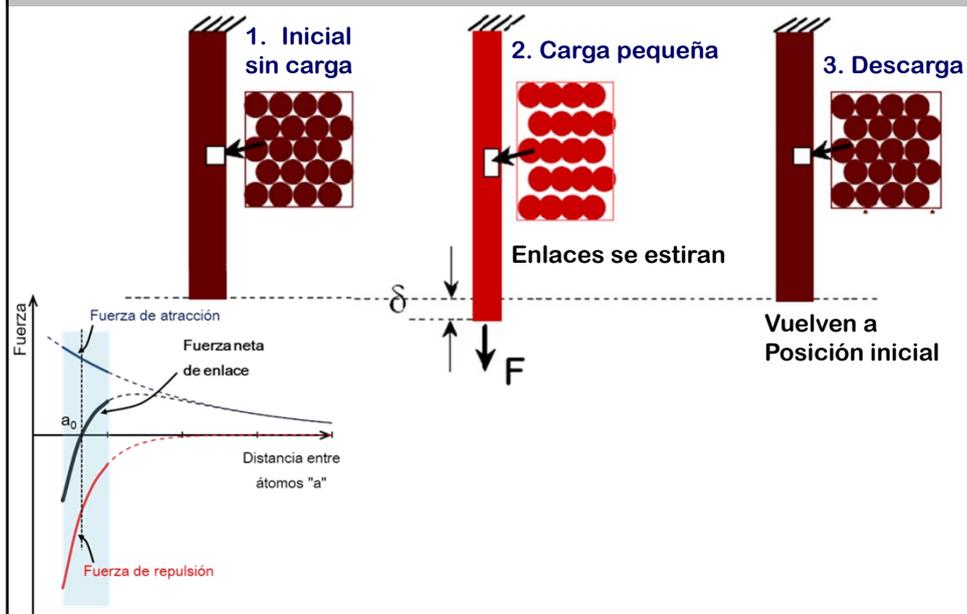


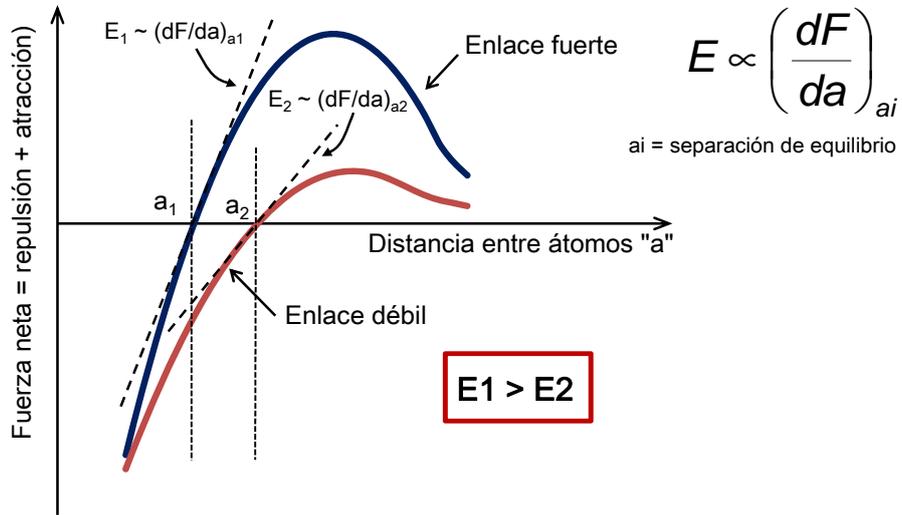
Propiedades Mecánicas de los Materiales (Metales) Parte 2



Deformación Elástica

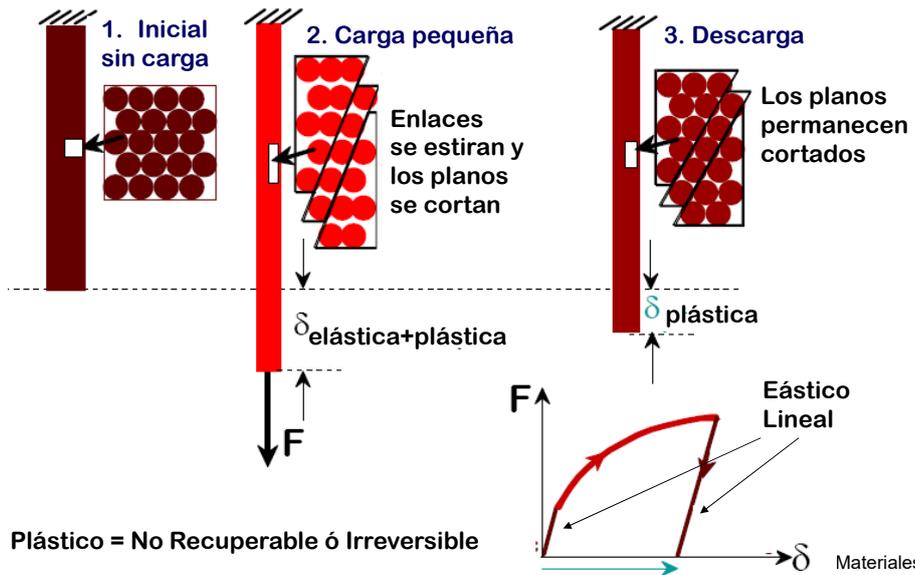


Deformación Elástica

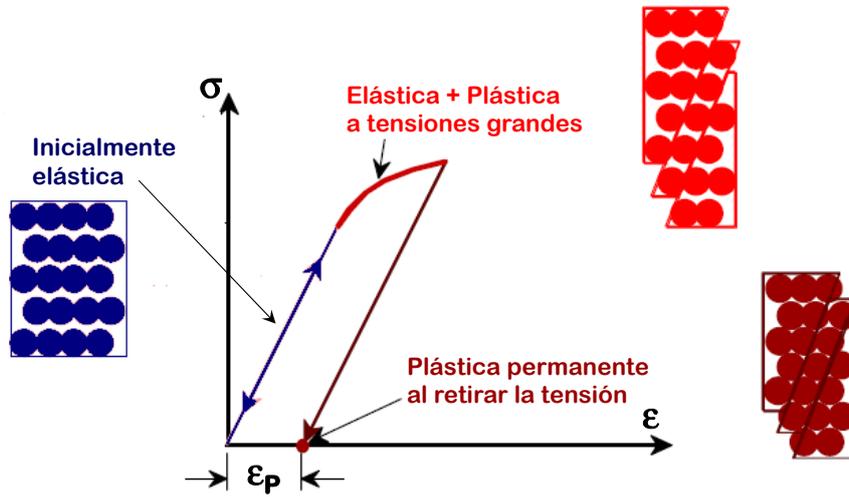


FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Deformación Plástica en Metales



Deformación Plástica Permanente

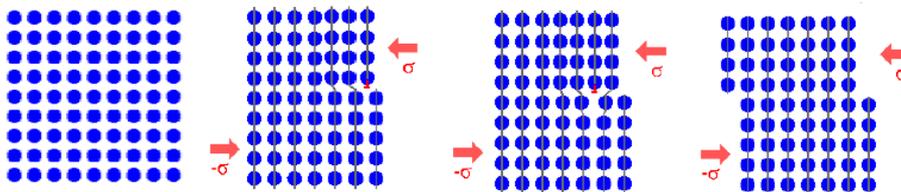


FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Deformación Plástica

Si el mecanismo de deformación fuera por rotura de enlaces, los esfuerzos que son necesarios resultan muy grandes respecto a los observados

La deformación plástica es debida al movimiento de un gran número de dislocaciones.



La parte superior desliza de a un plano por vez. Sólo una pequeña fracción de enlaces se rompen. La propagación de la dislocación a través del plano hace que la parte superior se mueva (**deslice**) respecto a la parte inferior.

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Simil Deformación Plástica



La deformación plástica se ha considerado similar al movimiento de una oruga donde el cuerpo avanza progresivamente.

No todas las patas se mueven simultáneamente.

La dislocación avanza progresivamente.

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

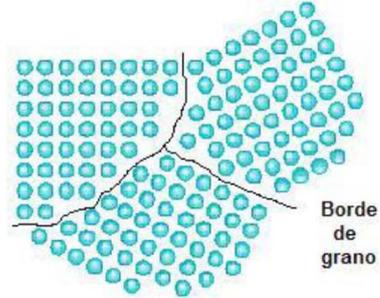
Deslizamiento de las dislocaciones

- Es un mecanismo para la deformación plástica de los metales, ya que el esfuerzo aplicado causa el movimiento de las dislocaciones y explica porque la resistencia de los metales es mucho mas baja que el valor calculado a partir de la rotura del enlace metálico [1000 a 10000 veces más baja que la resistencia teórica]
- El deslizamiento proporciona ductilidad a los metales, de lo contrario éstos serian frágiles y no podrían ser conformados
- Se controlan las propiedades mecánicas de un metal interfiriendo el movimiento de las dislocaciones (un obstáculo introducido en el cristal evita que una dislocación se deslice, a menos que se apliquen esfuerzos mayores, por lo tanto aumenta la resistencia).
- Una dislocación que se mueva a través de las cercanías de un defecto puntual encuentra una red en la cual los átomos no están en sus posiciones de equilibrio y entonces se requiere que se aplique un esfuerzo mayor para que la dislocación venza ese defecto, incrementando así la resistencia y dureza del material

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Influencia de los bordes de grano

- El límite de grano, que es la superficie que separa los granos individuales, es una zona angosta donde los átomos no tienen la distancia correcta entre sí, existen zonas de compresión y otras de tracción
- Un método para controlar las propiedades de un material es controlar el tamaño del grano, ya sea durante la solidificación o durante el tratamiento térmico.
- Si se tienen granos de menor tamaño, se aumenta la resistencia del material, ya que no permiten el deslizamiento de las dislocaciones pero se reduce su ductilidad.
- Un material con un tamaño de grano grande tiene menor resistencia, menor dureza pero una mayor ductilidad.



FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

TIPOS DE ACEROS

Normas IRAM IAS U500 - CIRSOC 201

Tabla 3.8. Barras de acero para armaduras de estructuras de hormigón

		Barras de acero		
Designación de las barras de acero		AL 220	ADN 420	ADN 420 S
Normas a las que responde		IRAM-IAS U 500-502-98	IRAM-IAS U 500-528-98	IRAM-IAS U 500-207-98
Conformación superficial		Lisa (L)	Nervurada (N)	Nervurada (N)
Diámetro nominal (d) (*)	mm	6 - 8 - 10 - 12 16 - 20 - 25	6 - 8 - 10 - 12 - 16 20 - 25 - 32 - 40	6 - 8 - 10 - 12 - 16 20 - 25 - 32 - 40
Tensión de fluencia característica (**)	MPa	220	420	420
Resistencia a la tracción, característica(**)	MPa	340	500	500
Alargamiento porcentual de rotura característico (A _{1g})	%	18	12	12
Diámetro del mandril de doblado. Angulo de doblado 180°	mm	2 d	d ≤ 25 3,5 d d = 32 5,0 d d = 40 7,0 d	d ≤ 25 3,5 d d = 32 5,0 d d = 40 7,0 d

(*) Las normas IRAM-IAS designan al diámetro nominal de la barra o alambre como d mientras que en este Reglamento se designan como d_b
(**) Según se define en el Glosario

NOTA: Se deben modificar las normas IRAM que correspondan, adoptando una tensión característica definida para un nivel de aceptación del 95 % (p=0,95), con un nivel de confianza del 90 % (1-α = 0,90).

E = 210000 MPa

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

TIPOS DE ACEROS

Normas IRAM IAS U500 - CIRSOC 201

Tabla 3.9. Alambres y Mallas soldadas de acero para armaduras de estructuras de hormigón

Designación de alambres y mallas soldadas, de acero		Alambres de acero	Mallas soldadas, de acero
Normas a las que responde		ATR 500 N IRAM-IAS U 500-26-99	AM 500 N IRAM-IAS U 500-06-99
Conformación superficial		Nervurados (N)	
Diámetro nominal (d) (*)	mm	4 y 4,2 para armadura de distribución	4 a 4,5 para armadura de distribución
		6-8-10-12 para armadura resistente	5 a 12 para armadura resistente
Tensión de fluencia característica (**)	MPa	500	500
Resistencia a la tracción, característica	MPa	550	550
Alargamiento porcentual de rotura característico (A ₁₀)	%	6	6
Diámetro del mandril de doblado. Ángulo de doblado 180°	mm	4 d	4 d

La resistencia al corte de las uniones soldadas en las mallas, expresada en kN, debe ser igual o mayor de 0,15 S_{max} (S_{max} = Área de la sección nominal transversal del alambre de mayor diámetro de la unión soldada, expresada en mm²).

(*) Las normas IRAM-IAS designan al diámetro nominal de la barra o alambre como d mientras que en este Reglamento se designan como d_n.

(**) Según se define en el Glosario.

NOTA: Se deben modificar las normas IRAM que correspondan, adoptando una tensión característica definida para un nivel de aceptación del 95 % (p=0,95), con un nivel de confianza del 90 % (1-α = 0,90).

E = 210000 MPa

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

TIPOS DE ACEROS

Normas IRAM IAS U500 - CIRSOC 201

Tabla 3.10. - Alambres lisos para estructuras de hormigón pretensado

Designación de los alambres IRAM-IAS U 500-517-89 (*)	Diámetro nominal mm	Tensión convencional de fluencia Minima MPa	Resistencia a la tracción Minima MPa	Alargamiento porcentual de rotura Mínimo %	Longitud de referencia L ₀ mm	Doblado alternado		Relajación máxima a 1.000 h y 20 °C, para una carga inicial expresada en % de la carga de rotura Q _t (Q _t = 1700 MPa x área nominal de cada alambre)		
						N° de doblados	Radio del mandril mm	60 % Q _t	70 % Q _t	80 % Q _t
								Baja relajación %	Baja relajación %	Baja relajación %
APL - 1700	4,0	1500	1700	4,6	50	4	10	1	2	3
	5,0			5,0	50	4	15			
	7,0			5,0	70	4	20			

(*) Los valores de designación corresponden a la resistencia a la tracción nominal del acero, expresada en MPa.

E = 210000 MPa

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

TIPOS DE ACEROS

Normas IRAM IAS U500 - CIRSOC 201

Tabla 3.11. Cordón de dos o tres alambres para estructuras de hormigón pretensado

Designación de los cordones	Construcción del cordón	Carga al 1 % de alargamiento total	Carga de rotura	Alargamiento de rotura bajo carga sobre 200 mm
IRAM – IAS U 500 – 07-98	(Nº de alambres x diámetro nominal)	Q_1	Q_t	A_t
(*)		Mínima	Mínima	Mínimo
		kN	kN	%
C – 1950	2 x 2,25	13,2	15,6	2,5
	3 x 2,25	19,8	23,5	
C – 1800	2 x 1,84	8,1	9,5	
	2 x 2,40	13,8	16,2	
	3 x 2,40	20,7	24,3	
C – 1750	3 x 3,00	31,5	37,1	
C – 1650	3 x 4,00	52,9	62,2	

(*) Los valores de designación corresponden a la resistencia a la tracción nominal del acero, expresada en MPa.

Los valores de relajación se deben establecer por convenio previo con el fabricante. Se verificarán aplicando la norma IRAM-IAS U 500-114 – 85

E = 210000 MPa

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

TIPOS DE ACEROS

Normas IRAM IAS U500 - CIRSOC 201

Tabla 3.12. Cordón de siete alambres para estructuras de hormigón pretensado

Designación de los cordones	Diámetro nominal del cordón	Carga al 1 % de Alargamiento total	Carga de rotura	Alargamiento de rotura bajo carga sobre 600 mm	Relajación máxima a 1.000 h y 20 °C, para una carga inicial expresada en % de la carga de rotura		
		Q_1	Q_t	A_t	Q_t		
IRAM – IAS U 500 – 03-98		Mínima	Mínima	Mínimo	Baja Relajación BR		
		Baja Relajación BR			60 % Q_t	70 % Q_t	80 % Q_t
(*)		kN	kN	%	%	%	%
C – 1750	9,5	80,1	89,0	3,5	1	2,5	3,5
	12,7	144,0	160,0				
	15,2	216,0	240,0				
C – 1900	9,52	92,0	102,0				
	12,7	166,0	184,0				
	15,2	235,0	261,0				

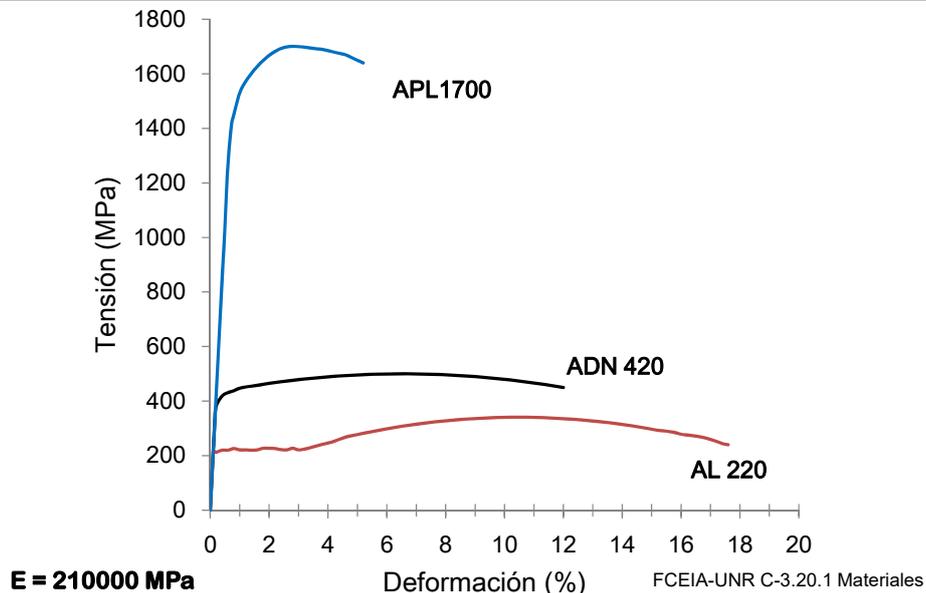
(*) Los valores de designación corresponden a la resistencia a la tracción nominal del acero, expresada en MPa.

E = 210000 MPa

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

ACEROS DE CONSTRUCCION

(Cirsoc 201: Barras de acero para armaduras de estructuras de hormigón)



Dureza de los materiales

- No se corresponde con una propiedad física definida.
- La dureza depende del tipo y magnitud de las fuerzas de enlace y aumenta en forma semejante a la resistencia.
- Polímeros : relativamente blandos (baja dureza)
- Sólidos iónicos y metálicos: más duros que los polímeros
- Sólidos covalentes: materiales más duros conocidos
- Relación íntima entre la resistencia a la deformación permanente de los metales y su dureza.
- Existe además una relación entre dureza y resistencia a la tracción: **determinación aproximada de esta propiedad.**
- El término dureza es ambiguo. Los datos de dureza relativos a un tipo de ensayo.

Dureza: mayor o menor resistencia que un cuerpo opone a ser rayado o penetrado por otro. (dureza comparativa)

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Dureza Mohs

- Escala de rayado de Mohs usada para dureza de minerales:

1	Talco
2	Yeso
3	Calcita
4	Fluorita
5	Apatita
6	Feldespato
7	Cuarzo
8	Topacio
9	Corindón
10	Diamante

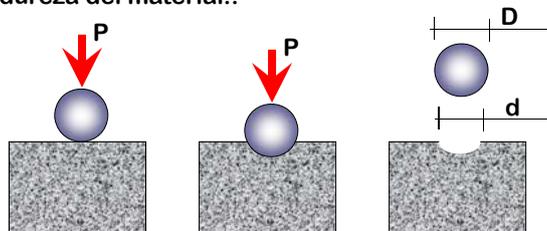
Dureza
creciente

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Dureza por penetración

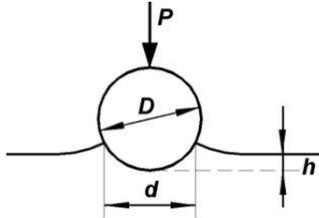
- Se determina un número que no es absoluto y depende del ensayo (características del penetrador y carga aplicada).

Dureza Brinell: bolilla de acero incrustada con una carga estática y medición de la impronta con una lupa micrométrica. Tiempo de carga prestablecido. Dureza Brinell expresada en número HB. Tamaño de la bola adaptada al tamaño de grano, espesor de la probeta y dureza del material..



FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Dureza Brinell (HB)



$$HB = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{P}{D^2} \left[\frac{\frac{2}{\pi}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}} \right]$$

$$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Diámetro de la bola: 10 mm
Carga (P): 30000N
Duración de la carga: 10 a 15s

En estas condiciones 200HB por ejemplo

- Si por alguna razón no pueden aplicarse las condiciones estándar es posible aplicar cargas menores y utilizar diámetros menores. Se exige el criterio de semejanza: $P/D^2 = \text{constante}$
- En este caso se agregan otros parámetros, por ejemplo, 63 HB 10/500/30
- (Bola de 10 mm, P igual a 5000N y 30 segundos de carga)
- El diámetro de la impronta d debe ser 25 a 60% de D ($d=0,375D$)

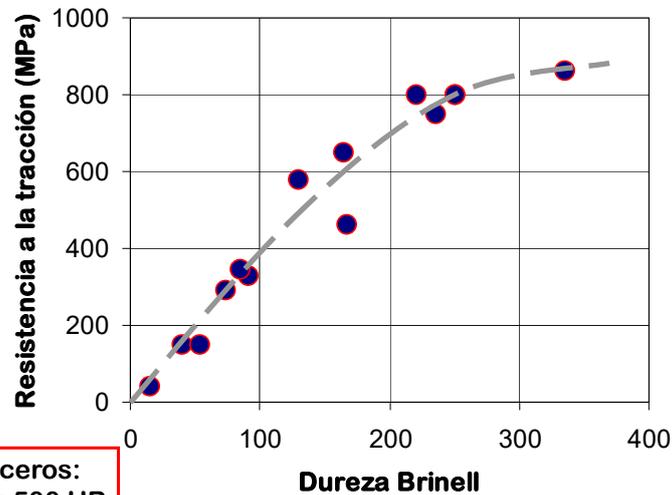
FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Durómetro



FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

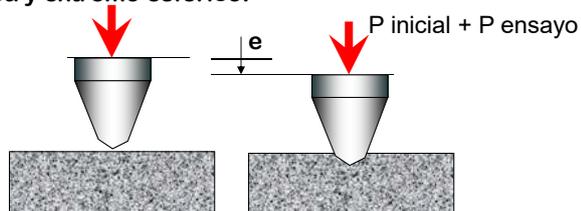
Correlación Dureza Brinell - R_t



FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Dureza Rockwell

Dureza Rockwell: Similar a la anterior pero el penetrador tiene forma cónica y extremo esférico.



- Se mide la profundidad de penetración.
- Puntas de acero duro o incluso diamantes según la escalas A a L.
- Para la escala B: Se utiliza un penetrador esférico de acero templado y de una superficie finamente pulida. El diámetro de la esfera será de $1,588 \text{ mm} \pm 0,0035 \text{ mm}$
- Para la escala C: Se utiliza un penetrador de forma cónica y con punta de diamante, el ángulo en el vértice del cono será de 120° y la terminación del cono será de forma casquete esférico, con un radio de $0,2 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Dureza Rockwell

Escala	Penetrador	Aplicación	Pi	Pe
B	Bola de acero de 1,588 mm	35 a 100 HRB	100N	1000N
C	CónicoDiamante de 120°	20 a 71 HRC	100N	1500N

La aplicación la carga inicial (Pi) tiene por finalidad:

Eliminar la influencia de rugosidad de la superficie de la pieza.

Determinar el punto de partida de la medición de la penetración.

Establecer la ubicación correcta del dial de lectura de la dureza

Se aplicará una carga de ensayo (Pe). El aumento de la carga hasta su valor límite deberá ser lento, entre 3 y 6 seg, aplicada en forma uniforme y libre de vibraciones. La aplicación de esta carga tiene por finalidad determinar la dureza de la pieza con la carga total. La carga se mantiene por 15 segundos

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Dureza Rockwell

- Dureza Rockwell: basada en la profundidad diferencial (de Pi a Pe); la lectura del dial corresponde a la cifra de dureza Rockwell del tipo de ensayo Rockwell realizado.
- Cada indicación en el dial o valor de incremento de profundidad del penetrador representa una unidad de dureza.
- El resultado del ensayo se expresará en cifras de dureza Rockwell seguidas de la escala utilizada para éste (ej: HR_B o HR_C). Por ejemplo, 66,2 HR_B.
- Escala A: Materiales muy duros (carburos cerámicos)
- Escala L: Plásticos y metales blandos como el Plomo
- Escala B: Materiales de dureza media, aceros al carbono bajos y medios, latón, bronce, etc.
- Escala C: Aceros endurecidos, aleaciones endurecidas y revenidas.

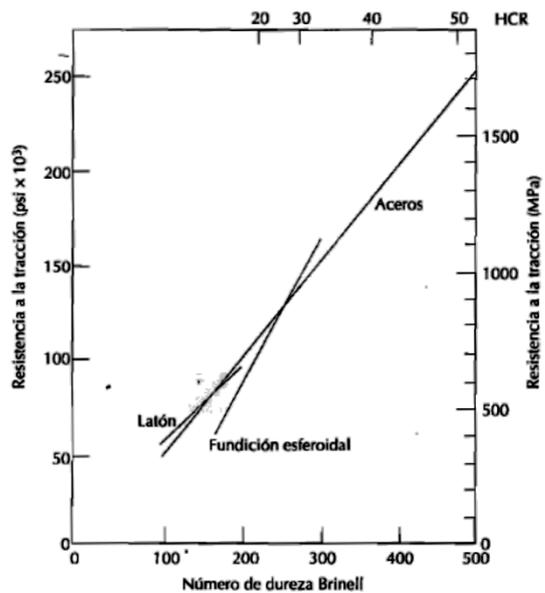
FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Dureza Rockwell



FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Correlación Dureza - R_t



$$TS(\text{psi}) = 500 \times \text{HB}$$
$$TS(\text{MPa}) = 3,45 \times \text{HB}$$

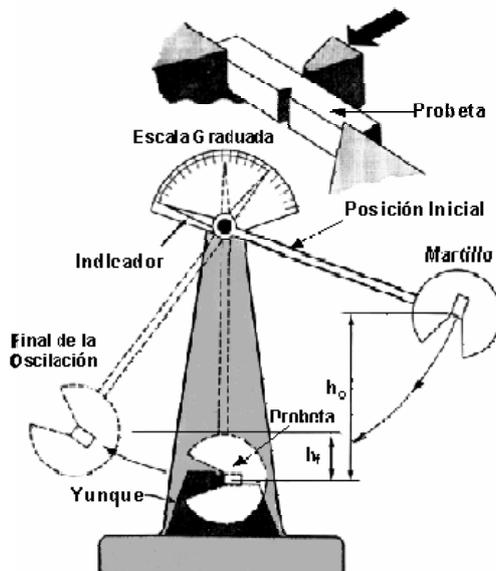
FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Resistencia al impacto

- Un material sometido a deformaciones aplicadas de forma extremadamente rápidas puede comportarse muy diferente que en un ensayo de tracción convencional mostrándose mucho más frágil.
- Importancia en cargas de impacto y en particular a bajas temperaturas.
- Se usan ensayos de impacto. Los más divulgados son el **Charpy** y el **Izod**.

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Ensayo Charpy



- Péndulo de características normalizadas
- Probeta con entalladura
- Parámetros primarios:
 - Velocidad de impacto
 - Energía cinética al alcanzar la probeta

$$v = (2 g h_0)^{1/2} = [2 g l (1 - \cos \alpha)]^{1/2}$$

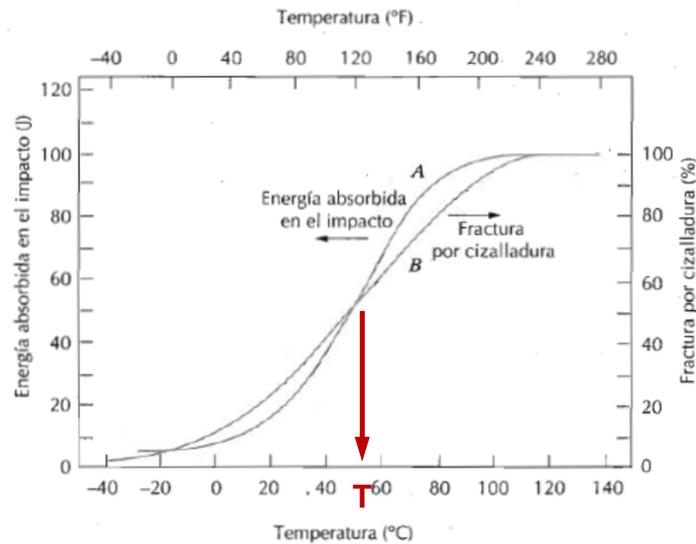
$$E_c = g M h_0 = g M l (1 - \cos \alpha)$$

- Energía absorbida en el impacto:

$$E_a = g M l (\cos \alpha' - \cos \alpha)$$

FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Temperatura de Transición Dúctil-Frágil



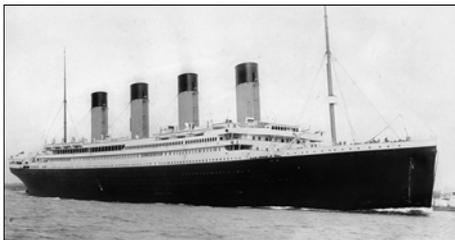
FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Temperatura de Transición Dúctil-Frágil El caso del Titanic

El 12 de abril de 1912, a las 11:40 p.m., el Titanic en su viaje inaugural impactó contra un gran iceberg, dañando su casco y causando que seis de los compartimientos de proa se rompieran. La temperatura del agua del mar a la hora del accidente era de -2°C . La posterior inundación de los compartimientos tuvo por resultado la fractura completa del casco y la trágica pérdida de más de 500 vidas.

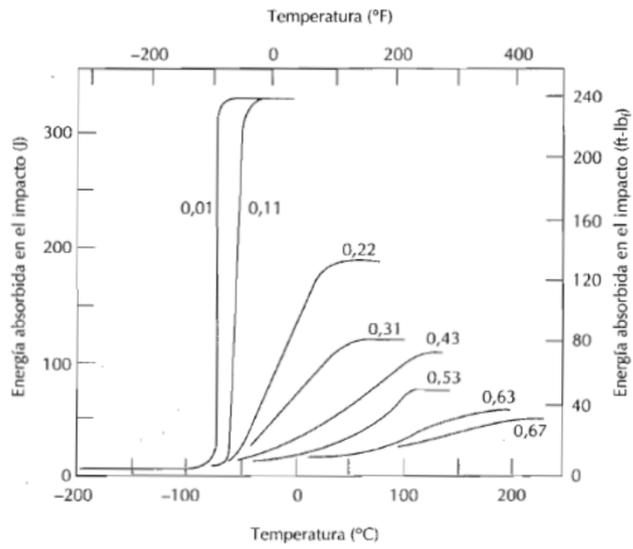
El Titanic fue hallado en el lecho marino por Robert Ballard el 1o. de septiembre de 1985 a 3.7 km de profundidad. Con base en las pruebas metalúrgicas y mecánicas realizadas al acero del Titanic, se determinó que la temperatura de transición dúctil-frágil del acero empleado en el Titanic era de 32°C para los especímenes longitudinales del casco y de 56°C para los especímenes transversales. Ello indica que el acero empleado en la construcción se comportó de manera altamente frágil cuando el buque chocó contra el iceberg.

*Ref. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, 4ta Edición
William F. Smith, Javad Hashemi*



FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Influencia del contenido de C en aceros



FCEIA-UNR C-3.20.1 Materiales

Fin Parte 2

FCEIA-UNR C7 Materiales