,405
Total parcial		11,671
Medios auxiliares 1%		0,116
Total		11,787

La ventaja de esta clasificación es que permite actualizar de forma automática los precios compuestos y las partidas de obra cuando varíen los precios simples, sobre todo cuando se trata de bancos de datos informatizados.

11.3 Costes energéticos

En el apartado anterior se vieron los costes materiales de los elementos de construcción que incluyen una serie de factores: fabricación, transporte, materias primas, etc. Entre estos factores se encuentran los costes de la energía empleada en todo el proceso de obtención del elemento. Este factor energético tiene una gran importancia, ya que incide directamente, por un lado, en el precio del elemento (hay que pagar esta energía) y, por otro lado, es un consumo de energía que se traduce en contaminación, aumento de la temperatura del planeta, extracción de recursos escasos, etc., tal como se verá en un próximo apartado.

La energía utilizada en la obtención de un elemento también puede desglosarse en diferentes aspectos: materias primas, transporte, fabricación, colocación, etc. Aún así, es en el proceso de obtención de las materias primas cuando el consumo de energía es más significativo. Por esa razón, en la tabla que a continuación se detalla se recogen una serie de datos sobre la energía necesaria para la obtención de materiales típicos en la construcción de edificios.

propiedades de los materiales de construcción

Energía necesaria para la producción o fabricación de algunos materiales de construcción

Materiales	MJ/kg.	Materiales	MJ/kg.
<u>Metales</u>		<u>Polímeros</u>	
Magnesio (aleaciones)	410/420	Nylon 66	170/180
Hierro forjado	60/260	Polipropileno	108/113
Aluminio (aleaciones)	97/305	Polietileno alta densidad	103/120
Acero inoxidable	110/120	Polietileno baja densidad	80/104
Cobre (aleaciones)	54/115	Poliéster	96/140
Zinc (aleaciones)	97/73	PVC	67/92
Acero	47/60	Goma sintética	120/140
Plomo (aleaciones)	28/32	Goma natural	5,5/6,5
<u>Materiales pétreos</u>		<u>Otros</u>	
Vidrio	13/33	Madera local	0,8/4
Fibra de vidrio	38/64	Madera tropical	5,2
Porcelana fina	270	Lámina asfáltica	162
Cerámica basta	3,4/6	Polímeros reforzados con fibra de vidrio	90/120
Cerámica refractaria	1/50	Polímero reforzado con fibra de carbono	130/300
Cerámica fina	6/15	Petróleo	44
Cemento	4,5/8	Carbón	29
Hormigón	1/6	<u>Aislamientos</u>	
Hormigón armado	8/20	Plásticos espumados	135
Bloque de mortero	1,8/4,7	Lana mineral	28
Arena, grava (natural)	0,1	Lana celulosa	12
Grava machacada	0,4	Virutas	11
Granulados ligeros	1,8		

Estos datos son muy difíciles de contrastar, ya que normalmente los fabricantes no los suministran en la información de sus productos. La mayoría de ellos se obtienen de información relacionada con temas ecológicos, por lo que cualquiera puede considerar que estos valores están más o menos exagerados en alguna dirección; no obstante, se puede observar una cierta lógica interna en los valores, cosa que los hace bastantes creíbles.

11.4 Costes ecológicos y ambientales

Hasta este momento se ha hecho referencia a lo que cuesta, económicamente hablando, un material o elemento de construcción, directa o indirectamente. ¿Pero cuánto le cuesta al entorno? El hecho de obtener, en mayor o menor cantidad, una serie de materias primas ¿afecta al entorno? En este sentido habría que recordar unas palabras relacionadas con el tema. Comencemos por las llamadas tres erres: “RRR” (reducir, reutilizar y reciclar).

11.4.1 Reducir

Desde el punto de vista de los costes ecológicos, lo más importante es reducir la cantidad de materia y energía precisa para obtener un servicio concreto. Una manera de reducir es utilizar

menos. Otra es hacer materiales más duraderos en el tiempo, con la introducción de la durabilidad como factor clave en el diseño.

Determinar la cantidad de arquitectura, la cantidad de materia y de energía precisa para cumplir con unas ciertas necesidades, manteniéndolas al mínimo es, sin duda, el principal requisito desde el punto de vista del medio ambiente.

11.4.2 Reutilizar

Cuando se derriba un edificio, o simplemente cuando se reforma, muchas veces se obtienen elementos constructivos que siguen estando en buen estado y son capaces de cumplir, perfectamente, con los requerimientos para los cuales han sido diseñados. En este caso se puede decir que se trata de materiales o elementos reutilizables.

En este apartado se puede pensar en perfiles de acero y de aluminio laminados, placas para aislamiento térmico, vigas de madera, tableros, puertas y ventanas (en casos muy especiales), rejas, etc.

Desde el punto de vista ecológico esta es la mejor opción y, por tanto, un factor muy importante a la hora de seleccionar un material o elemento constructivo. De nuevo hay que recordar, que lo que realmente importa es reciclar elementos o materiales, no tanto utilizar elementos o materiales reciclables.

11.4.3 Reciclar

Reciclar es un concepto similar al anterior, pero con una diferencia importante: el material o elemento constructivo se manipula más o menos profundamente, alterándolo en materia o en forma, para obtener un nuevo material o elemento de construcción, que puede coincidir o no con el original.

Los materiales más reciclables en la construcción son:

- Metales. Pueden ser fundidos para obtener nuevos elementos.
- Vidrios. Pueden ser fundidos para obtener nuevos elementos.
- Hormigones y elementos pétreos. Pueden ser machacados para obtener granulares para nuevos hormigones o para capas de grava en pavimentos y soleras.
- Plásticos. Pueden ser triturados y fundidos para obtener nuevos elementos moldeados. Hay plásticos que pueden soportar bastantes ciclos de reciclaje mientras que otros solo soportan uno o dos.
- Maderas. Pueden ser trituradas para obtener tableros aglomerados.

El reciclaje supone dos ventajas que hay que valorar profundamente. Por un lado se reduce el volumen de material en forma de residuos que se producen durante el proceso constructivo y por otro se consigue un ahorro energético y económico muy importante.

De nuevo hay que recordar que lo que realmente importa es reciclar elementos o materiales, no tanto utilizar elementos o materiales reciclables.

Ahorro de energía en el proceso de reciclaje de los materiales

	Nuevo MJ/kg	Reciclado MJ/kg	Ahorro %
Hormigón			
Vidrio	13/33	10/20	35
Plásticos (en general)	80/220	50/60	30
Acero	25/45	9/15	66
Cobre	70/170	10/80	63
Aluminio	150/220	10/15	93

11.4.4 Sostenibilidad

El término de sostenibilidad es bastante nuevo. Puede ser aplicado a casi cualquier actividad humana y hacer referencia a la posibilidad de desarrollar esta actividad de forma indefinida, ya que el entorno no queda estropeado ni alterado a largo plazo.

En el campo de la construcción en general, y en cuanto a materiales y elementos en particular, la importancia del tema se suele centrar en el uso de ciertos materiales, puesto que fácilmente pueden llegar a agotarse o, cuando menos, dejar tan poca cantidad que haga poco rentable su obtención.

Un proceso constructivo sostenible es aquel que:

- Usa materiales en forma de ciclo cerrado.
- Usa fuentes de energía limpia y renovable.

En este sentido, hay que pensar que en general aquellos productos que provienen de seres vivos, animales o vegetales, serán siempre renovables. Se ha de considerar que el proceso de renovación se hace de acuerdo con el periodo de vida del ser vivo, y por tanto hay que obtener solo la cantidad determinada que permita la regeneración, ya que una sobreexplotación pondría en peligro esta capacidad regenerativa.

Por otro lado, hay materiales no renovables a corto plazo (no hay que olvidar que si contamos en tiempos geológicos **millones de años** todo es más o menos renovable) que son tan abundantes que tampoco representan ningún peligro de agotarse.

Con estos criterios se ha confeccionado la tabla de recursos materiales siguientes. Hay que observar esta tabla con cierta precaución. Se pueden encontrar materiales renovables, como la madera, que solo lo son si provienen de una selvicultura correcta, es decir, con un tipo de bosque controlado, reforestado, y respetando lo más posible las variedades autóctonas de árboles, ya que la utilización de especies únicas, de crecimiento rápido, comporta peligros ocasionados por la proliferación de enfermedades y de cambios en el ecosistema local.

Disponibilidad de recursos: En peligro de extinción, sostenible, abundante, escasa			
Materiales	Renovables (sostenibles)	Madera y derivados de la madera.	Selvicultura (sobrexplotación)
		Concho	Encina alcornoque (10 años)
		Fibras naturales	Yute, algodón, sisal, paja
		Plásticos experimentales	algarroba, residuos de oliva
Materiales	No renovables	Caucho	Árbol de látex (Cauchera brasileña).
		Lana	Ovejas
		Muy abundantes	Arcilla Arena Piedras
		Abundantes	Aluminio Hierro
Materiales	Escasos (en peligro de extinción)		Metales: plomo, cobre zinc, estaño.
			Derivados del petróleo (plásticos)
			Determinados mármoles y piedras

Por otro lado, hay que reflexionar sobre el hecho de que es muy difícil asegurarse de que cierto tipo de madera provenga de explotaciones sostenibles. Además de las posibles (y por desgracia reales) trampas en los certificados de origen, con frecuencia se desconoce el origen de los productos que comercializan los proveedores de materiales de construcción.

Actualmente, por ejemplo, no existe en España ningún sello o marchamo de calidad que garantice que una determinada madera se ha obtenido de una forma sostenible.

A continuación se exponen dos tablas, una con maderas tropicales que pueden ser de selvicultura y otra con maderas provenientes de árboles en peligro de extinción.

propiedades de los materiales de construcción

Maderas tropicales que pueden ser de selvicultura

Madera	Origen
Palodearcol (Ipé, Greenheart, Guayacán)	Guayana
Árbol de caucho	Malasia
Tec	Birmania, Tailandia, y Java (Indonesia)
Afrormisia	África
Abura	África
Banus (Ébano)	África, India, y Sri Lanka
Caoba (Mahogany Magno)	América central y del sur
Caoba africana y asiática	África, Filipinas e India
Cedro americano	América central y del sur
Coral (Palo rojo, Padauk)	África, Asia, e Islas del pacífico
Iroco (Tec africano, Abang, Kambala)	África
Jelutong	Malasia e Indonesia
Kapur	Malasia e Indonesia
Kempas	Malasia
Keruing (Gurjun)	Malasia
Meranti (Lauan)	Malasia
Merbau	Malasia e Indonesia
Mongoy (Amazukové Ovengkol)	África
Okwen	África
Palo de Roa (Palo rosa, Pao rosa)	Brasil
Pau marfil	Brasil
Peroba	Brasil
Ramón	Malasia e Indonesia
Sapel-li	África
Utile (Abebay, Assié)	África
Wenge (Panga, panga, Awong)	África

Impacto ambiental. Contaminación

Hasta aquí se han considerado las ventajas, inconvenientes, peligros, etc. derivados de los propios materiales, que afectan a su obtención. Ahora bien, esta obtención también afecta al entorno. Quien no ha percibido los efectos visuales de una cantera en la vertiente de una montaña, el color de un río que pasa por una industria de pinturas, los olores cerca de una industria papelera, etc.

Este conjunto de factores recibe el nombre de impacto ambiental. Desgraciadamente, a menudo este impacto se materializa de forma negativa en un enrarecimiento del aire o de la tierra que nos envuelve. Hablamos en este caso de contaminación.

Contaminación: Calentamiento global, agujero de ozono, lluvia ácida, toxicidad

Procesos de transformación de los materiales	Emisión a la atmósfera	Ligados al consumo de energía: CO ₂ , SO ₂ , NO ₂ Ligados al proceso de transformación CO ₂ , CFCs, C.O.V.
	Emisión al agua. Mar	Corrientes superficiales Freáticos Cloro, metales pesados, disolventes
	Contaminación del suelo	Vertido de residuos peligrosos.

Y como se ha comentado en puntos anteriores, esta contaminación o impacto ambiental de un determinado material o elemento de construcción, hay que considerarlo a lo largo de todo el ciclo de vida. Existen materiales contaminantes desde el mismo momento de su fabricación, otros en el momento de su colocación o durante su uso y, finalmente, otros que contaminan en el momento de su derribo o desmontaje.

propiedades de los materiales de construcción

Impacto ambiental de un material durante su ciclo de vida

	Extracción	Fabricación	Colocación	Uso	Fin de vida
Emisión y contaminación global: CO ₂ , CFC, CH ₄ , SO ₂ , NO ₂ ... Mar, ríos, freáticos	Calentamiento global, agujero en la capa de ozono, lluvia ácida, vertidos de sustancias tóxicas (disolventes, metales pesados, cloro...)	Calentamiento global, agujero en la capa de ozono, lluvia ácida, vertidos de sustancias tóxicas (disolventes, metales pesados, cloro...)			
<i>Efectos sobre la salud de las personas</i>	Efectos directos sobre el operario que trabaja en el proceso de extracción	Efectos sobre el operario que trabaja en el proceso de fabricación	Efectos directos sobre el operario que trabaja en una obra con un determinado producto	Efectos sobre el usuario que está en contacto y que realiza tareas de mantenimiento durante la vida del edificio	Efectos sobre el operario que derriba, desmonta o recicla
Consumo energético kWh/kg	Consumo energético de la actividad extractiva	Coste energético del proceso de fabricación	Coste energético de colocación	Coste energético de todas las operaciones de mantenimiento de un material (elemento constructivo) durante la vida del edificio	Coste energético del proceso de derribo, desmontaje, reciclaje. Coste energético negativo en caso de reutilización o reciclaje
Consumo de agua litros/kg	Cantidad de agua empleada en el proceso extractivo	Cantidad de agua necesaria para la fabricación de un material o elemento determinado	Cantidad de agua empleada en la obra proporcional a un determinado material		
Costo de eliminación de residuos	Volumen de residuos y subproductos en operaciones extractivas	Residuos en los procesos de fabricación	Residuos que se generan en obra		Fin de vida del material: reutilización, reciclaje, residuos

En el cuadro anterior se intenta resumir el impacto ambiental de los materiales, según el momento y la forma en que se produce esta contaminación.

Otro tipo de contaminación más general y quizás por eso a veces no considerada, es la que se produce sobre la atmósfera de forma genérica, y no de forma local. En este sentido no hay que olvidar el efecto invernadero, que es provocado por una serie de gases que se encuentran en la atmósfera y que la mayoría de veces son consecuencia de la fabricación o del uso de algún elemento o material de construcción.

Es interesante constatar que algunos de estos gases (CO_2), a pesar de ser muy abundantes, tienen un efecto proporcionalmente más pequeño que otros menos abundantes, pero más efectivos (CFC_s).

Contribución de diversos gases al efecto invernadero		Efectividad comparada con la del CO_2 en la contribución al calentamiento global	
CO_2	50-56%	CO_2	1
CH_4 (metano)	16-18%	CH_4	20
CFCs	7-14%	CFCs	10000 – 20000
N_2O	4-6%		

11.4.5 Tratamiento de residuos

Ya para finalizar este capítulo de costes ecológicos, es necesario comentar cómo incide en el medio ambiente la fase final del ciclo de vida de un material o elemento constructivo.

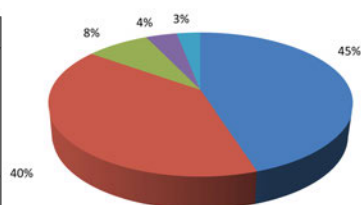
Si se trata de un material reutilizable, no hay ningún tipo de efectos (por supuesto, siempre que se reutilice), ya que de hecho el ciclo de vida de un elemento o material no ha acabado, sino que vuelve a comenzar. Si se trata de materiales reciclables (que de verdad se reciclen), es posible que en este proceso se generen ciertos residuos que habría que eliminar. Finalmente, en el caso que el material no sea ni reciclable ni reutilizable, habría que tratarlo como un residuo y eliminarlo. En este punto hay que distinguir los residuos reintegrables e inertes de otros tipos de residuos que habría que tratar.

De nuevo aparece un proceso que suele comportar graves problemas para el medio ambiente. Tanto si el residuo se lleva a un vertedero (se da por sentado que está controlado, regulado, etc.) como si se elimina por incineración (que vuelve a producir una cantidad de subresiduos no incinerables), la tierra, el aire, las aguas superficiales y freáticas, etc. quedan más o menos afectadas.

Es este tipo de coste el que hay que evaluar muy bien a la hora de seleccionar un determinado material o elemento durante la fase de diseño.

Porcentaje (en peso) de materiales en los residuos de la construcción (UE)

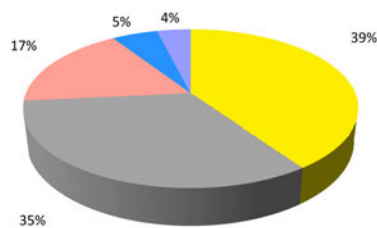
Materiales	%
Fábrica	45
Hormigón	40
Madera	8
Metal	4
Plástico – Papel	3
CSTB magazine nº 66 – jul-ago 93	



En el gráfico anterior se muestra como se agrupan los diferentes materiales a la hora de la producción de residuos en el mundo de la edificación y la construcción en general. Ahora bien, esta agrupación puede resultar poco aclaradora desde el punto de vista ecológico, ya que no

queda explicita cual es la repercusión de estos residuos en el medio ambiente, solo se hace referencia a su peso.

Un aspecto muy interesante es la energía necesaria para la producción de estos materiales que, después, acaban en un vertedero. El gráfico siguiente hace referencia a este aspecto y es interesante comprobar como el grupo de los metales, plásticos y papel que solo representan el 7% del peso global de residuos, significa tirar a la basura un 74% de energía empleada en la fabricación de los materiales de construcción.



Energía derrochada en los residuos de la construcción (UE)

Material	MJ/kg	%
Plásticos –papel	100	39,4
Metal	66	34,7
Fábrica	2,85	16,8
Hormigón	5,4	1,03
Madera	3,6	3,7
Media	7,62	

Otros aspectos que se pueden considerar son la descomposición de los materiales, la contaminación del entorno, el aspecto visual de los residuos, etc.

11.5 Costes de la salud

Aclaración:

Los arquitectos y otros técnicos de la construcción no tenemos conocimientos suficientes para hacer nuestras las afirmaciones de otros profesionales con respecto a los efectos de los materiales de construcción sobre la salud de las personas. No obstante, no podemos estar al margen de la realidad social, de las normativas sanitarias ni de la preocupación creciente que hay sobre el efecto que tiene el medio en el cual nos encontramos sobre la calidad de vida de todos. Es por eso que creemos conveniente incluir este apartado titulado “Costes de la salud”.

Cada vez más, la sociedad se preocupa más por la salud de las personas y por los factores que inciden negativamente. La alimentación, el consumo de tabaco, la actividad física, el estrés, etc. son elementos que tienen muy en cuenta, de los cuales se habla e, incluso, sobre los que se legisla.

La construcción, materiales y elementos incluidos, no se pueden escapar de esta preocupación, aunque muchas veces la gente no se da cuenta de este hecho. ¿La construcción puede comportar peligros para la salud? La respuesta es claramente afirmativa, pero en un sentido genérico, ya que esta peligrosidad se puede considerar bajo diferentes puntos de vista.

Toxicidad:

Cualidad de una sustancia de comportarse como un veneno. Actividad tóxica de una sustancia.

Palabras relacionadas: tóxico. –a (a), nocivo, -iva (a), nocividad (f)

Es obvio que existen sustancias tóxicas o nocivas para la salud entre los materiales de construcción. A nadie se le ocurriría beber una botella de un aditivo para el hormigón, o tragarse una llave. Aun así, tanto los trabajadores que participan en el proceso de fabricación, construcción, transporte y derribo de muchos materiales como los usuarios que conviven durante muchos años asimilan muchos productos nocivos procedentes de las edificaciones. Muchas veces por desconocimiento, otras por irresponsabilidad y otras porque no hay más remedio.

Es posible considerar la forma en que afectan a la salud:

Aspiración:

- De partículas en suspensión en el aire: asbesto, fibra de vidrio, etc.
- Vapor emitido durante la colocación: disolventes, pinturas, colas, adhesivos, etc.
- Volatilización a largo plazo (*off-gassing*): pinturas, plásticos, espumas aislantes, textiles sintéticos, tableros aglomerados, etc.
- Polvos: actividad de mantenimiento de maderas tratadas, cepillar pinturas viejas, limpieza de alfombras, moquetas, sofás, etc.

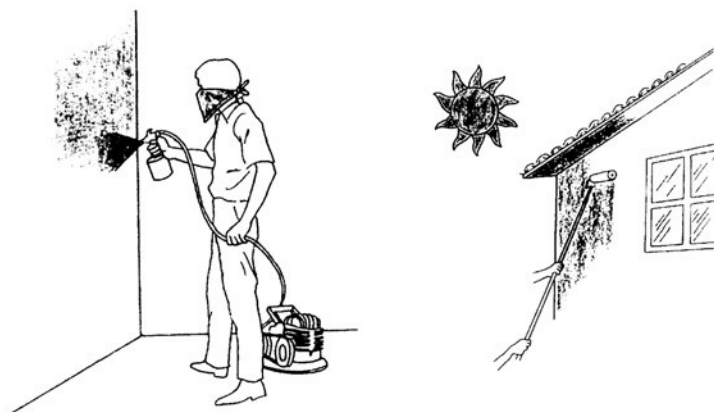
Ingestión: de agua que circula por tuberías antiguas de plomo, etc.

Tacto: alergias (normalmente cutáneas) producidas por el contacto con ciertos materiales.

Radiación: grado de radioactividad de ciertos granitos, arcillas, etc.; niveles de radón, etc.

Por otra banda, la peligrosidad de un elemento de construcción esta en función de:

- La naturaleza de los materiales que lo forman
- La posición en el edificio
- La ventilación
- Las formas de degradación
- La necesidad de mantenimiento
- La combustión y emisión de gases en caso de incendio



11.5.1 La posición y la ventilación

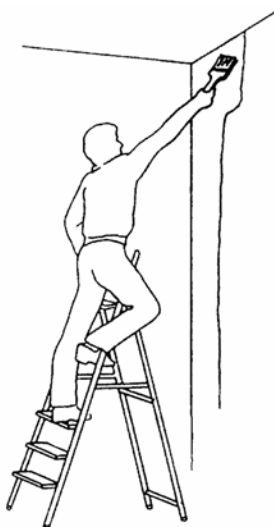
La posición en el edificio es determinante a la hora de matizar el grado de peligrosidad de un material o elemento constructivo. Así, admitiendo que el plomo es un metal tóxico, habría que diferenciar si se trata de una tubería vieja por donde circula agua potable o si se trata de un plancha de remate de una cubierta. En el primer caso se trata de una ingestión directa, mientras que en el segundo caso supondrá una contaminación de las aguas pluviales y de los acuíferos, con un peligro mucho más bajo por el poco grado de concentración.

El hecho de que un material potencialmente peligroso se encuentre en el exterior comporta un grado de peligrosidad inferior o prácticamente nulo que si se encuentra en el interior. Una pintura de la cual se volatilizan metales pesados, a causa de sus colorantes, puede ser perjudicial en el interior de un local cerrado, sobre todo si existe mucha superficie pintada (paredes y techos) y si, además, se trata de un lugar donde se pasan muchas horas, como es el caso de un dormitorio. En el exterior esta pintura sería prácticamente inocua, ya que la concentración en la atmósfera sería inapreciable.

De todo eso, se desprende que la ventilación tiene un papel muy importante en este tipo de riesgos para la salud. La renovación del aire viciado interior por aire limpio del exterior minimiza la repercusión de estas volatilizaciones. Lo mismo se puede decir de aquellos materiales que se sitúan en cámaras ventiladas (techos, fachadas, cámaras sanitarias, etc.). Actualmente el Código Técnico de Edificación en su documento básico HS 3 **"Calidad del aire interior"** marca unos parámetros para tener una ventilación adecuada hacia el interior de las edificaciones.

Otra forma de reducir el riesgo consiste en recubrir los elementos susceptibles de volatilizarse con pinturas o selladores que impiden esta actividad. Es obvio que habría que vigilar la inocuidad de estas pinturas o selladores.

De todo ello, se deduce que el grado de toxicidad de un material o elemento constructivo se puede matizar muy bien. Por poco nocivos que puedan ser ciertos acabados de los paramentos interiores: techos, paredes, suelos, etc., pueden llegar a ser más perjudiciales que otros materiales de grado de toxicidad más elevada, pero que se encuentran en menor cantidad y se ubican fuera de los espacios cerrados, como por ejemplo un insecticida aplicado a las vigas de madera de una cubierta ventilada.



11.5.2 La degradación y el mantenimiento

La degradación de un material o elemento puede aumentar el riesgo de peligrosidad para la salud en función de la forma en que se produce. Los materiales sujetos a desgaste liberarán partículas con más facilidad.

Si este desgaste es motivado por fenómenos meteorológicos en el exterior, no será tan grave como un desgaste hacia el interior. Un ejemplo bien impresionante de este hecho se puede encontrar en la degradación que sufre la fibra de vidrio de algunos conductos de aire acondicionado o de simple ventilación mecánica. Estas partículas, si no se toman las debidas precauciones, pueden distribuirse totalmente en el aire del interior de edificio con las correspondientes consecuencias.

Por otro lado, no hay que olvidar que el desgaste debido a un uso cotidiano, aunque inapreciable, puede ser más importante que el desgaste esporádico más evidente. Un pavimento que se limpia cada día puede liberar más partículas (nocivas o no) durante su vida útil que las que se liberan en una tarea de pulido ocasional.

De la misma manera se puede hacer una reflexión sobre el grado de mantenimiento necesario y la peligrosidad para la salud que pueda comportar esta actividad. En muchos casos puede ser mejor escoger un material más dudoso que otro, si su mantenimiento es nulo o muy inferior a otro, en principio menos nocivo, que comporta un mantenimiento contaminante que hay que realizar a menudo.

Un caso particular de degradación es la combustión en caso de incendio. Aunque se trata de un riesgo estadísticamente bajo, puede convertir una cantidad de materiales aparentemente inertes e inofensivos en una nube de gases tóxicos o incluso mortales que se deberían tener en cuenta. Estas situaciones se agravan de forma alarmante en locales poco o mal ventilados, como es el caso de los sótanos.

11.5.3 Materiales tóxicos

Es imposible hacer una lista de materiales tóxicos utilizados en la construcción. En primer lugar, por la complejidad de las apreciaciones sobre los límites de la toxicidad y en segundo lugar, por el hecho de que los materiales de construcción, especialmente los sintéticos, se encuentran en constante evolución: cada día hay más y cada día se conocen nuevas propiedades sobre la salud de las personas. De cualquier forma, más a modo de ejemplo que con la intención de ser exhaustivos, a continuación se detallan una serie de productos nocivos usados frecuentemente en la construcción de edificios, agrupados según la manera que tienen de perjudicar a las personas.

11.5.4 Partículas suspendidas en el aire

Asbesto

El asbesto, y también el amianto, son anfíboles que se presentan en forma de fibras minerales largas y finas, de colores variados (con tonos grises), útiles por su incombustibilidad, resistencia a los ataques químicos, y baja conductividad térmica. La manipulación es la que comporta el riesgo a causa de la liberación de fibras. Se encuentran presente, entre otros, en:

- Materiales de recubrimiento para protección ante el fuego
- Pinturas (normalmente fuera de circulación)
- Fibrocemento (tubos, placas onduladas, depósitos)
- Rellenos de plásticos (pavimentos de vinilo)

Según el grado de exposición, puede producir asbestosis (incrustaciones de fibras) y cáncer (tumores). Las fases en las que es peligroso son la fabricación, la colocación en obra, la demolición o los derribos y el incendio a altas temperaturas. También en aquellos casos donde hay un desgaste motivado por el uso del edificio. En tareas relacionadas con el fibrocemento (cortes o taladros de tubos o placas), se deberá de dejar desocupado el edificio durante mucho tiempo.

El asbesto ha sido un ejemplo claro de la dificultad que puede comportar probar la toxicidad de un material. En el año 1900 murió el primer obrero relacionado con el asbesto, pero no se hizo público sino hasta el año 1907. A finales del año 1930 se generalizó esta patología, pero no fue sino hasta 1960 que se reconoció como tal. Desde 1983 existen diversas disposiciones en el Reino Unido que prohíben la importación o el uso en la fabricación de asbesto blanco y marrón, o prohíben el uso de otros tipos de asbestos en aislamientos a base de aerosoles. En el resto de países europeos no se prohibieron sino hasta la mitad de los años 90, cuando apareció una normativa al respecto.

Fibras de vidrio y lanas minerales

Son fibras artificiales obtenidas por coacción de materiales diversos, utilizadas como un aislante térmico. De nuevo es la manipulación la que comporta el riesgo motivado por la liberación de fibras. Se pueden encontrar presentes en:

- Mantas sobre papel *kraft*, para su colocación en cielos rasos y cámaras de aire horizontales
- En forma de plafones rígidos, sueltos o formando parte de plafones compuestos
- En conductos de instalaciones de aire acondicionado o de ventilación

Son perjudiciales para la salud a causa de la incrustación de fibras en los pulmones, y en la irritación de la piel y los ojos. Para evitar el riesgo, es suficiente manipularlas con las debidas protecciones, tanto en la fase de colocación como en la fase de demolición. En tubos de aire hay que controlar su mantenimiento. No parecen ser cancerígenas.

Vermiculita

Es un material (filo silicato perteneciente a las arcillas, procedente de la alteración de las micas) que se utiliza como aislante térmico, tanto de forma natural para rellenar cámaras como para componer capas horizontales, formando parte de los morteros. Excepto la que proviene de Sudáfrica, la vermiculita contiene asbesto. Como mínimo, ella misma puede ser fibrosa. Es perjudicial, pues, la manipulación del material.

11.5.5 Emisión de vapores en la colocación

Disolventes

Se encuentran básicamente en adhesivos, pinturas, y barnices. La mayoría son tóxicos en mayor o menor grado, depende de la protección adecuada que tengan las personas que los hagan servir, o del grado de ventilación del local donde se manipule. Entre ellos destacan los siguientes:

- Tolueno: Es de los más tóxico. Esta presente en el alquitrán de carbón, en los adhesivos, pinturas, y líquidos antihumedades.
- Benceno: Es un cancerígeno en concentraciones altas. Se encuentra en los barnices, decapantes y adhesivos.
- Aguarra sintético: Disolvente de uso general.
- Xileno: Está presente en el alquitrán de carbón y se utiliza en selladores y tapaporos.
- Estireno: Presente en los selladores.

11.5.6 Volatilización a largo plazo

Plastificantes, colorantes, secantes, estabilizantes, COV (compuestos orgánicos volátiles), fungicidas, etc.

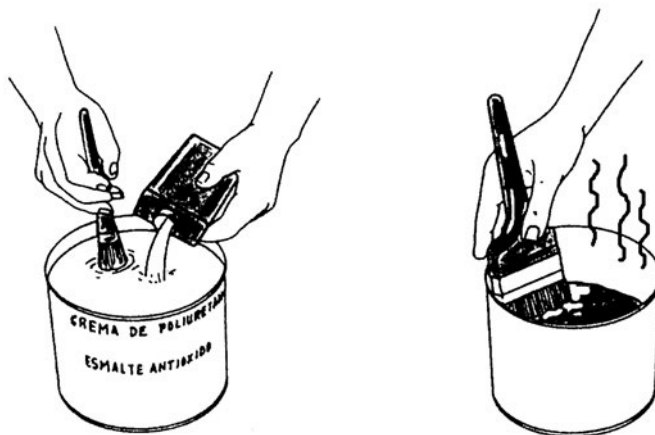
Todos estos materiales son algunos de los elementos que normalmente se volatilizan a largo plazo durante la vida útil del material del cual forman parte. En general, se puede decir que el grado de concentración de partículas de estos elementos en el aire es baja y que su toxicidad se debe, además de su naturaleza, a la permanencia en el tiempo del proceso de volatilización.

Pinturas, esmaltes y barnices: Las pinturas viejas liberan partículas de plomo contenidas como secantes. También pueden desprender metales pesados tóxicos que forman moléculas donde se encuentra el cromo, el cadmio, mercurio o estaño. Como ejemplo se destaca la norma UNE de criterios ecológicos sobre pinturas y barnices (UNE 48-300-94) que, entre otras, hace las consideraciones siguientes:

- El contenido de COV ha de ser inferior a 250 g/l.
- Los compuestos orgánicos peligrosos no pueden exceder del 0,5% de la masa total (lista A, donde consta una veintena de diferentes productos).

propiedades de los materiales de construcción

- El contenido de hidrocarburos aromáticos no puede ser superior al 5%.
- Los hidrocarburos halogenados no pueden superar el 0,1%.
- Los compuestos organometálicos y organoclorados quedan prohibidos (lista B, donde consta una veintena de diferentes productos).
- Se prohíben los pigmentos tóxicos (metales pesados), y las sustancias cancerígenas, teratógenas y mutágenas.



Plásticos: Entre los plásticos que más sustancias tóxicas volatizan se encuentra el PVC, el PU, las espumas de PU y el UF. La espuma de urea formaldehído (UF) libera formaldehídos. El PVC, como la mayoría de productos que provienen de la industria que utiliza cloro, es peligroso, especialmente por la emisión de cloruro de vinilo, el cual es cancerígeno a niveles de partes por millón. Además, es de los plásticos que se utilizan con más variedad de aditivos, muchos de los cuales, al quemarse, liberan dioxinas. El PU genera cianuro cuando se quema.

Espumas aislantes y plásticos expandidos: Liberan estireno, etilbenzeno y formaldehído.

Tableros aglomerados y tableros contrachapados de madera, placas rígidas de fibra de vidrio, textiles sintéticos: Liberan formaldehído.

Adhesivos: Liberan tolueno, Xileno y formaldehídos.

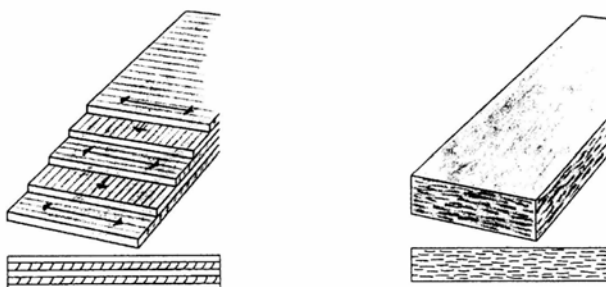
11.5.7 Los formaldehídos

Como se puede ver, tanto la lista de materiales que liberan elementos tóxicos como la de los mismos elementos que se volatilizan pueden ser muy largas. No obstante, entre los elementos presentes en los disolventes ya mencionados, aparece a menudo el formaldehído.

Se trata de una resina (metanal) que sirve para aglomerar diversos tipos de plafones y tableros. Este material se encuentra en cantidades más considerables en los tableros aglomerantes de partículas de madera, no obstante, el mercado ya ofrece en algunos países tableros con bajo contenido de formaldehído. Esta sustancia, en pequeñas cantidades, perjudica a una de cada

cinco personas. Es un irritante de las mucosas y afecta los ojos y las vías respiratorias. Hay indicios para creer que es cancerígeno. El problema es menos grave si se instala en cámaras cerradas no accesible a las personas, en espacios ventilados o si los materiales que lo contienen se recubren con algún tapaporos o elemento de barrera de vapor.

Los límites de concentraciones en el aire, en nuestro país, son de $0,1 \text{ mg/m}^3$ en viviendas y de $0,37 \text{ mg/m}^3$ en la industria.



11.5.8 Polvos: actividad de mantenimiento

Las actividades de mantenimiento generan polvo en grandes cantidades, aunque de forma ocasional, que lógicamente contienen partículas de diversa naturaleza, ya sean colorantes, plastificantes, fungicidas, disolventes, metales pesados, etc. Se trate del polímero de un parquet barnizado, o del ensamblaje y esmerilado de unas carpinterías esmaltadas, o del raspado de pinturas viejas en paredes, etc., el problema estará en función de la naturaleza del material de soporte y de la composición del acabado envejecido que se supone que se ha de eliminar.

El raspado y el pulido de pinturas viejas desperdigan el plomo que estas puedan contener como secantes. Por tanto, es aconsejable evitar esta actividad o utilizar herramientas de aire caliente que funcionen por debajo de los 500°C . En pinturas utilizadas en la protección del acero, también se puede encontrar plomo.

Otros metales pesados también peligrosos, que se encuentran en las pinturas como colorantes, son el cadmio y el cromo hexavalente, el mercurio y el mismo plomo. La norma UNE 48-300-94 los prohíbe expresamente en la configuración de cualquier pigmento. Se puede encontrar el cromo hexavalente como cromato de zinc apto para la imprimación de metales.

Los polvos de la madera también se consideran malos para la salud.

11.5.9 Radiación

Viene dada por la cantidad de isótopos radiactivos, básicamente ^{238}U , ^{232}Th , y ^{40}K , que se encuentran siempre en pequeños porcentajes en los materiales de construcción. Los que dan niveles más altos son los cementos pòrtland y las cerámicas.

propiedades de los materiales de construcción

Solo en algunas ocasiones estos niveles pueden ser cuestionables, en función de la zona geográfica de donde provienen. Son conocidos los valores altos dados por las cerámicas de la zona de Calaf. También hay que mencionar los granitos en general, por sus niveles de radiación.

Hace falta añadir el radón (^{222}Rn), que es un gas que se puede encontrar en concentraciones elevadas en locales subterráneos poco ventilados, contruidos sobre terrenos graníticos, o con cierto tipo de ladrillo y cementos. Se cree que es causa de cáncer de pulmón.

NOTA: Buena parte de este capítulo ha sido redactado a partir del material del curso “Construcció i Medi Ambient”, configurado por los profesores Àlex Rifa y Albert Cuchí en la E.T.S. de Arquitectura del Vallès.

bibliografía

bibliografía

EVERETT, ALAN. *Mitchell's Building Series; Materials*. Longman Scientific & Technical. U.K., 1994.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Madera para construcción / AENOR*. AENOR. Madrid, 1998.

BUSTILLO REVUELTA, MANUEL; PEDRO CALVO, JOSÉ. *Materiales de construcción*. Madrid, 2005.

COMISIÓN PERMANENTE DEL HORMIGÓN. *Instrucción de hormigón estructural : EHE 2008*. Ministerio de Fomento. Secretaría General Técnica, 1999. Madrid, 2008.

DEMARCACIÓN EN SEVILLA DEL COLEGIO OFICIAL DE ARQUITECTOS DE ANDALUCIA OCCIDENTAL. *I Curso de Construcción en Madera*. Andalucía, 1991.

Código técnico de la edificación: Ley 38/1999, de 5 de noviembre. CTE. Tecnos. 2009.

CACELES GARRAFÓN, F.; GONZÁLEZ MARTÍN, J.; DEL RIÓ MERINO, M.; RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, A.; TENDERO CABALLERO, R. *Introducción a la Construcción*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 1997.

ORÚS ASSO, FÉLIX. *Materiales de Construcción*. Dossat, SA. Madrid, 1973.

LAFFARGA OSTERET, JOSÉ; OLIVARES SANTIAGO, MANUEL. *Materiales de Construcción*. Editan. Sevilla, 1995.

PARKER, KIDDER. *Manual del Arquitecto y del Constructor Tomo I y II*. Noriega UTEHA. E.U.A, 1981.

MIRAVETE, A. *Los nuevos materiales en la Construcción*. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, 1994.

SAAD, ANTONIO MIGUEL. *Tratado de Construcción*. C.E.C.S.A. México, 1960.

WEIGLES, KARL. *Hormigones ligeros armados. fabricación, propiedades, aplicaciones*. Gustavo Gili. Barcelona, 1993.

notas

¹ Estas propiedades, más que físicoquímicas, son biológicas, pero dado que forman parte del conjunto de propiedades que determinan la durabilidad de un material, se ha creído conveniente situarlas dentro de esta clasificación.

² Puede definirse **confort higrotérmico** como la ausencia de malestar térmico.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES Y ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN

La elección de los materiales y los elementos de construcción que se deben utilizar en una obra es una tarea cada vez más compleja. La arquitectura ofrece una gama muy amplia de posibilidades entre las que escoger. El conocimiento de las propiedades de estos materiales es imprescindible si se quiere hacer una elección objetiva. Este libro analiza las propiedades técnicas de dichos materiales (de la masa, del estado de la materia), mecánicas, reológicas y térmicas, y su

relación con los fenómenos ondulatorios, aparentes, temporales y de duración; sus costes, sus repercusiones sobre la salud y sus implicaciones ecológicas. Por otra parte, la calidad de la información numérica que tenemos de estos materiales hace necesaria una obra que recoja, relacione y compare todos estos valores, puesto que en el momento de decidir utilizarlos es conveniente tener una visión global de las diversas opciones posibles.

Ramon Sastre Sastre

Ramon Sastre es Doctor Arquitecto (1981), catedrático de universidad y profesor de Construcción del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès (ETSAV), donde imparte las asignaturas Construcción I, Taller de Arquitectura y Proyectos VII, y Construcciones Tensadas. También es profesor del programa de doctorado Construcción, Restauración y Rehabilitación Arquitectónica de la UPC.

Francisco Muñoz Salinas

Francisco Muñoz Salinas es Doctor Arquitecto (2000), profesor lector del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la ETSAV y de la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB) de la UPC, donde imparte las asignaturas Construcción II, Condicionamiento y Servicios IV y Construcción V. También es profesor del Máster oficial de Tecnología, del que imparte la asignatura Accesibilidad.



iniciativa
digital politècnica
Publicacions Acadèmiques UPC



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA**
BARCELONATECH