

# TEMA 1: MEDICIONES FISICAS

## MEDIR, MEDIDA Y MEDICIÓN

Medir: es comparar una magnitud con otra, denominada patrón.

Medida: es el resultado de medir.

Medición: conjunto de operaciones que tiene por objetivo determinar el valor de una magnitud particular.

En el proceso de medición intervienen 4 sistemas que interactúan entre si:

- El objeto a medir.
- El instrumento de medición.
- El sistema de referencia o unidad.
- El operador.

## ALGUNAS DEFINICIONES IMPORTANTES:

Magnitud (medible): atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente.

Mesurando o mensurando: magnitud particular sometida a medición.

Valor verdadero: es el valor que se obtendría mediante una medición perfecta.

Resultado de una medición: valor atribuido a un mensurando, obtenido por medición.

Sensibilidad: cociente entre la variación de la respuesta de un instrumento de medición y la variación correspondiente del estímulo.

Resolución: mínima diferencia entre las indicaciones de un dispositivo indicado que puede ser percibido inequívocamente.

## MEDIDAS DIRECTAS E INDIRECTAS

Medida directa: se realiza aplicando un aparato para medir una magnitud. Es por comparación (longitud, tiempo, etc.)

Medida indirecta: el valor de la medida se obtiene mediante formulas matemáticas, previo cálculo de las magnitudes que intervienen en la formula por medida directa. Es por comparación y traducción o calculo (presión, área, volumen, etc.)

## SISTEMAS DE UNIDADES

Los sistemas de unidades están compuestos por las unidades patrón.

Estas unidades patrón deben cumplir con lo siguiente:

Ser inalterables: no cambian con el tiempo, ni es función de quien realice la medida.

Ser universal: es decir que es utilizado en todo el mundo.

Ha de ser fácilmente reproducible.

### Sistema internacional (SI)

Fue creado en 1960 por la conferencia general de pesos y medidas, que inicialmente definió 6 unidades básicas y en 1971 añadió la séptima, el mol.

Una gran ventaja del S.I. es que sus unidades están basadas en fenómenos físicos, excepto la magnitud masa, el kilogramo.

### Sistema métrico legal argentino (SIMELA)

Fue establecido por ley 19511 en 1972 como único sistema de unidades de uso en argentina. Adopta las mismas unidades, múltiplos y submúltiplos que el S.I.

Los símbolos de las unidades se escriben en general en minúscula. Cuando el nombre de la unidad deriva de un nombre propio, la primer letra del nombre va en mayúscula.

Los símbolos de las unidades para el plural son igual que para el singular.

Los símbolos de las unidades se escriben sin punto final.

El producto de dos o más unidades se escribe con o sin punto final. Ej:  $N \cdot m$   
 $= Nm$ .

La barra de división es igual al caso del punto. Ej:  $m/s = \frac{m}{s}$

En la misma línea no se usa más de una barra.

### UNIDADES BÁSICAS Y SUPLEMENTARIAS

Unidades básicas		
Magnitud	Unidad	Abreviatura
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Temperatura termodinámica	Kelvin	K
Cantidad de materia	mol	Mol
Intensidad de corriente eléctrica	amperio	A
Intensidad luminosa	candela	cd
Unidades suplementarias		
Magnitud	Unidad	Abreviatura
Angulo plano	radian	rad
Angulo solido	estereorradián	sr

Metro: es la longitud de un trayecto en el vacío por la luz durante un tiempo de 1/299.792.458 segundos.

Kilogramo: es una masa igual al cilindro que se encuentra en la Oficina Internacional de Peso y Medidas en Francia.

Segundo: es la duración de 9.192.631.770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133.

Amperio: es la intensidad de una corriente constante que manteniéndose en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a un metro uno de otro, en el vacío, producirá una fuerza igual a  $2 \times 10^{-7}$  N por metro de longitud.

Kelvin: es la temperatura termodinámica correspondiente a la fracción 1/273,16 de la temperatura del punto triple del agua.

Mol: es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0.012kg de carbono 12.

Candela: es la intensidad lumínica, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  Hertz y cuya entidad energética en dicha dirección es  $1/683$  Watts por estereorradián.

Radián: es el ángulo que limita un arco de circunferencia cuya longitud es igual al radio de la circunferencia.

Estereorradián: es el ángulo solido que, teniendo un vértice en el centro de una esfera, intercepta sobre la superficie de dicha esfera, un área igual a la de un cuadrado que tiene por lado el radio de la esfera.

### Unidades derivadas

Unidades utilizadas pero expresan magnitudes físicas que son resultado de combinar magnitudes físicas básicas.

Algunas unidades derivadas más utilizadas:

Unidades derivadas		
Magnitud	Unidad	Abreviatura
Volumen	Metro cubico	$m^3$
Superficie	Metro cuadrado	$m^2$
Caudal		$m^3/s$
Fuerza	Newton	N
Trabajo	Joule	J
Presión	Pascal	Pa

### Reglas para el empleo de prefijos

- Los símbolos de los prefijos se escriben sin dejar espacio entre el símbolo del prefijo y el símbolo de la unidad.
- No deben usarse prefijos compuestos. Ej:  $10^6/m^3$  y no  $M/m^3$ .
- Los prefijos y sufijos se escriben con minúscula excepto de  $10^6$  para arriba.

$10^{12} \rightarrow$ tera $\rightarrow$ T	$10^{-2} \rightarrow$ centi $\rightarrow$ c
$10^9 \rightarrow$ giga $\rightarrow$ G	$10^{-3} \rightarrow$ mili $\rightarrow$ m
$10^6 \rightarrow$ mega $\rightarrow$ M	$10^{-6} \rightarrow$ micro $\rightarrow$ $\mu$
$10^3 \rightarrow$ kilo $\rightarrow$ k	$10^{-9} \rightarrow$ nano $\rightarrow$ n
$10^2 \rightarrow$ hecto $\rightarrow$ h	$10^{-12} \rightarrow$ pico $\rightarrow$ p
$10^1 \rightarrow$ deca $\rightarrow$ da	$10^{-15} \rightarrow$ fento $\rightarrow$ f
$10^{-1} \rightarrow$ deci $\rightarrow$ d	$10^{-18} \rightarrow$ atto $\rightarrow$ a

### Aproximación

Es la menos medida que puede discernir el operador (depende de la agudez visual)

### Apreciación

Menor valor que se puede medir con la escala del instrumento. No el mínimo valor.

### Exactitud

Exactitud de una medición: proximidad entre el resultado de una medición y el valor verdadero.

### Exactitud de un instrumento de medición

Aptitud de un instrumento de medición de dar respuestas próximas a un valor verdadero.

### Precisión

Habilidad de un instrumento de medir sucesivamente valores muy similares.

### Incertidumbre

Parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrán ser razonablemente atribuidos al mensurando.

Es una forma de expresar el hecho de que, para un mensurando y un resultado de medición dados, no hay un solo valor, sino un número infinito de valores dispersos alrededor del resultado, que son consistentes con todas las observaciones dadas y con el conocimiento que se tenga del mundo, y que, con distintos grados de credibilidad puede ser atribuido al mensurando.

La incertidumbre toma la forma de un rango, y si es estimado para un procedimiento de medición, puede aplicarse a todas las determinaciones descritas en dicho procedimiento.

### Error

Resultado de la medición, menos un valor verdadero del mensurando. El valor verdadero es desconocido por lo tanto la magnitud verdadera es hipotética.

Todo procedimiento de medición tiene imperfecciones que dan lugar a un error en el resultado de la medición, lo que provoca que el resultado sea solo una aproximación del valor mencionado.

El error es un concepto idealizado y los errores no pueden ser conocidos exactamente.

### Media aritmética

Para n lecturas  $x_i \rightarrow \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_1^n x_i$

El promedio aritmético va a ser el valor más probable.

### Error absoluto:

Desviación  $\Delta_i$  para cada lectura  $\rightarrow \Delta_i = x_i - \bar{x} \quad \begin{cases} x_i: \text{valor verdadero} \\ \bar{x}: \text{valor tomado} \end{cases}$

### Error relativo:

La precisión en la magnitud aumenta si se reduce el valor relativo. Permite hacer comparaciones entre precisiones en la medida de magnitudes, incluso si estos son de distinta naturaleza.

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta_i}{\bar{x}} = \frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}}$$

### Errores sistemáticos:

Se presentan de la misma manera y en el mismo sentido. Es independiente del número de mediciones llevadas a cabo y no puede ser disminuido por el aumento de estas.

- De calibración: Fuera de cero, problema con la escala, etc.
- Personales: paralaje, etc.
- Condiciones inadecuadas: las condiciones donde se realizan las mediciones es distinta a la que se calibro.
- Técnicas imperfectas.

### Errores fortuitos o aleatorios

No se presentan en el mismo sentido, aparecen y desaparecen sin causa aparente. Este puede normalmente ser disminuido con el incremento de las mediciones.

- De juicio: error en lo que aprecia el operador.
- Condiciones fluctuantes: temperatura, voltaje, etc.
- Pequeñas perturbaciones: vibraciones, movimientos, etc.

### Error e incertidumbre. Diferencia.

Para ilustrar la diferencia, el resultado de la medición después de la corrección puede estar muy cercana al valor del mensurando y por lo tanto tener un error despreciable. Sin embargo la incertidumbre puede ser muy grande, simplemente porque la persona que ejecuta la medición, está muy insegura de cual cercano esta el resultado del valor del mensurando.

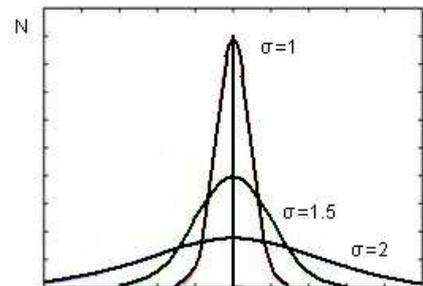
La incertidumbre del resultado de una medición nunca debe ser interpretada como la propia interpretación del error, ni como el error remanente después del corrección.

La incertidumbre es similar a tener dudas, no estar seguro. Y el error es que algo está mal seguro.

### Ley normal- curva de gauss

Cuanto más pequeño es el  $\sigma$ , las lecturas de las mediciones estarán más cercanas a  $\bar{x}$  (valor promedio) al ir aumentando  $\sigma$  tenemos lecturas mas dispersas respecto a  $\bar{x}$ .

El área encerrada bajo la curva es siempre igual a 1, por lo tanto al disminuir  $\sigma$  aumenta la probabilidad de que  $x_i$  coincida con  $\bar{x}$ , es decir se tiene menos error.



### Desviación estándar

Nos da la idea de cuan dispersos se encuentran los datos respecto de la media aritmética.

$\sigma_n$  grande  $\rightarrow$  mas dispersos de  $\bar{x}$ .

$\sigma_n$  chico  $\rightarrow$  menos disperso de  $\bar{x}$ .

$$\sigma_n = \sqrt{\sum_1^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Cuando la muestra es menor de  $n \leq 20$  se utiliza la corrección.

$$\sigma_n = \sqrt{\sum_1^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Si la muestra es suficientemente grande:

$$\bar{x} - \sigma < x_i < \bar{x} + \sigma \rightarrow 68.27\%$$

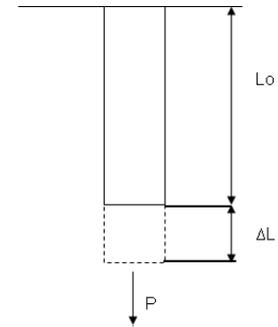
$$\bar{x} - 2\sigma < x_i < \bar{x} + 2\sigma \rightarrow 95.45\%$$

$$\bar{x} - 3\sigma < x_i < \bar{x} + 3\sigma \rightarrow 99.73\%$$

## TEMA 2: MEDICIONES DE DEFORMACIÓN

### DEFORMACIONES LINEALES

Siendo una barra sujeta a una carga axial P, sus dimensiones antes de la carga eran  $L_0$ , diámetro  $d_0$  y área de sección  $A_0$ . Si esta carga p no excede el límite elástico, la deformación unitaria será:



El alargamiento unitario será  $\frac{\Delta L}{L_0}$

### Sensibilidad de deformación unitaria:

Es la mínima deformación que puede indicar el medidor por unidad de longitud.

### DEFORMIMETROS

Estos pueden ser mecánicos, eléctricos o tipo LVDT:

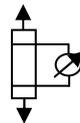
- Extensómetros: tracción
- Compresímetros: compresión
- Troptometros: corte

### DEFORMIMETROS MECÁNICOS

Consta de los dos cuerpos en el cual uno tiene un vástago con una cremallera y el otro el instrumento, cuando se produce la deformación los cuerpos se van separando y el vástago va moviendo los engranajes y luego el instrumento nos da la lectura.

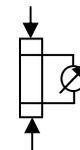
#### Extensómetros

Miden la deformación en forma directa.



#### Compresómetros

Mide la deformación en forma indirecta en este caso mide el doble

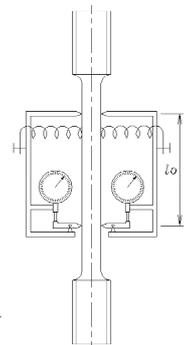


#### Ventajas:

- Buena aproximación
- Fácil de usar
- Lectura directa
- Fácil de transportar

#### Desventajas:

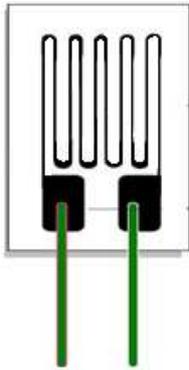
- Rango pequeño
  - No permite trabajar hasta el colapso
  - No tiene señal, no se conecta a la PC
  - No sirve en el campo de fluencia (Inelástico)
- Costo 1.800 pesos.



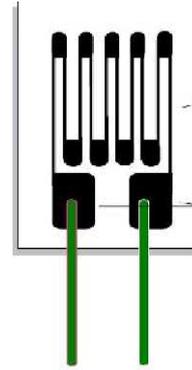
## DEFORMIMETROS ELÉCTRICOS (STRAIN GAJE)

Su operación se basa en el principio de la resistencia eléctrica del conductor, que cambia cuando se la sujeta a deformaciones mecánicas. El extensómetro se pega a la muestra, en condiciones libres de cargas, con un pegamento aislante, se le aplica la carga, la cual produce una deformación en la muestra y en el elemento resistivo. El valor de la deformación se obtiene por el cambio de resistencia en el elemento.

### Extensómetros de alambre pegado



### Extensómetro laminares



Los extensómetros de este tipo se pueden fabricar de diversas formas. La adherencia debe ser más fuerte que la del propio alambre o lamina, de esta manera la deformación estará regida por la del elemento resistivo.

La variedad de condiciones de aplicación ===== construcción especial y técnicas de montaje, incluyendo variaciones de diseño en el material de soporte.

El soporte del medidor tiene diversas funciones, aísla eléctricamente el medidor metálico y transmite la deformación aplicada al sensor.

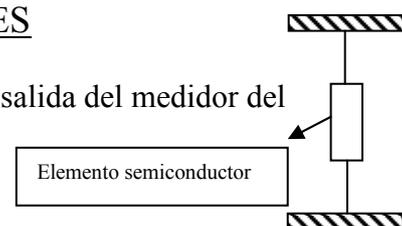
El objetivo del diseño de medición de deformación de resistencia elástica es crear un sensor sensible solo a lo largo de un eje, teniendo por lo tanto sensibilidad cero a la deformación lateral de corte.

## EXTENSÓMETROS DE SEMICONDUCTORES

Los cristales de silicio son el material básico. La salida del medidor del semiconductor es no lineal con la deformación.

Cemento para pegarlos

- Tipo nitrocelulosa; ej: poxi-ran.
- Tipo epoximicos; ej: poxi-pol.
- Inclusiones en metal; ej: celdas de carga.



## Problemas asociados con la instalación de deformímetros eléctricos

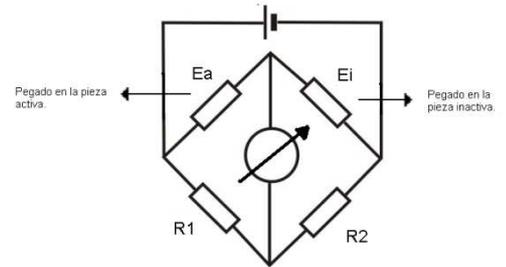
### Efecto de la temperatura:

Existe una diferencia de dilatación entre el elemento resistivo y lo del material al cual estará adherido. Para evitar este problema se coloca un extensómetro inactivo en una pieza idéntica que no sufra deformaciones durante la prueba. Cualquier cambio en la resistencia del extensómetro activo debido a la temperatura se anulara con un cambio

similar en el extensómetro inactivo y la diferencia que se detecte se deberá únicamente a la deformación unitaria, del extensómetro activo.

$$E_a \text{ extensómetro activo.} \quad E_a i_a = R_1 i_1$$

$$E_b \text{ extensómetro inactivo.} \quad E_i i_i = R_2 i_2$$



Sistema para compresión variación de temperatura:

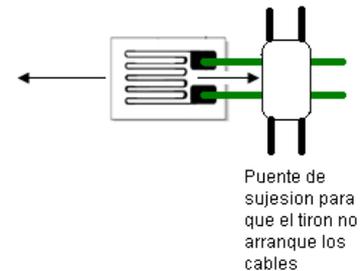
$$E_a / E_i = R_1 / R_2 \rightarrow E_a = (R_1 / R_2) E_i$$

Efecto de la humedad:

La absorción de humedad por el papel o el pegamento puede cambiar la resistencia eléctrica, para evitar este problema se usan deformímetros encapsulados con metales especiales. Estos también sirven para celtas de carga, para medir presión, etc.

Problemas con los cables:

Estos son los que se deben a falsos contactos entre el elemento resistivo y el circuito externo de registro que pueden ocasionarse por estar mal soldados o por diferencia de potencial entre estos, debido a que pueden ser materiales distintos. Para evitar este problema se usa un puente entre el elemento resistivo y el circuito externo de registro.



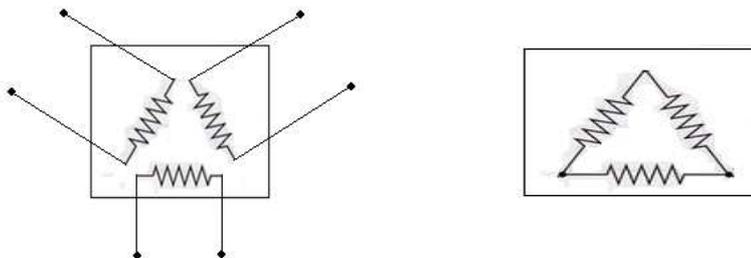
CONSTANTE RESISTIVA DE LOS DEFORMIMETROS ELÉCTRICOS

Este factor lo proporciona el fabricante.

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\Delta u} \rightarrow \Delta u = \frac{\Delta R}{K \cdot R}$$

EXTENSÓMETROS TIPO ROSETAS

Estos se conectan en tres puentes y se utilizan cuando se quiere medir las deformaciones en más de una dirección a esfuerzos combinados.



### Lugares de colocación de los extensores tipo rosetas

- Elementos finitos: pueden ser puntos o alargamientos.
- Lacas frágiles: nitro-celulósica, epoxidica; se usan para determinar el lugar de fisura o concentración de fisuras. Estas fisuras se producen perpendicular al esfuerzo y es ahí donde pondremos los extensómetros para realizar la medición.

### Ventajas:

- Fácil de aplicar en lugares de poco acceso.
- Aplicaciones múltiples.
- Permite varias direcciones de medición.
- Tiene señal de salida.
- Permite ensayar hasta la rotura.
- Tamaño pequeño.
- Pequeña aproximación.

### Desventajas:

- Necesita de equipos auxiliares.
- Descartable.
- Rango muy pequeño.

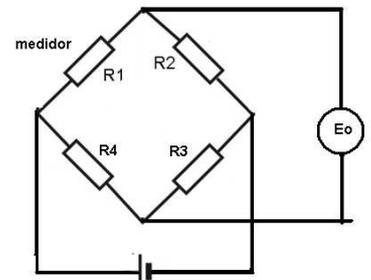
Costo: Deformímetros: 15 dólares, equipo auxiliar: 20.000 dólares.

## PUENTE WHEATSTONE

Es un puente puramente resistivo, permite medir con exactitud y detectar sus pequeños cambios.

$R_1$  puede ser el medidor de deformación que experimenta un cambio de resistencia debido a la deformación mecánica.  $E_0$  es la salida del puente en condiciones iniciales. Todas las resistencias son fijas excepto  $R_1$  (medidor). Cuando esta varía, cambia la tensión el voltímetro.

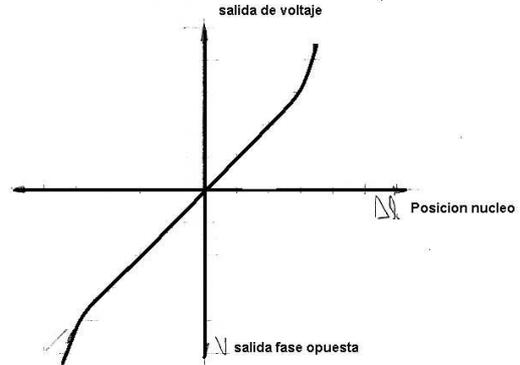
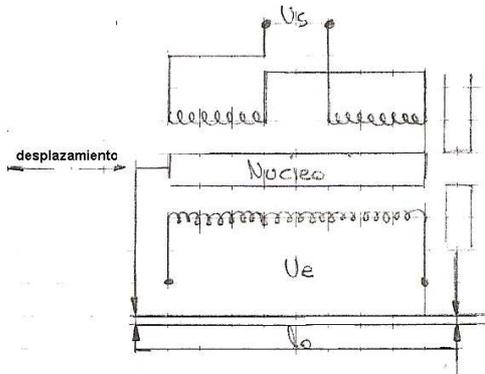
El puente está disponible a nivel comercial para medir cambios de resistencia de menos de  $0.0005\Omega$ .



## DEFORMIMETROS LVDT (TRANSFORMADOR DIFERENCIAL LINEAL VARIABLE)

Se colocan tres bobinas en una disposición lineal, con un núcleo magnético que se puede mover libremente dentro de ellos. A la bobina del primario se le aplica una corriente alterna, de manera que el voltaje de salida de las dos bobinas externas depende del acoplamiento magnético entre el núcleo y la bobina. Este acoplamiento depende de la posición del núcleo. El voltaje de salida del dispositivo es una indicación de la posición del núcleo.

Siempre que el núcleo permanezca cerca de centro de las tres bobinas, la salida será aproximada lineal. El rango lineal de los transformadores se especifica y rara vez se hace operar fuera de rango. Cuando opera un rango lineal se llama LVDT, estos se encuentran en gran variedad de tamaños y se utilizan para mediciones de desplazamientos, fuerza y presión después de una conversión mecánica.



Ventajas:

- Señal de salida
- Buena apertura
- Lectura en tiempo real
- Fácil montaje

Desventajas:

- No al colapso
- Rango pequeño
- Equipo auxiliar

Costo

LVDT = \$ 1000

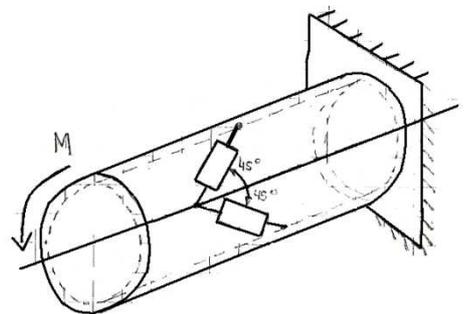
Equipo auxiliar \$ 20000

DEFORMIMETROS TORSIONALES

Estas deformaciones son ocasionadas por pares o momentos y se pueden medir observando la deformación angular de la barra.

Mediciones por extensómetros:

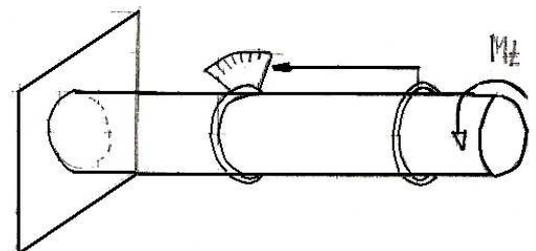
Consisten en un cilindro eléctrico que se utiliza para medir el par, el cual tiene montando extensómetro que se encuentra a 45° respecto del centro del cilindro hueco hacia la pared interior del mismo. Al aplicar los momentos el cilindro se deforma al igual que los extensómetros y nos da una señal eléctrica que es función de las deformaciones.



Medición con Troptómetros mecánicos

Consta de dos bridas separadas una cierta distancia, una con un indicador y la otra con una escala que sirve para medir el ángulo de distancia  $\alpha$ .

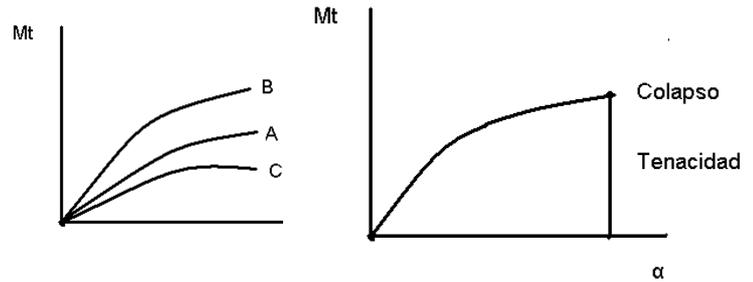
$$\alpha = \frac{Mt}{G \cdot Ip}$$



## Tenacidad

Es la energía que se consume para llevar el material al colapso (área bajo la curva).

Es la capacidad de un material para absorber simultáneamente esfuerzos y deformaciones de condensación sin llegar a la fractura, o no es el trabajo interno que se desarrolla el material en un proceso de deformación hasta alcanzar la rotura.



## Potencia mecánica

La potencia se define como la rapidez con que se realiza un trabajo. Si el trabajo es uniformemente creciente o decreciente, la potencia será el cociente entre el trabajo y el tiempo  $P=WT$

Unidades en Watt (W) = J/s

## FRENOS DINÁMICOS

La potencia de un eje se relación con la velocidad angular y el par mediante la expresión.

$$P=W \cdot Mt$$

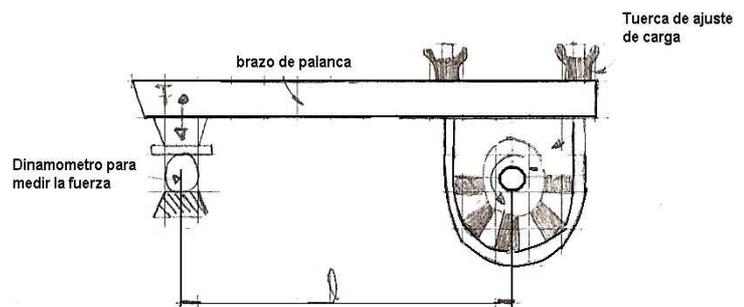
$W \rightarrow$  velocidad angular

## FRENO DE PRONY

El freno sirve para proporcionar una carga bien definida al motor, la potencia del motor es dirigida como energía termina en el material de frenado. Ajustando la carga se puede obtener una salida de potencia sobre un intervalo de velocidades y ajustes del acelerador. La potencia se mide mediante el registro del par que actúa sobre el brazo del par y mediante la velocidad angular.

$$Mt = F \cdot l \rightarrow P = \omega \cdot Mt. W = 2 \cdot \pi \cdot n$$

$$W = 2 \cdot \pi \cdot n$$



## FRENO DE AGUA

Consiste en disipar energía a través de fricción viscosa sobre una rueda de paleta que está localizada dentro de una cámara estacionaria lleno de agua. La cámara se sostiene sobre cojinetes de manera que el par que se le trasmite se pueda medir por medio de un brazo apropiado al freno electrónico. La carga que absorben los frenos de agua puede ajustarse mediante el nivel del agua y las velocidades de flujo en el freno.

## GENERADORES DEL CORRIENTE ALTERNA Y CORRIENTE CONTINÚA

Se emplean como elementos que absorben potencias en los dinamómetros. Las aplicaciones de los generadores de corriente alterna requieren capacidades de frecuencias variables para permitir un amplio intervalo de frecuencia y velocidad. La potencia en estos dinamómetros se dirige como energía térmica como cargas resistivas. Sobre el cuerpo el cuerpo del generador se extiende un brazo que tiene como finalidad la medición del par (fuerza en el extremo por la medición del brazo).

## DINAMÓMETRO Y CORRIENTES PARASITAS

Una bobina de campo de corriente continua y un rotor permite que la potencia del eje se dirige por las corrientes parasitas en el devanado. La conversión resultante a energía térmica por calentamiento de Joule de los corrientes parásitos necesita un suministro con enfriadores de agua.

# TEMA 3: MEDICIONES CINEMÁTICAS

## VELOCIDAD LINEAL Y VELOCIDAD ANGULAR

- Velocidad lineal: Magnitud física de carácter vectorial que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo. Sus dimensiones son L/T. Sus unidades en el SIMELA son [m/s]. Para definir velocidad lineal debe considerarse la dirección, sentido y modulo.
- Velocidad angular: es una medida de la velocidad de rotación. Se define como el ángulo girado por unidad de tiempo. Se designa con la letra griega  $\omega$ . Su unidad en el SIMELA es rad/s.

En el movimiento de rotación de un sólido, en un instante dado, todos los puntos del sólido poseen la misma velocidad angular, en tanto que a casa uno de ellos le corresponde una velocidad lineal que es función de una distancia al eje.

## MEDICIONES DE LA VELOCIDAD Y ACELERACIÓN

Estas mediciones también se conocen como mediciones de choque o vibraciones dependiendo de la forma de onda de la función forzante que cause la aceleración. Una función forzante periódica por naturaleza, por lo general resulta en aceleraciones que se analizan como vibraciones.

En contraste, una entrada de fuerza de corta duración y gran amplitud se clasifica como carga de choque.

En general la velocidad puede medirse de forma directa por medios mecánicos solo sobre tiempos muy cortos o desplazamientos muy pequeños.

Sin embargo si se mide el desplazamiento de un cuerpo rígido a intervalos de tiempo específicos, la velocidad se puede determinar mediante la diferenciación del desplazamiento respecto del tiempo.

De manera alterna, si la aceleración se mide, la velocidad puede determinarse a partir de la integración.

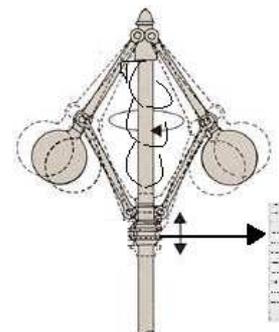
## MEDICIONES DE VELOCIDAD

- Mecánicos: centrífugos, magnéticos y eléctricos, anemómetros a turbina, anemómetros de hilo caliente.
- Ópticos: Led, rotodetector.
- Ultrasónicos: cristales piezoeléctricos, efecto dopler.

## MEDICIONES MECÁNICAS

- Centrífugos

Se basa en el volante centrífugo (principio de regulación de Watt), en los cuales dos pesas rotativas articuladas a un eje gíatorio aumentan un radio de giro debido a la fuerza centrípeta y comprimen un resorte. La medida de la compresión de resorte leída en la escala representa la velocidad de giro del eje. La velocidad de este aparato es de hasta 4000 rpm con una precisión máxima de  $\pm 1\%$ . Se usa en hidráulica y neumática.



### Ventajas

- Portátil
- Fácil lectura
- Bajo costo

### Desventajas

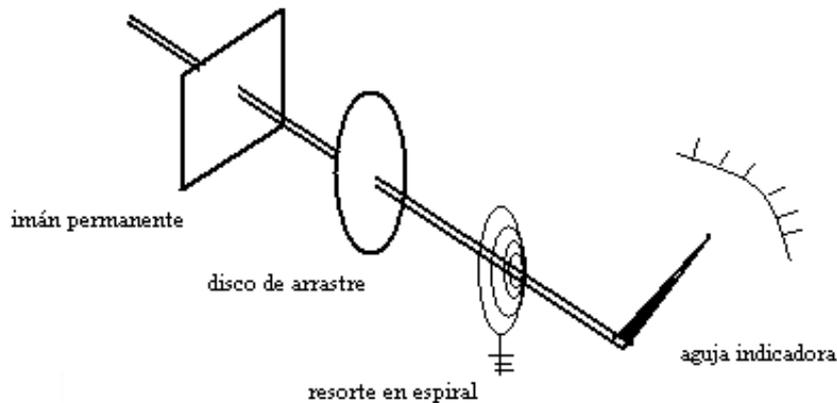
- Poca precisión (debido a que las piezas en movimiento sufren desgaste)

- Magnéticos (tipo corrientes parasitas o de arrastre magnético)

Este aparato posee un imán permanente giratorio que es accionado por el eje de la máquina. Se introducen corrientes parasitas en el disco de arrastre de aluminio, produciéndose un par que hace girar este disco venciendo el par de un resorte en espiral. La aguja indicadora acoplada al disco señala la velocidad de giro sobre una escala calibrada.

Este instrumento se usa mayormente en automóviles cuando la escala está graduada conforme a la velocidad lineal (km/h).

Se puede utilizar para velocidades de rotación de hasta 12000rpm con una precisión máxima de  $\pm 3\%$ .



- Anemómetro a turbina

El fluido hace girar la turbina en donde la velocidad de viento es proporcional a la velocidad angular de la turbina ( $V_t = kV_{\text{viento}}$ ) y por medio de un sistema electrónico nos da la velocidad. Se usa para velocidades medidas entre (5-40)m/s.



### Ventajas

- Fácil lectura
- Portátil
- Preciso (pocas partes en movimiento)

### Desventajas

- Hay que conocer la dirección del viento

- Anemómetro de hilo caliente

Consiste en un hilo de platino o níquel calentado eléctricamente, la acción del viento tiene por efecto enfriarlo y hacer variar así su resistencia, por consiguiente la corriente que atraviesa el hilo es proporcional a la velocidad del viento.



### Ventajas

- Bajo rango de velocidad (bajo umbral)
- Puede trabajar en lugares muy reducidos
- Tiene señal

### Desventajas

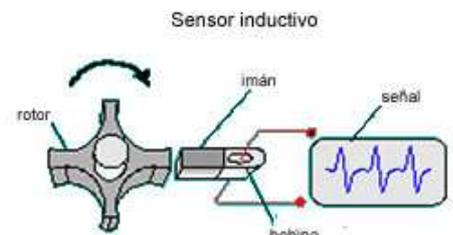
- Son frágiles

## MEDIDORES DE VELOCIDAD ANGULAR

Muchas veces estos medidores son utilizados para medir velocidades lineales.

- Medidor inductivo

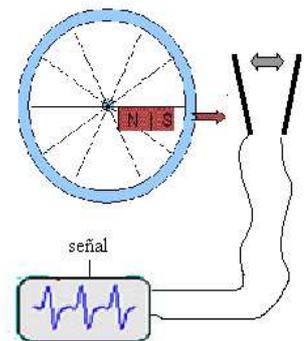
Cuando la rueda dentada gira, cada diente de la misma hace variar la reluctancia del circuito magnético, produciendo así una variación de f.e.m. en forma de pulsación. Las pulsaciones introducen su efecto en un contador digital que los cuenta en un intervalo de tiempo prefijado.



- Medidor capacitivo

Posee un aspa unida al eje de una máquina. Al girar este entre placas fijas del capacitor, se produce un cambio en la relación entre capacitancia y la tierra.

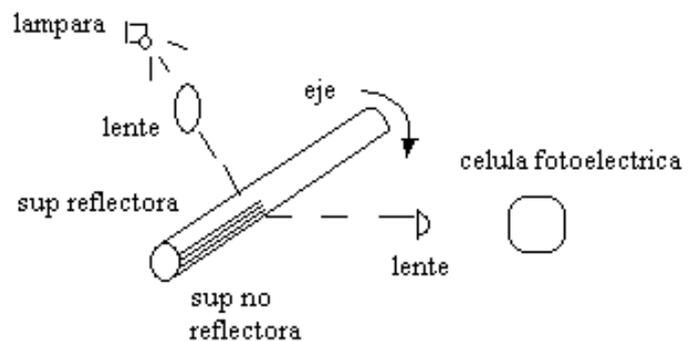
La señal es modificada y registrada por el contador.



- Medidor fotoeléctrico

Consta de una célula fotoeléctrica que es activada por pulsaciones luminosas derivadas por el eje giratorio de la máquina.

El eje posee una superficie de reflexión intermitente y cuando se enfoca un rayo de luz sobre este se obtiene un cierto número de pulsaciones luminosas. La frecuencia de las pulsaciones luminosas es proporcional a la velocidad del eje.



- Medidor estroboscópico

Está dotado de una lámpara, normalmente del tipo de descarga gaseosa de xenón, lo cual permite emitir una serie de destellos consecutivos y con una frecuencia controlada.

Por lo tanto si tenemos un objeto que está girando a N destellos por minuto e iluminamos el objeto giratorio con él, este parecerá a la vista como inmóvil.

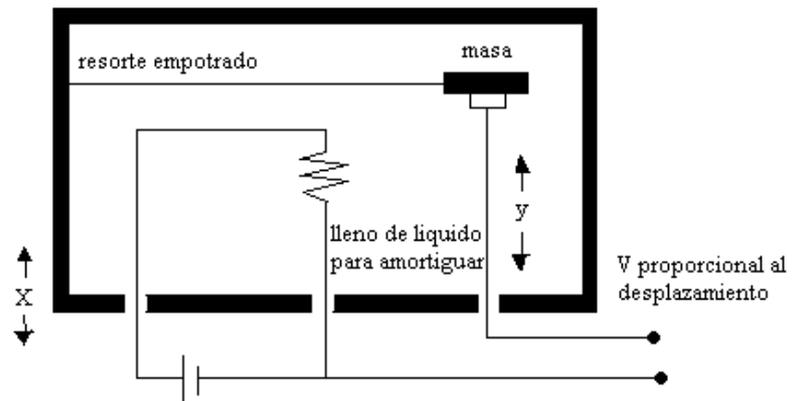
Si la frecuencia de los destellos no coincide exactamente con la de giro, pero se aproxima mucho a ella, veremos el objeto moverse lentamente hacia delante o hacia atrás, según la frecuencia sea respectivamente inferior o superior al giro.

De esta manera si hacemos coincidir la frecuencia de los destellos con la de giro sabremos la velocidad angular, sin necesidad de tener contacto mecánico o magnético con la máquina a medir.

## ACELERÓMETROS

- Acelerómetros por resistencia eléctrica.

Al producirse aceleraciones en el sentido  $X$ , la masa interior se acelera debido a la inercia de la misma y empieza a oscilar modificando la resistencia y por ende variando el voltaje de salida que luego es codificado.



- Acelerómetro piezoeléctrico

El elemento fundamental es un bloque de material cristalino capaz de generar un potencial eléctrico al someterlo a una deformación mecánica a lo largo de un eje predefinido.

Es muy compleja la unión por impedancia eléctrica entre el transductor y el circuito de salida. Son muy usados para medir cargas de impacto y aceleraciones de alta frecuencia

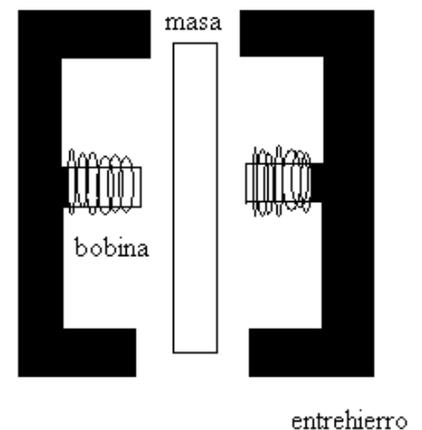


- Acelerómetro inductivo

Cuando se aplica una aceleración, la masa se desplaza y altera la trayectoria del acoplamiento magnético, variando la relación inductiva de las espiras las cuales son codificadas.

Se usa para aceleraciones estáticas o dinámicas.

Estos aparatos son alimentados con corriente alterna.



## TEMA 4: MEDICIONES EN FLUIDOS

### MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS (presión estática)

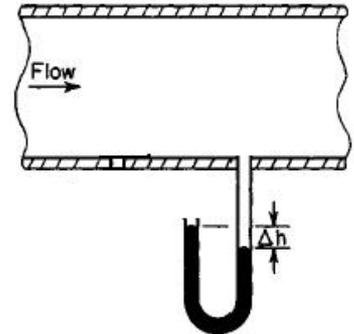
- Piezómetro

Consiste en la medición de presión estática medida en un fluido en movimiento, siempre que la velocidad no afecte la medición, esta se realiza con una apertura piezométrica. Cuando el flujo es paralelo, la variación de la presión normal a las líneas de corriente es hidrostática, por lo tanto, al medir la presión en la pared se determina la presión en cualquier otro punto de la sección transversal.

La apertura debe ser pequeña, debe ser perpendicular a la superficie, no debe tener rebabas en la orilla del orificio, porque se pueden generar turbulencias que afectan la medición.

A una longitud de  $L=10D$  antes del piezómetro y a una longitud  $L=4D$  después del piezómetro no debe haber codos, disminución de sección, turbulencias, etc.

Debido a la existencia de errores por torbellinos es aconsejable utilizar varias aperturas piezométricas alrededor del conducto y conectadas todas a un anillo piezométrico.



#### Ventajas

- Sencillo
- Es de lectura directa
- Fácil de ejecutar
- Bajo costo

#### Desventajas

- No tiene señal
- La cañería no debe ser muy rugosa
- No funciona en todas cañerías, solo en algunas

- Tubo piezométrico

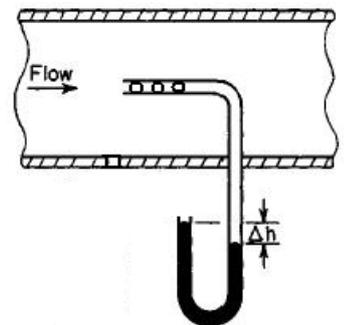
Consiste en un tubo cerrado en un extremo y dirigido contra la corriente, en el cual posee agujeros pequeños en la parte cilíndrica.

Se supone que el flujo cercano a las pequeñas aberturas no sufre alteración, de cualquier forma existen disturbios debidos a la punta del tubo y a los agujeros rectos. El tubo estático debe calibrarse para obtener la verdadera presión estática.

El alineamiento con respecto al flujo no es crítico así que se espera un error de bajos puntos porcentuales para un mal alineamiento de hasta un 15%.

También se lo suele acoplar al igual que en el anterior instrumentos manométricos de bourdon, micromanómetros o un traductor electrónico (trabaja con pequeñas deformaciones en un diagrama).

Se deben tener en cuenta las mismas consideraciones que en el piezómetro.



#### Ventajas

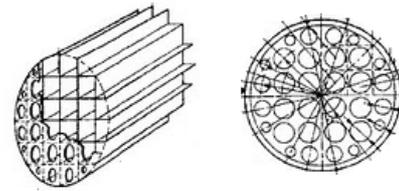
- Sencillo
- Lectura directa
- Fácil de ejecutar
- No depende de la rugosidad

#### Desventajas

- No tiene señal
- Trabaja con fluidos limpios
- No fluido viscoso

## Impedimentos y solución para instalación de piezómetro y tubo piezométrico

Cuando no existe lugar o hay impedimentos se coloca un enderezador de flujo y no necesitamos respetar la longitud  $L = 10D$  antes del medidor. Existe de diferentes tamaños y formas.



## IMPORTANCIA DEL NÚMERO DE RAYNOLDS

Este número es muy importante e influye en la elección del caudalímetro. Es un número adimensional que indica si el flujo circulante es laminar o turbulento, en función de la instalación y el fluido circulante.

Si  $N^{\circ}Re \leq 4000 \rightarrow$  flujo laminar

Si  $N^{\circ}Re \geq 10000 \rightarrow$  flujo turbulento

De acuerdo al  $N^{\circ}Re$  el perfil de velocidad tomará formas diferentes.

Uno de los grandes problemas que se tiene al medir caudal es que todos los instrumentos dependen del flujo circulante. Por lo tanto uno de los casos a resolver será conocer o al menos estandarizar la forma del perfil de velocidad.

## MEDICIONES DE VELOCIDAD

El conocimiento de la velocidad en cierto número de puntos de una sección transversal permite el cálculo del caudal.

Se puede hallar la velocidad midiendo el tiempo que tarda una partícula identificable en recorrer una distancia conocida. Se ha desarrollado esta técnica para estudiar el flujo de regiones tan pequeñas que si se introdujera un dispositivo para medir el flujo normal se alterará o desaparecerá.

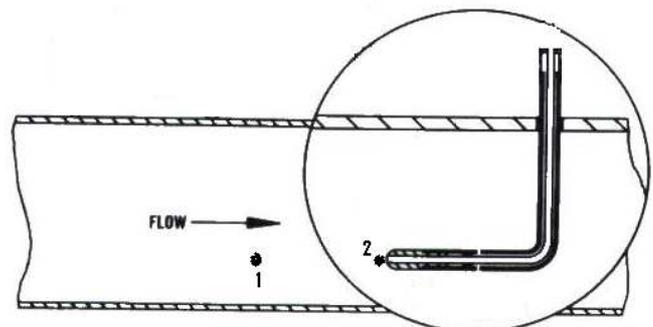
Sin embargo, en general se emplea un aparato que no mide directamente la velocidad sino que da una cantidad medible que se puede relacionar con la velocidad.

- Tubo de pitot

Es un dispositivo muy usado el cual no mide la velocidad directamente, pero permite obtener un valor relacionado con la velocidad.

Para mediciones en canales abiertos consiste en un tubo delgado de vidrio con un doble en ángulo recto, en el cual se coloca de tal manera que quede la abertura del cilindro contra la corriente, el fluido se introduce en la abertura del tubo, hasta que la presión desarrollada en el interior del tubo sea suficiente para resistir el impacto de la velocidad del fluido. El fluido directamente enfrente del tubo se encuentra en reposo (punto 2). La presión en ese punto se mide con la ecuación de Bernoulli.

El tubo de pitot lo que mide es la presión estática (punto 1) y dinámica (punto 2).



Para medición en cañerías el funcionamiento es el mismo. El problema es que en las cañerías el perfil de velocidad puede variar y producir errores en la medición, como en la velocidad en un conducto no es igual para todos los puntos a distintas distancias del centro, se implementa un tubo con varios orificios estratégicamente ubicados de manera de contemplar las distintas velocidades que el perfil desarrolla, las distintas velocidades se promedian dentro del tubo y determinan dentro de la cámara del mismo la presión estática mas la dinámica promedio.

Aplicación de la ecuación de Bernoulli

$$Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = cte \rightarrow z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$h + \frac{v_1^2}{2g} = h + \Delta h \rightarrow v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$$

Ventajas

- Fácil lectura
- Sencillo
- Fácil ejecución
- Fácil instalación

Desventajas

- No es de lectura directa
- No tiene señal

MEDICIONES DE CAUDAL

En estas mediciones obtenemos el peso o volumen por unidad de tiempo de un fluido que pasa a través de una determinada sección.

- Orificio de aforo

Se usa para medir caudal que sale de un recipiente a que pasa a través de una tubería. El orificio en el caso de un recipiente puede ubicarse en la pared o en el fondo de este, generalmente es circular, puede ser de arista viva o redondeada.

El fluido que se aproxima la orificio a lo largo de la pared no puede torcer en ángulo recto al llegar al orificio, por eso conserva la velocidad una componente radial que disminuye el área del chorro (sección contraída).

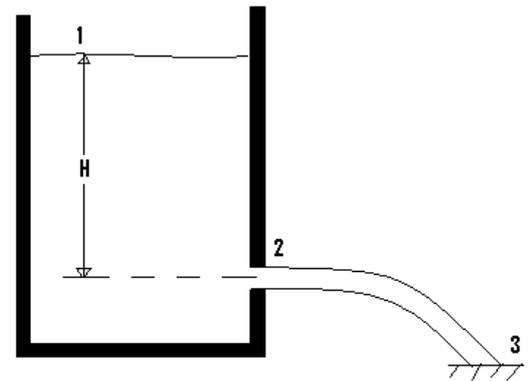
La altura H se mide desde el centro del orificio hasta la superficie libre.

Aplicando Bernoulli desde (1), hasta el centro de la sección contraída (2).

$$V_1 = 0$$

$$P_1 = P_2 \rightarrow \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \rightarrow V_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$$H = Z_1 - Z_2$$



Ao=sección del orificio

Para anular los errores cometidos por despreciar las perdidas y tener en cuenta que la sección contraída no es igual a la sección del orificio introducimos un coeficiente.

Cv → coeficiente de velocidad → Cd = Cv.Cc

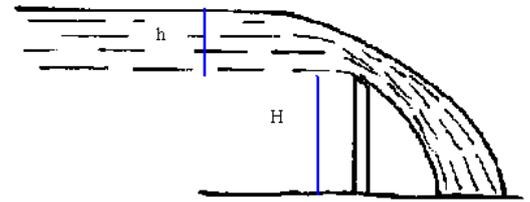
Cc → coeficiente de contracción

$$Q_{real} = C_d \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

- Vertedero de aforo

El caudal de un canal abierto puede medirse con un vertedero, el cual es una obstrucción que obliga al líquido a estancarse detrás y verterse por encima de él.

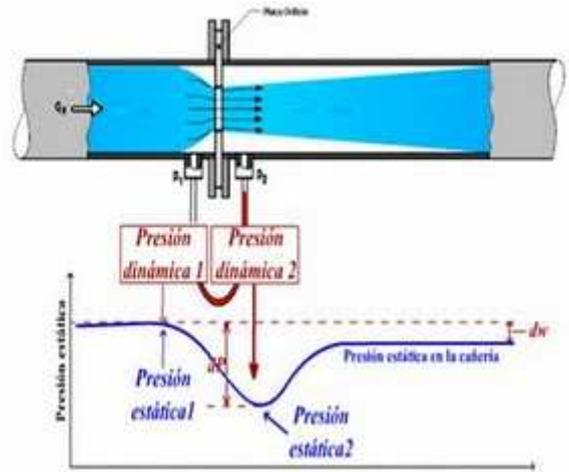
Midiendo la altura de la superficie del agua aguas arriba se puede determinar el caudal de manera similar al recipiente de aforo.



- Placa orificio

Este sistema se utiliza para medir caudal, consiste en una placa que contiene un orificio (concéntrico al diámetro interior del tubo) por donde pasa una cantidad determinada de fluido, generando una diferencia de presión entre las dos partes y que se pueden medir por medio de un tubo de vidrio conectada entre las partes, este tubo contiene un fluido que por la diferencia de presión genera una altura H.

Aplicando Bernoulli entre (1) y (2).



$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = H$$

La ecuación de continuidad  $V_1 A_1 = V_2 A_2$

Se debe tener en cuenta la contracción del fluido, pero desconozco  $A_2 \rightarrow$  aplico el coeficiente de contracción

$$C_c = A_2 / A_o \rightarrow A_2 = C_c \cdot A_o$$

Reemplazando  $V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot C_c \cdot A_o \rightarrow V_1 = C_c \cdot V_2 \cdot A_o / A_1$

$$\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} \rightarrow \frac{C_c^2 \cdot V_2^2 \cdot (A_o)^2}{2g \cdot (A_1)^2} - \frac{V_2^2}{2g} = H \rightarrow V_2^2 \left( \frac{C_c^2 \cdot A_o^2}{2g A_1^2} - \frac{1}{2g} \right) = H$$

$$V_2^2 = \frac{H}{\left( \frac{C_c^2 \cdot A_o^2}{2g A_1^2} - \frac{1}{2g} \right)} = \frac{2gH}{C_c^2 \left( \frac{A_o}{A_1} \right)^2} \rightarrow V_2 = \sqrt{\frac{2gH}{C_c^2 \left( \frac{A_o}{A_1} \right)^2 - 1}}$$

Para tener en cuenta las pérdidas y así obtener la velocidad real multiplico por  $C_v$  (coeficiente de velocidad)

$$V_2 = C_v \sqrt{\frac{2gH}{C_c^2 \left( \frac{A_o}{A_1} \right)^2 - 1}}$$

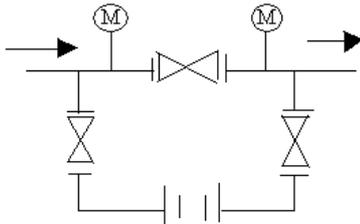
Y finalmente multiplico por el área del chorro  $A_2=C_c.A_0$

$$Q = C_c \cdot C_v \cdot A_0 \sqrt{\frac{2gH}{C_c^2 \left(\frac{A_0}{A_1}\right)^2 - 1}}$$

Como es difícil calcular los coeficientes se recurre a una fórmula simplificando

$$Q = C \cdot A_0 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad \text{Donde } C \text{ se obtiene de un ábaco}$$

La instalación del dispositivo se puede realizar a través de un Bypass



### Consideraciones

- Se debe asegurar que por lo menos 10Ø aguas arriba no haya perturbaciones.

### Desventaja

- Gran pérdida de carga y permanente

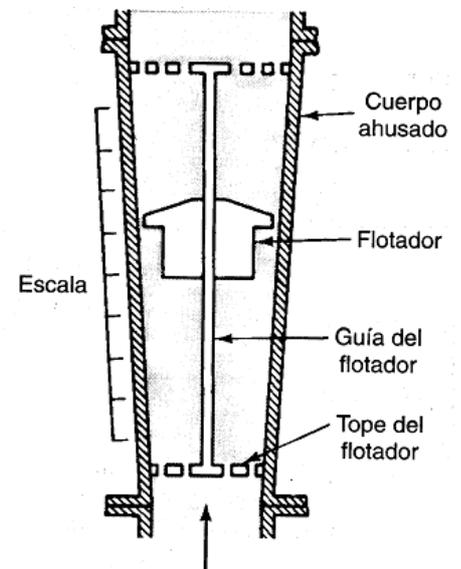
- Rotámetro

Son medidores de caudal. Consiste en un flotador (indicador) que se mueve libremente dentro de un tubo vertical ligeramente cónico. El fluido entra por la parte inferior del tubo y hace que el flotador suba hasta que el área anular entre él y la pared del tubo sea tal que la caída de presión de este estrechamiento sea lo suficiente para equilibrar el peso del flotador.

El tubo es de vidrio y lleva graduado una escala lineal donde la posición de flotador indicara el gasto o caudal.

El flotador logra mantenerse en la posición central del tubo gracias a una varilla de guía. A mayor caudal más arriba está el flotador.

Existen variantes en las cuales se le puede poner un seguidor magnético externo del rotámetro y utilizar la posición de este para que un sensor electrónico lo tome y envíe una señal normalizada proporcional al caudal.



### Ventajas:

- Lectura directa y fácil
- Se utiliza para gases y líquido

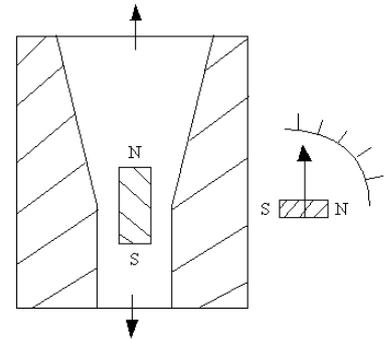
- Trabaja en forma individual

### Desventajas:

- Pequeño rango

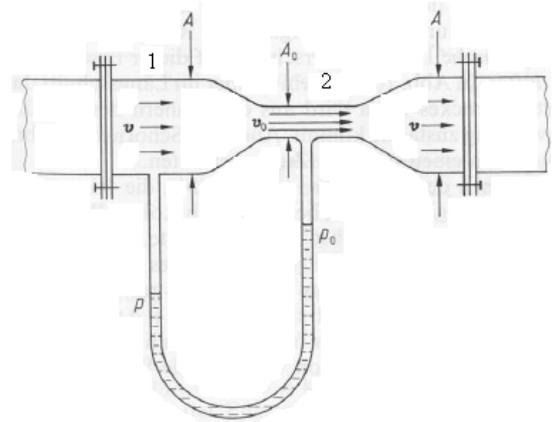
- Rotámetro magnético

Formado por dos zonas, una de sección variable y otra de sección constante, la cual posee una varilla de material con imán permanente, que se desplaza verticalmente. En la parte exterior tiene un mecanismo magnético en el cual una aguja indica sobre una escala el valor del gasto o caudal de acuerdo al desplazamiento de la varilla.



- Tubo de Venturi

Se usa para medir caudal consta primeramente de una parte cilíndrica del mismo diámetro de la cañería, en esta parte se encuentra una serie de orificios piezométricos para medir la presión estática, sigue después una parte cónica convergente que termina en una garganta cilíndrica donde hay otra serie de orificios piezométricos, a continuación sigue una parte cónica divergente que termina en el diámetro de la tubería. A los dos anillos piezométrico va conectado el manómetro diferencial.



Aplicando Bernoulli entre (1) y (2).

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \rightarrow \text{como } Z_1 - Z_2 = h \rightarrow \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + h$$

Por la ecuación de continuidad  $V_1 A_1 = V_2 A_2 \rightarrow V_1 = V_2 \cdot A_2 / A_1$

Ahora reemplazamos y despejamos  $V_2$

$$\frac{V_1^2}{2g} \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 - \frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + h \rightarrow V_2^2 \left(\frac{A_2^2}{2gA_1^2} - \frac{1}{2g}\right) = \Delta h \rightarrow V_2 = \sqrt{\frac{\Delta h}{\left(\frac{A_2^2}{2gA_1^2} - \frac{1}{2g}\right)}}$$

$$= \sqrt{\frac{2g\Delta h}{\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 - 1}}$$

En este caso el coeficiente de contracción es  $C_c=1$  y si debemos tener en cuenta el coeficiente de velocidad que se obtiene de un ábaco con el  $N^\circ Re$ .

$$Q = C_v \cdot A_2 \cdot V_2 = C_v \cdot A_2 \sqrt{\frac{2g\Delta h}{\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 - 1}}$$

Desventaja

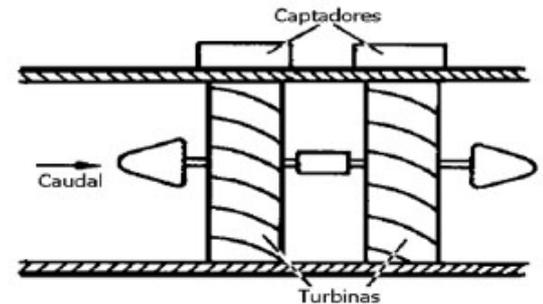
- Perdida de carga permanente, pero mucho menor que en la placa orificio.

### Consideraciones

- Funciona en cualquier posición, vertical, horizontal o inclinado.
- Se debe asegurar que por lo menos 10Ø aguas arriba no se produzcan interferencias y tampoco se deben producir interferencias aguas abajo durante cierta longitud.

- Caudalímetro a turbina

Son caudalímetro volumétricos que poseen un rotor con alabes y giran a una velocidad proporcional al caudal. Cuando el líquido impacta en los alabes, este provoca un momento en el rotor que lo hace girar. Una forma de conocer el caudal es censar el pasaje de cada alabe por algún punto lo que se logra haciendo los alabes magnéticos y que al pasar frente a la bobina captadora se induce en esta una f.e.m. la que desaparece al alejarse el alabe.



Esta serie de aumentar y disminuir la f.e.m. genera un tren de pulsos. A través del conteo del pasaje de los alabes se puede determinar el número de vueltas de la turbina y como las vueltas son proporcionales al caudal, conocemos este.

### Ventajas

- Apta para caudales grandes y pequeños.
- Apto para gases y líquidos.
- Puede medir líquidos a muy alta presión.

### Desventajas

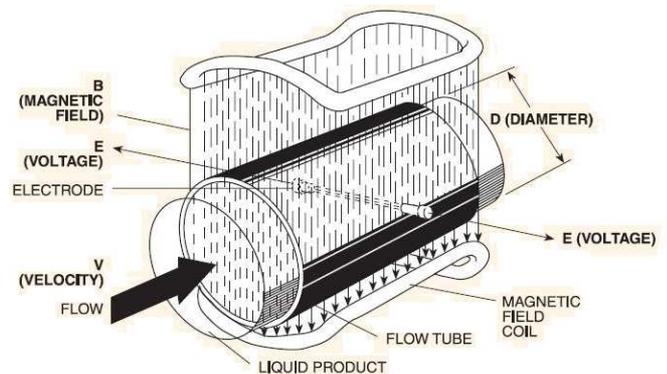
- Perdida de carga permanente debido a que la sección donde se instala es de menor sección.
- No puede medir fluidos viscosos, ni fluidos que arrastren partículas.
- Requiere mantenimiento debido a sus partes móviles.

Existen otro tipo de caudalímetro a turbina que son más sencillos y económicos donde la turbina puede o no utilizar un rotor ferromagnético, uno que es de plástico inyectado con pequeñas piezas de metal inserto en los alabes.

### CAUDALÍMETRO NO INVASIVO

- Caudalímetro electromagnético

Estos están basados en la ley de Faraday, la cual dice que en un conductor en movimiento en un campo magnético constante se inducirá un voltaje, este será proporcional a la velocidad de movimiento del conductor y su longitud.



$E \propto VBD$

E = INDUCED VOLTAGE  
V = AVERAGE LIQUID VELOCITY  
B = MAGNETIC FIELD  
D = DISTANCE BETWEEN ELECTRODES (PIPE I. D.)

El instrumento consta de bobinas que crean el campo magnético, un conductor que lo atraviesa (el flujo en movimiento) sobre el cual se induce la diferencia de potencial. Los electrodos miden esa diferencia de potencial que es proporcional a la velocidad del fluido, con lo cual el caudal se obtiene multiplicándolo por la sección de la cañería.

Requiere que el líquido a medir tenga un mínimo de conductividad.

El instrumento debe estar aislado del líquido.

- Caudalímetro ultrasónico

1. Por tiempo de tránsito

La velocidad del flujo se determina por la diferencia entre la velocidad de propagación de una onda de sentido a favor y de otra en contra del fluido.

La onda sonora tiene una única velocidad en un medio, a una temperatura y presión, pero la onda que va en la dirección del flujo es llevada por el medio y la onda que va en la dirección contraria recorre la misma distancia en un tiempo distinto. Si el fluido está quieto las dos ondas tardan lo mismo en llegar. Si el fluido circula se produce una diferencia de tiempo que es mayor cuando mayor es la velocidad. Y sabiendo la velocidad y la sección interior conocemos el caudal.

2. Por efecto Doppler

Es el fenómeno en el cual si existe un emisor de sonido a una determinada frecuencia y un receptor y ambos están quietos, el receptor escuchará el sonido a la misma frecuencia que el emisor. Pero si el emisor o el receptor se mueven, la frecuencia cambia.

Por lo tanto si conocemos la frecuencia emitida y medimos la recibida podemos determinar la velocidad (la diferencia entre la frecuencia emitida y recibida es una función de la velocidad)

Es indispensable para su funcionamiento que haya cuerpos reflectores que viajen en el líquido.

- Caudalímetro de desplazamiento positivo

En este tipo de instrumento se llenan cámaras de tamaño conocido y con volcadas aguas abajo. Contando el número de cámaras llenas en un tiempo determinado se obtiene el caudal. Estos instrumentos pueden ser muy exactos. Requieren mantenimiento por poseer partes rotantes y sellos entre las cámaras.

Se aplican casi exclusivamente para medir líquidos.



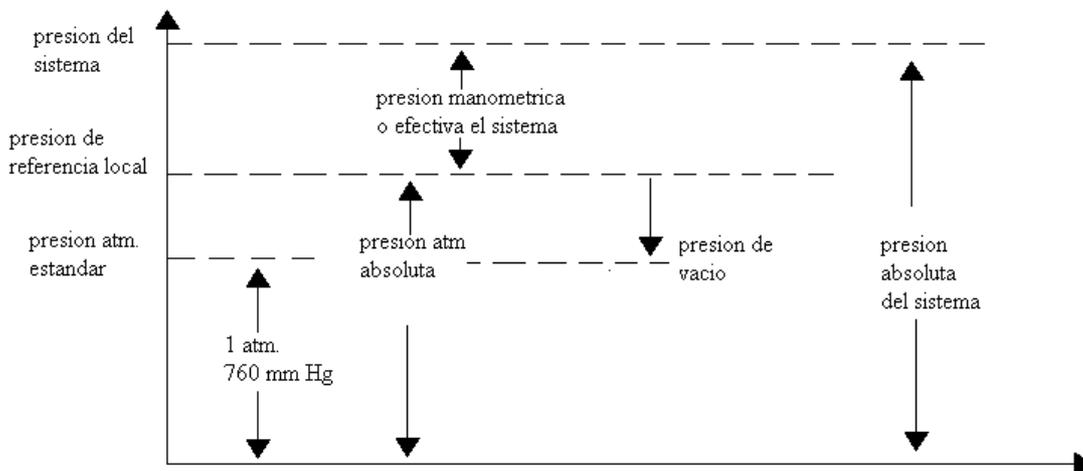
## TEMA 5: MEDICIONES DE PRESIÓN

### UNIDADES:

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse como  $kg/cm^2$ ;  $psi = lb/in^2$ ; *Bar*; *atmosfera*; *pascal Pa = N/m^2*

### EQUIVALENCIAS

	Atmosfera	$kg/cm^2$	cm. columna de Agua	mm. columna de Mercurio	Bar	Pa
Psi	0,068	0,0703	70,31	51,72	0,0689	7142
Atmosfera	1	1,033	1033	760	1,0131	$1,01 \cdot 10^5$
$kg/cm^2$	0,9678	1	1000	735,6	0,98	98100
cm. columna de Agua	0,00096	0,0010	1	0,7355	0,001	100
mm. columna de Mercurio	0,0015	0,0013	0,0013	1	0,00133	133
Bar	0,987	1,02	1000	750	1	$1 \cdot 10^5$
Pa	$0,987 \cdot 10^{-5}$	$0,102 \cdot 10^{-4}$	0,01	0,0075	$1 \cdot 10^{-5}$	1



- Las presiones que se encuentran por sobre la presión atm. absoluta se denominan presiones efectivas o manométricas.

### PRESIÓN ATMOSFÉRICA:

Es la presión ejercida por la atmosfera terrestre. Se mide mediante un barómetro. A nivel del mar es aproximadamente 760 mm de Hg absolutos y ese valor define la presión ejercida por la atmosfera estándar.

### PRESIÓN RELATIVA:

Es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmósfera. Al aumentar o disminuir la presión atmosférica, disminuye o aumenta la presión leída, si bien ello es despreciable al medir presiones elevadas.

### EL VACIO:

Es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica. Las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas de vacío.

### PRESIÓN ABSOLUTA:

Es la presión medida con relación al cero absoluto de presión.

### MEDICIONES DE PRESIÓN

Según la presión que se desea medir se utilizan distintos instrumentos.

Mediciones de presión:

- Manómetro → mide presión manométrica o efectiva.
- Manómetro de columna de agua → mide presión diferencial.
- Barómetro → mide presión atmosférica absoluta.
- Vacuómetro → mide presión de vacío.
- Mano vacuómetro → miden presión de vacío y manométrica.

### MANÓMETROS:

- Tipo Bourdon

Consiste en una vaina hueca que tiene una sección elíptica; en un extremo tiene soldada un niple roscado y en el otro está cerrado.

Por el niple ingresa el fluido, como la vaina es elástica tiende a enderezarse ocasionando un movimiento, que transmitido a un mecanismo de palanca mueve una cremallera produciendo el movimiento de la aguja. Aunque este movimiento no es lineal, los

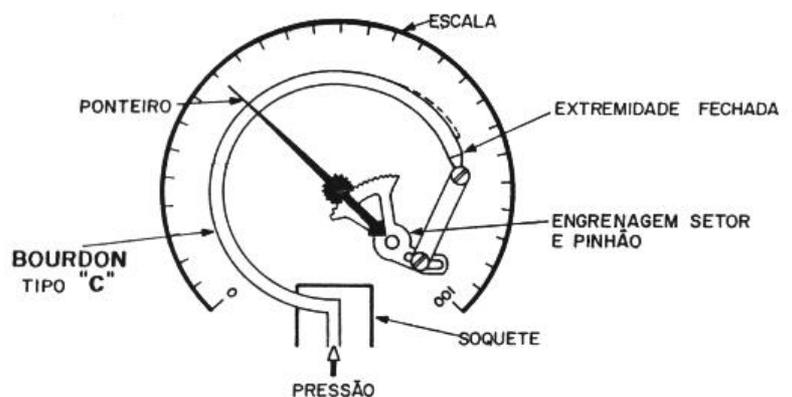
mecanismos de indicación y transmisión lo compensan para dar la lectura correcta.

Cuando los movimientos del bourdon simple no son suficientes, se desarrollan elementos en espiral y helicoidales, que con la misma presión producen un mayor movimiento.

El material con el que se construyen depende de lo que se va a medir.

Algunos materiales con los que se fabrican son: acero, acero inoxidable, latón, bronce, etc.

Algunos componentes que pueden medir con: CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N, R12, Cl, aire, agua, vapor, amoníaco, etc. Los que están contruidos con latón y bronce no pueden medir amoníaco, los de acero inoxidable pueden medir fluidos corrosivos.



### Especificaciones para describir un manómetro.

- Tipo de fluido.
- Rango.
- Aproximación.
- Unidades.
- Tipo de acople.
- Tipo de rosca.
- Goma de acople (para que quede en posición correcta).
- Tamaño (diámetro).
- Tipo de caja (carcasa).
- Estanco o no estanco
- Con aguja de máximo.
- Con glicerina (para eliminar pulsaciones en la medición).

### Ventajas:

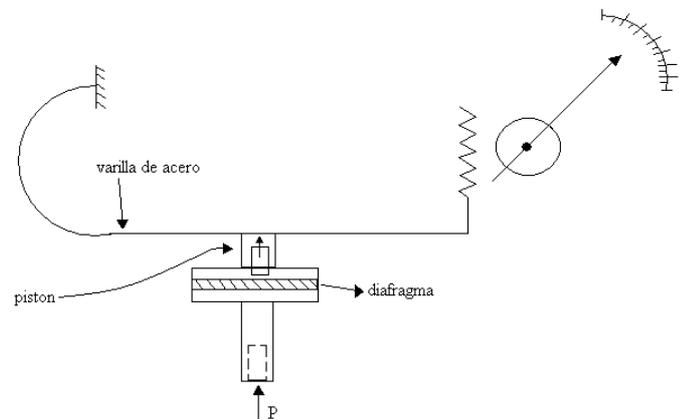
- Sencillo y económico
- Lectura fácil y directa
- Fácil conexión.
- No requiere equipo auxiliar

### Desventajas:

- Fluido en contacto
- No señal
- Frágil y de vida limitada
- No siempre intercambiable.

- Tipo de barra de Flexión

Consiste en una varilla de acero que esta empotrada en un extremo en el cual se puede flexionar. La presión ingresa por un niple el cual mueve un pistón que incide sobre la varilla de acero en donde esta se flexiona, al deformarse elásticamente transmite la deformación a un mecanismo que luego termina en una aguja, la cual marca sobre una escala.



### Ventajas:

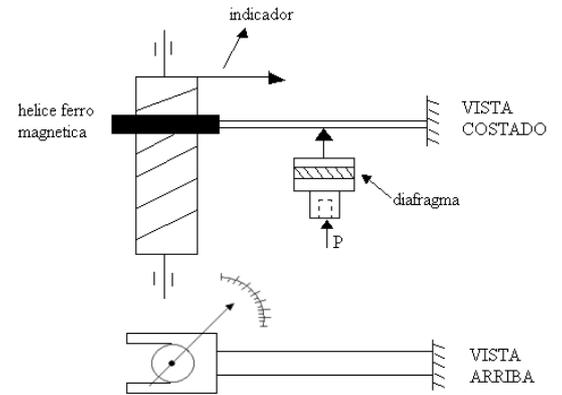
- Sencillo.
- Lectura fácil y directa.
- Mayor rango durabilidad.
- No requiere equipo auxiliar.
- Fácil conexión.
- No contacto con el fluido y el dispositivo de medición.

### Desventajas:

- Frágil.
- No tiene señal.
- No siempre intercambiable.

- Tipo de acople magnético:

El fluido mueve el diafragma, el diafragma mueve la barra, la barra mueve la horquilla y esta genera un cambio en el campo magnético y de esta manera mueve la aguja para indicar la lectura.



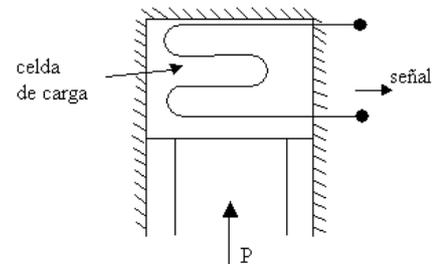
Ventajas:

- No son importantes las presiones pulsantes.
- Lectura fácil y directa.
- No contacto con el fluido.

Desventajas:

- Es sensible a campos magnéticos externos.
- Es frágil.
- Tipo eléctrico (celda de carga)

El principio de funcionamiento consiste en una variación de una resistencia que produce una variación en la corriente que luego es decodificada. Es una pequeña celda de carga con un decodificador de presión.



Ventajas:

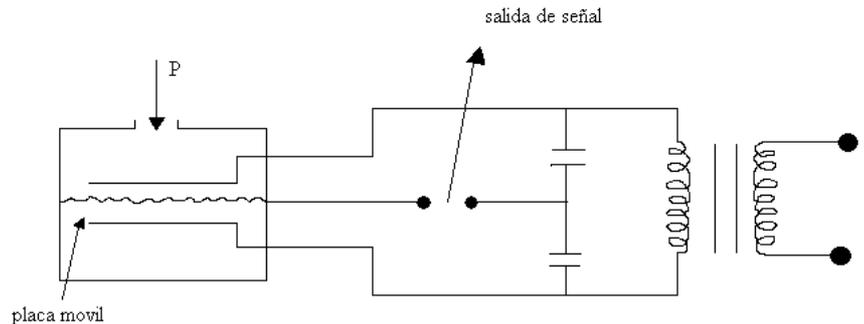
- Tiene señal.
- No tienen partes móviles.
- No contacto con el fluido.

Desventajas

- Necesita de equipo auxiliar.

- Tipo capacitivo

Se basa en la variación de capacidad que se produce en un capacitor al desplazarse una de sus placas por la aplicación de la presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situado entre dos placas fijas.



Ventajas:

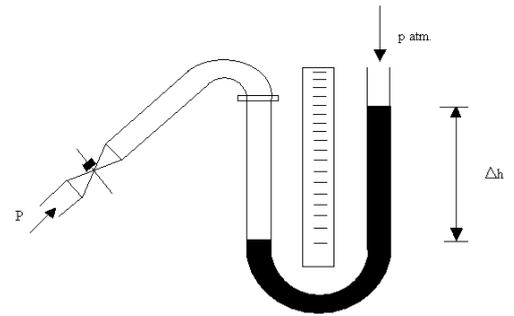
- Tiene señal.
- No tiene piezas móviles.

- Manómetro de columna de agua

Es un manómetro diferencial que mide la diferencia entre la presión  $P$  y la presión atmosférica  $P_{atm}$ . La diferencia  $\Delta h$  es la que hay entre la línea que está midiendo y la atmosférica, expresada según escala de unidades de columna de agua.

La densidad de flujo transmisor de  $P$  es  $\delta$  y la densidad del flujo manométrico es  $\delta_m$

$$\rightarrow P_{atm} + g \cdot h \cdot \delta_m = P g \cdot H \cdot \delta$$



Cuando se pone una válvula antes del manómetro, esta no debe generar un golpe de presión al abrirla, sino que debe abrirse de a poco como por ejemplo una válvula aguja.

Ventajas:

- Simple, muy práctico.
- Lectura directa.

Desventaja:

- No tiene señal.
- Rango pequeño.

- Manómetro a diafragma

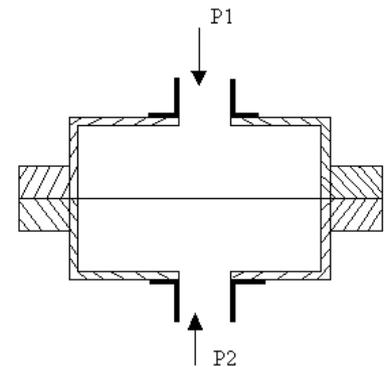
El diafragma es una lamina de metal generalmente circular soportada por sus bordes y que se deforma por la aplicación de la presión. Puede ser una chapa lisa pero lo más probable es que sea corrugada.

La deformación es función de la presión, esa deformación se auto limita por la resistencia elástica o se le agrega un resorte, de acuerdo al rango.

Para mejorar la respuesta (mayores desplazamientos a iguales cambios de presión) se suelen unir los diafragmas lo que se conoce como capsulas.

La deformación del diafragma es captada y amplificada por un juego de palancas, este sistema se ajusta de modo que al aplicar la presión, el movimiento se aproxime a una relación lineal.

En un lado del diafragma la presión es la atmosfera absoluta (presión de referencia local) y en el otro lado la presión del sistema, de esta manera se mide presión manométrica o efectiva.



- Manómetro a fuelle:

Cuando se somete a una presión diferencial, el fuelle sufre un desplazamiento, el cual se puede convertir en señal eléctrica o experimentar una amplificación mecánica que se represente en un indicador de aguja.

BARÓMETROS:

Son instrumentos muy sensibles los cuales tienen que captar presiones muy pequeñas en su medición. Son utilizados para medir presiones atmosféricas.

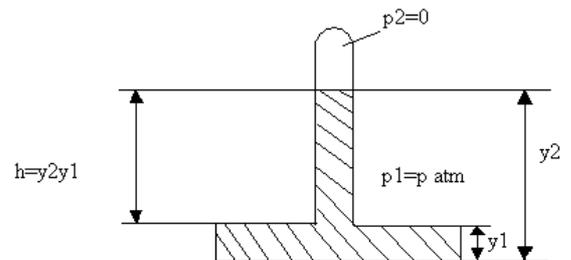
- Tipo Bourdon

El dispositivo es igual al utilizado para medir presiones manométricas, pero en este caso la vaina debe estar a una presión siempre constante, para que exista una diferencia con la presión fuera de la vaina pero interior al instrumento que una la presión atmosférica local.

- Tipo columna de líquido

Es un largo tubo de vidrio que se llena con mercurio y luego se invierte e introduce en un plato de mercurio. EL espacio arriba de la columna de mercurio es vacío, que contiene solo vapores de mercurio, cuya presión es tan pequeña que puede ignorarse a temperaturas ordinarias.

Se elige mercurio por una alta densidad y por su poca vaporización.



$$p_2 - p_1 = 0 - p_1 = \delta \cdot g \cdot (y_2 - y_1) = -\delta \cdot g \cdot h \rightarrow P = \delta \cdot g \cdot h$$

Con la cual conociendo h, conocemos la presión.

- Tipo diafragma

El dispositivo es igual al manómetro, pero este tiene una zona de presión constante y la otra a la presión exterior que deseamos medir en este caso está a la presión atmosférica local.

- Tipo a fuelle

El dispositivo es igual al del manómetro, manteniendo una presión constante, y la otra presión sería la atmosférica local, logramos una presión diferencial que mueve el fuelle y nos da la indicación.

## VACUOMETROS

Son instrumentos para medir vacío o depresión.

- Tipo Bourdon

El dispositivo es igual al del manómetro. En este caso al niple roscado se le conecta la presión de vacío con la cual la vaina tiende a doblarse y no a estirarse.

- Tipo a diafragma

El dispositivo es igual al manómetro. En un lado del diafragma tiene una presión constante y en el otro la presión de vacío a medir.

## MANOVACUOMETROS

Son instrumentos que miden presiones de vacío y presiones manométricas.

### Métodos de medición

1. Abrir la válvula que da presión al instrumento cuidadosamente, para no causar golpes de presión, ni rebaleses.
2. Medir la diferencia  $\Delta h$  y transformar a las unidades de trabajo.

### Recomendaciones a tener en cuenta en el sistema de medición

- Colocan agua arriba una válvula aguja (apertura progresiva) entre el circuito y el sistema de medición, esta sirve para preservar la vida útil del instrumento.
- Los tramos de medición deben ser rectos en 10 decímetros aguas arriba y abajo, con pulido interior, para mejorar exactitudes.
- El tramo de medición debe estar exento de turbulencias, para solucionarlo un enderezador de flujo que convierte el flujo de turbulento a laminar.
- El sistema de medición no debe ser pulsante, si no se puede evitar, colocar un manómetro con glicerina para evitar la vibración del instrumento.

## TEMA 6: MEDICIONES HIGROTÉRMICAS

### CONCEPTO DE AIRE HÚMEDO

Es una mezcla de aire seco y vapor de agua. La presión total del aire húmedo se compone con la parte correspondiente al aire seco y a la parte de vapor de agua.

### TEMPERATURA DE BULBO SECO (T.B.S.)

Es la temperatura medida con un termómetro con el bulbo seco, es decir en contacto directo con la atmósfera.

### TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO (T.B.H.)

Puede medirse con un termómetro cuyo bulbo está en un ambiente de saturación, lo que se logra envolviendo el bulbo con un paño que se mantiene siempre húmedo. Si el aire se encontraba saturado de vapor ambos termómetros marcarían la misma temperatura, en cambio si el aire húmedo no está saturado, el agua del paño se comienza a evaporar y toma energía térmica del termómetro haciendo descender en temperatura hasta que la energía que este absorbe del medio y la que libera el paño se igualen.

### HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE ( $\varphi$ )

Es una cifra sin dimensión, que expresa en porcentaje la proporción entre la humedad existente en el gas y el contenido máximo posible a la misma temperatura.

También equivale a la proporción porcentual entre la presión de vapor  $P_v$  que existe en realidad y la presión de saturación  $P_s$  a la misma temperatura.

$$\varphi = \frac{\text{Humedad absoluta}}{\text{Humedad máxima}} 100\% \qquad \varphi = \frac{p_v}{p_s} 100\%$$

### HUMEDAD ABSOLUTA (HA)

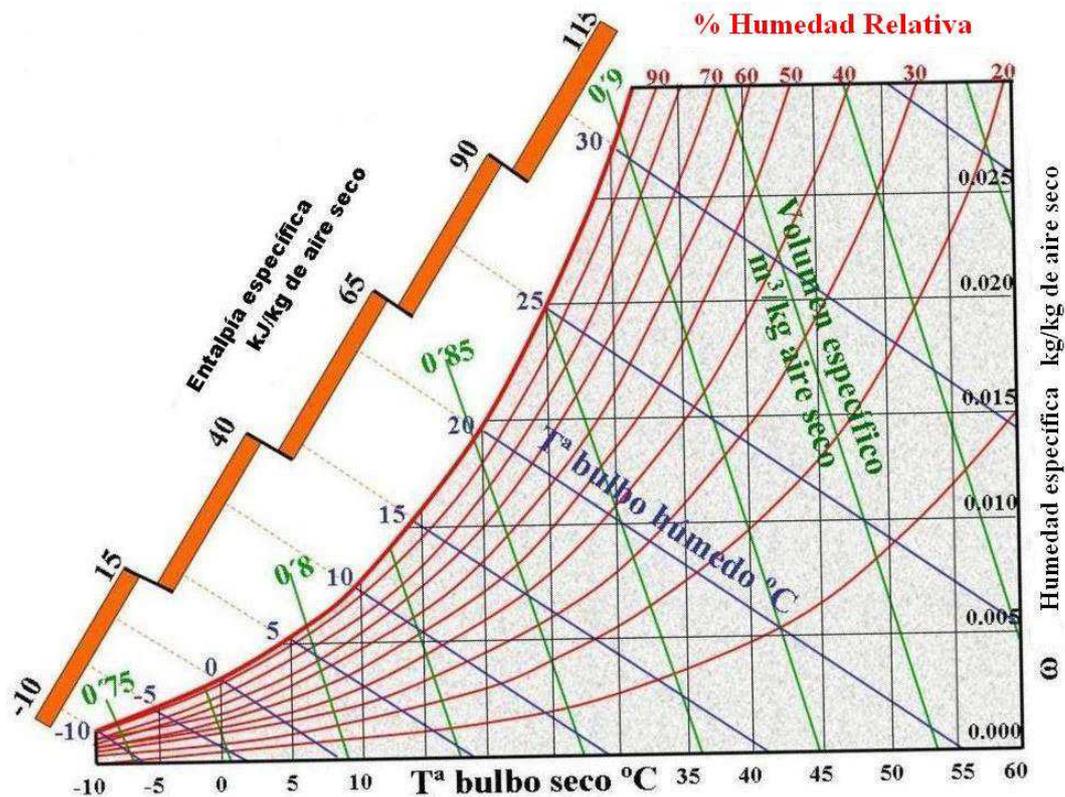
Es la cantidad de agua que contiene una unidad de peso de aire. Se mide como la relación de Kg de agua sobre Kg de aire.

$$Ha = \frac{\text{Kg } H_2O}{\text{Kg aire}}$$

### DIAGRAMA PSICOMÉTRICO

Es un diagrama que relaciona múltiples parámetros relacionados con una mezcla de aire húmedo, temperatura húmeda relativa, humedad absoluta, punto de rocío, entalpía específica, calor sensible, calor latente y volumen específico del aire.

En ordenados se representan humedades absolutas y en abscisas temperatura de bulbo seco. El diagrama no es constante, ya que varía con la presión, es inusual trabajar con el trazado a presión de 760 mmHg.



## PUNTO DE ROCÍO

Es la temperatura límite a la que el vapor de agua existente en el aire o en el gas forma la primera gota de líquido condensado a una presión determinada.

## MEDICIONES DE TEMPERATURA

Los instrumentos que se utilizan medir temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura.

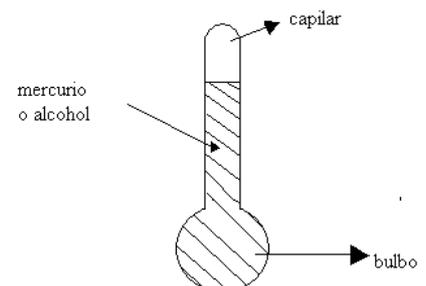
Para medir la temperatura se usan unos dispositivos denominados termómetros que no son más que sistemas que poseen alguna propiedad variable con la temperatura, la cual debe hacerlo de modo claro y debe ser fácil de medir y de forma exacta, dicha propiedad se denomina termométrica. Empleando un termómetro, podemos establecer una escala de temperatura haciendo corresponder a cada valor de la propiedad termométrica una cierta temperatura.

## DIFERENTES TIPOS DE TERMÓMETROS

- Por dilatación

### 1. Dilatación de un líquido

Un termómetro de líquido en vidrio consiste en un bulbo que contiene un líquido (mercurio o alcohol) y que está conectado a un capilar con el extremo cerrado. Cuando la temperatura aumenta, el líquido contenido en



el bulbo se expande y sube por el capilar una longitud  $L$ , marcando en la escala la temperatura medida.

Este termómetro depende del punto de congelación del líquido para marcar la temperatura inferior.,

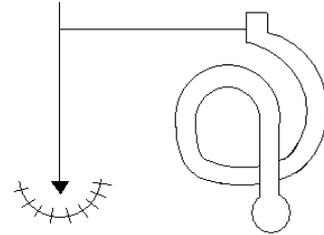
Ventajas:

- Lectura directa y fácil.
- Transportable.

Desventajas:

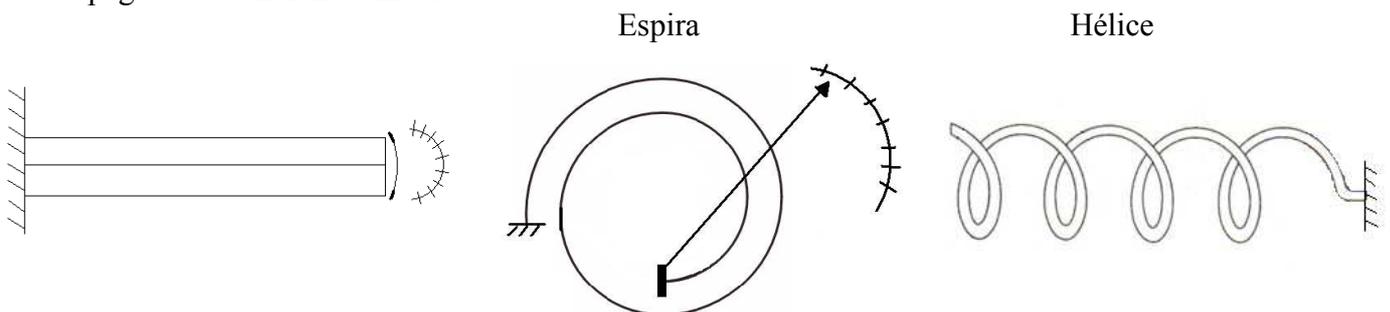
- Muy frágil.
- No tiene señal.

Otra forma del termómetro puede ser en espira, cuando la temperatura del bulbo cambia el gas o el líquido en el bulbo se expande y el espiral (capilar) tiende a desarrollarse moviendo una aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura.



2. Dilatación de sólidos (bimetálicos)

El fenómeno físico que emplea un sensor de temperatura bimetálico es la expansión térmica diferencial de dos mitades. El sensor se construye con dos bandas pegadas de diferentes metales.



La banda bimetálica puede tener diferentes formas, dependiendo de la aplicación. A la temperatura de ensamble  $T_1$  la banda estará recta, sin embargo para temperaturas diferentes a  $T_1$ , la banda tendrá curvatura.

Las bandas bimetálicas emplean un metal de alto coeficiente de expansión térmica y otra con coeficiente bajo, con lo que proporciona mayor sensibilidad.

Ventajas:

- Lectura directa.
- Electrónicos / Eléctricos

Desventajas:

- No funciona con temperaturas bajo cero.

1. Detectores de temperatura por resistencia (conductores)

El sensor se construye montando un alambre de metal sobre una estructura aislante de soporte, para eliminar las deformaciones mecánicas y encapsular el alambre para evitar cambios de resistencia debido a la influencia del ambiente.

La relación entre temperatura y resistencia sobre pequeños intervalos específicos de temperatura es lineal la característica de resistencia en función de temperatura es

propia del elemento de detección. Los materiales que se usan normalmente son platino o níquel, deben poseer estas características.

- Alto coeficiente de temperatura de la resistencia (para mayor sensibilidad)
- Alta resistividad, cuanto mayor sea la resistencia a una temperatura dada tanto mayor será la variación por grado (mayor sensibilidad)
- Rapidez y ductibilidad para a obtener bobinas pequeñas
- Estabilidad de las características durante la vida útil.

Los óhmetros convencionales ocasionan que una pequeña corriente fluya por el sensor produciendo un calentamiento (este calentamiento es un error), por eso se utiliza un puente de Wheaststone.

## 2. Detectores de temperatura por semiconductor (termistores)

Los termistores son resistores térmicos sensibles. La resistencia de un termistor típico disminuye con rapidez con la temperatura.

Los termistores se usan cuando se requiere alta sensibilidad, o rápidos tiempos de respuesta. Estas se encapsulan en vidrio y entonces se pueden usar en ambientes corrosivos y abrasivos.

Las características de la resistencia de los semiconductores a alta temperatura puede cambiar y ocurrirá cierto envejecimiento a temperaturas mayores a 200 °C. Para obtener la medición son conectados a un puente Wheaststone.

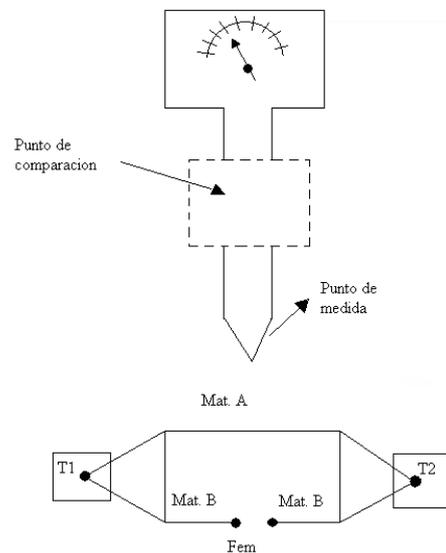
## 3. Termocuplas (termopar)

Consta de dos conductores eléctricos de metales no similares. La salida de un circuito termopar es un voltaje, y hay una relación definida entre este voltaje y la temperatura de las uniones que forman el termopar, la magnitud del potencial dependerá de la diferencia en las temperaturas y los metales específicos del circuito. En un conductor eléctrico sometido a un gradiente de temperatura, habrá tanto flujo de energía térmica como flujo de electricidad.

Hay tres fenómenos que pueden ocurrir en un termopar: Efecto Seebeck, efecto Peltser, Efecto Thomson.

En condiciones de mediciones ideales la f.e.m. generada es resultado solo de efecto Seebeck que especifica la razón de cambio de voltaje con la temperatura.

El punto de medida está en contacto con la temperatura, los extremos separados se someten a temperaturas de comparación y se cierra el circuito mediante el instrumento.



### Ventajas

- Tienen señal.
- Sensible.
- Puedo tomar la medida a distancia.

### Desventajas:

- Puede haber interferencias.

#### ▪ Laser

Este termómetro tiene una señal muy puntual. Cuando apuntamos a un objeto lejano emite un rayo sobre la superficie del mismo, se produce en dicha superficie una emisibilidad del rayo que es función de la temperatura.

La función se hará en la emisibilidad a medir "E" de la superficie  $E = f(T^4)$

### Ventajas:

- No invasivo mide a distancia
- Tiene señal

### Desventaja:

- Emisividad (mide solo objetos opacos)

#### ▪ Pirómetros ópticos

Los pirómetros de radiación miden la temperatura de un cuerpo a distancia en función de su radiación luminosa. Los pirómetros se hacen en la desaparición del filamento de una lámpara al compararlo visualmente con la imagen del objeto enfocado.

Pueden ser de dos tipos:

- De corriente variable en la lámpara.
- De corriente constante en la lámpara con variación de brillo de la imagen en la fuente.

El coeficiente de emisión de energía radiante depende de la superficie del cuerpo emisor. El pirómetro dirigido sobre una superficie incandescente no más dará su temperatura verdadera si la superficie no es negra.

El pirómetro puede disponer de los siguientes accesorios:

- Lente posterior para enfocar correctamente la radiación en la temperatura.
- Dispositivo de refrigeración de aire que protege la lente.
- Dispositivo de refrigeración de agua que impide que el pirómetro se caliente.

### Ventajas:

- No invasivo, mide la distancia.

### Desventajas:

- No es fácil de usar.
- Solo puede medir en cuerpos negros.

Emisividad de un cuerpo → es la relación entre la energía radiante emitida por un cuerpo y la de un cuerpo negro que se encuentra a la misma temperatura en igual condición de servicio.

▪ Tiras de temperatura:

Solución que cambia su color según la temperatura, una vez que cambia de color no vuelve a su color original. Fijan el calor por máxima temperatura.

Ventajas:

- Se los utiliza en elementos transportados, como protección para saber si un producto ha sido aumentado o disminuido de cierta temperatura.

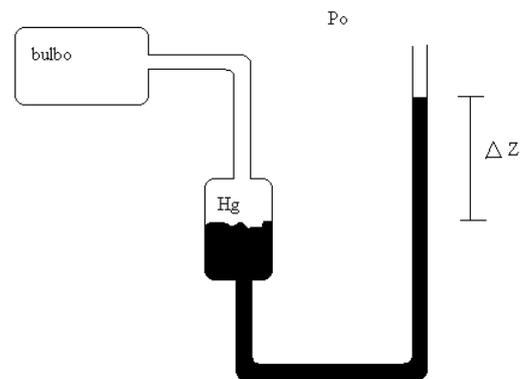
Desventaja:

- Descartable.
- Pequeño rango individual.

▪ Termómetro de gas ideal (termómetro patrón)

Es sumamente preciso y exacto por lo que ha sido adoptado como termómetro patrón para calibrar otros termómetros. Está constituido por un bulbo que contiene un gas (generalmente hidrogeno o helio) a volumen constante, que se pone en contacto con el cuerpo a medir.

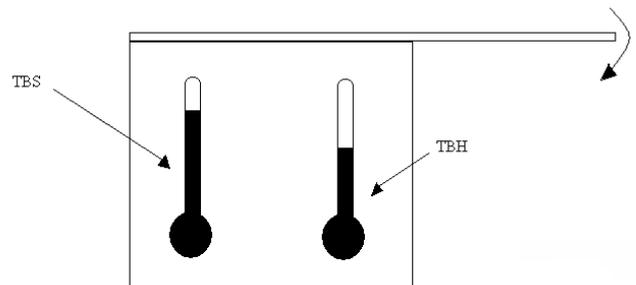
La sustancia termométrica es el gas y la propiedad termométrica es la presión ejercida por el gas. Cuando el gas se expande empuja el mercurio hacia arriba por el tubo.



PSICRÓMETRO

Consta de un termómetro de bulbo seco y otro de bulbo húmedo. El psicrómetro se hace girar a 5 (m/s) aproximadamente.

La humedad puede medirse a partir de la diferencia de temperatura entre ambos termómetros.



MEDICIONES DE HUMEDAD RELATIVA

Consiste en medir temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo con un psicrómetro de cadena, se registran ambas temperaturas y se puede calcular la presión de vapor de la mezcla

$$p_v = p_s - \left[ \frac{(p - p_s) \cdot (T_{BS} - T_{BH})}{2800 - T_{BH}} \right]$$

$p_s$  → presión de saturación a la  $T_{BS}$ .

Luego aplicamos  $\phi = \frac{p_v}{p_s}$  y tenemos la humedad relativa.

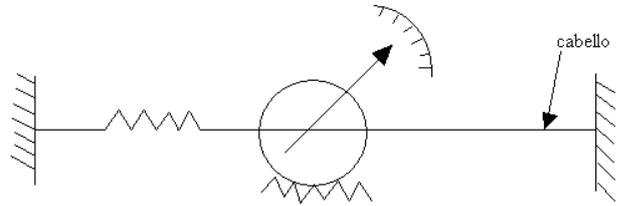
También podemos obtener  $\phi$  de diagrama psicrométrica, la cual no es recomendable para propósitos de control automático.

## HIGRÓMETROS

Son instrumentos para medir la humedad en gases o vapores.

### ▪ Higrómetros a cabello

Se basa en la expansión y contracción lineal que es característica de los materiales sensibles a la variación de humedad como es el caso del cabello.



#### Ventajas:

- Lectura directa
- Sensible

#### Desventajas:

- No tiene señal
- Frágil y de respuesta lenta.

### ▪ Higrómetro a plastomeros

Es similar al anterior se basa en la expansión y concentración lineal que es característica del plastomero.

#### Ventajas:

- Lectura directa
- Sencillo

#### Desventajas:

- No tiene señal
- Frágil y de respuesta lenta.

### ▪ Higrómetros capacitivos

Consiste en dos placas capacitivas, las cuales al ser introducidas al medio ambiente se producen variaciones en la capacitancia, por la variación del dieléctrico debido a la variación de humedad.

#### Ventajas:

- Tiene señal.
- Lectura directa.

#### Desventajas:

- Frágil.
- Rango limitado.

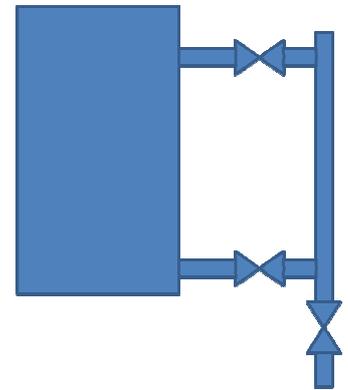
## TEMA 7:1º PARTE, MEDICIONES DE NIVEL

### Factores a tener en cuenta para elegir un sensor:

- Si necesite alimentación eléctrica o no.
- Si es de medición local o remota.
- Densidad del elemento a medir.
- El lugar de instalación del sensor.
- Grado de protección.
- Riesgo.
- Tipo de elemento a medir.
- Si debe detectar, medir o marcar.

### INDICADOR DE CRISTAL:

Consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensa estopas unidos al tanque, generalmente mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos y una de purga. El nivel de cristal normal se emplea para presiones de hasta  $7\text{kg/cm}^2$ . A presiones más elevadas el cristal es de gruesa sección rectangular y está protegido por una armadura metálica. La lectura de nivel se efectúa por reflexión o por transparencia.



### Ventajas:

- Lectura fácil, directa y rápida.
- Todo el rango.
- Muy simple.

### Desventajas:

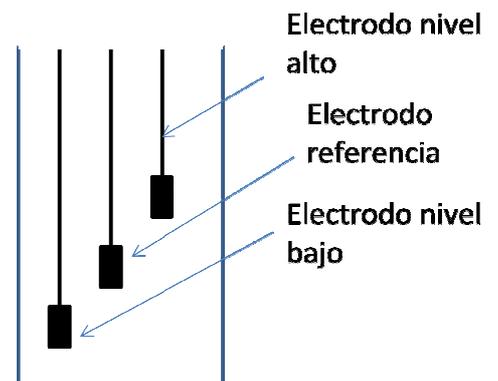
- No tiene señal, frágil.
- Mala señal por espuma, mala señal por variaciones de nivel, no líquido viscosos.

En estos indicadores se debe tener en cuenta el ensuciamiento del tubo de cristal con ciertos tipos de productos. Este medidor solo permite mediciones locales.

### INDICADOR CONDUCTIVO:

Consiste en una o varios electrodos y un relé que se activa cuando el líquido moja a dichos electrodos. El líquido debe ser lo suficientemente conductor como para cerrar el circuito.

La tensión de alimentación es alterna para evitar fenómenos de oxidación en las sondas por causa de la electrolisis. Cuando el líquido moja los electrodos se cierra el circuito produciendo una señal (alarma, señal de nivel alto o bajo).



### Ventajas:

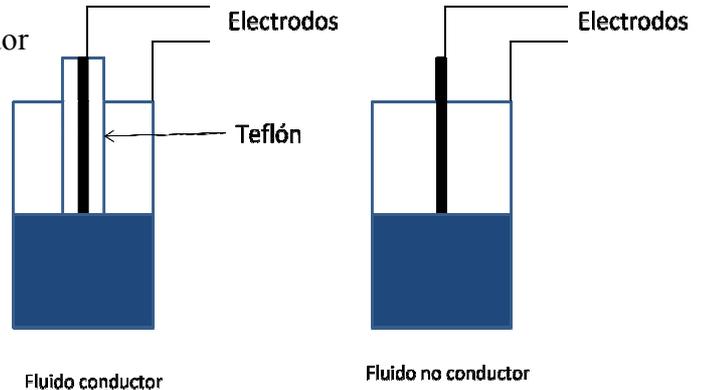
- Tiene señal.
- No tiene piezas móviles.
- Resiste vibraciones.

### Desventajas:

- Trabaja SI/NO.
- El fluido tiene que ser conductor.
- Medición invasiva.

## INDICADOR CAPACITIVO:

Mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido y las paredes del tanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido ya que se modifica el dieléctrico. En fluidos no conductores se emplean electrodos normales y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores. En fluidos conductores el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona de líquido y gas.



El sistema es sencillo y apto para muchas clases de líquidos. Sin embargo en los fluidos conductores, los sólidos o líquidos conductores que se encuentran en suspensión o emulsión y las burbujas existentes aumentan o disminuyen la constante dieléctrica, dando lugar a error.

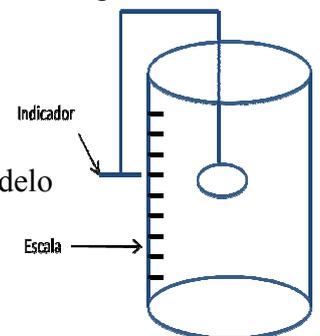
Se caracteriza por no tener partes móviles, son ligeros, presentan buena resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza.

Su campo de nivel es prácticamente ilimitado y puede emplearse en la medida de nivel de la interface.

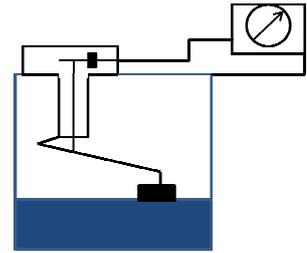
## INDICADORES ACCIONADOS POR FLOTADOR:

Estos consisten en un flotador situado en el seno del líquido y conectado al exterior del tanque indicando directamente el nivel. La conexión puede ser: directa, magnética, hidráulica.

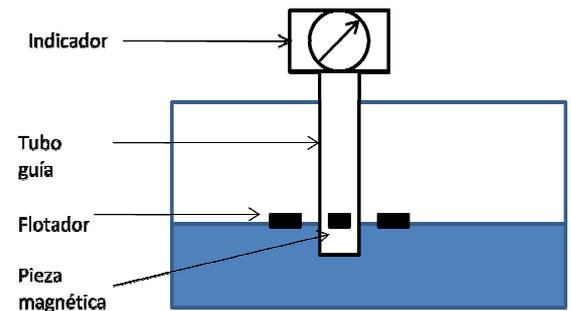
- Flotador conectado directamente: El flotador está unido directamente a un cable que desliza en un juego de poleas a un índice exterior que señala sobre una escala graduada. Es el modelo más antiguo y más usado en tanques de gran capacidad tales como los de fuel oil o gas oil.



- Flotador conectado hidráulicamente: Este flotador actúa en su movimiento sobre un fuelle, de modo que varía la presión en un circuito hidráulico y señala a distancia el nivel correspondiente. Permite distancias de transmisión de hasta 75 cm y puede emplearse en tanques cerrados. Sin embargo requiere una instalación y calibración complicada y posee partes móviles en el interior del tanque.

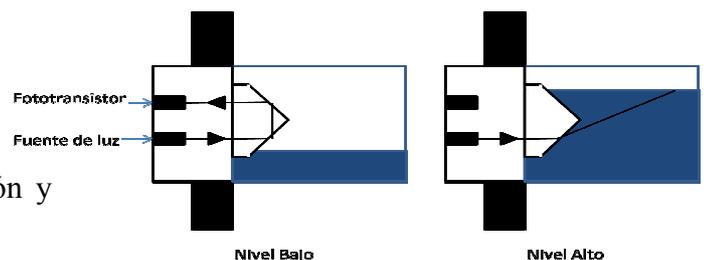


- Flotador conectado magnéticamente: Se desliza exteriormente a lo largo de un tubo guía sellado. Dentro del tubo una pieza magnética sigue el flotador en su movimiento y mediante un cable o un juego de poleas arrastra el índice del instrumento situado en la parte superior del tanque.



### INDICADOR ÓPTICO:

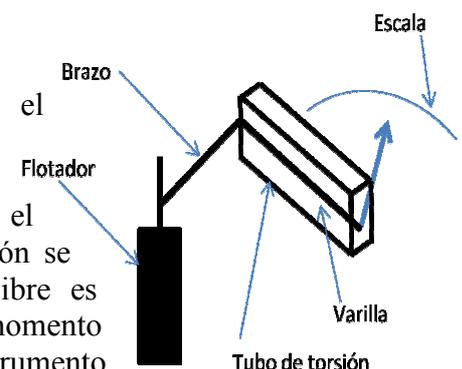
Este indicador no depende del líquido controlado, no posee partes móviles y puede traer distintas protecciones. El inconveniente es que detecta solo una porción y está en contacto con el líquido.



### INDICADORES ACCIONADOS POR DESPLAZADORES:

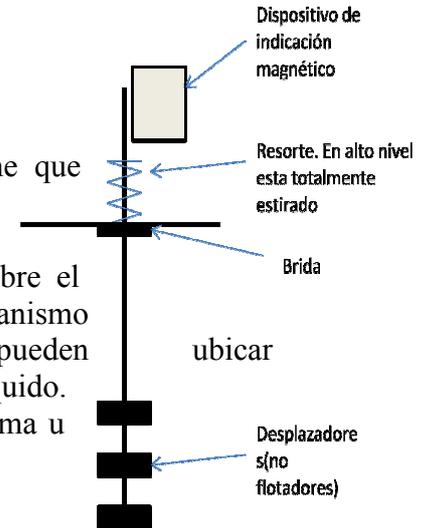
#### Indicador de un desplazador:

Consiste en un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión unido rígidamente al tanque. Dentro del tubo y unido al extremo libre del brazo se encuentra una varilla que transmite el movimiento de giro a un transmisor exterior. El tubo de torsión se caracteriza por que el ángulo de rotación de su extremo libre es directamente proporcional a la fuerza aplicada, es decir el momento ejercido por el flotador que depende del nivel del líquido. El instrumento puede usarse en la medida de interface entre dos líquidos inmiscibles de distintas densidades (por ejemplo agua y aceite). Puede usarse en tanques abiertos o cerrados a presión o vacío, tiene buena sensibilidad, se puede usar en fluidos que estén o altas presiones.



### Indicador de varios desplazadores:

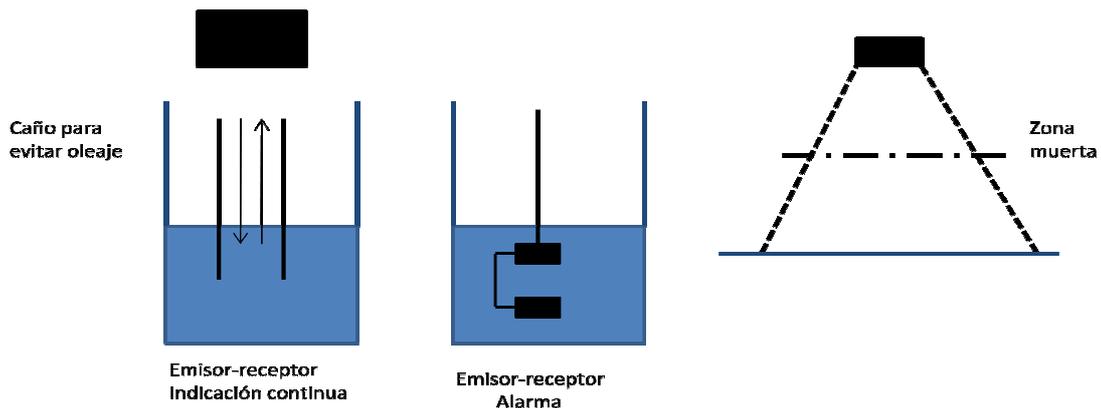
Los indicadores están colgados de un cable donde tiene que quedar inmersos en el fluido. El cable pasa también a través de una brida pasando también por un resorte amortiguador. A medida que desciende el líquido, van apareciendo los desplazadores sobre el fluido ocasionando un mayor peso en donde mueven un mecanismo marcando el nivel de forma magnética. Los desplazadores se pueden en la forma que deseamos, para controlar distintas cantidades de líquido. Este indicador funciona con fluidos viscosos, que producen espuma u oleaje. Tiene muchas partes móviles, no pueden trabajar en vacío.



### INDICADORES ULTRASÓNICOS:

Se basan en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la recepción del eco depende del nivel del tanque. Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20KHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases o vapores y se reflejan en la superficie del sólido o líquido.

Existen varias disposiciones de montaje de los detectores que se utilizan en algunos casos de alarma o de indicación continua de nivel. En las aplicaciones de alarmas de nivel los sensores vibran a una determinada frecuencia de resonancia, que se amortigua cuando el líquido los moja. En el segundo caso de indicación continuo de nivel, la fuente ultrasónica genera impulsos que son detectados por el receptor una vez que ha transcurrido el tiempo correspondiente de ida y vuelta de la señal a la superficie del sólido o del líquido. La precisión de estos instrumentos es de  $\pm 1-3\%$ . Son adecuados para todos tipos de tanques y líquidos o fondos. Presentan inconvenientes de ser sensibles a la densidad de los fluidos y de dar señales erróneas cuando la superficies de nivel del líquido no es nítido (en caso de formar espuma) ya que produce ecos.



### Ventajas:

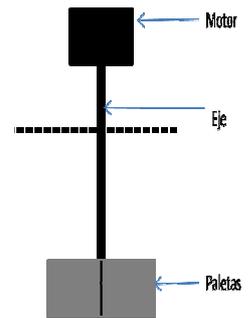
- No invasivo.
- Tiene señal continua.
- Puede medir inflamables.

### Desventajas:

- Precaución con el oleaje.
- Equipo auxiliar.

## INDICADOR DE NIVEL A MOLINETE:

Consiste en un eje vertical, dotado de paletas que giran constantemente a baja velocidad accionadas por un motor sincrónico. Cuando el producto sólido llega hasta las paletas las inmoviliza, esto envía una señal para cortar el suministro de producto. Cuando el nivel vuelve a bajar y deja las palas a l descubierto el sistema vuelve a su posición original. El eje de las paletas puede ser rígido o flexible para adaptarse a las diversas condiciones de trabajo dentro del silo. Pueden trabajar con materiales de diversas densidades



## TEMA 7: 2º PARTE, MEDICIONES DE DENSIDAD.

Densidad:  $\rho = m/v$

Donde  $\rho$  = densidad,  $m$  = masa (Kg),  $v$  = volumen ( $m^3$ )

La densidad es función de la temperatura y de la presión. La densidad se puede medir en:

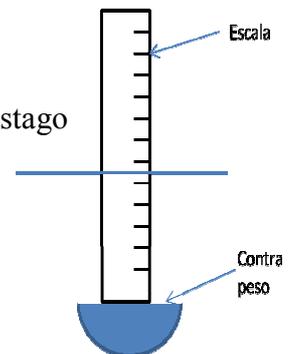
$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\rho \text{ relativa a } 15^{\circ}\text{C}} - 131,5$  (Utilizada para productos petrolíferos)

$^{\circ}\text{Baume} = \frac{140}{\rho \text{ relativa a } 15^{\circ}\text{C}} - 130$  (Utilizada para líquidos más ligeros que el agua)

$^{\circ}\text{Brix} = \frac{145}{\rho \text{ relativa a } 15^{\circ}\text{C}}$  (Utilizada para líquidos más pesados que el agua)

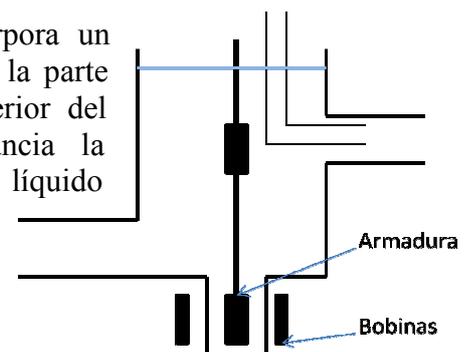
## Aerómetro por Flotador:

Consiste en un flotador lastrado en su parte inferior con un vástago superior graduado. El aparato se sumerge hasta que su peso es equilibrado por el líquido que desaloja hundiéndose tanto más cuanto menor sea la densidad. Puede graduarse en cualquier unidad.



## Aerómetro con transductor de inductancia variable:

El sistema es similar al anterior, al flotador se le incorpora un transductor de inductancia variable con la armadura fija en la parte inferior del flotador y con la bobina dispuesta en el exterior del recipiente. Es posible transmitir eléctricamente a distancia la densidad, siempre que se mantenga una altura constante del líquido con un rebosadero.



### Ventajas:

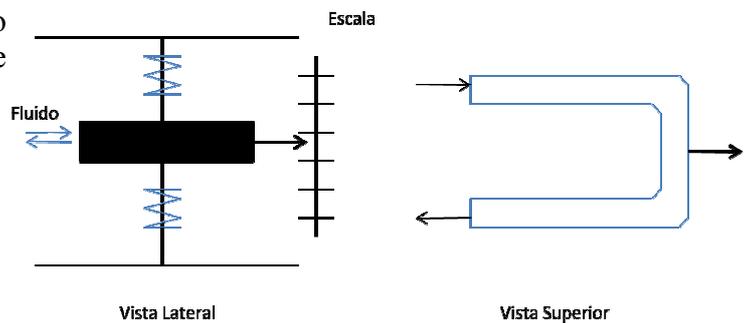
- Mediciones en fluidos en movimiento.
- Mediciones a distancia del proceso.

### Desventajas:

- Hay que mantener el nivel constante.
- Mantenimiento.

## MEDIDOR DE DENSIDAD CONTINÚA:

Se hace pasar el fluido por dentro del indicador en forma de horquilla, este según la densidad baja o sube, marcando directamente en una escala, esto es producido por la variación de peso.



### Ventaja:

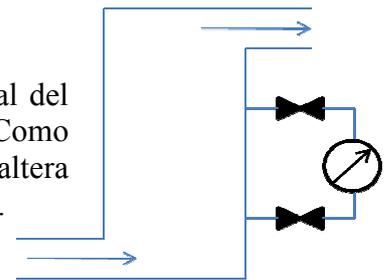
- Es de medición constante.
- De rápida respuesta.
- Lectura directa.

### Desventajas:

- Mantenimiento.

## DENSÍMETRO DE PRESIÓN DIFERENCIAL:

Se fijan dos puntos en el tanque o en una tubería vertical del proceso y se les conecta un instrumento de presión diferencial. Como la diferencia de alturas del líquido es fija, la única variable que altera la presión diferencial es la densidad si la temperatura es constante.



### Ventajas:

- Mide sin detener el proceso.

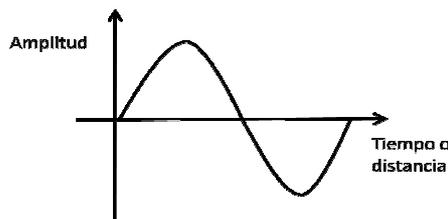
### Desventajas:

- Fluido corrosivo o sucio pueden afectarlo.
- No fluidos muy viscosos.

# TEMA 8: 1º PARTE, MEDICIONES DE RUIDO

## GENERACIÓN DEL SONIDO:

El sonido es un fenómeno esencialmente oscilatorio. Una partícula oscila cuando pasa a iguales intervalos de tiempo por posiciones idénticas a un punto de reposo. El sonido se genera a partir de una vibración mecánica que se propaga en los medios, ya sea sólido, líquido o gaseoso, no en el vacío. Se manifiesta en las personas como una presión sonora por lo tanto cuando medimos sonido, medimos presiones. Se caracteriza por ser un movimiento armónico simple, con una amplitud y una frecuencia (f).



$$T=1/f \quad \lambda=c/f$$

$$a= A_{max} \cdot \text{sen}(2\pi f) \cdot t = A_{max} \cdot \text{sen}(w \cdot t)$$

a= valor instantáneo.

c= velocidad de propagación.

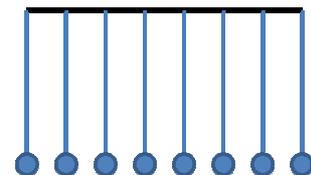
A<sub>max</sub>= amplitud máxima.

## PROPAGACIÓN:

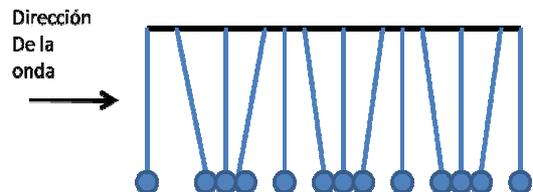
Al oscilar una partícula dentro de un medio, arrastras en su movimiento a las partículas vecinas, lo que a su vez hace lo propio con las que están en su proximidad. A este fenómeno se lo llama propagación.

La perturbación se propaga mediante ondas que pueden ser longitudinales cuando el movimiento de las partículas se realiza a lo largo de la dirección de la propagación (si se produce en líquidos y gases) o transversales cuando el movimiento de ellas es perpendicular a la dirección de la propagación (solo en sólidos).

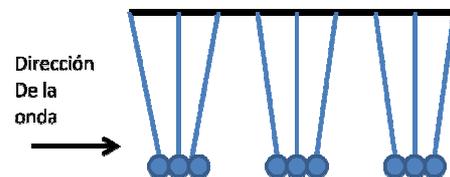
El medio más frecuente de propagación es el aire, por lo tanto hablamos de presión sonora ya que la propagación es longitudinal y el movimiento molecular origina presiones o sea ondas alternas de presión.



Posición de equilibrio.



Onda longitudinal. T/2



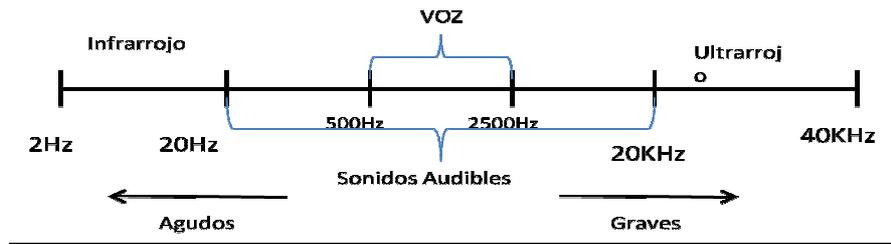
Onda longitudinal. T

## NIVEL SONORO:

Sonido puro: Es la señal de forma senoidal que responde a una excitación de una única frecuencia determinada (es una sola frecuencia)

Sonido compuesto: Los sonidos compuestos son la suma de varios sonidos puros.

- De 500 Hz a 2500Hz se encuentran la voz de una persona.
- Los infrasonidos causan nauseas, se pueden encontrar en los hornos de fundiciones.
- Los ultrasonidos pueden afectar algún órgano. Este sonido no es captado por las personas.
- Los sonidos agudos pierden energía rápidamente, y los graves no se detienen rápidamente.



PRESIÓN SONORA:

$$p = P \cdot \text{sen}(w \cdot (t + x/c))$$

Donde t=tiempo, x=distancia entre la fuente y el punto de medición, c=velocidad del sonido (propagación).

En donde la velocidad de propagación “c” en salidas depende del modulo de elasticidad “E” y la densidad “ρ”.

En los líquidos interviene el índice de compresibilidad  $X=1/E$ , y en los gases se consideran cambios de presiones adiabáticos, donde interviene una constante “K” dado por el calor especifico a presión constante y a volumen constante.

Medio solido:  $C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  por ejemplo en el Fe  $c=5365$  m/s

Medio liquido:  $C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  por ejemplo en el agua  $c=1500$  m/s

Medio gaseoso:  $C = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}}$  por ejemplo en el aire  $c=332$  m/s

- En las personas el límite audible es de  $2 \cdot 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup> (rango alto).
- En las personas el límite del dolor es de 20 N/m<sup>2</sup>.
- En las personas el oído tiene respuesta logarítmica.

Por estas razones es que la unidad de posición del sonido se toma en decibel (dB), el cual no tiene unidades porque es una relación. Una práctica normal en las mediciones acústicas consiste en relacionar la presión de sonido con cierto nivel de frecuencia.

## DEFINICIONES DE RUIDO:

- Señal indicada que no aporta ninguna información.
- Desagrada por parte del oyente.
- Sonido compuesto donde varía continuamente la composición armónica.
- “Sonido es lo que hago yo y ruido es lo que hace mi vecino” (según Prof Boes).

## RUIDO DE FONDO:

Es el ruido que está siempre presente (en todo lugar). Es el ruido que enmascara el ruido que nosotros queremos medir. Es el mínimo ruido que podemos medir, ya que un ruido menos que este sería tapado por el mismo.

## COMO CONTROLAR EL RUIDO:

- Aislar: se usa cuando el ruido es externo.
- Absorber: se usa cuando el ruido es interno.

Cada uno de estos elementos tiene propiedades distintas y atenuidades diferentes. Algunos materiales absorbentes pueden ser: polipropileno expandido, corcho aglomerado, espuma de poliuretano, el cual cambia la dirección de la onda, perdiendo energía.

## NIVEL DE PRESIÓN SONORA:

El rango de audibilidad está entre  $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$  y  $20 \text{ N/m}^2$  (dolor), es un rango muy amplio, por lo tanto para hacer mediciones de sonido se usa el decibel (dB) que es una relación de presiones sonoras.

$$\text{NPS} = 10 \cdot \log(P^2/P_0^2) = 10 \cdot 2 \cdot \log_{10}(P/P_0) = 20 \cdot \log_{10}(P/P_0) = 20 \cdot (\log P - \log P_0)$$

$$\text{NPS} = 20(\log P - \log 2 \cdot 10^{-5}) = 20 \cdot \log_{10} P + 94 \text{ dB}$$

Por ejemplo, reemplazando tenemos que:

- Audibilidad  $\text{NPS}=0(\text{dB})$
- Umbral de dolor  $\text{NPS}=120(\text{dB})$ .

No hay que confundir la intensidad de un sonido con una presión sonora, ya que no son sinónimos. La intensidad es el flujo de energía sonora por unidad de tiempo y por unidad de superficie y se expresa en  $\text{Watts/m}^2$ . La presión sonora es la fuerza ejercida por unidad de superficie y se expresa en  $\text{N/m}^2$ . En la práctica es mucho más fácil medir la presión que la intensidad. Por fortuna, no es necesario medir intensidad y presión, pues en un medio dado, ambas son proporcionales.

Como las variaciones logarítmicas se ubican entre 0 y 14 dB, resulta ser una escala con muy pocas unidades, por lo que se adopta la unidad de decibel (dB), es decir la décima parte de un Bel. El decibel se obtiene calculando el logaritmo de una relación entre dos magnitudes similares, en este caso dos presiones sonoras, una la que se mide y la otra adoptada como referencia. Esto quiere decir que 0 dB no significa que no haya sonido, simplemente que la presión medida es igual a la tomada como referencia. Un

decibel negativo tampoco indica ausencia de sonido, sino que el sonido en cuestión es de menor intensidad que el de referencia.

El sonido más débil percibido por el oído humano tiene una presión sonora del orden de  $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ . Esta es la presión sonora tomada como referencia.

Ejemplos de escala de presión sonora para algunas fuentes de sonido típicas:

- Motor de un cohete 180 dB.
- Automóvil 75 dB.
- Dentro de un automóvil 85 dB.
- Motor de un automóvil 110 dB.
- Dentro de un subte 95 dB.
- Conversación normal 65 dB.

### FRECUENCIAS NORMALIZADAS: BANDA DE OCTAVAS.

El oído humano responde de formas diferentes a diversas frecuencias y a ciertos grupos de frecuencias. En una medición práctica de nivel de sonido se puede necesitar obtener un aspecto de frecuencias del ruido que genere una cierta fuente sonora. Para estos propósitos se utiliza un analizador de ruido que consta de filtros para bandas, con el cual se efectúan varias mediciones de presión sonora para determinar la intensidad del sonido a diferentes frecuencias.

La norma IRAM 4061 establece las frecuencias normalizadas a utilizarse en las mediciones. La norma establece como base los 1000 Hz y establece las denominadas octavas (1/1), medias octavas (1/2 8°), y tercias de octavas (1/3 8°). Segunda la norma la frecuencia base es 1000 Hz y las bandas de octavas van entre las frecuencias centradas.

Para frecuencias de base de 1000 Hz:

- Límite superior =  $\sqrt{2} \cdot 1000 \text{ Hz} = 1414 \text{ Hz}$
- Límite inferior =  $\sqrt{2}/2 \cdot 1000 \text{ Hz} = 707 \text{ Hz}$ .

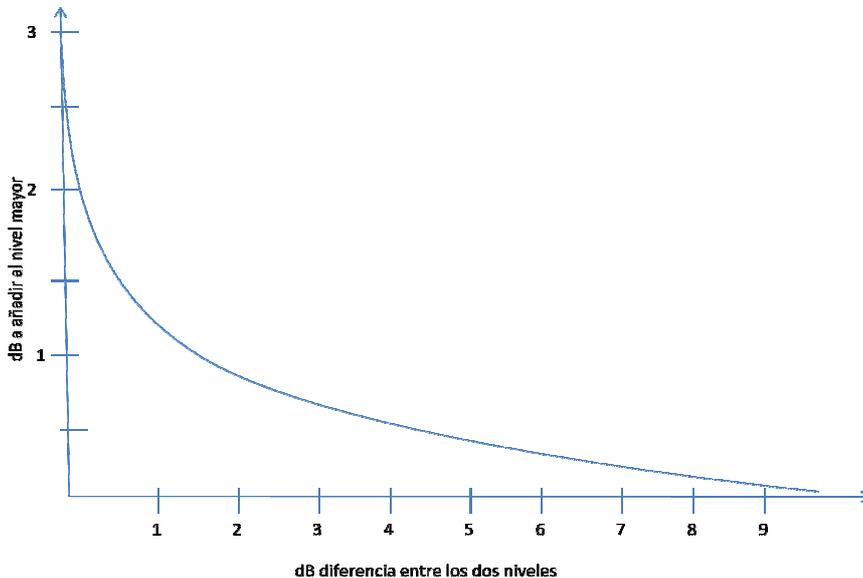
Para ingeniería se hacen las mediciones entre 63 y 800 Hz.

### SUMA DE NIVELES SONOROS:

Esto se encuentra afectado por una magnitud logarítmica, su manejo necesita de la aplicación correcta de las leyes matemáticas.

- Suma de dos niveles de presión sonora iguales ( $P_1=P_2$ )  
 $P_t^2 = P_2^2 + P_1^2$     $P_t^2 = 2P_1^2$     $P_t = 2^{1/2}P_1$   
 $NPS = 20 \cdot \log_{10} P_t/P_0 = 20 \cdot \log_{10} (2^{1/2})P_1/P_2$   
 $= 20 \cdot \log_{10} (2^{1/2}) + 20 \cdot \log_{10} P_1/P_2 = 3(\text{dB}) + P_1(\text{dB})$
- Suma de dos niveles de presión Sonora distintas.
  - Se disponen los niveles sonoros en orden creciente.
  - Se resta el primero del segundo.
  - La diferencia se lleva al eje X y se obtiene el valor correspondiente en Y.

- Se suma al valor hallado en el eje Y al nivel más alto.
- Al nivel resultante, se le resta el tercio de los niveles sumados y se opera igual que el ejemplo anterior.

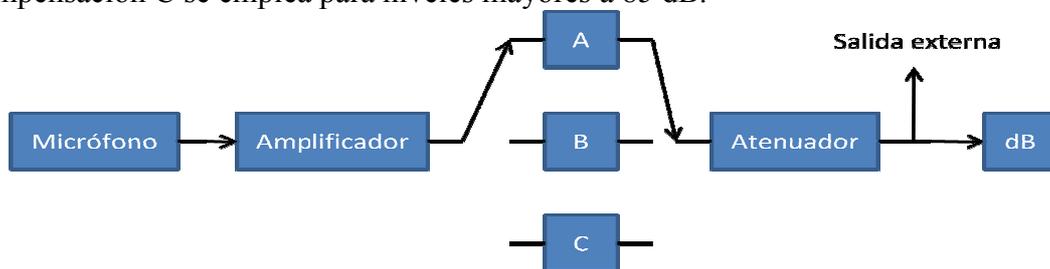


## DECIBELÍMETROS:

- Con bandas de octavas.
- Sin bandas de octavas (da el valor integrado en todo el rango).

Una característica del oído humano es la alinealidad en la recepción del nivel sonoro con la frecuencia. Si se emiten señales de distintas frecuencias e igual nivel, el oído los percibe como si no fueran igualmente fuertes.

El micrófono de características especiales transforma las señales acústicas en tensiones eléctricas. Estas son amplificadas por el amplificador que alimenta el atenuador. Se utilizan los filtros A, B, C cuyas respuestas se asemejan a la respuesta del oído humano. La red de compensación A se emplea para niveles comprendidos entre 0 y 55 dB; la red de compensación B se emplea para niveles comprendidos entre 55 y 85 dB; la red de compensación C se emplea para niveles mayores a 85 dB.



El filtro más usado es el A, por ser el más próximo al oído (en este caso la lectura se expresa en dBA), siendo además la adoptada por las normas nacionales en la materia. Supongamos que dos sonidos son medidos en red de ponderación A, ambos de una presión sonora de 60 dB, pero uno de 1000 Hz y el otro de 125 Hz. El nivel sonoro medido en dBA será de 60 dB para el sonido de 1000 Hz y de 43.7 dB para el sonido de 125 Hz.

Antes de comenzar las mediciones se coloca un calibrador acústico, llamado pistofono, que emite un sonido de 114 dB a 1000 Hz, sobre el micrófono para efectuar una calibración.

### MÉTODOS DE MEDICIÓN:

- 1) Calibración.
  - Calibración con el pistófono.
  - Calibrar el tipo de filtro a usar A, B, C.
- 2) Apuntar el micrófono hacia la fuente (objeto a medir) a un metro de distancia como mínimo.
- 3) Alejarse de las paredes.
- 4) Alejar el cuerpo del observador y de la gente (absorben energía de sonido).
- 5) Acudir el manual del medidor.

### INFLUENCIA DEL RUIDO EN LAS PERSONAS:

El ruido puede ocasionar que se impidan o tornar dificultosas la realización de ciertas tareas, lo cual puede ocasionar dos problemas en el individuo, que son:

- Psíquico: El individuo sometido a ruidos intensos comienza a oír menos, se vuelve “duro” de oído y eso es el comienzo de un trauma acústico. Como le cuesta oír trata de que no le hablen y se vuelve laico, lo cual es el comienzo de un trauma psíquico. A su vez el rendimiento decae, ya que no rinde lo mismo que in individuo sano.
- Fisiológico. Que es la pérdida de la audición, los efectos patológicos más frecuentes son:
  - Pérdida de sensibilidad auditiva alrededor de 4000Hz.
  - Aparición de acuferas, que son sensaciones auditivas no provocadas.
  - Aparición de pérdida de equilibrio.
  - Trauma auditivo agudo provocado por la ausencia de niveles muy superiores a los 120 dB, por lo general del tipo impulsivo.

### LÍMITES PERMISIBLES:

Para que exista la posibilidad de que la exposición al ruido induzca una lesión auditiva a través del tiempo, deben coexistir tres factores bien reconocidos: el nivel de presión sonora, el tiempo de exposición y las características personales del individuo expuesto.

Dosis de ruido = (presión sonora) X (tiempo de exposición)

Se ha comprobado que no son solo los niveles de ruido sino las dosis las que originan problemas en la audición. No todas las personas expuestas correrán el mismo riesgo, una parte de los trabajadores expuestos no será perjudicado y otra parte lo será al poco tiempo si ambos grupos son expuestos por ejemplo a 90 dB, esto se debe a la susceptibilidad individual.

Los valores máximos permitidos en dB y tiempo de exposición para el trabajo esta especificado en la norma IRAM.

El ruido para una jornada de 8 horas es 85 dBA como máximo, a medida que el nivel sonoro aumenta en 3 dB, las horas de exposición se reducen a la mitad.

# **TEMA 8: II PARTE: MEDICION DE VIBRACIONES**

## **ORIGEN DE LAS VIBRACIONES**

Las vibraciones involucran un movimiento oscilatorio, que pueden ser del tipo entretenido (forzado) de amplitud constante o variable y cuya frecuencia no produce obligatoriamente sonidos audibles. A las vibraciones se las puede también clasificar como mecánicas.

El estudio de las vibraciones obedece a distintas causas:

- ✓ Un cuerpo que vibra produce ruidos. Vale decir que si queremos silenciar una maquina debemos eliminar o minimizar las vibraciones.
- ✓ Las vibraciones en sí, son el subproducto indeseado del diseño deficiente de una maquina. Indica que algo ha sido mal diseñado.
- ✓ Vibraciones muy intensas pueden significar un serio problema para la vida útil y estabilidad de un sistema mecánico.
- ✓ Vibraciones excesivas causan molestias y fatiga al personal expuestos a ello.

Las vibraciones se pueden expresar en términos de desplazamientos:

$X=A.\text{sen}(\omega.t)$  (para estructuras)

Las vibraciones se pueden expresar como una función cuadrática de la velocidad de desplazamiento:

$V= dx/dt = \omega.A. \cos(\omega.t)$  (para radiaciones acústicas)

Las vibraciones se pueden expresar como una aceleración:

$a= d^2x/ dt^2 = \omega^2.A. \text{sen}(\omega.t)$  (para el caso de fracturas mecánicas)

## **MEDICIÓN DE LAS VIBRACIONES:**

Los equipos para medir vibraciones se llaman vibrometros que pueden ser mecánicos o eléctricos (son los descriptos en el tema 3, como medidores de aceleración). Estos equipos pueden ser:

- ✓ Instrumentos sísmicos
- ✓ Instrumentos sísmicos potenciados
- ✓ Extensómetros eléctricos
- ✓ De cristal piezoeléctrico

## **IMPORTANCIA DE LAS MEDICIONES DE VIBRACIONES:**

Si bien los efectos de las vibraciones sobre las estructuras son muy importantes, también lo son sobre el hombre. Los estudios sobre personas son muy complejos que varían según la posición en que este.

A frecuencias bajas no tienen efectos apreciables sobre las personas. Para frecuencias muy elevadas, del orden de varios mega Hertz, las vibraciones no penetran sobre el hombre, limitándose a la piel y produciendo efectos térmicos.

También se han observado efectos físicos y biológicos, incluso enfermedades producidas en manos y brazos de los operarios de martillos neumáticos y sierras portátiles para madera.

# TEMA 9: PRIMERA PARTE: ENSAYOS DE TRACCIÓN

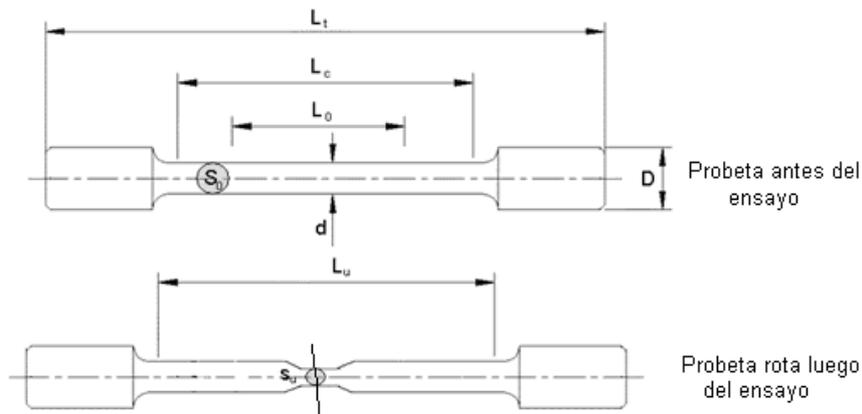
## CONSIDERACIONES GENERALES (IRAM – IAS U500-102/I)

El ensayo consiste en someter a la probeta a una deformación creciente en dirección axial, a temperatura ambiente generalmente hasta la rotura, con el fin de determinar sus propiedades mecánicas.

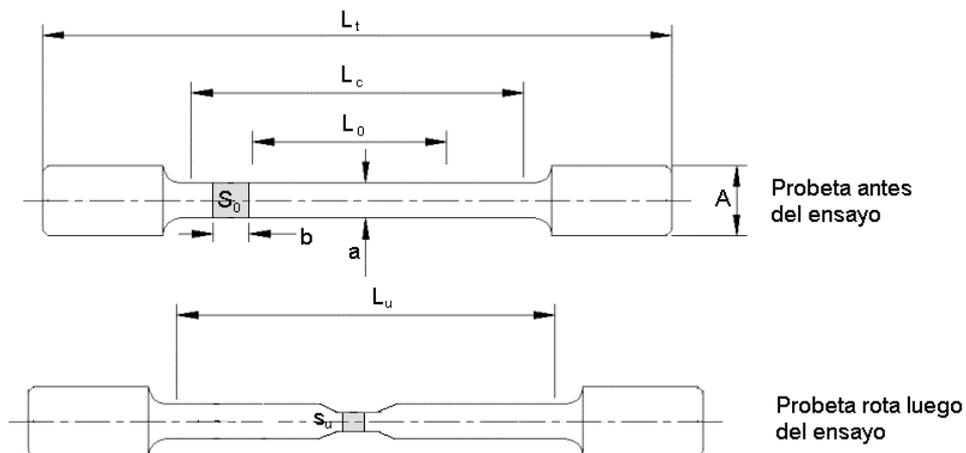
Primero presentaremos las condiciones generales y luego se detallaran los casos particulares.

**PROBETAS:** Es un trozo de producto mecanizado o no que se somete a un ensayo.

Probeta circular



Probeta plana



$L_t$ : Longitud total

$L_c$ : Longitud calibrada: Longitud de la zona de sección constante de la probeta dentro de la cual se marca la longitud de referencia.

$L_0$ : (longitud inicial de referencia) Distancia entre marcas de referencia, realizadas dentro de la longitud calibrada, respecto de la cual se determina el alargamiento de la probeta durante el ensayo.

$L_u$ : Longitud de referencia final luego de la rotura de la probeta, cuando las partes son cuidadosamente unidas y alineadas.

$d$ : Diámetro de la probeta de sección transversal circular en la zona calibrada.

- a: Espesor de la probeta plana en la zona calibrada.
- b: Ancho de la probeta plana en la zona calibrada.
- $S_0$ : Área de la sección inicial de la zona calibrada de la probeta.
- $S_u$ : Área mínima de la sección de la probeta luego de la rotura.

Diámetro equivalente: es el de un círculo cuya área es igual que la de la sección no circular de la probeta, esta dado por la expresión  $d_e = \sqrt{\frac{4S_0}{\pi}}$

Ley de homología:

Probetas proporcionales: son aquellas en la que la relación entre longitud de referencia inicial y la raíz cuadrada del área de la sección transversal está dada por:

$$K = \frac{L_0}{\sqrt{S_0}} \quad K: \text{coeficiente de proporcionalidad}$$

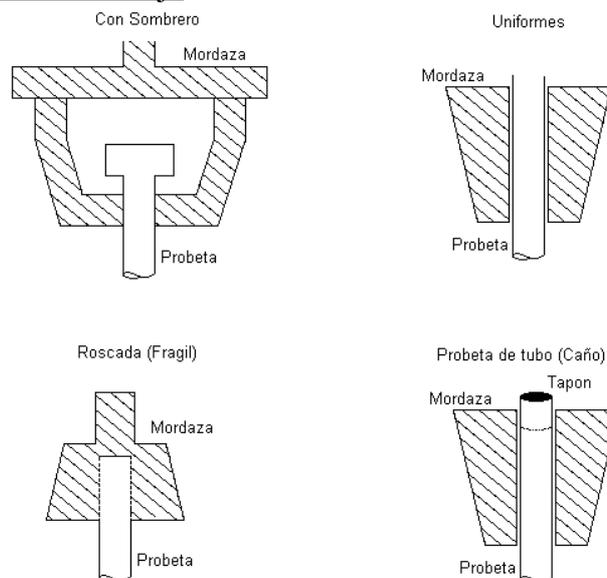
Probetas proporcionales normales\_  $L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$  Sección prismática  
 $L_0 = s \cdot d$  Sección circular

Aquellas en que el coeficiente de proporcionalidad  $K=5,65$

Probetas no proporcionales.

Aquellas cuya longitud de referencia no depende del área de la sección transversal.

Dispositivos de amarre o montaje



Tensión:

Cociente entre la carga alcanzada en cualquier instante del ensayo y el área de la sección inicial de la probeta  $\sigma = \frac{P}{F}$

Resistencia a la tracción (R):

Tensión correspondiente a la carga máxima alcanzada durante el ensayo.

Modulo de elasticidad (E):

Constante elástica que relaciona la tensión con el alargamiento unitario correspondiente, debajo del límite de proporcionalidad  $\sigma = E \cdot \epsilon$

### Limite de proporcionalidad ( $R_p$ ):

Tensión máxima que un acero es capaz de soportar sin que los alargamientos dejen de ser proporcionales a las tensiones, es decir, sin apartarse de la ley de Hooke.

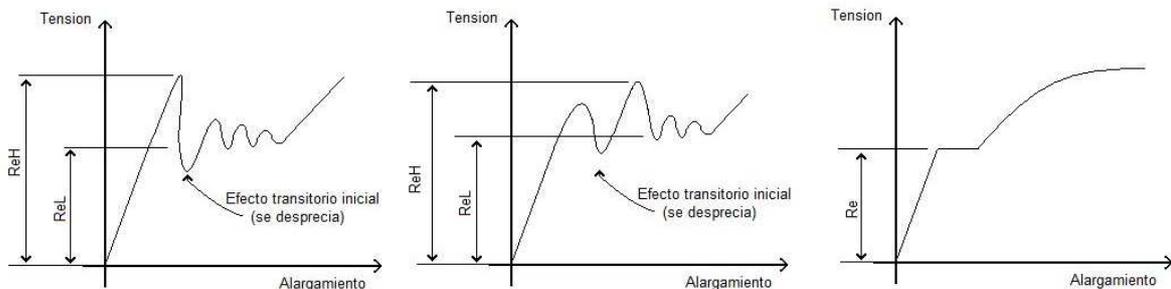
### Limite de elasticidad ( $R_E$ ):

Tensión máxima que el material es capaz de soportar, en que le produzcan alargamientos permanentes en la probeta descargada.

### Limite de fluencia ( $R_e$ ):

Tensión en la que comienza la deformación plástica, tenemos:

- ✓ Límite superior de fluencia ( $R_{eH}$ ): valor de la tensión medida al comenzar la deformación plástica de fluencia, o el valor de la tensión medida para el primer pico obtenido durante la fluencia aun cuando este pico sea menor que cualquier otro subsiguiente observado durante ella.
- ✓ Límite inferior de fluencia ( $R_{eL}$ ): valor mínimo de la tensión medida durante la deformación plástica de fluencia, sin tener en cuenta el efecto transitorio inicial.



Salvo que se establezca lo contrario se adopta como límite de fluencia al límite superior de fluencia ( $R_e = R_{eH}$ )

### Limite convencional de fluencia ( $R_p$ ):

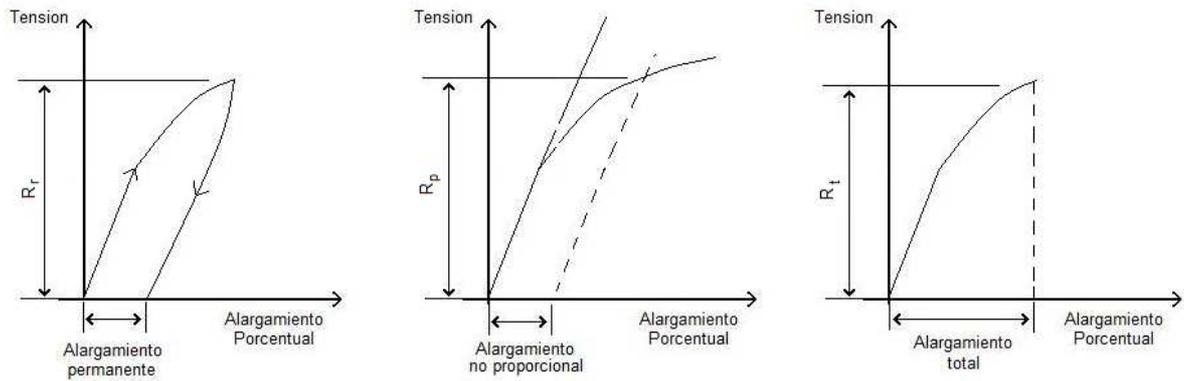
Tensión que corresponde a un alargamiento porcentual no especificado. El símbolo se completa con un subíndice que indica el porcentaje preestablecido. El limite convencional más utilizado es el  $R_{p0.2}$ , corresponde a un alargamiento porcentual no proporcional del 20%

### Tensión correspondiente a un alargamiento total preestablecido ( $R_t$ ):

Tensión que corresponde a un alargamiento porcentual total (alargamiento elástico mas plástico) preestablecido. El símbolo se completa con un subíndice que indica el porcentaje preestablecido. Por ejemplo  $R_{t0.5}$

### Tensión correspondiente a un alargamiento permanente preestablecido ( $R_r$ ):

Tensión que produce, después de la supresión de la carga, un alargamiento porcentual permanente preestablecido. El símbolo se completa con un subíndice que indica el porcentaje preestablecido. Por ejemplo  $R_{r0.2}$



### Alargamiento ( $\Delta l$ ):

Incremento de la longitud de referencia inicial producido por la aplicación de un esfuerzo axial en cualquier momento del ensayo.

### Alargamiento unitario:

Cociente entre el alargamiento y la longitud de referencia inicial utilizada.

### Alargamiento porcentual:

Alargamiento unitario expresado como porcentaje.

### Alargamiento permanente porcentual para una tensión preestablecida ( $A_p$ ):

Alargamiento porcentual producido por una tensión preestablecida después de suprimir la carga. El se completa con un subíndice que indica la tensión alcanzada en Mega pascal. Por ejemplo  $A_{p400}$

### Alargamiento porcentual de rotura ( $A$ ):

Alargamiento porcentual medido luego de la rotura de la probeta.

$$A = \left( \frac{L_u - L_0}{L_0} \right) * 100$$

En probetas proporcionales, cuando el coeficiente de proporcionalidad es distinto de 5,65. El símbolo A se completa con un subíndice que indica el número de diámetro equivalente. Por ejemplo  $A_{10} \gg L_0=10d$

En probetas no proporcionales el símbolo A se completa con el subíndice que indica la longitud de referencia inicial utilizada, expresado en mm. Por ejemplo  $A_{80} \gg L_0=80$

### Alargamiento porcentual total de rotura ( $A_t$ ):

Alargamiento porcentual bajo carga en el momento de la rotura.

### Alargamiento porcentual a carga máxima:

Alargamiento porcentual producido hasta el momento de alcanzarse la carga máxima.

Debe distinguirse entre el alargamiento porcentual total a carga máxima ( $A_{gt}$ ) y el alargamiento porcentual no proporcional a carga máxima ( $A_g$ ).

### Alargamiento porcentual de fluencia:

Alargamiento porcentual entre el comienzo de la zona de fluencia y el comienzo de la zona de endurecimiento.



En probetas proporcionales el valor de  $L_0$  puede redondearse al múltiplo más cercano a 5 mm, siempre que la diferencia entre el valor calculado y el de referencia sea menor a 10%.

Los extremos de la longitud de referencia se trazan con una marca fina o con una línea dibujada. La precisión de las marcas de la longitud de referencia debe ser  $\pm 1\%$ .

## EQUIPO DE ENSAYO

Debe aplicar las cargas de manera de obtener únicamente sollicitación axial en la probeta, minimizando todo efecto de torsión y flexión.

## CONDICIONES DE ENSAYO

Temperatura de ensayo: el ensayo se realiza a temperatura ambiente, entre 10 y 35 °C. Cuando el ensayo se realice bajo condiciones de temperatura controlada esta debe ser de  $23 \pm 5$  °C.

Fijación de la probeta: las probetas se sujetan por medios adecuados tales como mordazas cabezales roscados, cabezal con apoyo en resalte, etc.

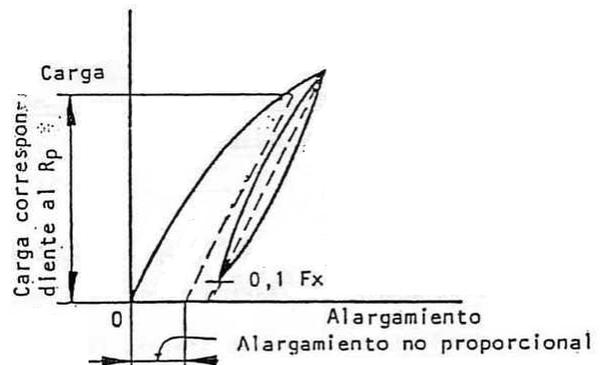
### Velocidad de ensayo

Características a determinar	Forma de medir la velocidad	Velocidad
$R_p, R_t, R_r, R_{eH}$	Por variación de tensión	Mínimo 3 N.mm <sup>-2</sup> /s Máximo 30 N.mm <sup>-2</sup> /s
$R_{eH}, R_{eL}$	Por variación del alargamiento unitario	Mínimo 0,00025/s Máximo 0,0025/s
R	Por variación de tensión	Zona elástica máxima 30 N.mm <sup>-2</sup> /s
	Por desplazamiento del cabezal	Zona plástica máxima 50% $L_0$ /min

En todos los casos la velocidad elegida de mantiene lo más uniforme posible y los cambios se harán gradualmente.

### Procedimiento:

- Determinación de los límites superior e inferior de fluencia  $R_{eH}$  y  $R_{eL}$ : pueden determinarse observando la detención y el retroceso en el indicador de carga o mediante el diagrama carga-alargamiento.
- Determinación del límite convencional de fluencia  $R_p$ : se determina a partir del diagrama carga-alargamiento, trazando una línea paralela al tramo recto del diagrama a una distancia igual al alargamiento no proporcional preestablecido, por ejemplo 0,2% de la longitud de referencia. El punto donde esta recta corta la curva es la tensión

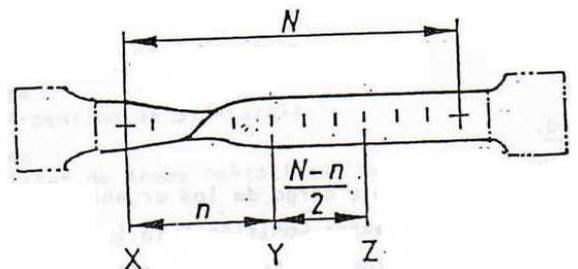
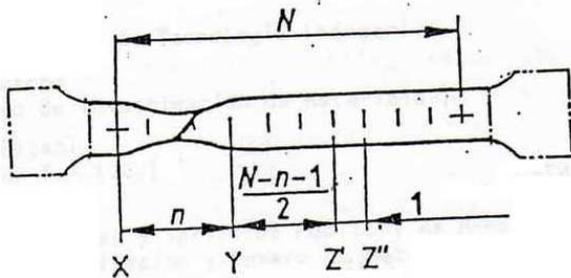


buscada. Si el tramo recto del diagrama carga-alargamiento no está claramente definido se recomienda el siguiente procedimiento: una vez que la tensión correspondiente al límite convencional de fluencia ha sido presumiblemente excedida se reduce la carga a un valor igual al 10% de la carga alcanzada, luego de lo cual se incrementa continuando con el ensayo. Por el lazo de la histéresis resultante se traza una recta con cuya paralela se determina la tensión buscada

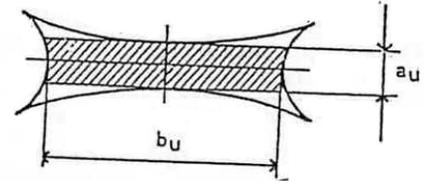
- Determinación de la resistencia de tracción R: es el valor del cociente entre la carga máxima alcanzada y el área de la sección inicial de la probeta.
- Determinación del alargamiento porcentual de rotura: la rotura debe producirse entre las marcas de referencia inicial. La determinación se considera válida si la rotura de la probeta se produce dentro del tercio medio de la longitud de referencia inicial. Para la medición de la longitud de referencia final después de la rotura, se unen las 2 porciones de la probeta de manera tal que coincidan correctamente. La medición de la longitud de referencia final se realiza con una precisión del 0,5%.
- Determinación del alargamiento porcentual de rotura basada en la sub división de la longitud de referencia inicial: antes del ensayo, se divide la longitud de referencia  $L_0$  en  $n$  partes iguales. Después del ensayo se designa con X la marca de referencia del trozo más corto de la probeta, y sobre el trozo más largo se designa con Y la marca que se encuentra aproximadamente a igual distancia de la rotura que la marca X. Si  $n$  es el número de intervalos entre X e Y, el alargamiento porcentual de rotura se determina en la forma siguiente:

a) Si  $N-n$  es un número par, se mide la distancia entre X e Y, y la distancia entre Y y Z que esta a  $(N-n/2)$  intervalos de Y. El alargamiento porcentual de rotura A se calcula mediante la fórmula  $A = \left( \frac{XY+2YZ-L_0}{L_0} \right) * 100$

b) SI  $N-n$  es un número impar, se mide la distancia entre X e Y y la distancia de Y a las marcas Z' y Z'' situadas respectivamente a  $\frac{N-n-1}{2}$  y  $\frac{N-n+1}{2}$  intervalos de Y.  $A = \left( \frac{XY+YZ'+YZ''}{L_0} \right) * 100$



- Determinación de la estricción: se expresa con 2 cifras significativas. En caso de probetas rectangulares las mediciones de ancho y espesor final se efectúan como en la figura.



## BARRAS, ALAMBRES, ALAMBRONES, CHAPAS Y FLEJES DE ACERO (IRAM-IAS U500-102/II)

Condiciones particulares del método de ensayo de tracción para barras, alambres, alambres de cualquier sección, de diámetro o lado mayor o igual a 4 mm y chapas y flejes de espesor mayor o igual que 3 mm.

PROBETAS: la zona calibrada de la probeta se vincula a los extremos de amarre por una curva de transición. El valor mínimo salvo que se establezcan otros en la norma particular del producto será para probetas de sección circular igual o un diámetro y para probetas de sección rectangular según lo que indica la tabla.

Ancho nominal de la probeta (mm)	Radio de la curvatura de transición mínima
$3 \leq b \leq 6$	6
$6 \leq b \leq 10$	12
$10 \leq b \leq 30$	20
$30 \leq b \leq 50$	25

Los extremos de amarre pueden tener cualquier forma y medida, debiendo ser un largo mínimo el de las mordazas.

Cuando se requieran, las barras, alambres y alambres de cualquier sección se pueden ensayar con probetas sin mecanizar.

MEDIDAS: la longitud calibrada de las probetas mecanizadas no deben ser menor que  $L_c \geq L_0 + \frac{d}{2}$  para probetas circulares, ni menor que  $L_c \geq L_0 + 1,5\sqrt{S_0}$  para probetas de sección prismática.

La longitud libre entre mordazas de la maquina será suficiente para que las marcas de la longitud de referencia queden a una distancia de la mordaza no menor a 2 diámetros equivalentes.

La longitud de referencia inicial para probetas proporcionales normales.

K	Diámetro (mm)	Longitud de referencia inicial $L_0 = K\sqrt{S_0}$ (mm)	Longitud calibrada mínima $L_c$ (mm)	Longitud total $L_t$
5,65	20	$100 \pm 1,0$	110	Depende del método de fijación en las mordazas de la maquina
5,65	10	$50 \pm 0,5$	55	
5,65	5	$25 \pm 0,25$	28	

Cuando la norma del producto lo requiera se podrán usar probetas no proporcionales pero se recomienda que la relación entre ancho y espesor no sea mayor que 8.

Se recomiendan para probetas no proporcionales la siguiente medida.

Probeta tipo	Ancho b (mm)	Longitud de referencia inicial $L_0$ (mm)	Longitud calibrada mínima $L_c$ (mm)	Longitud total mínima $L_t$ (mm)
1	38	$200 \pm 0,25$	225	450
2	$12,5 \pm 0,25$	$50 \pm 0,10$	60	200

La probeta 1 se emplea para espesores de 5mm a 25 mm y la 2 para espesores menores o iguales que 12,5 mm.

Para espesores mayores que 25 mm y hasta 100 mm se reduce el espesor del producto hasta 25 mm, manteniendo una de las superficies de laminación.

El diámetro nominal puede usarse para calcular el área transversal de la probeta circular si este diámetro satisface las discrepancias. Para probetas no circulares el área inicial debe calcularse con medidas que no exceda el  $\pm 0,5\%$  de error.

### CHAPAS Y FLEJES FINOS DE ACERO (IRAM-IAS U500-102/III)

Establecen las condiciones particulares del método de ensayo de tracción para chapas y flejes de acero de espesor no menor que 0,5 mm pero menor que 3 mm.

PROBETAS: el ancho de los extremos de amarre debe ser mayor que el de la zona calibrada y estará comprendido entre 25 mm y 40 mm.

El radio de transición entre los extremos de amarra y la longitud calibrada sea menor que 20 mm.

La probeta puede ser una tira de lados paralelos. Para productos de ancho menor o igual que 20 mm, el ancho de la probeta puede ser el mismo que el producto.

Medidas: el espesor de la probeta es el mismo que el del producto.

La longitud calibrada no será menor que  $L_0 + \frac{b}{2}$ . En caso de discrepancia la longitud calibrada debe ser  $L_0 + 2b$  a menos que las medidas del producto no lo permitan.

En caso de probetas de tiras de lados paralelos de ancho menor a 20 mm, la longitud de referencia inicial será de 50 mm y la longitud libre entre mordazas será  $L_0 + 3b$ , a menos que se especifiquen otras medidas en la norma particular del producto.

En la tabla se establecen las medidas de las probetas.

Probeta tipo	Ancho b (mm)	Longitud de referencia inicial $L_0$ (mm)	Longitud calibrada $L_c$ (mm)	Longitud libre entre mordazas de la probeta (mm)
1	$20 \pm 1$	$80 \pm 0,8$	120	140
2	$20 \pm 1$	$200 \pm 2,0$	225	260
3	$12,5 \pm 1$	$50 \pm 0,5$	75	87,5

En probetas cuyo ancho es igual al producto, el área de la sección transversal inicial ( $S_0$ ) se calcula a partir de la medida de la probeta. Pero el caso de probetas mecanizadas se puede utilizar el ancho nominal de la probeta. El error en la determinación del área de la sección transversal inicial no debe exceder de  $\pm 2\%$ .

La preparación de las probetas no debe afectar la propiedad mecánica de estas.

La zona eventualmente endurecida por el corte con cizalla o matrizado deben removerse por mecanizado.

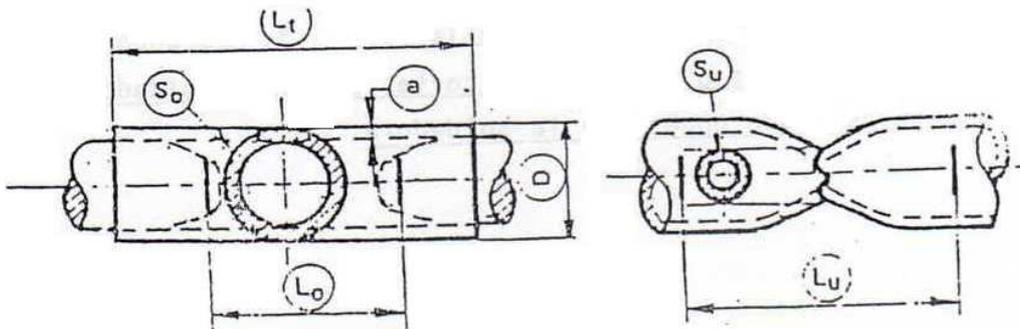
Cuando se ensaya materiales muy finos se recomienda: empaquetar las tiras cortadas colocando entre ellas un papel resistente al aceite de corte y a cada lado se coloca una tira de mayor espesor que las de ensayo. El paquete así formado se prensa y luego se mecaniza.

## CAÑOS Y TUBOS DE ACERO (IRAM-IAS U500-102/IV)

Establecen las condiciones particulares del método de ensayo de tracción para caños y tubos de acero.

### PROBETAS:

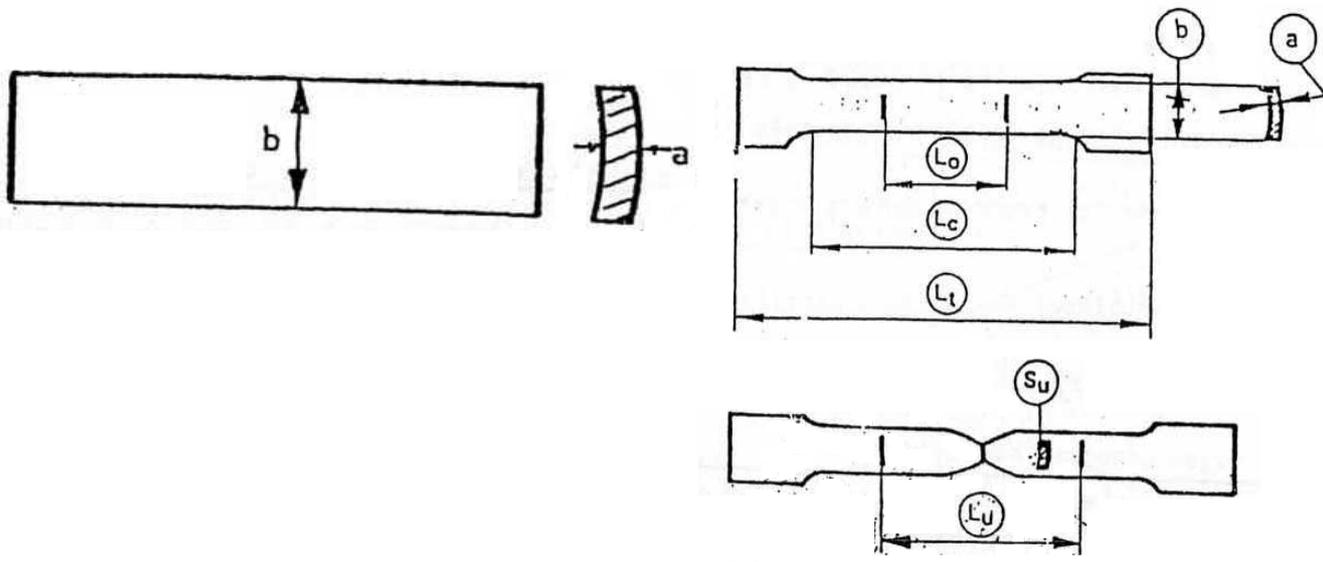
- En los resultados del ensayo se debe especificar el tipo de probeta (proporcional o con longitud de referencia fija) y la forma de la probeta (trozo de caño, tira longitudinal, tira transversal, con extremo o sin extremo de amarre).
- Probeta de trozo de caño o tubo.  
En un trozo de tubo con sus extremos perpendiculares al eje longitudinal.



Cuando se utilizan probetas de longitud de referencia fija, la longitud de referencia inicial será de 50mm, salvo que la norma particular especifique otra cosa.

Cuando la longitud calibrada es mucho mayor que la longitud de referencia, se marca una serie de longitudes de referencia solapadas.

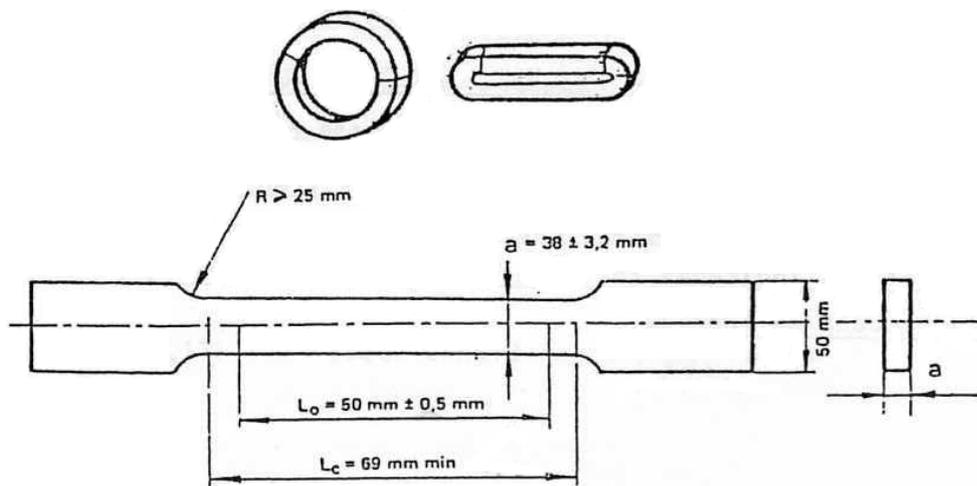
- Probeta de tira longitudinal: para tubos que no puedan ensayarse con su sección completa se extraerá una probeta de tira longitudinal.



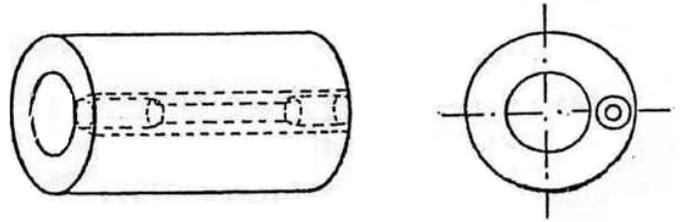
El método utilizado para extraer la probeta debe ser tal, que no afecte las propiedades mecánicas. Para tubos con costura la probeta se debe extraer del lado opuesto del cordón de soldadura. La probeta debe cortarse con lados paralelos, y en caso de tener extremos de amarre, la zona calibrada debe unirse con una curva de transición suave, con un radio de 25 mm como mínimo. La zona calibrada de la probetas con extremos de amarre, tendrá una longitud calibrada comprendida entre  $L_0 + \frac{b}{2}$  Y  $L_0 + 2b$ . En caso de discrepancia será  $L_0 + 2b$ . Cuando se utilizan probetas con longitudes de referencia fijas, salvo que indique otra cosa en la norma del producto, la longitud de referencia inicial será de 50 mm. En el caso de probetas sin extremos de amarre que posean una longitud calibrada mucho mayor que la longitud de referencia, se marca una serie de longitudes de referencia solapadas. Las medidas de las probetas con o sin extremos de amarre se indican en la tabla.

Tipo de Probeta	Ancho de la zona calibrada (mm)	Ancho aproximado de los extremos de amarre (mm)	Longitud de referencia inicial $L_0$ (mm)	Longitud de la zona calibrada mínima (mm)
1	$12,7 \pm 0,38$	17	50	57
2	$19 \pm 0,80$	25	50 100	60 112
3	$25 \pm 1,60$	38	50 100 50	63 112 69
4	$38 \pm 3,2$	50	100 200	120 225

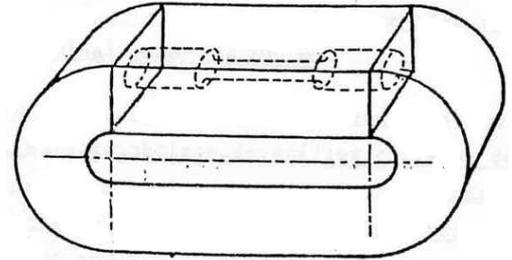
- Probeta de sección transversal: no es recomendada esta probeta en tubos de diámetro nominal menor que 200 mm. Estas probetas se obtienen de anillos cortados de los extremos de los tubos, pudiendo efectuar el aplastamiento antes o después del corte. En tubos soldados, la probeta se saca del lado opuesto de la soldadura. Para tubos de espesor de pared menor a 19 mm, cuando se tomen probetas de longitudes fijas, estas deben tener las siguientes formas y medidas.



- Probetas de sección circular extraídas de tubos de pared gruesa: para tubos con espesor de pared mayor a 19 mm, que no pueden ser ensayados en su sección completa ni como tira longitudinal, las probetas se extraen de la forma indicada en la figura y deben tener las características de las probetas cilíndricas.



Para tubos con espesor de pared mayor a 19 mm, que no puedan ser ensayados en su sección completa, ni como tira transversal la probeta se extraerá de la forma indicada en la figura, y debe tener las características de la probeta cilíndrica.



Las probetas transversales obtenidas de tubos soldados, para determinar la resistencia de la soldadura, se extraen perpendicularmente a la costura y de forma tal, que esta quede aproximadamente en la mitad de la longitud de referencia de la probeta.

- Determinación de la sección transversal inicial  $S_0$ : el área de la sección transversal inicial de la probeta se determina con un error de  $\pm 1\%$ .

Para probetas de trozo de tubo se aplica  $S_0 = \pi \cdot a \cdot (D - a)$  donde  $d$  es el diámetro exterior y  $a$  el espesor de la pared.

Para probetas de tira longitudinal el área se calcula.

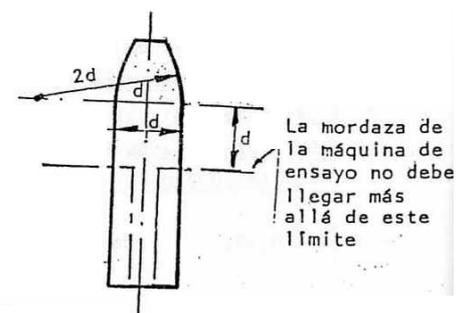
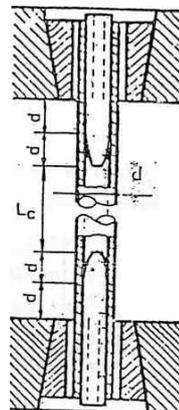
$$\text{Cuando } \frac{b}{D} < 0,25 \gg S_0 = a \cdot b \left( 1 + \frac{b^2}{6D(D-2a)} \right)$$

$$\text{Cuando } \frac{b}{D} < 0,17 \gg S_0 = a \cdot b$$

Donde  $b$  es el ancho de la probeta.

- Método de amarre: Para probetas de trozo de tubos, el amarre se logra empleando mordazas adecuadas que sujetan la parte externa de la probeta, evitando su deformación, mediante tapones metálicos introducidos en sus extremos. El diámetro de los tapones debe ser aproximadamente igual al diámetro interior del tubo a ensayar.

La distancia libre entre el extremo del tapón y la marca más cercana a la longitud de referencia estará comprendida entre  $D$  y  $D/4$ , en caso de discrepancia será igual a  $D$ . para probetas de tira longitudinal, las mordazas de la maquina deben tener igual curvatura que las probetas. En caso de no contar con estas mordazas, se puede aplanar en frio los extremos y mantener la curvatura en el resto de la longitud calibrada.



## ALAMBRES Y BARRAS DE ACERO DE DIÁMETRO O ESPESOR MENOR QUE 4 MILÍMETROS (IRAM-IAS U500-102/V)

Establecer las condiciones particulares del método de ensayo de tracción para alambres de acero, y en general para productos de acero de sección constante, obtenidos por deformación en frío cuyo diámetro o espesor sea menor que 4 mm. Para alambres de sección rectangular o de otra clase de sección, la relación entre ancho y espesor debe ser menor que 4 mm.

PROBETAS: La probeta debe tener la sección transversal del producto a ensayar.

La longitud de referencia inicial se tomara igual a  $100 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  o  $200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ , preferentemente esta ultima.

La distancia libre entre mordazas sera igual o mayor que  $L_0 + 50 \text{ mm}$ .

Cuando no se determine el alargamiento porcentual de rotura puede utilizarse una distancia entre mordazas de 50 mm como mínimo.

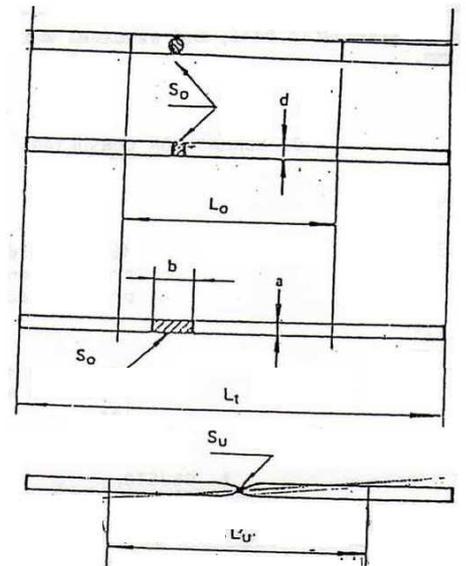
Debe evitarse en lo posible enderezar la probeta antes del ensayo, si ello fuera necesario se realiza a mano y de no ser posible se utiliza un martillo de madera o plástico u otro material para no dañar la superficie de la probeta.

Fijación de la probeta: en alambres muy finos se recomienda utilizar dispositivos adecuados que no dañen la superficie del alambre.

Determinación del área de la sección transversal: se determina con una precisión de  $\pm 1\%$ .

Los alambres cuyas medidas cumplan con la tolerancias especificadas en la norma particular del producto, el área transversal del producto puede calcularse con las medidas nominales.

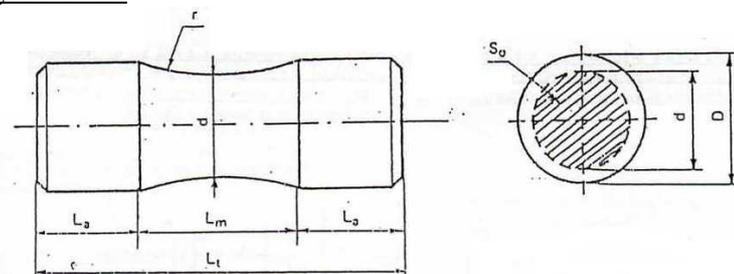
Para alambres de formas especiales, el área de la sección transversal puede calcularse a partir de la masa de una longitud conocida y de la densidad del material.

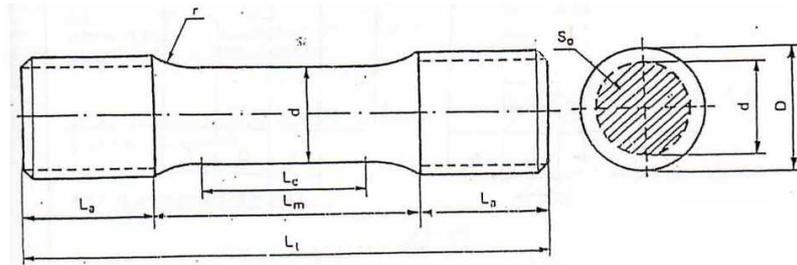


## FUNDICION DE HIERRO GRIS (IRAM-IAS U500-39)

Establecer el método de ensayo de tracción de fundición de hierro gris.

Símbolos y designaciones:



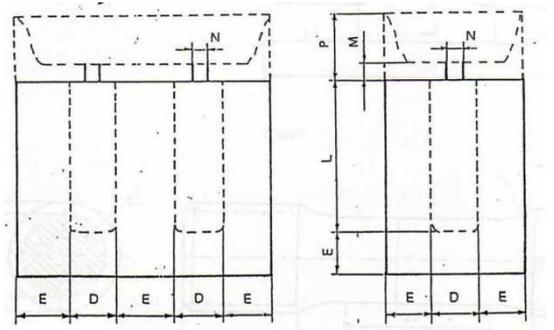


- d: diámetro de la zona calibrada
- D: diámetro de los extremos de amarre
- r: radio de transición entre los diámetros d y D
- L<sub>m</sub>: longitud de la zona mecanizada
- L<sub>c</sub>: longitud calibrada
- L<sub>a</sub>: longitud de los extremos de amarre
- L<sub>t</sub>: longitud total
- S<sub>0</sub>: área de la sección inicial de la zona calibrada de la probeta
- F<sub>m</sub>: carga máxima
- R: resistencia a la tracción F<sub>m</sub>/ S<sub>0</sub>

Toma de muestra y preparación de la probeta:

La muestra para preparar la probeta podrá ser colada separadamente, adosada a la pieza o cortada de la pieza.

- Muestra colada separadamente: la muestra se cuele en un molde del mismo material y condiciones que el empleado para la fusión de la pieza, con las dimensiones y forma que se muestran en la figura.



Diámetro de la barra fundida D (mm)	Largo de la barra fundida L (mm) mínimo	Espesor de la pared del molde E (mm) mínimo	Medidas recomendadas del montante		
			P (mm)	N (mm)	M (mm)
13	110	13			
20	170	20			
30	230 probeta tipo A 360 probeta tipo B	30	50	8	12
45	320	45			

El material de la muestra será de la misma cuchara con que se cuelean las piezas y se colocara a una temperatura y velocidad conveniente para asegurar la representatividad de la pieza.

Se puede colar más de una barra en el mismo molde, pero cada barra estará rodeada de un espesor de arena igual y superior al diámetro de la barra.

El diámetro de la barra debe establecerse en normas particulares del producto el cual se determina en función del espesor de las secciones predominantes de la pieza que representa.

La temperatura de desmolde de la probeta será igual al de la pieza, luego del desmolde se enfriará en un ambiente sin corrientes de aire.

Las barras que representan piezas que han de someterse a tratamiento térmico deben recibir el mismo tratamiento junto con ella.

Cada una de las barras de marcada adecuadamente para su identificación.

- Muestra adosada a la pieza: cuando se establezca por convenio previo, la muestra puede colarse adosada a la pieza, en cuyo caso se definiría la posición con respecto a las mismas y sus dimensiones.  
Cuando las piezas deban someterse a tratamientos térmicos, las muestras solo se separaran de estas después del tratamiento térmico y de haberse marcado para su identificación.
- Muestra obtenida por corte de una pieza: cuando se establezca por convenio previo, la muestra puede obtenerse por corte de una zona preestablecida de la pieza.  
Cuando por el tamaño de la pieza no puedan obtenerse probetas de las dimensiones indicadas, estas se establecerán por convenio previo.

PROBETAS: Las probetas deben ser de sección circular, obtenidas por mecanizado de la muestra. Las superficies de la zona calibrada debe ser lisa y libre de estrías transversales.

El eje de la probeta debe ser coincidente con el eje de la muestra.

La forma y dimensiones de las probetas serán establecidas en la norma particular del producto.

La probeta tipo A y B deben tener la forma de la figura y las medidas siguientes.

Características	Símbolo	Medidas de la probeta (mm)					larga
		Normales					
Diámetro de la barra de la muestra y diámetro de los extremos de amarre	D	13	20	30	45	30	
Diámetro de la zona calibrada	d	8 ± 0,1	12 ± 0,2	20 ± 0,5	32 ± 0,5	20 ± 0,5	
Longitud calibrada	L <sub>c</sub>	-	-	-	-	55 ± 0,5	
Longitud mecanizada	L <sub>m</sub>	21 <sup>+0,5</sup> <sub>0</sub>	25 <sup>+0,5</sup> <sub>0</sub>	30 <sup>+1</sup> <sub>0</sub>	33 <sup>+0,5</sup> <sub>0</sub>	105 <sup>+1</sup> <sub>0</sub>	
Longitud de extremo de amarre (mínima)	L <sub>a</sub>	25	25	60	45	60	
		15	25	30	45		
Longitud total (mínimo)	L <sub>t</sub>	71	75	150	123	225	
Radio de transición entre D y d (mínima)	r	25	25	25	25	25	
Diámetro para ejecución roscada	-	M12	M20	M27	M42	M27	

diámetro de la zona calibrada se determina antes del ensayo con una precisión de 0,05 mm.

Procedimiento: Se ajusta la probeta a las mordazas de la máquina de ensayo de forma tal que la carga aplicada sea axial. Se aplica a la probeta una carga de acción creciente, de modo uniforme, sin choques ni vibraciones hasta la rotura de la misma.

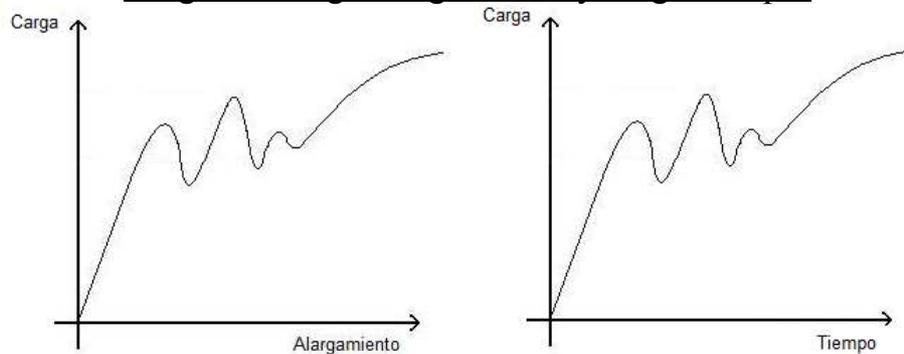
La velocidad de aplicación de la carga será inferior o igual a 50 kN/min.

La resistencia a la tracción de la probeta se obtiene dividiendo la carga máxima ( $F_m$ ) por el área de la sección inicial ( $S_0$ ) y se expresa con una aproximación de 1 MPa.

Informe de los resultados del ensayo:

- Número y fecha de aprobación de la norma utilizada.
- Tipo y diámetro de la barra de la muestra.
- Diámetro de la zona calibrada.
- Carga máxima alcanzada durante el ensayo en KN.
- Resistencia a la tracción en MPa.
- Observaciones del ensayo y la fractura.
- Temperatura del ensayo en caso de ser distinta a la del ambiente.

### Diagrama carga alargamiento y carga tiempo:

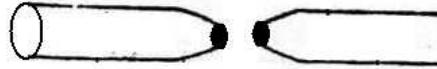
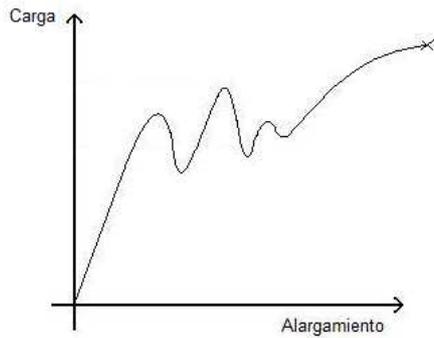


Existe una similitud entre los diagramas, por lo cual, debido a una cuestión de costos se puede usar el diagrama carga tiempo.

### DIFERENTES TIPOS DE FRACTURA:

Cuando el metal es sometido a un esfuerzo de tracción, es posible tener tensiones normales y tangenciales que tienden a separar o deslizar sus cristales o granos.

- **Fracturas dúctiles:** la ductilidad es la capacidad de un material de admitir grandes deformaciones residuales sin romperse.  
En los dúctiles las deformaciones son elásticas hasta cierto límite, las tensiones tangenciales provocan desplazamientos permanente en los planos cristalográficos dando lugar a deformaciones plásticas, que aumentan hasta alcanzan la rotura. Estas tensiones cortantes máximas tienen lugar a 45° respecto al eje longitudinal de la probeta.  
El tipo de fractura es cono-cráter.  
El color es gris oscuro mate.  
Las tensiones son de corte y tracción.  
La textura granular es fina.



- **Fractura Frágil:** la fragilidad es la capacidad de un material de destruirse sin presentar deformaciones residuales apreciables, es la propiedad opuesta a la ductilidad.

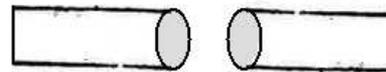
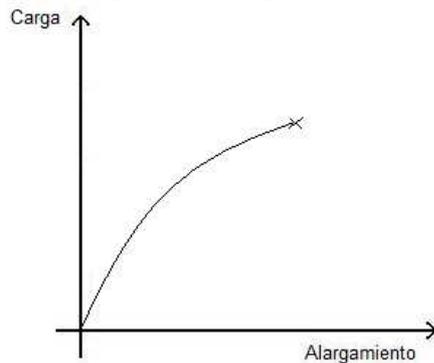
En los materiales frágiles no se producen deslizamientos evitando por consiguiente las grandes deformaciones, aun para valores máximos de esfuerzos tangenciales, por lo que la rotura se produce por separación o arrancamiento debido a la reacción de la tensión normal de tracción.

El tipo de fractura es plana.

El color es gris claro brillante.

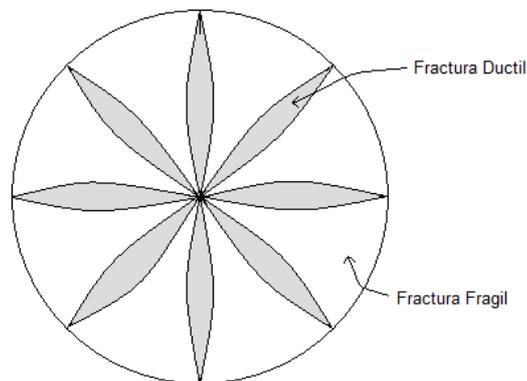
Las tensiones son de tracción.

La textura granular es gruesa.



- **Fractura combinada:** las piezas a las que se le han practicado trabajos mecánicos en frío presentan la fractura de la siguiente manera:

- ✓ La fractura es tipo flor.
- ✓ El color es mate en la parte dúctil y brillante en la parte frágil.
- ✓ La estructura granular es fina en la parte dúctil y gruesa en la parte frágil. }

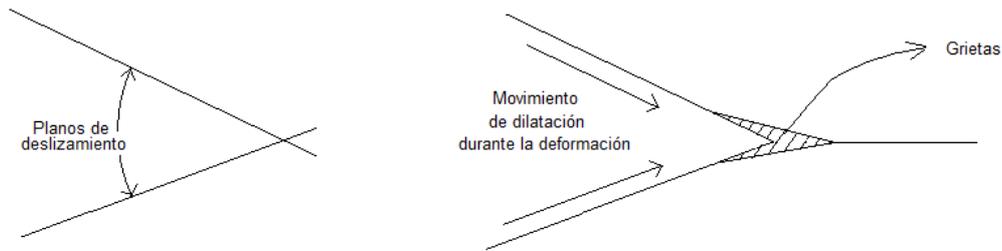


Es una combinación de la rotura de corte y tracción, el cual está dado por una rotura dúctil y frágil.

Las roturas dúctiles se desarrollan con importantes deformaciones plásticas y gran consumo de energía por deslizamiento producido por las tensiones tangenciales.

Surge como resultado de tres etapas: iniciación, propagación y rotura.

En la etapa de “iniciación” se forman cavidades o grietas que se propagan y amplían, pudiendo formarse por inclusiones indeformables, las que al no poder deformarse en forma conjunta con el metal hace, generar grietas (permite entender porque los metales puros presentan mayor tendencia a romper por deslizamiento)



En la etapa de “propagación” se produce el deslizamiento del metal existente entre las inclusiones, el que afectado a sucesivas deformaciones se reduce prácticamente a un punto y luego rompe por arrancamiento.

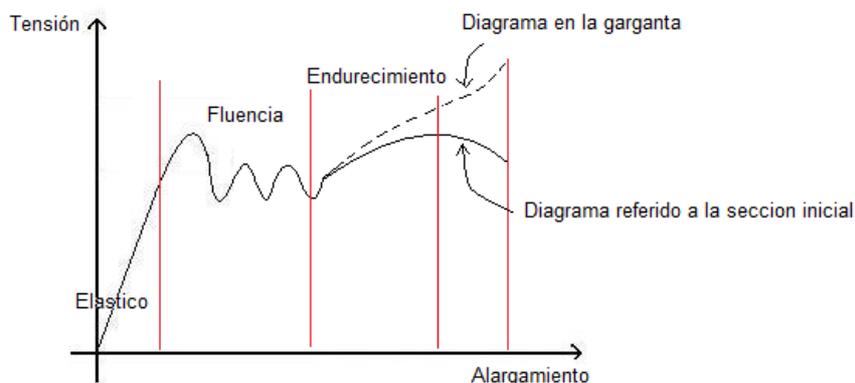
La etapa de “rotura” concluye por deslizamiento debido a fuertes tensiones tangenciales que se originan en el fondo de la grieta (que actúa como concentrador de tensiones).

En fracturas frágiles y dúctiles el mecanismo de iniciación es el mismo mientras que en la propagación difieren.

Las grietas frágiles se propagan por desgarramiento del metal en el fondo de la fisura ampliándose a través de los granos cristalinos por unión con otros más pequeños.

La velocidad de propagación aumenta con el tamaño de la grieta, estas grietas aumentan con la disminución de la temperatura o con el aumento de la velocidad del esfuerzo.

### Diagrama:



A partir de que se produce la estricción la sección disminuye más rápidamente que la carga aplicada por lo que en la zona del cuello la tensión sigue creciendo.

Esto no se refleja en el diagrama convencional porque en él la tensión se calcula en todos sus puntos con relación a la sección transversal inicial ( $S_0$ ).

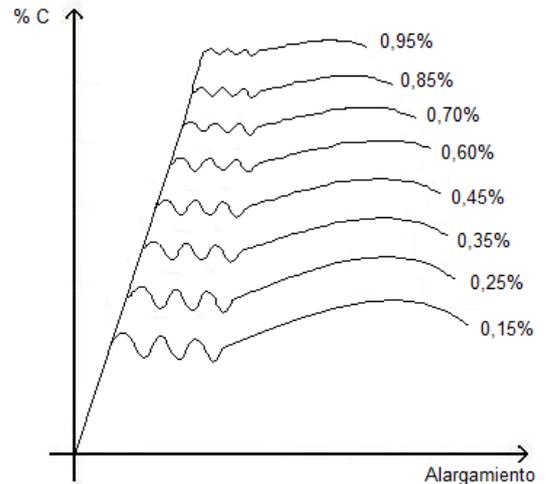
Si en cada instante se calcula la sección transversal real y con ella las tensiones, el diagrama que se obtendría sería el de las líneas de puntos.

### Períodos de fluencia para aceros de distinta composición química:

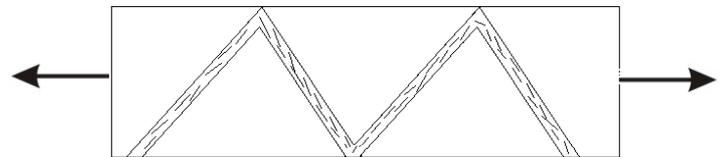
El período de fluencia es tanto más prolongado cuanto más bajo es el contenido de carbono y magnesio.

En las probetas cuando alcanzan el período de fluencia, aparecen en su superficie pulida unas líneas mate con una inclinación aproximada a  $45^\circ$  con respecto a la dirección del esfuerzo.

Esas líneas, llamadas líneas de Lüders van aumentando a medida que transcurre la fluencia cubriendo toda la superficie de la probeta.



Esas líneas representan las intersecciones internas con la superficie lateral de las capas delgadas del material de la probeta en que se ha producido una cierta deformación plástica, mientras que las porciones continuas aún permanecen elásticas.



Cuando menor es el tamaño de grano del material, tanto más alto es su límite de fluencia.

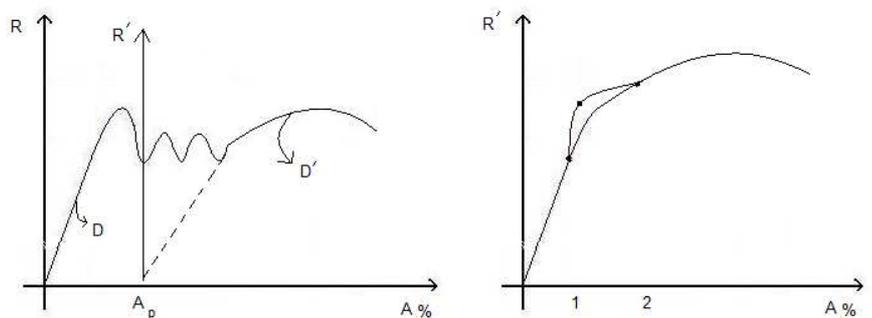
### ENDURECIMIENTO POR DEFORMACIÓN EN FRÍO DEL ACERO:

El endurecimiento se obtiene por la deformación del acero.

En el cual pasamos su límite de fluencia y luego se descarga, con lo cual queda en la probeta cierta deformación plástica " $A_p$ ".

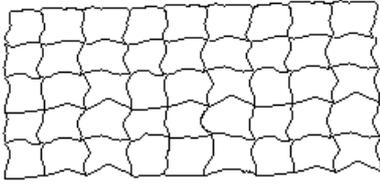
Vemos que si cargamos nuevamente la probeta, no tenemos período

de fluencia dado que la deformación plástica ocasionó un acomodamiento de la estructura cristalina. También se observa que si se carga la probeta y se descarga, no regresa por el mismo camino, a esto se lo llama efecto Bauschinger (es un ablandamiento que produce un alargamiento que puede durar algunos segundos y



dependiendo del acero a veces algunos minutos, esto se debe al fenómeno de alargamiento de los granos).

El endurecimiento por deformación, logra aceros de mejor calidad sin cambiar su composición química.



Estructura D (no endurecida)



Estructura D' (endurecida)

El proceso inverso de D' a D puede lograrse con tratamiento térmico de difusión donde:

$$T_r = K * T_f$$

$T_r$  = Temperatura de recristalización (°K)

$T_f$  = Temperatura de fusión (°K)

K = Constante,  $K \approx 0,4$

## **TEMA 9: 2º PARTE ENSAYO DE COMPRESIÓN.**

### LIMITACIONES DEL ENSAYO:

- Dificultad para colocar la pieza en el centro, teniendo como consecuencia esfuerzos que no son de compresión.
- Dificultad de mantener una fuerza estable.
- Aumentar el tamaño de la probeta en forma proporcional.
- La existencia de rozamiento entre el plano y la probeta cuando comprime la misma.
- No se puede modificar la probeta para hacer una guía de colocación en el centro del plato.
- Se necesita gran capacidad de carga.
- Es importante que durante el ensayo de compresión no interfieran condiciones extrañas, que hagan aparecer otros esfuerzos como flexión debido al pandeo. Esto obliga a guardar una relación entre la altura y las dimensiones transversales de la probeta.
- El empleo de probetas de pequeño tamaño implica: mayores dificultades.
- Las probetas de gran tamaño requieren máquinas de gran potencia, al mismo tiempo dan lugar a esfuerzos considerables en las inmediaciones de los platos de

apoyo, debido al intenso rozamiento entre el plato y la probeta. Por esta razón se requiere de cierta relación mínima entre la altura y la dimensión más reducida de la sección transversal, lo que no debe bajar de 2 y ser mayor a 10 para evitar el pandeo.

- Otro requisito es el perfecto paralelismo entre las caras de apoyo de la probeta, así como que estos sean planas y perpendiculares al eje longitudinal.

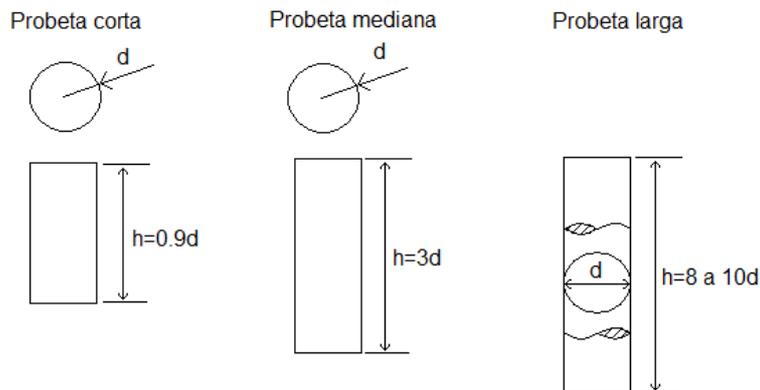
### PROBETAS:

Para probetas hasta la rotura, las probetas pueden ser cilíndricas o prismáticas.

En el caso de pruebas mecánicas, para el control de deformaciones plásticas o permanente, las probetas deben ser cilíndricas con las siguientes dimensiones aproximadas  $d_0 > 20$  mm y  $L_0 = 3 d_0$ , su base debe ser perfectamente plana, con superficies rectificadas en las probetas metálicas y perpendiculares al eje. El paralelismo entre las bases se admite una tolerancia de 0,02 mm.

### PROBETAS METÁLICAS:

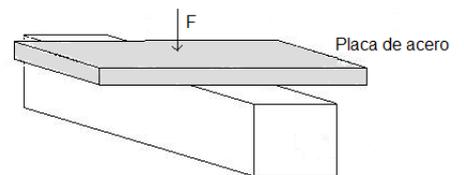
La norma ASTM F9 indica que hay tres tipos de probetas cilíndricas.



### PROBETAS DE MADERA:

#### Ensayo perpendicular a la fibra:

Se usan probetas prismáticas según normas IRAM 9547 de medida (50x50x152) mm

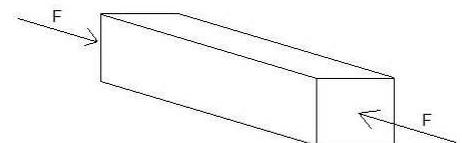


#### Ensayo paralelo a las fibras:

Se usan probetas prismáticas según normas IRAM 9551 de medidas (50x50x200) mm.

Estas probetas deben prepararse libre de defectos y no presentar fibras torcidas.

Las tolerancias en sus dimensiones será de  $\pm 1\%$  a una humedad de  $15 \pm 1\%$



## PROBETAS DE HORMIGÓN:

Se utilizan probetas cilíndricas normalmente de  $d_0 = 150$  mm y  $L_0 = 300$  mm ( $L_0/d_0 = 2$ ) de norma IRAM 1546.

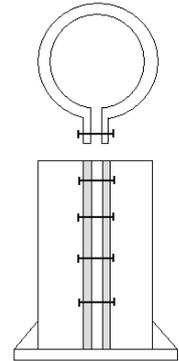
El diámetro de las probetas se determina promediando las longitudes de 2 diámetros normales medidos, asegurando el 0,1 mm en la mitad de la altura del espécimen.

La altura de la probeta incluyendo las capas de encabezado se miden asegurando un error menor a 1mm.

### Preparación de las probetas:

Una vez armado el molde se procede a colocar el hormigón, la cuchara se desplazara alrededor del molde con el fin de asegurar una distribución simétrica, luego para un buen asentamiento se le asignan 25 golpes con una varilla de punta redonda.

Se debe llenar totalmente el molde con un ligero sobrante que se elimina con el enrasado final. Una vez apisonada y alcanzada la capa de suspensión, se tapa el molde para evitar que se evapore el agua.

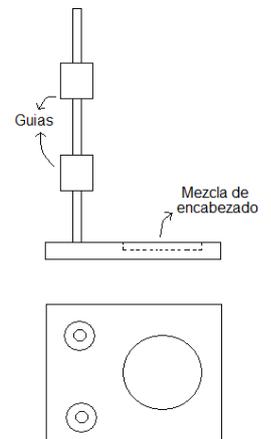


### Encabezado de las probetas:

Luego de 3 o 4 días de fraguado del hormigón se efectúa el encabezado de la probeta para tener una mejor superficie de apoyo.

El encabezado consiste en agregar sobre la superficie del hormigón una capa de mortero de cemento (75% azufre en polvo, 5% grafito, 20% arena cuársica).

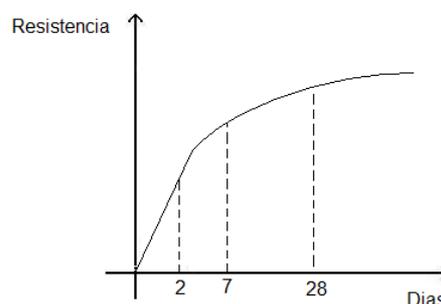
Esto se consigue calentando este cemento a una temperatura de  $165^{\circ}$  C luego se lo vuelca en el molde e inmediatamente se pone la probeta de hormigón sobre las guías y se la baja hasta que se sumerja la superficie que se va a encabezar, se espera unos segundos hasta que solidifique el cemento y se saca la probeta encabezada en un extremo. La terminación superficial del encabezado la da la superficie pulida del molde. El terminado del mortero debe ser del menor espesor posible y no debe desprenderse ni rajarse durante el ensayo.

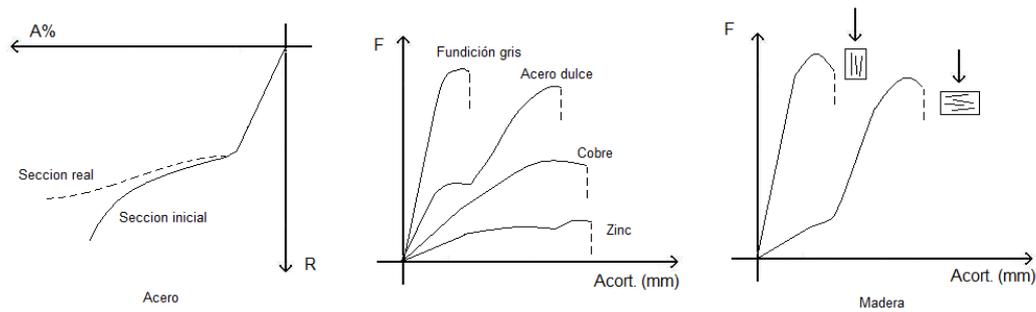


### Variación de la resistencia:

El hormigón acusa una resistencia variable con la edad, conforme va adquiriendo dureza el material ligante, crece rápidamente al principio y lentamente después de los 28 días.

### Diagrama carga- acortamiento:





El diagrama carga-acortamiento es muy similar al de tracción en algunos puntos.

La fundición gris, siendo un material duro y frágil, su aplastamiento es siempre muy reducido. La rotura es siempre con separación de las partes. La resistencia a la compresión es 5 veces mayor que a la tracción.

El acero dulce es tenaz y su aplastamiento es más sensible, tiene una parte que es elástica, luego sigue una fluencia (semejante a la tracción). Por encima de la elasticidad del aplastamiento progresa rápidamente. La resistencia a la tracción y compresión son prácticamente iguales.

El zinc es un material plástico por lo que en el diagrama no aparecen tramos rectos, los aplastamientos son considerables aún con pequeñas cargas.

En el caso de la madera distinguimos:

- La carga paralela a la fibra, donde se distingue un período proporcional siguiendo de otro curvo pequeño que denota la deformación que experimenta la probeta.
- La carga perpendicular a la fibra, al contrario que el caso anterior, al principio se observa una deformación acentuada, correspondiente a la distribución de los espacios interfibras incrementándose luego considerablemente la carga sin mayores deformaciones.

Tensión de rotura: ( $R_C = F_{\max}/S_0$ )

Cuando se alcanza la rotura por efectos de la fuerza de compresión, aquella puede producir formando conos denominados de compresión (bronce, fundiciones), según planos inclinados (algunas maderas, fundición, hormigón, etc.) o bien en forma de grillas cuando se presenta igual dureza en toda su superficie por la compresión de las partes duras con otras más blandas (aceros forjados).

Límite de fluencia:

En los aceros maleables no se calcula, pues el único valor útil del ensayo resulta, en estos casos, la tensión al límite de proporcionalidad.

Carga en el límite de aplastamiento:

Se determina para el valor de la carga ( $F_{0,2\%}$ ) que produce un acortamiento permanente igual al 0,2% de la longitud inicial entre trazos de referencia ( $L_0$ ). Este ensayo se realiza sobre materiales muy plásticos, tenaces y deformables como el cobre, zinc, plomo, etc. que no presentan claramente el momento de fluencia o de rotura.

Resistencia estática a compresión:  $R_C = F_{\max}/S_0$

Se determina con la carga de rotura y la sección inicial.

En el caso de maderas es obtenida por medio de la carga de forma paralela a las fibras.

### Acortamiento de rotura:

Es similar al alargamiento de rotura por tracción

$$A\% = \frac{h_0 - h_u}{h_0} * 100$$

### Ensanchamiento transversal:

Es similar a la estricción en la tracción

$$Z\% = \frac{S_0 - S_u}{S_0} * 100$$

### Módulo de elasticidad a compresión:

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

Generalmente en aceros coincide con el de tracción y su determinación práctica se realiza para metales que admiten proporcionalidad entre tensión y deformación.

### Limite de proporcionalidad:

$$R_h = F_h / S_0$$

### Máquina de ensayo:

La máquina de ensayo podrá ser de cualquier tipo, capacidad suficiente y cumplirá las siguientes exigencias:

- Sistema de regulación de carga: estará provisto de un sistema de regulación de carga tal que estas puedan aumentar en forma continua y sin saltos bruscos.
- Platos de carga: dispondrá de 2 platos de acero los cuales comprimen la probeta. La superficie de contacto de los platos tendrá una dureza no menor que 55 HRC y un tratamiento tal que la profundidad de la pieza tratada no sea menor que 5 mm.

Los platos serán planos y estarán rectificadas. No deben presentar un apartamiento (paralelismo) mayor que 0,01 mm por cada 100 mm de diámetro de la probeta. Los platos serán rectificadas cuando presenten un apartamiento que sea el doble del indicado o sea 0,02 mm.

La medida menor de la superficie de los platos será mayor a 3% como mínimo al diámetro de la probeta. El plato inferior tendrá marcas que sirvan de guía para el correcto centrado de la probeta, las marcas no tendrán medidas transversales mayores que 1 mm.

El espesor del plato será tal que se asegure su indeformabilidad. Las medidas mínimas serán 25 mm para platos nuevos y 22,5 para platos usados, estas medidas son para el plato inferior.

- Rótula: el plato superior estará montado sobre una rótula que permita efectuar giros no menores que 4° alrededor del eje vertical y de cualquier valor en el eje horizontal. La rótula tendrá un diámetro mayor que el 75% del diámetro de la probeta.
- Elementos de lectura de cargas: para que sean válidas las lecturas deben estar comprendidas entre el 20% y el 90% de la capacidad máxima de la escala empleada. Se debe disponer de un indicador de la carga máxima alcanzada.

### Procedimiento de ensayo:

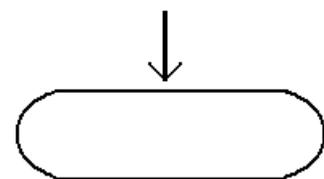
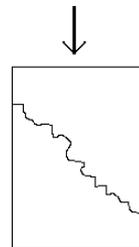
- Se deben limpiar cuidadosamente las superficies planas de contacto de los platos superior e inferior y también ambas bases de la probeta.
- Se coloca la probeta en el inferior de apoyo y se centra sobre su superficie, tomando como referencia las marcas.
- Al iniciar el acercamiento del bloque superior a la probeta, la parte móvil de este se hace rotar en forma manual, con el fin de facilitar un contacto uniforme y sin choques.
- A continuación se aplica la carga de forma continua y sin choques bruscos, de manera que el aumento de la tensión media sobre la probeta sea de  $0,4 \text{ MPa/s} \pm 0,2 \text{ MPa/s}$ .
- La carga se aplica sin variación hasta el momento que la probeta se deforme rápidamente antes de la rotura. A partir de ese momento, no se modifican los mandos de la máquina hasta que se produzca la rotura. Se registra el valor de la carga máxima alcanzada, el tipo de rotura y demás información relacionada con la rotura.

### Informe:

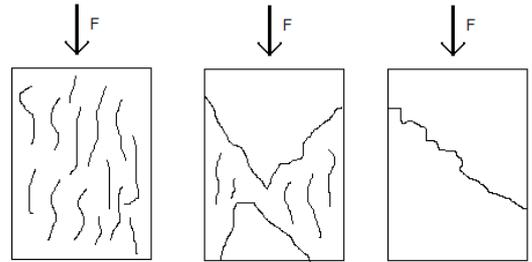
- ✓ La identificación de la probeta.
- ✓ El diámetro y la altura de la probeta en mm.
- ✓ La carga máxima en daN.
- ✓ La resistencia a la compresión en MPa.
- ✓ La edad de de la probeta ensayada.
- ✓ Los efectos observados en la probeta.
- ✓ El tipo de rotura.

### Diferentes tipos de fractura:

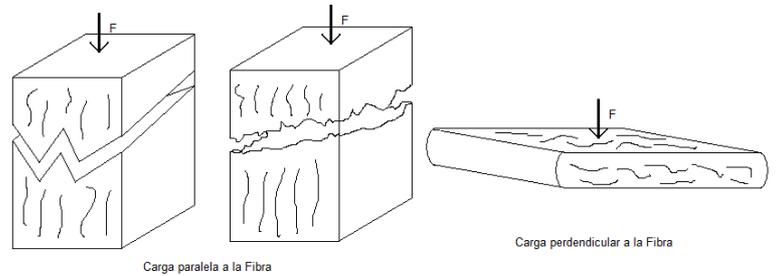
- Metales quebradizos: es una fractura característica a  $45^\circ - 60^\circ$  generada por el esfuerzo de corte que realiza el esfuerzo de compresión. Se da en fundiciones, aluminio, etc.
- Metales dúctiles: es una fractura característica, quedando la probeta como un medallón similar a un barril. Se da en aceros dúctiles, plomo, polietileno, etc.



- Hormigones: es un material quebradizo y su fractura es por fisuras encolumnadas (longitudinales) por corte de forma a 45° - 60° y tipo reloj de arena o conos de compresión.



- Maderas: cuando la carga es paralela a las fibras en maderas duras y secas, la probeta rompe por corte a 45° - 60°, esta se debe a que las cargas comprimen las fibras en su longitud, estas sufren un cierto pandeo que las va plegando



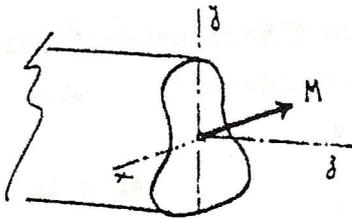
hasta la rotura, la que se produce a uno o varios planos. En caso de cargas perpendiculares a las fibras estas se comprimen unas con otras de modo que la probeta se acorta de forma tal que las caras laterales se curvan hacia afuera para desprenderse en el momento de la rotura como prismas más o menos triangulares.

# TEMA 10: 1º PARTE. ENSAYOS DE FLEXIÓN.

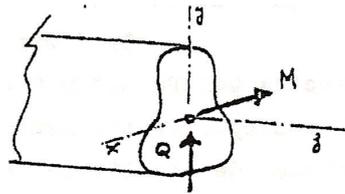
## TIPOS DE FLEXIÓN:

**Flexión pura:** Si efectuamos la reducción de fuerzas al baricentro de una sección recta de una barra, a uno y otro lado de la misma, obtenemos un par normal al plano de la sección.

**Flexión transversal:** Si efectuamos la reducción de fuerzas al baricentro de una sección recta de una barra, a uno y otro lado de la misma, obtenemos un par normal al plano de la sección con esfuerzos de corte.

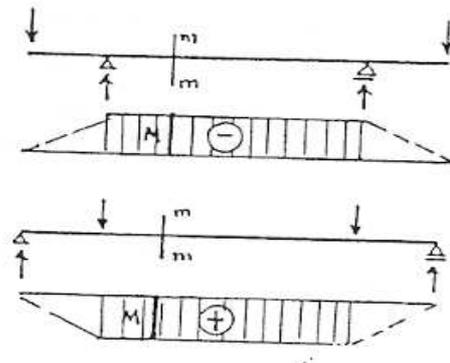
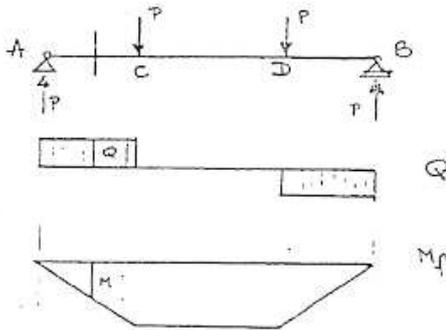


Flexión simple pura

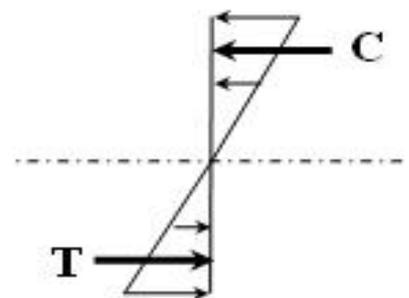


Flexión simple transversal

Ejemplos:



En ambos casos y por efecto del flexionamiento las fibras inferiores de la probeta sufren alargamiento (tracción) y las fibras superiores un acortamiento (compresión), hecho que pone de manifiesto que están sometidos a esfuerzos de tracción y compresión respectivamente separados por la línea neutra que no sufre ni alargamiento ni acortamiento.

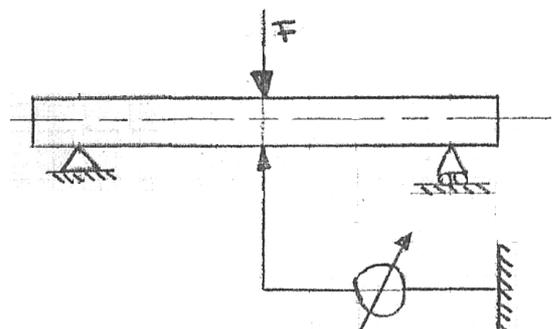


## FLEXÍMETRO MECÁNICO.

Consta de un comparador que se puede apoyar en la parte inferior de la probeta o sobre el aplicador de la carga.

No permite medir la línea neutra.

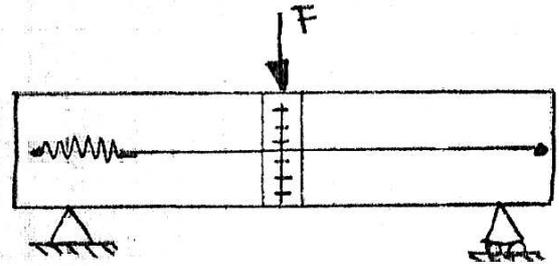
Es preciso y de lectura directa.



## FLEXÍMETRO DE LA LÍNEA NEUTRA.

Consta de un alambre tensado mediante un resorte, sujetado en soportes, este alambre coincide con la línea neutra y a la pieza se le adhiere una regla milimetrada.

Es un instrumento poco preciso y de lectura directa.



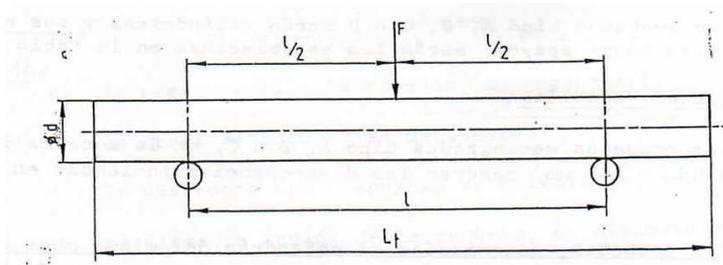
## PROBETAS.

Las probetas para el ensayo de flexión se diseñan para cada caso particular teniendo en cuenta el tipo de material.

## ENSAYO DE FLEXIÓN EN FUNDICIÓN DE HIERRO GRIS. (IRAM 510)

Establecer el método de ensayo para determinar la resistencia a flexión estática y la flecha. Se somete la probeta a una carga de flexión en forma gradual y uniforme hasta la rotura.

### Símbolos y designaciones.



d: diámetro de la probeta  
F: carga de rotura  
l: distancia entre apoyos  
 $L_t$ : longitud total de la probeta

## PROBETAS.

Probetas fundidas en estado bruto de colada.

Se obtendrá de la misma colada con lo cual se fabrican las piezas. Estas probetas se fundirán separadamente y se enfriarán en condiciones similares a la de la pieza, eliminándose las imperfecciones propias del proceso de fabricación.

Tipo de probeta	Diámetro de la probeta [mm]		Longitud total $L_t$ [mm]	Distancia entre apoyos [mm]
	d	Discrepancias		
A	13	+/- 1,5	300	260
B	20	+/- 1,5	450	400
C	30	+/- 2,5	650	600
D	45	+/- 2,5	950	900

## PROBETAS MECANIZADAS.

Las probetas mecanizadas se obtendrán del mismo modo que las probetas fundidas en estado bruto de colado y luego se mecanizan.

Tipo de probeta	Diámetro de la probeta [mm]			Distancia entre apoyos [mm]
	Fundida	Discrepancias	Mecanizada	
A	20	+/- 1,5	13	100
B	30	+/- 1,5	20	100
C	45	+/- 2,5	30	100

Las probetas correspondientes a piezas que se someten a tratamiento térmico, serán sometidas al mismo tratamiento simultáneamente.

## PROCEDIMIENTO.

Se coloca la probeta entre dos apoyos de forma cilíndrica (fijas o giratorias) y se aplica la carga en la mitad de la distancia entre los apoyos, por medio de un rodillo (fija o giratoria). La carga se aumenta en forma gradual y uniforme a una velocidad tal que la rotura se produzca en un tiempo mínimo, según la tabla, lo que se verifica con un cronometro cuyo valor escalar sea de 0,1.

Tipo de probeta	Diámetro de la probeta [mm]	Tiempo mínimo de rotura [mm]
A	13	15
B	20	20
C	30	30
D	45	45

Para determinar la flecha se utiliza un fleximetro que permite leer el 0,1.

### Calculo.

$$R_f = 25F.l / d^3 \quad R_f = \text{resistencia a la flexión (MPa)}$$

F = carga de rotura (daN)

l = distancia entre apoyos (mm)

d = diámetro de la probeta (mm)

## ENSAYO DE FLEXIÓN EN HORMIGÓN DE CEMENTO PÓRTLAND. (IRAM 1572)

Establecer el método de ensayo de tracción por flexión de probetas o testigos de hormigón empleando el método de la viga simplemente apoyada con carga en los tercios de la luz.

Las probetas deberán cumplir con respecto a su preparación y acondicionamiento con las normas:

IRAM1680: Preparación y curado en obra de probetas para ensayo de flexión.

IRAM1672: Preparación y curado en laboratorio de probetas para ensayo de flexión.

Los testigos deberán cumplir con respecto a su preparación y acondicionamiento con la norma:

IRAM1551: Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido.

## PROCEDIMIENTO.

La distancia entre apoyos y puntos de aplicación de la carga deben permanecer constante durante el ensayo, la carga debe aplicarse normal a la probeta.

La dirección de las reacciones debe mantenerse paralela a la dirección de la carga.

La relación entre la distancia desde el punto de aplicación de la carga hasta la reacción más próxima y la altura de la viga debe ser menor que 1.

Se coloca la probeta por ensayar con su eje mayor sobre los apoyos, centrándolo entre ellos.

Si no se tiene contacto perfecto entre la probeta y los apoyos, se pulen las superficies de contacto. La carga debe ser aplicada en forma gradual y uniforme, la carga puede aplicarse en forma rápida hasta llegar aproximadamente al 50% de un valor máximo, después se mantendrá en régimen tal que el aumento de tensión en la fibra externa no exceda de 0,017 Mpa/s

Una vez efectuado se mide si la probeta en la fractura para determinar el ancho y la altura promedio.

Si la fractura se produjera fuera del tercio medio de la luz, el ensayo debe descartarse.

## Calculo.

$$R=Q.L / 10.b.h^2$$

R= modulo de rotura (MPa)

Q= carga máxima registrada en la maquina (daN)

L=luz de ensayo (cm)

b= ancho medio de la probeta (cm)

h= altura media de la probeta (cm)

## Informe.

Identificación de la probeta o testigo.

Ancho, y alto promedio, con una aproximación de 1 mm.

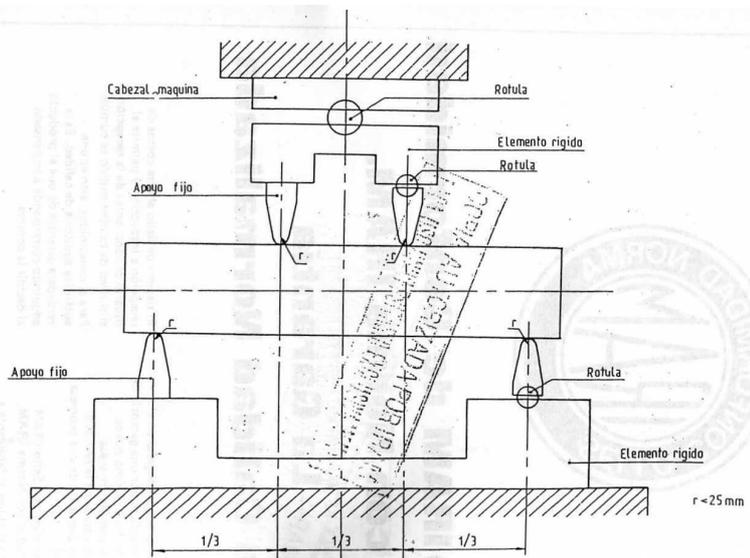
Luz entre apoyos (cm)

Largo máximo (daN)

Modulo de rotura, calculado con una aproximación de 0,5 Mpa.

Defectos o anómalos que presenta la probeta ensayada.

Edad de la probeta ensayada.



## ENSAYOS DE FLEXIÓN EN MADERA.

### Probetas.

Se emplearan probetas de sección transversal cuadrada de (50x50x750)mm

Las probetas utilizadas se obtienen de acuerdo a la norma TRAM 9523 y el acondicionamiento según la norma IRAM 9514.

### Procedimiento.

La carga se aplica por medio de una cabezal de metal o madera cuya velocidad se regula de forma continua a 2,5 mm/min.

La probeta debe colocarse de modo que en los puntos de apoyo no se produzcan aplastamientos, roces u otros esfuerzos que no sean flexión, el dispositivo debe permitir la libre deformación de la probeta.

Se ajusta la luz del ensayo a 70 cm, la carga se aplica en el plano medio de la luz y en el plano tangencial más cercano a la medida.

Las flechas producidas por las cargas crecientes, se miden en la mitad de la luz, a intervalos adecuados.

Producida la falla de la probeta, se la describe y también la forma en que fue progresando

Una vez finalizado el ensayo se mide la humedad según norma IRAM 9532.

### Cálculos.

Tensión en el límite de elasticidad,  $T_{el} = 3.F_1.L / 2.b.h^2$  (KPa)

$F_1$  = carga con el límite de elasticidad (KN)

$L$  = separación entre apoyos (m)

$b$  = ancho probeta (m)

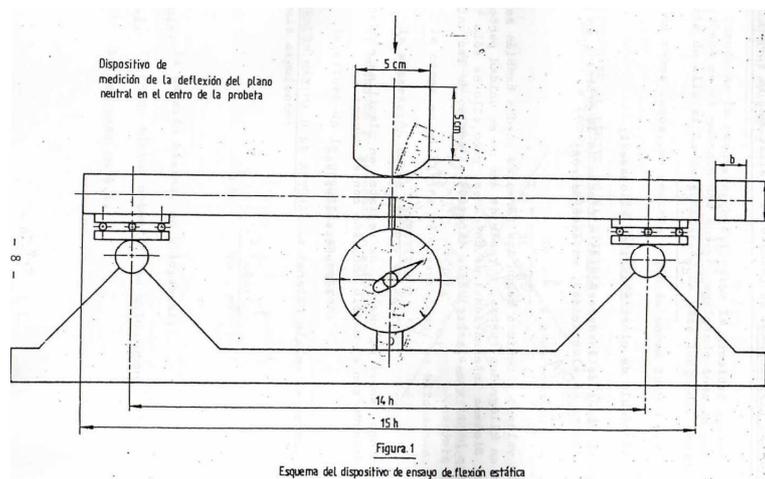
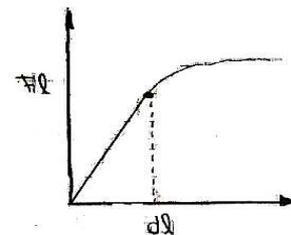
$h$  = altura probeta (m)

Tensión máxima de rotura,  $T_{max} = 3.F_{max}.L / 2.b.h^3$  (KPa)

$F_{max}$  = carga máxima obtenida (KN)

Modulo de elasticidad,  $Me = 25.F_1.L^3 / dl.b.h^3$  (KPa)

$dl$  = valor de la deformación o flecha de la probeta en el límite de elasticidad (cm).

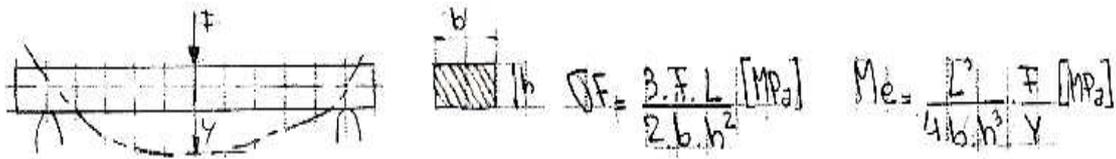


## ENSAYO DE FLEXIÓN EN PRFV.

Normas: ISO 178: Propiedades en flexión en plásticos rígidos.  
ISO 291: Acondicionamiento

### Probetas.

La norma establece obtener al menos, dos productos en cada sentido del material  
El espesor es el del PRFV, el ancho, la longitud y la luz son función del espesor.



### Roturas o fracturas.

-Fundición gris: se produce por tracción, es ortogonal plana, de grano grueso, brillante gris claro.

-Acero: se produce por tracción o compresión o pandeo localizado.

-Madera: si es seca por tracción, si es húmedo por compresión, en las apoyos por aplastamiento o corte.

-PRFV: se produce por tracción o compresión, depende del lado de la fibra con respecto a la fuerza.

## **TEMA 10: 2º PARTE ENSAYOS DE DOBLADO.**

### Ensayo de doblado. (IRAM-IAS U500-103)

Este ensayo no es aplicable a los productos de aceros siguientes: chapas y flejes de espesores menores de 3 mm, alambres y tubos, cuyo método de ensayo se establece en normas particulares.

El ensayo consiste en someter a una probeta recta, sólida, prismática o de sección circular, a una deformación plástica por doblado, sin invertir el sentido de la flexión durante el ensayo.

La consigna es que no debe aparecer fisura alguna en la parte inferior de la probeta. El ensayo puede ser satisfactorio o rechazado.

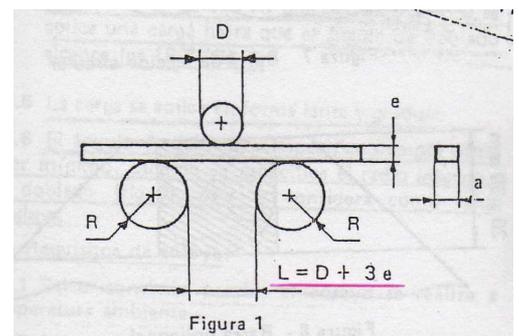
### Símbolos y designaciones.

e: espesor o diámetro de la probeta

a: ancho de la probeta

L: distancia entre soportes o abertura del bloque de forma U o de forma V

$\alpha$ : ángulo de doblado



R: radio de los soportes  
 D: diámetro del mandril  
 $R_f$ : radio de curvatura del mandril cuña  
 r: radio interior de la porción doblada de la probeta luego del ensayo.

### Probeta.

Cuando la probeta sea de sección rectangular, los cantos se redondean con un radio menor a 1/10 del espesor. Sin embargo el ensayo en probetas sin redondear es válido y el resultado es satisfactorio.

El ancho de la probeta debe estar comprendido entre 25 y 50 mm. El espesor de la probeta para productos semiterminados o forjados debe ser 20 +/- 5 mm si no es que se establece otra medida por convenio previo. Las probetas cortadas de productos planos y perfiles tienen el mismo espesor que el material de la muestra. Si este espesor es mayor a 25 mm, puede reducirse por mecanizado una de las caras hasta un espesor no menor a 25 mm, la cara no mecanizada debe ser un externa durante el ensayo.

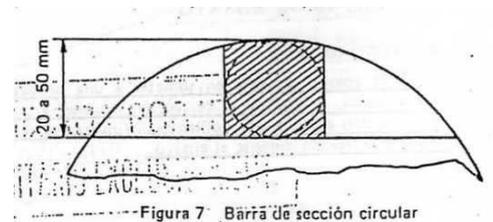


Figura 7 - Barra de sección circular

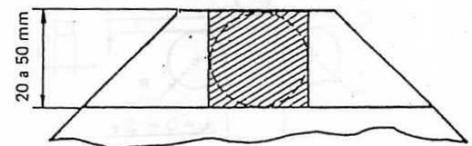


Figura 8 - Barra poligonal

Las barras circulares o poligonal regulares se ensayan en su forma de entrega, si el diámetro de la sección circular o el diámetro del círculo inscrito en la sección poligonal no sobrepasa de 50 mm.

Si el diámetro es mayor a 50 mm, se prepara una probeta como en la figura, de manera que se obtenga un diámetro del círculo inscrito comprendido entre 20 y 50 mm.

La cara no mecanizada debe ser la externa durante el ensayo.

### Procedimiento.

#### -Ensayo sobre soportes:

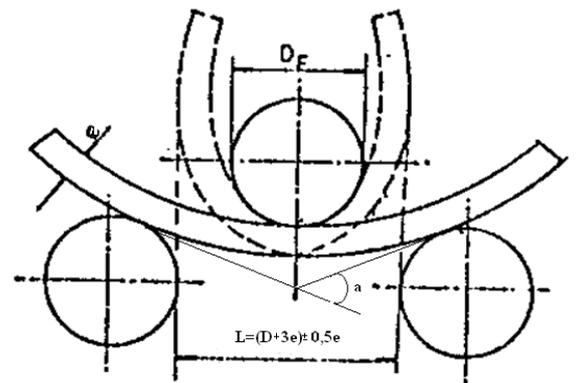
Se coloca la probeta sobre los soportes cilíndricos y se dobla la misma por la mitad de su longitud por medio de un mandril cilíndrico. El ancho de los soportes y el mandril deben ser mayores que el de la probeta.

El radio de los soportes y el diámetro del mandril deben establecerse en la norma particular del producto.

Salvo que se establezca lo contrario la distancia entre soportes debe ser

$$L=(D+ 3e)\pm 0,5e$$

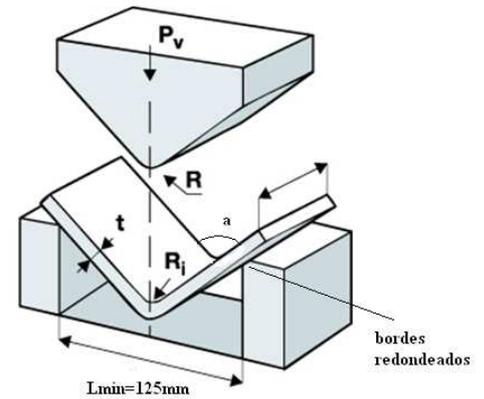
El doblado se realiza hasta que una de las ramas de la probeta forme con la prolongación de la otra un ángulo  $\alpha$  especificado.



### -Ensayo sobre bloques:

Se coloca la probeta sobre un bloque en forma de U o V según el mandril o cuña que se use y se dobla la misma por la mitad de su longitud.

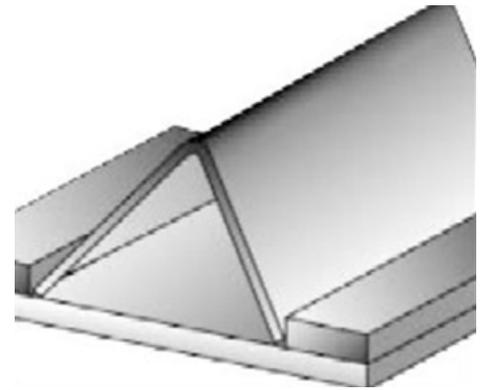
Las superficies del bloque en forma de V deben formar un ángulo de  $60^\circ + 10^\circ$  y la abertura debe ser como mínimo de 125 mm. Los bordes deben ser redondeados. La longitud de la probeta es generalmente de 250 mm.



### -Doblado sobre las ramas de probeta:

Cuando no sea posible doblar la probeta al ángulo especificado, el doblado se continúa presionando directamente en los dos extremos de las ramas de la probeta.

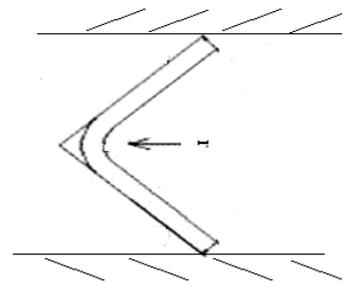
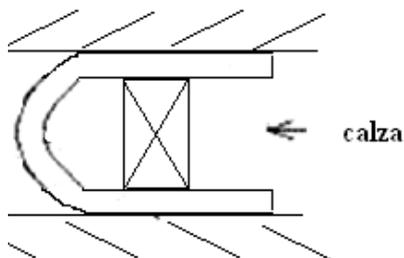
Con este método es muy difícil mantener el radio de doblado especificado r. Dobra a  $180^\circ$ .



Se puede realizar de dos formas: doblado a fondo (las ramas quedan en contacto) o permanecen paralelas (doblado sobre calza).

Primero la probeta se dobla hasta  $90^\circ$  con los métodos anteriores y luego se coloca la probeta en una prensa.

En todos los casos la carga se aplica en forma lenta y gradual. El ángulo de doblado se especifica siempre como valor mínimo. Cuando se especifica el radio externo r de doblado se considera como valor máximo.



## REQUISITOS DEL ENSAYO.

El ensayo se realiza a temperatura ambiente, salvo convenio previo. Luego del ensayo se realiza una inspección a simple vista de la zona externa de la probeta doblada, salvo que la norma particular establezca otro método.

La forma de extracción de la probeta y la interpretación del aspecto superficial deben establecerse en la norma particular del producto.

## Ensayo de uniones soldadas.

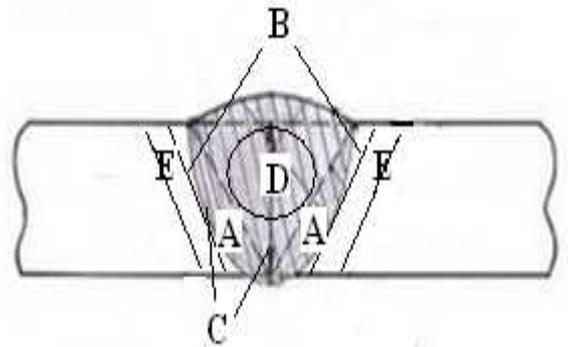
Los métodos mecánicos de uniones soldadas pueden ser:

- Por tracción según norma IRAM 102,
- Por flexión por choque norma IRAM 106,
- Por doblado norma IRAM 609,
- Por doblado norma AWS B4.0.

Nosotros estudiaremos el último caso.

## Definiciones importantes.

- A. Zona de penetración: es la zona limitada por la superficie original del material base y la línea de fusión;
- B. Línea de fusión: es el límite entre la zona fundida y la zona no fundida en el material base;
- C. Zona soldada: es la zona donde el material base ha sido fundido y mezclado con el correspondiente material de aporte;
- D. Zona de soldadura pura: es la parte central de la zona soldada, donde el material de aporte ha sufrido la menor difusión con el material base;
- E. Zona de transición: es la zona de material base cuya estructura se modifica totalmente o parcialmente por la acción del calor de la soldadura.



## Ensayo de doblado de probetas soldadas según norma AWS B4.0.

Este ensayo se usa para determinar la firmeza, soldabilidad y ductilidad de las uniones soldadas en planchas, chapas, piezas fundidas, piezas forjadas, tubos y caños. También se usa para clasificar procedimientos de soldadura y soldadores.

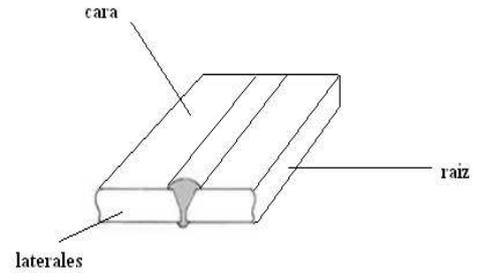
## Probetas.

Deberán ser preparadas mediante el corte de la unión y el metal base para formar probetas de sección transversal aproximadamente rectangular. La superficie cortada será designada como laterales de la probeta, las otras dos superficies serán llamadas superficie de cara y de raíz.

Dependiendo de si el eje de la soldadura es transversal o paralelo al eje longitudinal de la probeta y de cual superficie (cara o raíz) está sobre el lado convexo de la probeta doblada se puede distinguir 5 casos:

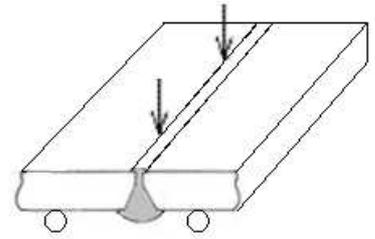
### 1) Transversal de cara:

La soldadura es transversal al eje longitudinal de la probeta, que es doblada de tal modo que la superficie de la cara de la soldadura sea la superficie convexa de la probeta. Este tipo de probetas exponen defectos en la cara y en la raíz, pero no en el interior.



### 2) transversal de raíz:

La soldadura es transversal al eje longitudinal de la probeta, que es doblada de tal modo que la superficie de la raíz de la soldadura sea la superficie convexa de la probeta. Este tipo de probetas exponen defectos en la cara y en la raíz, pero no en el interior.

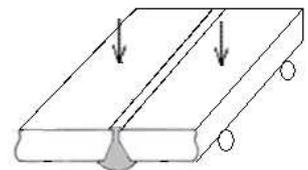


### 3) Transversal lateral.

La soldadura es transversal al eje longitudinal de la probeta, en este caso la probeta esta inclinada de tal forma que la superficie lateral de la soldadura sea la superficie convexa de la probeta doblada. En este ensayo se exponen defectos en el interior de la soldadura (falta de fusión, poros, escamas, etc) y se usa para probetas de gran espesor ( $e > 19$  mm).

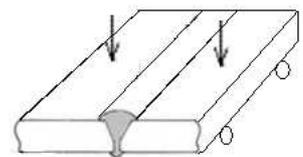
### 4) Longitudinal de cara.

La soldadura es paralela al eje longitudinal de la probeta, que es doblada de tal forma que la cara de la soldadura sea la superficie convexa de la probeta doblada, con este tipo de probeta se evalúa la ductilidad de la soldadura. Además en el metal base se aprecia la zona afectada por el calor y en la soldadura la zona dilatada adyacente a la línea de fusión (grietas prematuras). Se utiliza mucho esta probeta cuando el material de aporte y el base son distintos.



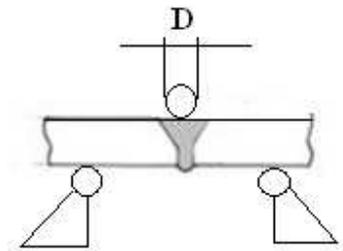
### 5) Longitudinal de raíz.

La soldadura es paralela al eje longitudinal de la probeta, que es doblada de tal forma que la raíz de la soldadura sea la superficie convexa de la probeta. Se utiliza mucho esta probeta cuando el material de aporte y el base son distintos. Al igual que lo anterior se utilizan cuando la resistencia del material de aporte es bastante más alto que el material base.



### Procedimiento de ensayo.

En el puente móvil de la maquina universal de ensayos se montan los soportes destinados al apoyo de la probeta. Los rodillos se posicionan equidistantes al punto de aplicación de la carga. La probeta se coloca siempre sobre los rodillos y se flexiona la misma mediante un cilindro. La elección del diámetro del cilindro de carga depende de la relación de doblado establecida en la norma particular del material a ensayar.



## TEMA 10: 3º PARTE. ENSAYOS DE CORTE Y TORSIÓN.

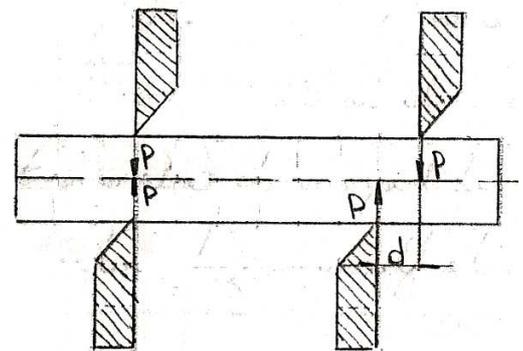
### Principales casos de corte.

El ensayo de corte tiene poca aplicación porque no permite deducir algunas características mecánicas importantes.

Existe sollicitación al corte cuando las fuerzas resultantes que actúan sobre la probeta están contenidas en el mismo plano de la sección y actúan perpendicularmente al eje longitudinal de la probeta, o lo que sería igual, que las fuerzas exteriores ocasionen un desplazamiento de la sección transversal. Ejemplos donde podríamos considerar corte puro son: remaches, pernos, corte de chapa con tijera, etc.

### Inconvenientes del esfuerzo de corte.

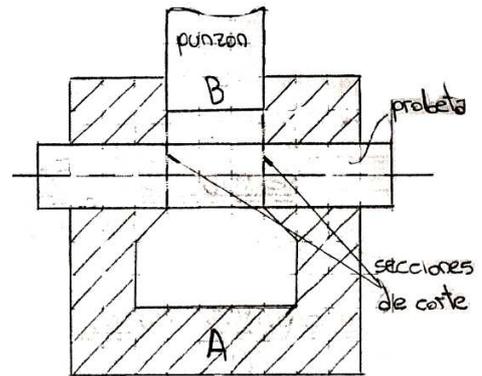
En el momento en que la herramienta toma contacto con el material, podemos suponer que cumple con la condición de corte puro, pero al penetrar en la chapa las fuerzas dejan de actuar sobre el mismo plano, provocando un pequeño momento flector. Esto nos demuestra que el esfuerzo de corte no puede ser obtenido prácticamente como esfuerzo puro, pues siempre va acompañado de uno de flexión. En la práctica se calcula como si fuera corte puro con la formula:  $\tau = P_{max}/S_0$



### ENSAYO DE CORTE.

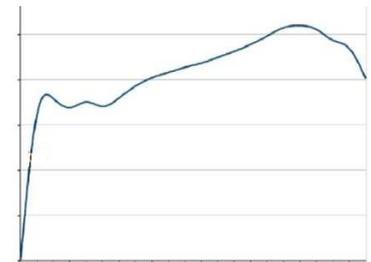
Se utilizan maquinas universales provistos de los accesorios necesarios. El accesorio para realizar el ensayo consta de un punzón que se desliza con muy poco juego dentro de la pieza A, produciendo el corte de la probeta en 2 secciones con lo cual  $\tau = P_{max}/2.S_0$ . La aplicación de la carga se realiza de la forma gradual, creciente hasta conseguir el corte de la

probeta. Puede presentar el inconveniente de un esfuerzo de flexión, debido a que la probeta puede actuar como una viga apoyada en sus extremos, con una carga uniformemente repartida, por lo que podría suponerse que al disminuir el ancho B, se soluciona el problema, pero esta dimensión está limitada por el aumento del esfuerzo de compresión que tiene lugar en la probeta y el punzón.



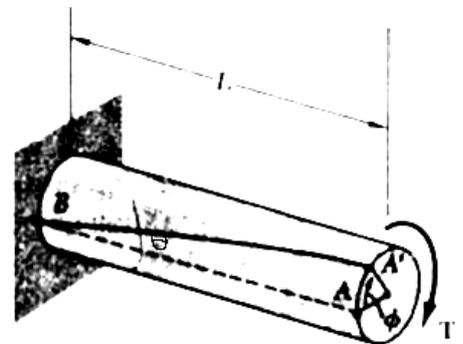
### Diagrama del ensayo.

Comparando el diagrama de corte puro con el de tracción para un mismo material, se puede ver que desde un punto de vista cualitativo ambos son semejantes. En el diagrama de corte puro también aparece la zona elástica, la de fluencia y de endurecimiento del material.



### ESFUERZOS DE TORSIÓN.

Se obtiene al hacer actuar en forma normal al eje longitudinal de la pieza, pares o fuerzas de igual magnitud y sentido contrario, que tienden a producir el giro de las secciones en sus planos. El esfuerzo de torsión simple, solo se obtendrá en piezas cilíndricas y tubos huecos, de ejes rectos, cuyas superficies exteriores no varían por el efecto producido, lo que implica aceptar que las secciones transversales se mantendrán planas, comportándose, en la deformación como superficies de revolución en donde los radios iniciales siguen siéndolo en las secciones desplazadas.



En las piezas de sección distintas a la circular el contorno varia, los radios de giro se deforman y las secciones transversales no se conservan planas, debido a lo cual el esfuerzo deja de ser un simple para transformarse en un estado complejo de tensiones.

$$\Phi = Mt \cdot L / G \cdot I_p$$

$$\theta = \Phi / L$$

$$\tau_{max} = Mt / W_c$$

$\Phi$  = ángulo de torsión entre dos secciones distanciadas una longitud L.

$\Theta$  = ángulo de torsión unitario (en radianes por unidad de longitud)

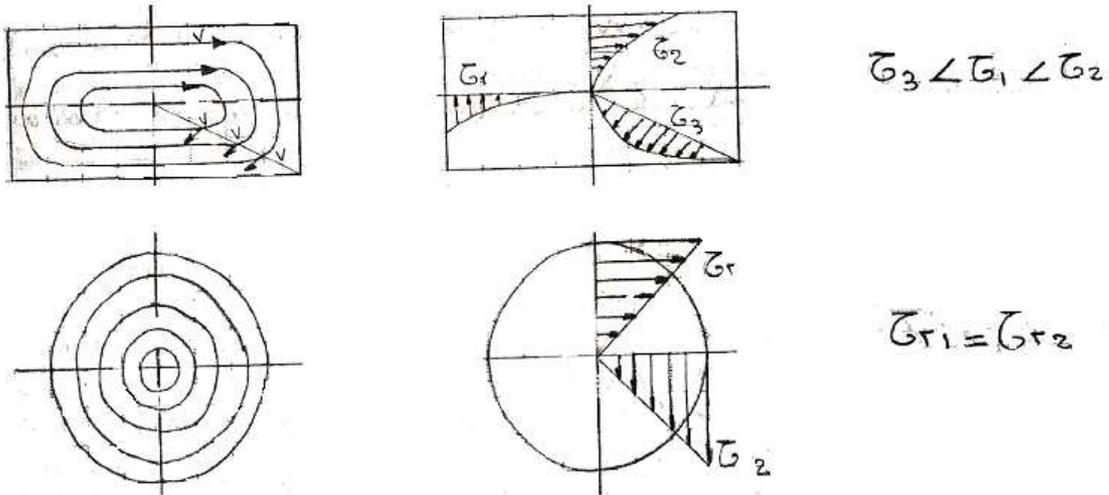
$T_{max}$  = tensión tangencial máxima

$W_t$  = modulo resistente a la torsión

$G$  = modulo de elasticidad transversal

$I_p$  = inercia polar

La distribución de los esfuerzos en la sección la podemos comparar con el movimiento plano de un fluido líquido, dentro de un recipiente con la forma de la sección de la pieza, de eje longitudinal vertical y coincidente con el de rotación (analogía hidráulica).



Cabe notar que en el centro de la sección no existen tensiones tangenciales. Las líneas de corriente son equivalentes al de las fibras, entonces tenemos que:

Líneas de corriente  $\equiv$  líneas de tensión

Velocidad  $\equiv$  tensión

Aquí podemos ver que en los cuerpos prismáticos las tensiones tangenciales toman distintos valores, que producirán el cambio de forma o alabeo de la sección.

### Donde se realiza el ensayo.

Se realiza en los metales frágiles, muy especialmente en las fundiciones y en los alambres para resortes, árboles, etc., para verificación de sus propiedades. El ensayo de torsión se realiza gradualmente en casos especiales en donde se quiere determinar el comportamiento plástico de deformación.

Las propiedades mecánicas se obtienen determinando los momentos pero el límite de proporcionalidad, de fluencia o convencional de fluencia, y de rotura, todo esto se obtiene del gráfico al igual que en el ensayo de tracción.

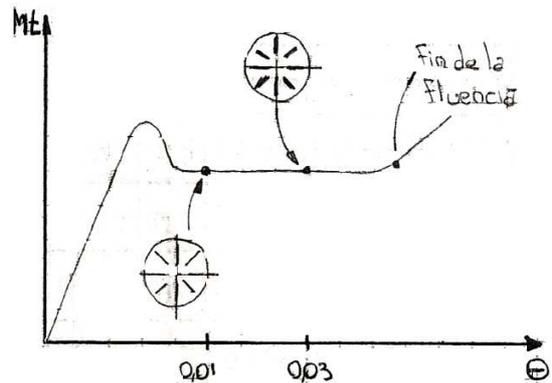
### Probetas.

Deberán ser cilíndricas pudiéndose construir con extremos ensanchados para facilitar su amarre en las mordazas. Puede variar sus dimensiones pero deberá ser de longitud calibrado  $L_c \approx 10D$ , siendo aconsejable el uso de probetas tubulares de  $8 \leq D_e \leq 10$  donde  $e$ =espesor de la pared del tubo.

### Diagrama de ensayo.

Sobre la ordenada se representa el momento torsor ( $M_t$ ) y sobre abscisa los desplazamientos que la probeta experimenta. El diagrama es similar al de tracción aunque no son directamente comparables por la disminución de la sección en la tracción. La fluencia se presenta en los materiales dúctiles en el cual sobre la sección de la probeta se notan bandas de deslizamiento (zonas de deformación localizada) como aros ennegrecidos de forma triangular con el vértice orientado hacia el baricentro. Se originan cuando las fibras

externas alcanzan la tensión tangencial al límite de fluencia propagándose en forma radial ensanchándose y multiplicándose hasta cubrir prácticamente toda la sección en el instante que el material abandona el periodo de fluencia. En materiales que tienen fluencia es posible el endurecimiento mecánico al igual que en la tracción. Es usado para realizar las barras trefiladas usadas en construcción.



## TEMA 11: ENSAYO DE DUREZA

### DUREZA

La dureza es una propiedad mecánica de los materiales consistente en la dificultad que existe para rayar o crear marcas en un material por otro sin ser rayado por aquel

De este modo se puede establecer una escala de dureza y fue Mohs quien ha dado una lista de 10 materiales numerados de manera tal que al aumentar la numeración el material es más duro.

La dureza depende de otras propiedades como ser:

- La elasticidad del material
- Su cohesión atómica
- Su estructura cristalina
- De la resistencia
- De las tensiones internas

DUREZA	MINERAL
1	Talco (se puede rayar fácilmente)
2	Yeso (se puede rayar con más dificultad)
3	Calcita (se raya con una moneda de cobre)
4	Fluorita (se raya con un cuchillo)
5	Apatita (se raya difícil con un cuchillo)
6	Feldespatos (se raya con cuchillo de acero)
7	Cuarzo (raya el vidrio)
8	Topacio
9	Corindón (solo se raya con diamante)
10	Diamante (mineral natural más duro)

Hay diversas metodologías de ensayo no comparables entre sí que son:

### IDENTACIÓN ESTÁTICA

Fijan la dureza de los materiales por la resistencia que oponen a la penetración. Los métodos son:

- Brinell (1900)
- Rockwell (1920)
- Rockwell superficiales (1922)
- Vickers (1925) (micro dureza, la marca es muy pequeña)
- Knoop (1940) (micro dureza, la marca es muy pequeña)
- Shore A (para elastómeros) y D (para plásticos) (1965)

## IDENTACIÓN DINÁMICA:

Consiste en medir la altura de rebote de una bolilla de masa conocida cuando golpea la superficie del material a rayar. Los métodos son:

- Shore (1908)
- Skiero (1967)
- Hahs Zumer (1950) se usa en maderas
- Brinell dinámico
- Existen mas ensayos

## DUREZA POR RAYADO:

Miden el ancho de la estría o surco que deja un penetrador cuando es deslizado sobre la superficie de ensayo. Los métodos son:

- Mohs (1822)
- Existen más ensayos

## DUREZA POR DESGASTE

Determina la dureza por la velocidad de desgaste o por el desgaste de la pieza y la consecuente diferencia de masa. Los métodos son:

- Deval (1940)
- Los Ángeles (1942)
- Existen mas ensayos

## ENSAYO DE DUREZA BRINELL

### PRINCIPIO DE MEDICIÓN

Consiste en hacer penetrar una bolilla de acero de diámetro D bajo la acción de la carga F, sobre la superficie del material y medir el diámetro promedio d de la impresión producida en dicha superficie, luego de imprimir la carga

### SÍMBOLO Y DESIGNACIONES:

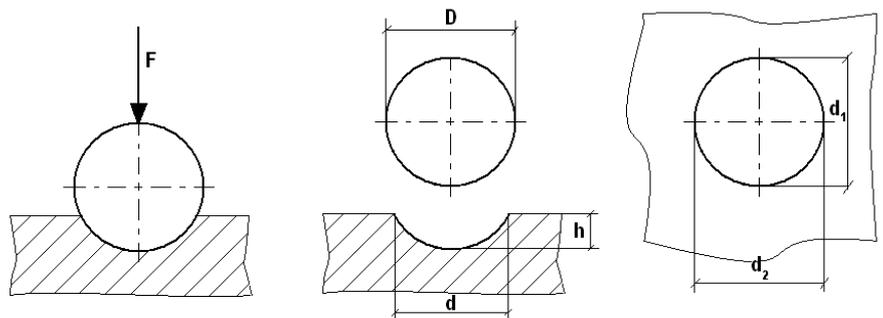
D: diámetro de la esfera (mm)

F: fuerza de ensayo (N)

H: profundidad de la impresión

D: diámetro medio

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$



$$\text{Dureza Brinell HB} = \text{CTE} * \frac{\text{fuerza de ensayo}}{\text{area de la superficie de la impresion}}$$

$$\text{Dureza Brinell HB} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{donde cte.} = 1/g = 1/9.80665 = 0.102$$

Se utilizan esferas de acero endurecido para durezas menores a 350 HB y se representa **HBS**

Se utilizan esferas de metal duro (carburo de tungsteno) para durezas menores a 650 HB y se representa **HBW**

Los símbolos HBS o HBW son precedidos por el valor de la dureza y seguidos por un índice que indica las condiciones de medición en el siguiente orden:

1. Diámetro de la esfera en mm (10, 5, 2.5, 2, 1) se usa el más grande siempre que la probeta lo permita
2. un número representando la fuerza de medición
3. duración de la aplicación de la fuerza en segundos, si es diferente del tiempo especificado (entre 10 y 15 segundos)

#### REQUISITOS DE LA BOLILLA:

Los diámetros de las bolillas y sus tolerancias son los de la tabla. La bolilla debe estar pulida y libre de defectos superficiales. Su después del ensayo la bolilla preserva deformaciones o defectos superficiales debe ser eliminada y el ensayo anulado.

<b>Diámetro bolilla (mm)</b>	
Nominal	Discrepancia
10	± 0.0045
5	± 0.004
2.5	± 0.0035
2	± 0.0035
1	± 0.0035

#### PROBETA:

La superficie a ensayar debe ser libre y plana y estar libre de óxidos, lubricantes y materiales extraños. Al prepararla debe evitarse que se produzcan modificaciones en el material por calentamiento o trabajo en frío.

El espesor de la probeta en la zona de medición debe ser 8 veces la profundidad de impresión ( $e \geq 8h$ ). Después de la remoción no debe ser visible ninguna deformación en el lado opuesto a la impresión.

## PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:

El ensayo debe realizarse entre 10 y 35 °C. Para mediciones bajo temperatura controlada la misma debe ser de 23 °C ± 5°C.

La fuerza está establecida en una tabla y debe elegirse de forma que el diámetro de la impresión **d** esté comprendido entre 0.24 **D** y 0.6 **D** ( $0.24 D \leq d \leq 0.6 D$ )

La relación  $0.102 F / D^2$  debe elegirse de acuerdo al tipo de material y a su dureza, de acuerdo a la siguiente tabla:

<b>MATERIAL</b>	<b>0.102 F / D<sup>2</sup></b>
Aceros y fundiciones	30
Aleaciones de Al, Cu y bronce	10
Cobre y aluminio	5
Aleaciones de Pb, Estaño, etc	2.5

Se presentan a continuación los símbolos y las fuerzas utilizadas con bolilla de diámetro 10 mm, ya que son las recomendadas por las norma

<b>Símbolo de dureza</b>	<b>D (mm)</b>	<b>0.102 F / D<sup>2</sup></b>	<b>F (kN)</b>
HBS (HBW) 10 / 3000	10	30	24.42
HBS (HBW) 10 / 2000	10	15	14.71
HBS (HBW) 10 / 1000	10	10	9.807
HBS (HBW) 10 / 500	10	5	4.903
HBS (HBW) 10 / 250	10	2.5	2.452
HBS (HBW) 10 / 100	10	1	0.980

Siempre que el espesor de la probeta permita debe utilizarse el mayor diámetro de bolilla posible para utilizar mayor área representativa de la misma.

Apoyar la probeta firmemente en el soporte, evitando desplazamientos.

Aplicar la carga lenta y gradualmente en forma perpendicular a la superficie de la probeta.

El tiempo transcurrido desde el tiempo de la aplicación hasta el valor de la fuerza final debe ser

$$2s < t < 8s$$

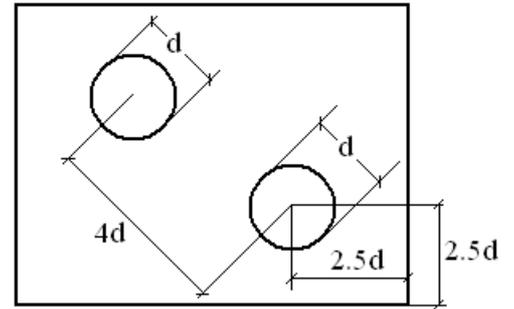
Mantener la fuerza aplicada entre 10 s y 15 s

Para materiales con dureza mayor que 150 HB, la distancia entre centros de 2 impresiones adyacentes debe ser como mínimo 4 veces el diámetro de impresión y la distancia del centro de la impresión al borde de la probeta debe ser como mínimo 2.5 veces el diámetro de impresión.

Para materiales con dureza menor que 150 HB, la distancia entre centros de 2 impresiones adyacentes debe ser como mínimo 6 veces el diámetro de impresión y la distancia del centro de la impresión al borde de la probeta debe ser como mínimo 3 veces el diámetro de impresión

Ejemplo (<150 HB):

El microscopio utilizado para medir el diámetro de impresión debe tener una aproximación de  $1\ \mu\text{m}$ . Para superficies planas se entra con el diámetro de impresión, el diámetro de la bolilla y la relación  $0.102\ F / D^2$  a una tabla anexa a la norma y se obtiene la dureza (la tabla tiene un rango de 100 a 650 HB)



### VENTAJAS:

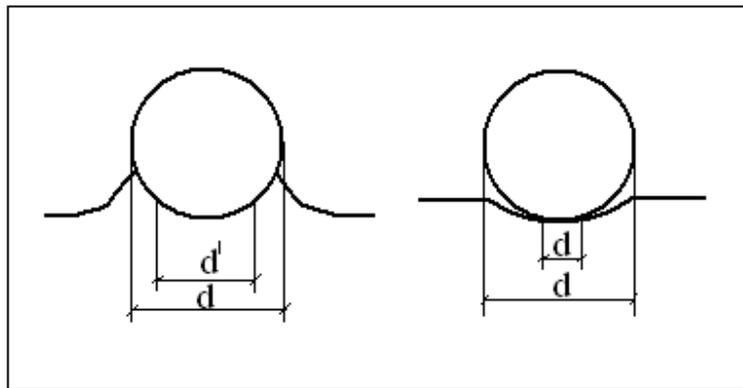
Es un método muy bueno para materiales heterogéneos ya que abarca una buena superficie de impresión. No necesita una máquina específica y es muy tradicional.

### DESVENTAJAS:

Es de lectura indirecta, tiene errores de apreciación. Se necesitan muestras relativamente grandes, deja huellas muy grandes.

No es apto para materiales delgados, ni para materiales con tratamiento térmico superficial, no es apto para superficies de revolución.

No es apto para materiales muy duros o muy blandos debido a que se confunden las huellas.



## ENSAYO DE DUREZA VICKERS

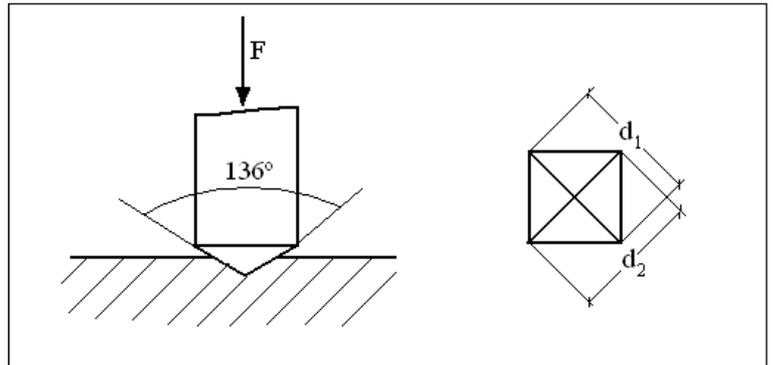
### PRINCIPIO DE MEDICIÓN:

Consiste en introducir un penetrador de diamante con forma de pirámide recta, de base cuadrada, bajo la acción de la carga  $F$ , en la superficie del material y medir las diagonales de la impresión producida en dicha superficie después de retirar la carga.

La dureza Vickers se obtiene del cociente entre la carga de ensayo  $F$  y el área proyectada de la impresión, considerada como una pirámide recta de base cuadrada y que tiene en el vértice el mismo ángulo que el penetrador.

SÍMBOLOS Y DESIGNACIONES:

- $\alpha$ : ángulo del vértice del penetrador  $136^\circ$
- $F$ : fuerza de ensayo (N)
- $d$ : media aritmética de las diagonales
- $d = (d_1 + d_2) / 2$



$$\text{Dureza Vickers HV} = \text{CTE} \frac{\text{fuerza de ensayo}}{\text{área de la superficie de impresión}}$$

$$\text{Dureza Vickers HV} = 0,102 \frac{2F \text{sen} \frac{136}{2}}{d^2} \approx 0,1891 \frac{F}{d^2}$$

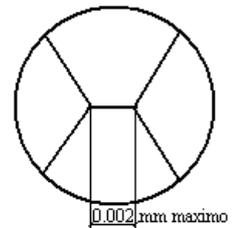
El símbolo HV se precede por el valor de la dureza, y a continuación se coloca el valor de la carga de ensayo y el tiempo de aplicación de la carga si este fuera distinto de 10 a 15 (s)

REQUISITOS DEL PENETRADOR:

Es un diamante con forma de pirámide recta de base cuadrada con un ángulo en el vértice de  $136^\circ \pm 0.5^\circ$

Las 4 caras del penetrador deben estar igualmente inclinadas con respecto al eje del penetrador e interceptarse en un punto o en una recta no mayor a 0.002 mm

El penetrador debe estar pulido y libre de grietas y defectos.



PROBETAS:

Las probetas en la superficie a medir deben ser lisas, planas, libres de óxido y lubricantes y debe tener un acabado superficial que me permita realizar la correcta medición del largo de las diagonales de la impronta.

En el caso de microdureza se recomienda usar el proceso de pulido / electropulido

La preparación debe hacerse tratando de minimizar la alteración de la superficie-

El espesor de la probeta debe ser como mínimo  $e \leq 1.5d$  Después de la remoción de la fuerza no debe ser visible ninguna deformación en las caras opuestas a la impronta.

## PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:

La temperatura de ensayo es entre **10 y 35 °C** Si es con temperatura controlada entonces **20 ± 2 °C**

La probeta debe apoyarse en un soporte rígido libre de vibraciones y tendrá montado un microscopio con aproximación **± 2 °C μm** de forma que permita localizar fácilmente la impresión.

Hacer que el penetrador entre en contacto con la superficie a ser medida y aplicar la fuerza en dirección normal a la superficie sin choques ni vibraciones hasta alcanzar el valor determinado en un tiempo de entre **2 y 8 segundos**. Luego mantener aplicada la fuerza por **10 a 15 segundos**.

La distancia entre el centro de impresión y los bordes debe ser mayor o igual a **2.5d** y entre centro de impresiones mayor o igual a **4d**

Medir el largo de las diagonales, tomar la media aritmética para calcular el valor de la dureza.

Para superficies planas la diferencia entre los dos largos de las diagonales no debe superar el 5% Si esta diferencia fuera mayor esta información debe ser colocada en el informe del ensayo.

Para mediciones en superficies curvas deben aplicarse correcciones que se adjuntan en tablas en la norma.

Las fuerzas a utilizarse son las siguientes:

DUREZA		MICRODUREZA			
Símbolo	Valor de F [N]	Símbolo	Valor de F [N]	Símbolo	Valor de F [N]
HV 5	49.03 (5 kg)	HV 0.2	1.961 (0.2 kg)	HV 0.01	0.09807 (0.01 kg)
HV 10	98.07 (10 kg)	HV 0.3	2.942 (0.3 kg)	HV 0.015	0.1471 (0.015 kg)
HV 20	196.1 (20 kg)	HV 0.5	4.903 (0.5 kg)	HV 0.02	0.1961 (0.02 kg)
HV 30	294.2 (30 kg)	HV 1	9.807 (1 kg)	HV 0.025	0.2452 (0.025 kg)
HV 50	490.3 (50 kg)	HV 2	19.61 (2 kg)	HV 0.05	0.4903 (0.05 kg)
HV 100	980.7 (100 kg)	HV 3	29.42 (3 kg)	HV 1	0.9807 (0.1 kg)

## VENTAJAS:

- Usa un solo indentador, siempre con ángulo  $\alpha = 136^\circ$  en el ataque
- Puedo hacer microdureza
- Puede medir materiales muy duros
- Me permite medir piezas con tratamiento superficial
- Me permite medir la dureza grano por grano y componente por componente de cada grano
- Fácil de medir **d** porque están bien definidas

## MICRODUREZA KNOOP Norma IRAM IAS U500 – 78

### PRINCIPIO DE MEDICIÓN:

El ensayo consiste en introducir en el material y en dirección perpendicular a su superficie un penetrador de diamante con forma de pirámide de base rómbica bajo la acción de una fuerza **F** y medir la diagonal mayor de pirámide luego de eliminada la acción de la carga para determinar luego el valor de la dureza Knoop.

### SÍMBOLOS Y DESIGNACIONES:

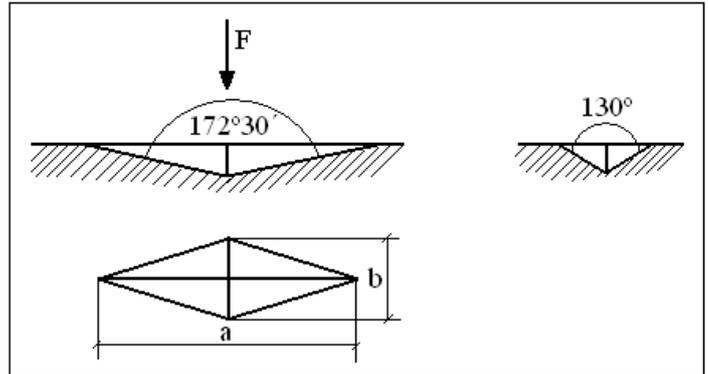
$$\alpha_1 = 172^\circ 30'$$

$$\alpha_2 = 130^\circ$$

F = Carga de ensayo [N]

a = diagonal mayor [mm]

b = diagonal menor [mm]



El penetrador tiene la forma indicada con el fin de que la recuperación elástica no afecte el valor de la dureza.

$$\text{Dureza Knoop HK} = \frac{\text{fuerza de ensayo}}{\text{área de la superficie proyectada de la impresión}}$$

$$\text{Dureza Knoop HK} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{ab}{2}} = \frac{F}{\frac{a^2}{14}} = \frac{F}{0,07a^2}$$

El símbolo HK se precede por el valor de la dureza y se coloca a continuación el valor de la carga de ensayo y el tiempo de permanencia de la carga cuando este sea diferente a 10 - 15 segundos

### REQUISITOS DEL PENETRADOR:

La constante C del penetrador es  $0.07028 \pm 1\%$

Las 4 caras de la pirámide estarán igualmente inclinadas con respecto al eje del penetrador y cortarse en un punto o en una línea que no debe ser mayor a  $1 \mu\text{m}$

El penetrador tendrá un alto grado de pulido y no presentara grietas o defectos

### PROBETA:

Su selección debe ser de tal forma que sea representativa del material

La superficie a medir deberá estar libre de óxido y lubricante y debe tener una terminación superficial que debe permitir una identificación nítida del perímetro de la impresión en el campo del microscopio.

El espesor mínimo debe ser  $e \geq 0.3 a$

Durante la preparación de la superficie deben tomarse precauciones con el fin de evitar alteraciones por efecto de origen térmico o mecánico.

### PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El ensayo se realiza a temperatura ambiental. Condiciones controladas  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$   
Durante la ejecución del ensayo debe evitarse choques y vibraciones  
aproximación entre penetrador y probeta debe realizarse en forma lenta y gradual  
La pieza a ensayar deberá apoyarse sobre una superficie rígida. En caso de piezas cilíndricas deben estar apoyadas en bloques en “V”

La maquina debe tener montado un microscopio de apreciación  $2\text{ }\mu\text{m}$  o 4X que permita localizar fácilmente la impresión dentro del campo visual

La distancia entre el centro de impresión y los bordes debe ser  $\geq a\text{ }2.5d$  y entre centro de impresiones  $\geq a\text{ }4d$

La carga **F** se aplica en 2 segundos y se mantiene 10 – 15 segundos

### ENSAYO DUREZA SHORE Norma IRAM 113.003

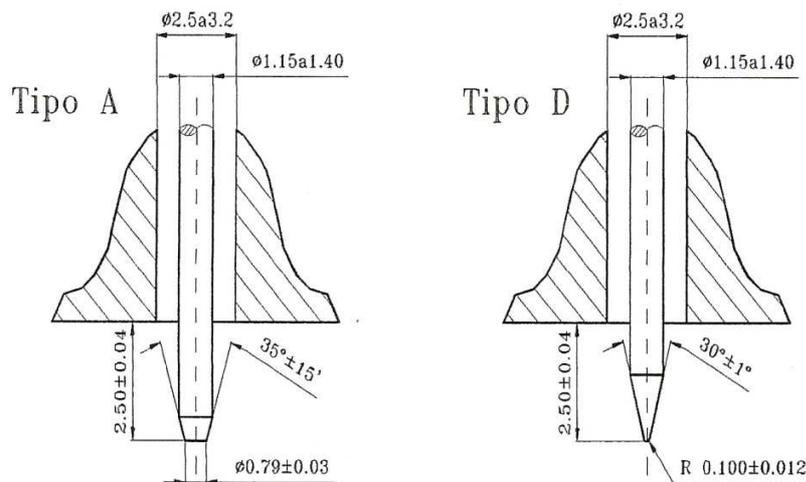
#### PRINCIPIO DE MEDICIÓN:

Permite determinar la dureza de los cauchos vulcanizados y algunos plásticos rígidos mediante durómetro Shore.

El método no es aplicable a tejidos recubiertos

Se especifican dos tipos de durómetros de acuerdo a la forma y dimensiones de la aguja de penetración

- Shore tipo A: para elastómeros (blandos) Rango de 10 a 90 HSA
- Shore tipo D: para plastómeros (duros) Rango de 30 a 100 HSD



El indentador es de Acero al Carbono, rectificado y pulido, de dureza  $\geq 94\text{ HRB}$

La fuerza de penetración se aplica mediante un resorte calibrado y su valor es:

$$F_A = 0.550 + 0.075 D_A \text{ (N)}$$

$$F_B = 0.4445 D_D \text{ (N)}$$

- $D_A$  = valor de dureza Shore obtenida mediante un durómetro tipo A Rango de 10 a 90 HSA
- $D_D$  = valor de dureza Shore obtenida mediante un durómetro tipo D. Rango de 30 a 100 HSD

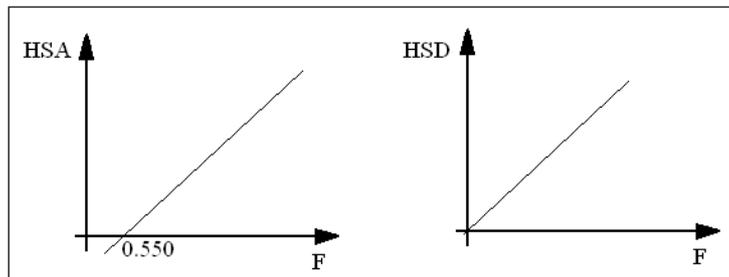
El equipo tiene un dispositivo indicador con una escala apropiada, en la cual marca “100” correspondiente al momento en que la aguja de penetración y la base de presión se apoyan firmemente en un vidrio plano. La posición “0” corresponde al instante en que la aguja de penetración sobrepasa entre  $2.5 \pm 0.04$  (mm).

### CALIBRACIÓN:

Se realiza con una balanza de 2 platillos donde se calibran los resortes que aplican las fuerzas.

Para el durómetro tipo A el primer punto se obtiene con 0.55 N y el último punto con 8.05 N. Si el durómetro está en buenas condiciones la curva debe ser una recta  $F_A = 0.550 + 0.075 HSA$

Para el durómetro tipo D el primer punto se obtiene con 0 N y el último punto con 44.45 N. Si el durómetro está en buenas condiciones la curva debe ser una recta  $F_B = 0.4445 HSD$  (N)



### PROBETAS:

No deben haber sido previamente sometidas a cargas mecánicas

Deben tener una superficie plana para el correcto apoyo del durómetro

Deben tener un espesor mínimo de 6 mm y se permite el plegado y superposición de probetas para llegar a dicho valor

La distancia del punto de medición y el borde de la probeta debe ser de al menos 12 mm pudiendo ser menor si se sabe que no interfiere en el valor, y a no menos de 6 mm entre cada medición.

## PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:

Se coloca la probeta en una superficie plana, horizontal y dura  
Se mantiene el durómetro en posición vertical con la punta de la aguja a por lo menos 12 mm de los extremos de las probeta y 6 mm entre cada medición.  
Se aplica la presión tan rápido como sea posible sin golpear  
Si no se indica lo contrario se efectúa la lectura transcurrido 1 segundo desde que la base de presión toma contacto con la superficie de la probeta se efectúa la lectura  
La determinación de la lectura no se podrá efectuar sobre un área redondeada, irregular o rugosa  
Cuando se determine la dureza Shore A se colocará una película de talco sobre la superficie del ensayo  
Debe indicarse la temperatura de ensayo si esta difiere de  $23 \pm 2$  °C de bulbo seco, y la humedad relativa ambiente cuando la dureza del elemento a medir dependa de ésta. Si difiere se recomiendan 15 temperaturas comprendidas entre  $(-75$  °C y  $175$  °C)  $\pm 2$  °C  
Para materiales de dureza dependientes de la humedad las probetas se acondicionarán durante 88 horas como mínimo  
Se efectúa 5 ensayos en cada probeta, en posiciones diferentes  
Cuando las mediciones se obtienen con durómetro A son mayores que 90, se aplica en su lugar el durómetro D. Así mismo si con el durómetro tipo D se obtienen valores de dureza menores a 30, debe emplearse el durómetro A.

## ENSAYO DE FLUENCIA LENTA (CREEP)

### FLUENCIA LENTA (CREEP)

El continuo aumento de la deformación con el tiempo bajo una tensión constante se denomina fluencia lenta o de creep.

Existen 2 variantes para la determinación del creep.

- La primera consiste en medir la deformación que experimenta para una determinada temperatura un material sometido a una carga constante. Esta prueba es importante para el estudio de las aleaciones que intervienen en la construcción de motores a explosión, turbinas o cohetes, etc.
- La segunda se refiere a la medición de la variación de la carga que experimenta una longitud determinada de un material a una temperatura también determinada. Esta prueba es importante en el estudio de los aceros pero las estructuras de hormigón pretensado, donde es necesario conocer la pérdida de carga que experimentan los cables de tensado para tenerlo en cuenta durante la operación de estiramiento, con el objeto de provocar la pre compresión del hormigón

## COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS BAJO CARGAS DE LARGA DURACIÓN A ALTAS TEMPERATURAS.

El creep puede ser rápido o lento, a cualquier temperatura y disminuye con la tensión. Para tensiones suficientemente bajas, el efecto creep no se produce en algunos materiales, aun a altas temperaturas.

Conociendo la carga y la temperatura constante a la que puede estar sometido un elemento es posible graficar el alargamiento por creep

Si a un material se le aplica a una temperatura ambiente, una tensión de tracción inferior a su límite de proporcionalidad se producirá en el mismo un alargamiento elástico OA inmediatamente después de aplicada la carga, este alargamiento permanecerá constante cualquiera sea el tiempo de aplicación AB

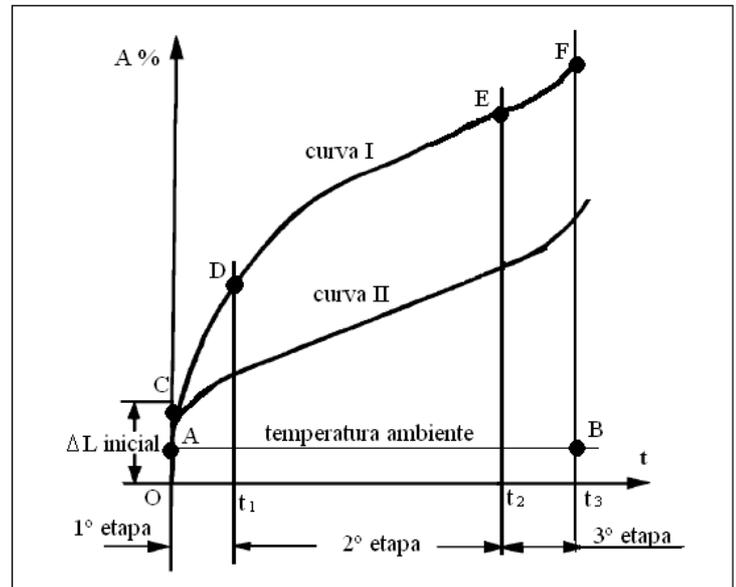
Ahora bien si bajo la misma tensión se eleva la temperatura, se produce un alargamiento inmediato OC mayor que el anterior por la dilatación del material

Para la temperatura y tensión empleadas el material podrá o no llegar a la rotura. Si esta tiene lugar, el mismo experimentará deformaciones que variarán con el tiempo de acuerdo a la curva I, produciéndose la fractura en el punto F al cabo de un tiempo  $t_3$ . Caso contrario, presentará una deformación final estable, curva II que nos indica que no se llegará al período de estricción del material

El análisis de la curva I admite 3 etapas:

- En la primera de ellas el alargamiento inicial es rápido y a medida que este aumenta la velocidad de creep disminuye CD
- La segunda etapa del creep nos manifiesta que las deformaciones se producen a velocidad constante. En este periodo la sección transversal se mantiene prácticamente sin alteraciones DE
- La tercera etapa se caracteriza por un rápido aumento de la velocidad de deformación hasta la rotura, la que se ve facilitada por la disminución de sección que experimenta la probeta EF

La curva II presenta solamente las 2 primeras etapas del creep.

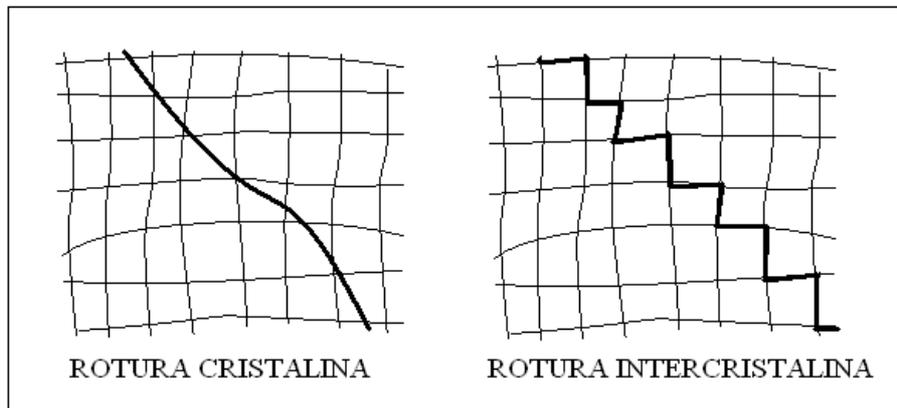


## TEMPERATURA EQUICOHESIVA O DE REGENERACIÓN Y ROTURA

La rotura de los materiales a bajas temperaturas es a través de los cristales, mientras que a altas temperaturas tiene lugar en los límites intercrystalinos. La temperatura que limita esas dos posibilidades se denomina temperatura de equicohesiva, que para los metales es aproximadamente 450 °C ( $T_r \approx 0.4 T_f$ )

A temperatura por debajo de la equicohesiva el desplazamiento intercrystalino es básicamente elástico (se puede no llegar al creep) mientras que para encima de dicha temperatura se supone que el movimiento intercrystalino es el de tipo casi viscoso (se llega al creep)

Sabemos que estaremos en presencia de creep porque mirando en el microscopio vemos que los granos empiezan a separarse, luego alinearse y por último los granos comienzan a figurarse.



El efecto creep presenta una fractura en el cual el espesor de la pieza (en el caso de tuberías) no se achica, es decir, el espesor no disminuye como en el caso de la corrosión. Esta fractura se llama de “labios gruesos”.

La fractura puede tener lugar de diversas maneras:

- A altas tensiones y temperaturas moderadas: la rotura es similar a la de tracción simple, si el material es dúctil, romperá luego de una gran deformación plástica.
- A mayores temperaturas o tiempos más largos: en los materiales dúctiles de llega a una rotura sin deformación de cuello.
- A altas temperaturas o largos periodos de carga: los metales pueden fracturarse con muy poca deformación plástica.

### EQUIPAMIENTO NECESARIO:

Estos ensayos consisten en someter a una o más probetas de medidas normalizadas a cargas fijas de tracción y a diferentes temperaturas y observar, en forma periódica, el alargamiento que experimentan

Con los valores de los ensayos se construyen gráficas que permiten hallar la tensión admisible para una deformación plástica dada a temperatura establecida.

Los aparatos con que se determina el creep, deben disponer de un horno eléctrico con dispositivo de control de temperatura, un extensómetro para medir las deformaciones y accesorios para cargas constantes.

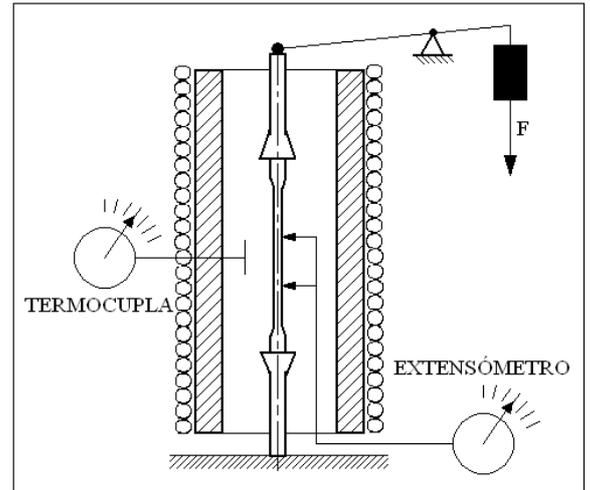
El esfuerzo se transmite por un sistema de palancas y pesos, enroscándose la probeta a las barras verticales del aparato.

La determinación de la temperatura a la que se encuentra la probeta durante el proceso es considerada como la medición más importante, debido a que pequeñas fluctuaciones de la misma pueden producir grandes variaciones en la velocidad de

deformación. La medición de temperatura se efectúa con una termocupla que está en contacto directo con el centro de la probeta y su regulación mediante un termostato.

Las deformaciones se determinan con un extensómetro con el dial indicador o por extensómetros a espejos o con sistemas telescópicos que permiten mirar a través del horno las marcas en las probetas y medir el alargamiento

En hornos especiales se ensayan hasta 12 probetas a la vez.



### PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:

La probeta se acondiciona a la temperatura de ensayo. Una vez que la temperatura se ha estabilizado junto con el extensómetro, se efectúa la lectura del tramo calibrado y se aplica sin choques pero rápidamente la carga prefijada

Primero se lee la nueva magnitud del tramo calibrado que habrá experimentado una deformación elástica, para luego continuar con las lecturas de la fluencia a intervalos de minutos al comienzo, luego de horas, con un espaciamiento cada vez mayor, hasta completar por lo menos 1000 horas. Al mismo tiempo se registran las temperaturas, ya que el promedio de por lo menos 50 lecturas se toma como la temperatura real de ensayo.

En cuanto a la temperatura de ensayo esta oscila entre 100 °C y 350 °C para aleaciones livianas, entre 600 °C y 700 °C para plantas térmicas y de 900 °C a 1200 °C para motores

### PROBETA

Las probetas son cilíndricas con longitudes calibradas de 50.8 mm a 508 mm y sus diámetros pueden ser 12.82 mm, 9.06 mm, 6.40 mm, con tolerancia  $\pm 0.5 \%$

La probeta aconsejada tiene una longitud calibrada de 127 mm, un diámetro de 12.82 mm y un radio de acople con los extremos de amarre de 40 mm.

Las probetas tienen los extremos de amarre roscado y deben ser perfectamente lisas y libres de defectos

Algunos aparatos especiales permiten ensayar probetas en forma de flejes, tubos o alambres.

### EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS:

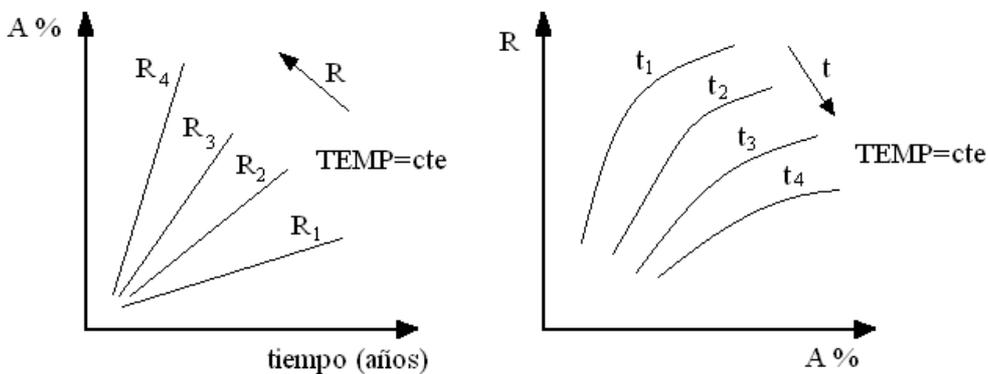
En los elementos que durante su vida útil estarán sometidos, además de la carga, a un régimen de temperaturas elevadas se debe conocer la tensión admisible previendo una deformación plástica dentro del periodo de servicio estipulado

Frente a un periodo de servicio que puede abarcar varios años, nos encontramos con una información de ensayo que en el mejor de los casos apenas supera un año. Por lo tanto, se hace necesario extrapolar los datos obtenidos.

Ello resulta posible siempre que se posean datos de fluencia pertenecientes a la segunda etapa de la curva de creep

El diseño de piezas metálicas sometidas a tensiones constantes y a temperaturas superiores a los 450 °C se efectúa en base a la velocidad de alargamiento en la segunda etapa del creep. En cambio si la temperatura es menor, se pueden realizar ensayos de corto tiempo que permiten determinar rápidamente la tensión límite de proporcionalidad y resistencia a la tracción bajo esas condiciones.

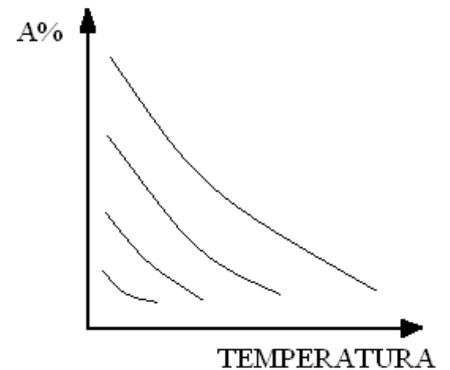
En el ensayo de deformación lenta se puede fijar una determinada temperatura y graficar el comportamiento de los materiales bajo diferentes tensiones, a las que permite por extrapolación, conocer los diagramas para tiempos muy superiores a los de ensayo.



Donde:  $R_1 < R_2 < R_3 < R_4$  y  $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$

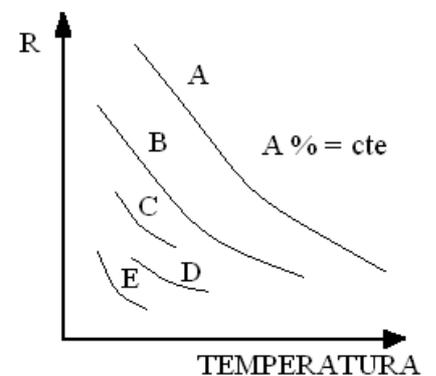
En base a este se construye otros donde se pueden obtener la tensión admisible capaz de producir una deformación dada en un tiempo conocido para la temperatura considerada.

Ensayando series de probetas hasta la fractura, para distintas tensiones y temperaturas, se pueden confeccionar gráficos tensión-temperatura que permiten profundizar el conocimiento de un determinado material



Donde: A, B, C, D y E son distintos materiales ensayados hasta la rotura

Los factores que inciden sobre el comportamiento de los materiales sometidos a tensiones constantes son: el tamaño de grano (grano fino), la composición química (mucho Cr, Ni, Va, Mo, Ti, C) el procedimiento del material (material homogéneo) y el tratamiento térmico (normalizado).



## TEMA 13. 1ERA PARTE. ENSAYO DE IMPACTO

### CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS ENSAYOS DE CHOQUE

El objeto del ensayo es determinar la capacidad del material para absorber y disipar la energía producida por el choque, averiguando en última instancia la energía necesaria para producir la rotura del material en condiciones definidas.

El ensayo de impacto da la resistencia de una probeta, generalmente entallada,, fracturada golpeada por una carga que actúa bruscamente. Es decir, estos ensayos determinan la fragilidad o capacidad de un material de absorber cargas instantáneas, o el trabajo necesario para producir la fractura de la probeta en un solo impacto.

El problema del impacto es particularmente en el diseño y dimensionamiento de las maquinas con partes móviles pesadas (equipos de perforación por percusión, órganos de motores, rieles ferroviarios, etc.) Otra aplicación del ensayo de impacto es la de comprobar los distintos estados de revenido que pueden alcanzarse en los aceros, como también el correcto recocido o forjado de los mismos.

Resumiendo, el ensayo de impacto sirve para comprobar si una máquina o estructura fallará por fragilidad bajo condiciones que le impone un empleo, muy especialmente cuando las piezas experimentan concentración de tensiones por cambio bruscos de sección, por maquinado incorrecto, baja temperatura o también verificar el correcto tratamiento térmico del material ensayado.

El objeto de las entalladuras en las probetas metálicas obedece al hecho de que a temperaturas normales una probeta de material dúctil (ej: aceros de bajo contenido de carbono) solo se doblan ante el efecto de una carga instantánea, en cambio la presencia de la entalladura obliga a una fractura (por la elevada concentración de tensiones en las inmediaciones de la misma, que convierte una fractura dúctil en una frágil).

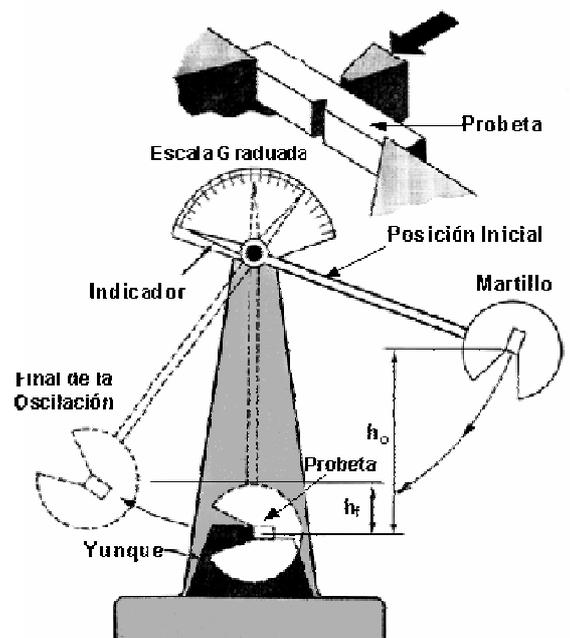
### MÁQUINA DE ENSAYO

Los ensayos se realizan generalmente en máquinas denominadas péndulos o martillos pendulares, en las que se verifica el comportamiento de los materiales al ser golpeados por una masa conocida, la que se deja caer desde una altura determinada.

La experiencia se puede realizar de 2 maneras distintas, según la probeta rompa por flexionamiento (flexión por choque) o que su ruptura se alcance por un esfuerzo de tracción (tracción por choque).

La máquina de ensayo determina el trabajo absorbido por el material cuando es roto de un solo golpe por una masa pendular, o relacionándola con la sección o volumen de la probeta. Según el método nos indicará la resistencia al choque o la capacidad del material para absorber cargas denominadas de impacto.

El principio de funcionamiento de la máquina es el siguiente:



En la posición inicial la masa pendular antes del ensayo (energía disponible)  
 En la posición final cuando alcanza el péndulo después de romper la probeta (energía residual)

La energía en la rotura es:

$$E = G (h_0 - h_f) = G R (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$

La resistencia resulta  $k = E/S$

La fragilidad  $F = 1 / k$

Siendo:  $R$ : long del brazo  
 $\alpha_1$ : áng. Entre la posición inicial y la vertical.  
 $\alpha_2$ : áng. Entre la posición final y la vertical.

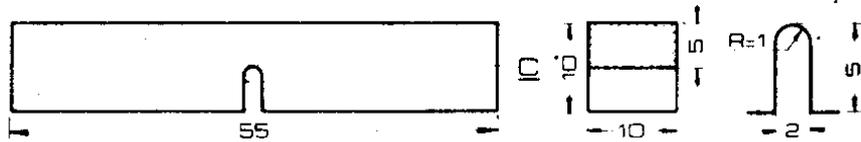
### PROBETAS

Existen varios tipos que dependen del ensayo

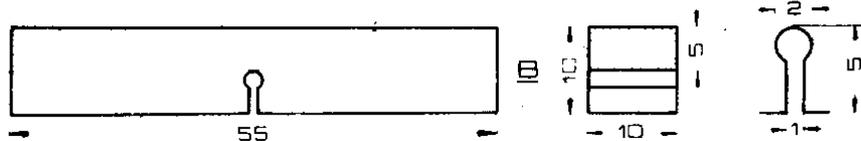
- Probeta con entalla en V a 45° ( $S = 0,8 \text{ cm}^2$ )



- Probeta con entalladura en U.



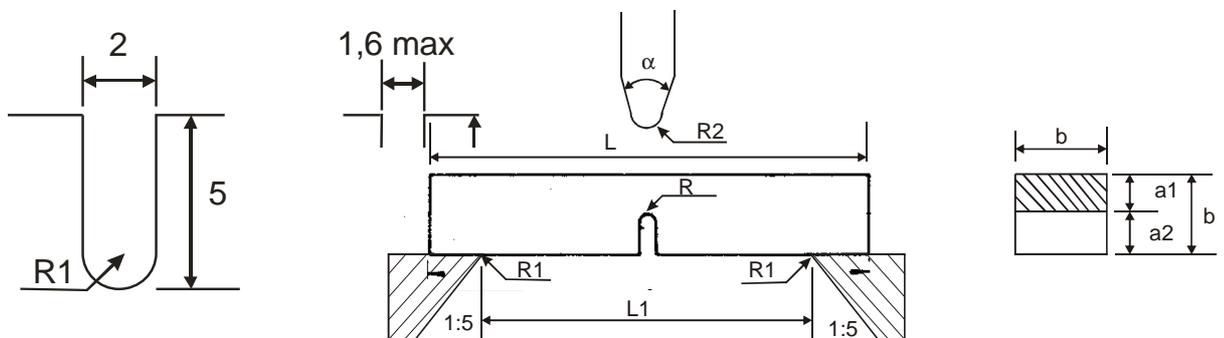
- Probeta con entalladura ojo de cerradura.



### Método Charpy

- El ensayo consiste en romper de un solo golpe con un martillo pendular una probeta simplemente apoyada, con entalladura en U o en forma de ojo de cerradura según se indique en la norma particular del producto.
- La probeta debe ser totalmente mecanizada. El plano de entalladura debe ser perpendicular al eje longitudinal de la probeta. La entalladura tiene gran influencia en el ensayo, especialmente por el radio de curvatura de enlace.
- Cuando el espesor del producto no permita extraer una probeta normal se utilizan microprobetas totalmente mecanizadas.
- La superficie de la probeta debe ser lisa y libre de estrías.

- La máquina de ensayo debe estar construida e instalada de modo que su estructura permanezca rígida y estable.
- El martillo debe oscilar en un plano vertical y el centro de percusión debe coincidir con el centro de impacto.
- La arista del martillo deberá entrar en contacto en simultáneo con todo el ancho de la cara de la probeta opuesto a la entalladura.
- La graduación de la escala de la máquina debe permitir determinar la energía absorbida.
- Para un ensayo normal la energía de impacto es de  $300 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$  y se simboliza KCU.
- Si se usa otra energía de impacto, se debe indicar la energía utilizada en Joule de esta manera KCU 100 y en caso de utilizarse microprobetas a continuación del símbolo y entre paréntesis se coloca el ancho de la misma Ej: KCU (5) 100.
- $\alpha \Rightarrow$  ángulo de la punta del martillo ( $\alpha = 30^\circ \pm 1^\circ$ )  
 $a \Rightarrow$  espesor de la probeta ( $a = 10 \text{ mm}$ )  
 $b \Rightarrow$  Ancho de la probeta ( $b = 10 \text{ mm}$ )  
 $a_1 \Rightarrow$  espesor de la probeta en la entalladura ( $a_1 = 5 \text{ mm}$ )  
 $a_2 \Rightarrow$  Profundidad en la entalladura ( $a_2 = 5 \text{ mm}$ )  
 $R \Rightarrow$  radio curvatura en el fondo de la entalladura.  
 $R_1 \Rightarrow$  Radio curvatura en los soportes ( $R_1 = 1 \text{ a } 1,5 \text{ mm}$ )  
 $R_2 \Rightarrow$  Radio curvatura de la punta del martillo ( $R_2 = 2 \text{ a } 2,5 \text{ mm}$ )  
 $L \Rightarrow$  Longitud de la probeta ( $L = 55 \text{ mm}$ )  
 $L_1 \Rightarrow$  Longitud entre soportes ( $L_1 = 40 \text{ mm}$ )



### Procedimiento de ensayo

- La probeta se coloca escuadrada sobre los soportes y con la entalladura en la cara opuesta a la del impacto del martillo.
- Con la energía de impacto adoptada, se descarga el martillo y la energía absorbida en el ensayo da el valor del impacto.
- La velocidad del martillo en el momento del golpe debe estar comprendida entre 4,5 a 7 m/s
- Si la probeta no se rompe completamente en el ensayo, el valor absoluto obtenido es válido siempre que la misma pase a través de los soportes y esta circunstancia se informa.

- El valor del impacto es el promedio de 3 determinaciones.
- En todos los casos se registra la temperatura del ensayo. Este método permite ensayar probetas a distintas temperaturas.

## Tema 13. 2da parte. Ensayos de fatiga

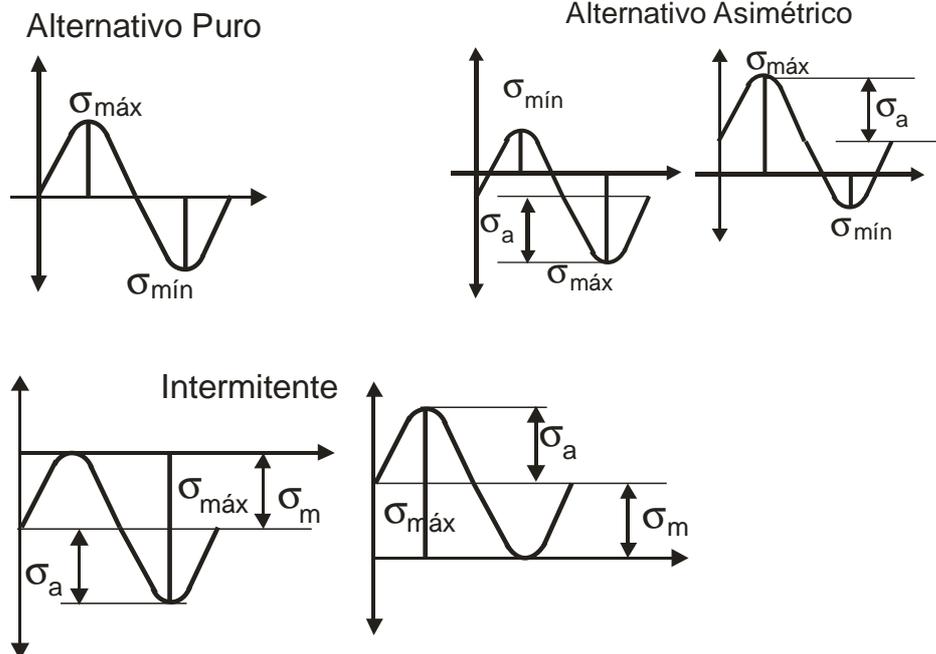
### FENÓMENO DE LA FATIGA

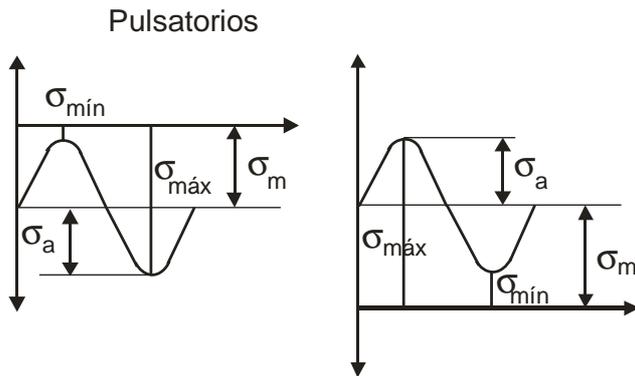
Algunos órganos de máquinas y estructuras se encuentran sometidos a cambios de tensiones que se repiten simultáneamente y que producen la rotura del material, para valores de tensiones considerablemente menores que los calculados en ensayos estáticos de tracción, compresión, torsión, etc. Este tipo de rotura se denomina fatiga.

Los esfuerzos dinámicos que producen fatiga pueden ser tracción, compresión, flexión y torsión, los que varían de un máximo a un mínimo, presentándose en forma simple o combinado.

Cabe destacar que la rotura se produce en forma brusca e imprevista, sin deformación previa del material.

### Diversos tipos de ciclos





$\sigma_{m\acute{a}x} \Rightarrow$  tensi3n superior (máxima en valor absoluto)

$\sigma_{m\acute{i}n} \Rightarrow$  tensi3n inferior (mínima en valor absoluto)

$\sigma_a = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2}$  (amplitud del ciclo)     $\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}}{2}$  (tensi3n media)

$\sigma_m = \sigma_m + \sigma_a$

$\sigma_{m\acute{i}n} = \sigma_m - \sigma_a$

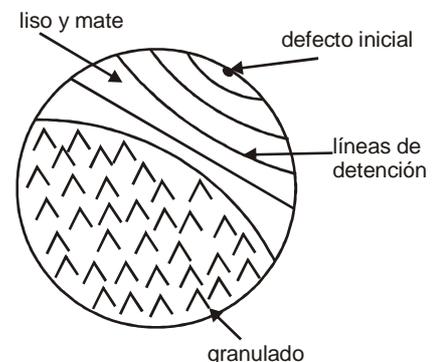
## ROTURA POR FATIGA

El comienzo de una rotura por fatiga tiene un carácter puramente local.

En un punto donde las tensiones son elevadas como consecuencia de una concentraci3n de tensi3n, originándose por imperfecciones estructurales o motivos constructivos, aparece una fisura imperceptible. Una vez formada la fisura se extiende en sus extremos, hasta que cuando la secci3n resistente se ha reducido considerablemente, el componente no puede soportar más el esfuerzo y sobreviene la rotura.

La superficie de rotura por fatiga presenta generalmente 2 zonas bien diferenciadas: una zona de textura lisa y mate de textura suave debido a las interacciones de roce que suavizan ambas superficies y otra zona con granos cristalinos y puntiagudos, limpia y brillante debido a la rotura hueca.

En la parte lisa y mate, se suelen presentar líneas más o menos paralelas que evidencian que la grieta se desarrollo en varios períodos de marcha y detenci3n.



## PROBETAS

Existe una gran variedad de probetas para el ensayo de fatiga, las que se diferencian en tamaño y forma.

La forma de la probeta se debe a raíz del tipo de máquina que se utiliza y también a las premisas que se plantean los diseñadores en cada tipo de ensayo con el objeto de destacar ciertos hechos en la prueba.

Durante la confecci3n de la probeta se debe ejecutar el maquinado de modo que con el desbaste se elimina un pequeño espesor de material para no introducir tensiones superficiales, deformaciones, etc.

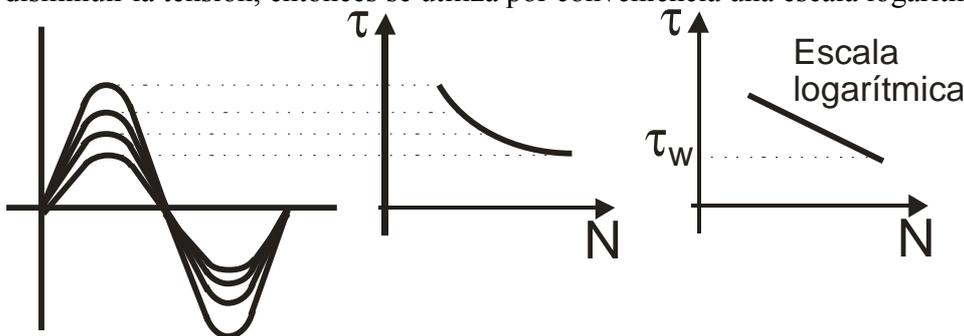
## Diagrama de Wöhler. Límite de Fatiga

Los ensayos se realizan con probetas de las mismas dimensiones.

Para cada probeta que se ensaye, se consigna en el eje de ordenadas el valor de la tensión máxima del ciclo alternativo pero con que se ensaya y en el eje de las abscisas se indica el tiempo o números de ciclos  $N$  para el que se produce la destrucción de la probeta. Con esas dos coordenadas se marca un punto en el diagrama.

El proceso se repite cada nueva probeta, disminuyendo la intensidad de la tensión máxima.

Como el número de ciclos que produce la rotura aumenta demasiado rápido al disminuir la tensión, entonces se utiliza por conveniencia una escala logarítmica.



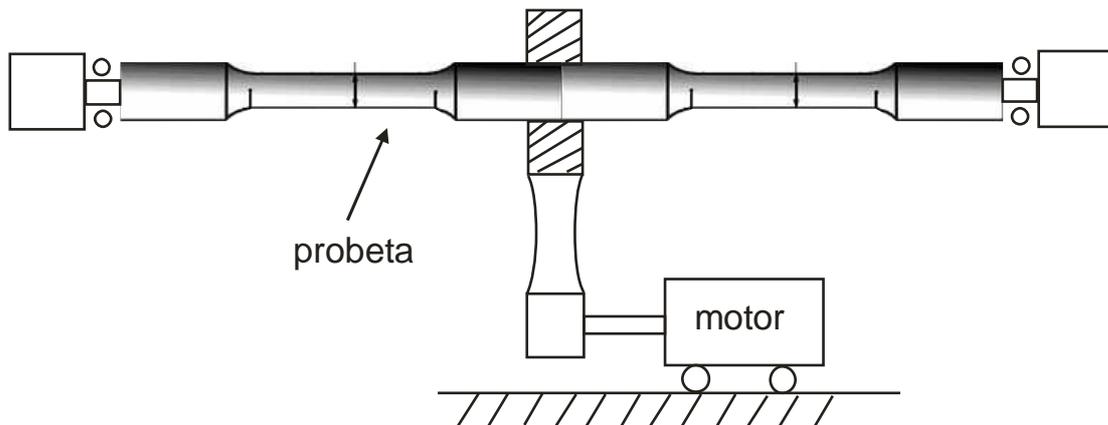
- Materiales ferrosos: para un número de ciclos relativamente pequeño la pendiente del diagrama no logarítmica es pronunciada, pero a medida que la tensión decrece, a partir de un determinado número de ciclos, la curva tiende a hacerse horizontal y la tensión puede ser resistida indefinidamente. A la tensión alternativa que ya no produce la destrucción de la probeta se la denomina “resistencia a la fatiga”.
- Materiales no ferrosos y aceros de gran dureza: en este caso el diagrama no se hace totalmente horizontal a pesar de adquirir una pendiente mínima. Se introduce el concepto de límite convencional de fatiga que corresponde a la tensión para la cual la probeta aguanta  $10^8$  ciclos sin destruirse.

## Equipamiento Necesario

Las máquinas de fatiga adoptan diferentes formas y su clasificación se puede realizar según el tipo de tensiones producidas sobre la probeta.

- Máquinas para ciclos de tensión por flexión

Es una de las más utilizadas. En esta máquina se mantiene constante el momento flector aplicado a la probeta y se hace girar esta sobre un eje, haciendo que la fibra más alejada quede solicitada a tracción y compresión en forma repetitiva.



- Máquinas para ciclos de tensiones de tracción – compresión.
- Máquinas para ciclos de tensiones de corte por torsión (torsión rotativa)
- Máquinas para ensayo de fatiga por impactos repetidos.

### Procedimiento de ensayo

La forma más práctica de determinar la resistencia a la fatiga es recurrir al procedimiento de Wöhler. En este varias probetas de igual material, dimensiones y maquinado se someten sucesivamente a solicitaciones de fatiga racionalmente escalonadas y se determina el número de N ciclos transcurrido hasta la rotura de cada una de ellas.

Los diversos ensayos de fatiga son los siguientes:

- Ensayo de fatiga simple

La solicitación a la que se somete la probeta se mantiene invariable durante el tiempo que dura el ensayo.

- Ensayo de fatiga escalonada

La solicitación a la que se somete la probeta aumenta progresivamente en forma escalonada.

- Ensayo de fatiga en servicio

Son ensayos escalonados que producen las condiciones de solicitación en servicio.

- Ensayo en serie

El ensayo en serie tiene por objeto eliminar piezas con errores groseros de un conjunto de elementos similares.

### Factores que afectan a la resistencia a la fatiga

- Dimensiones de la pieza

Al aumentar el tamaño disminuye el límite de resistencia a fatiga

- Estado superficial

Como las fallas por fatiga se inician por grietas locales, el límite de resistencia a fatiga es mayor en piezas de superficie limpia que en aquellas de superficie sucia.

- Efecto de entalladuras

Las entalladuras de cualquier tipo actúan como concentrador de tensión, disminuyendo el límite de resistencia a fatiga.

- Frecuencia de las cargas

La frecuencia no influye en el límite de fatiga mientras se mantenga por debajo de los 5000 ciclos/min. Para frecuencias de carga mayores el límite de fatiga disminuye con la frecuencia debido al calentamiento por frotamiento interno.

- Temperatura

En forma general, al aumentar la temperatura disminuye la resistencia a la fatiga y para baja temperatura aumenta la resistencia a fatiga.

- Corrosión

Cuando la probeta ensayada a la fatiga es sometida simultáneamente a la acción de agentes corrosivos, acontece un pronunciado descenso de la resistencia a fatiga

## TEMA 14: 1º PARTE. ENSAYO DE EMBUTIDO

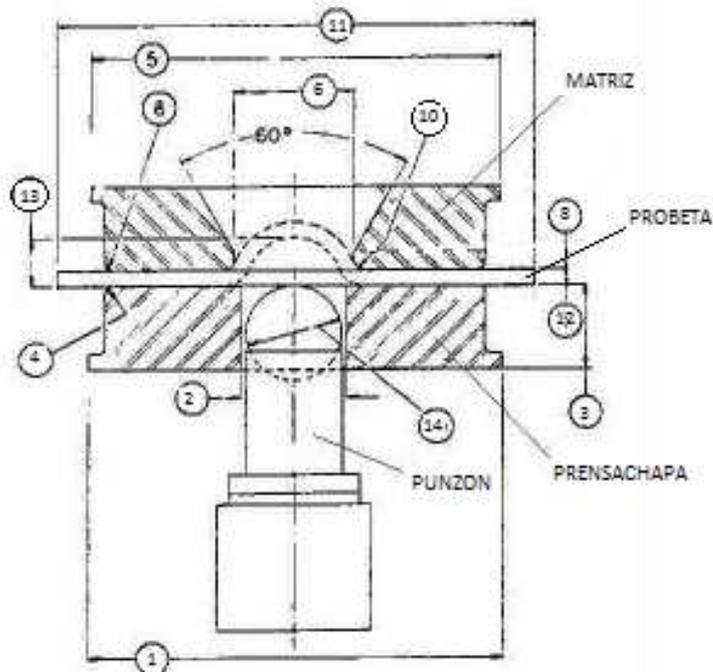
### METODO ERICHSEN MODIFICADO (IRAM – IAS U500 – 116)

Establecer el método de ensayo de embutido con probeta sujeta, para chapas y flejes de espesor no menor a 0,5 mm pero menor a 3 mm.

El ensayo consiste en embutir, con un punzón de cabeza esférica, una probeta sujeta por sus bordes hasta que inicie la rotura de la misma y medir en ese instante la profundidad de embutido. La profundidad de embutido medida en mm se denomina “índice de embutido IE”.

- **Símbolos y designaciones**

Nº	Designación	e≤2 [mm]	2<e≤3 [mm]
1	Diámetro exterior (prensachapa)	55 ± 0,1	70 ± 0,1
2	Diámetro interior (prensachapa)	33 ± 0,1	33 ± 0,1
3	Altura (prensachapa)	mínimo 20	mínimo 20
4	Radio de acuerdo, interior y exterior (prensachapa)	0,75 ± 0,1	1 ± 0,1
5	Diámetro exterior (matriz)	55 ± 0,1	70 ± 0,1
6	Diámetro interior (matriz)	40 ± 0,05	27 ± 0,05
7	Altura (matriz)	mínimo 20	mínimo 20
8	Profundidad del agujero (matriz)	3 ± 0,1	6 ± 0,1
9	Radio de acuerdo exterior (matriz)	0,75 ± 0,1	1 ± 0,1
10	Radio de acuerdo interior (matriz)	0,75 ± 0,05	2 ± 0,05
11	Ancho o diámetro (probeta)	mínimo 20	mínimo 20
12	Espesor (probeta)	e≤2	2<e≤3
13	Profundidad de embutido	-	-
14	Diámetro de la cabeza esférica del punzón	20 ± 0,05	20 ± 0,05



- **Probeta**

La probeta debe ser plana y de espesor igual al del producto.

La forma de la probeta puede ser cuadrada, rectangular o circular y el lado, longitud o diámetro debe ser como mínimo 90 mm.

La probeta no debe sufrir antes del ensayo, ningún tratamiento térmico, mecánico o termomecánico.

- **Máquina de ensayo**

La matriz, el prensachapa y el punzón deben ser suficientemente rígidos para que no se produzcan deformaciones durante el ensayo.

El punzón no debe girar durante el ensayo.

Las superficies de la matriz y el prensachapa en contacto con la probeta deben ser planas, pulidas y paralelas entre sí y normales al eje de traslación del punzón.

La superficie de trabajo del punzón debe ser esférica y pulida.

La dureza Vickers del punzón, matriz y prensachapa en la superficie útil debe ser como mínimo 750 HV.

La construcción de la máquina debe ser tal que se pueda determinar con toda precisión el momento en que se inicia la rotura de la probeta.

- **Procedimiento de ensayo**

La temperatura normal de ensayo es de  $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ . Caso contrario debe precisarse junto con el resultado del ensayo.

El espesor de la probeta se mide al 0,01 mm.

Antes de realizar el ensayo se lubrica cuidadosamente las dos caras de la probeta y el punzón con grasa grafitada.

Se sujeta la probeta entre la matriz y el prensachapa con una fuerza aproximada de 10 kN.

Se coloca el punzón sin hacer presión en contacto con la probeta, lo que determina el punto de origen de la medida de la profundidad de penetración.

Se produce seguidamente el embutido, que se realiza gradualmente y sin detención, a una velocidad comprendida entre 5 [mm/min] y 20 [mm/min].

La rotura se inicia cuando se distingue una fisura en todo el espesor de la probeta, lo suficientemente abierta para que pase la luz. El ensayo es nulo si la rotura no cumple esta condición, o si la fisura es exageradamente grande.

El descenso del esfuerzo puede considerarse un criterio para finalizar el ensayo, pero la aparición de la fisura es la preferible.

Detenido el ensayo en el momento de iniciar la rotura, se deduce por lectura directa la profundidad de penetración.

Se recomienda sobre una mínima muestra realizar por lo menos tres ensayos de embutido, tomando como IE la media aritmética de los tres.

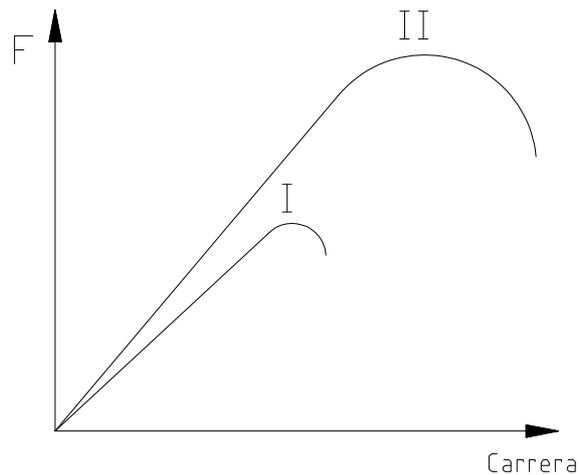
- **Informe del ensayo**

- \* La designación del producto ensayado.
- \* Espesor real de la probeta medido al  $\pm 0,01$  [mm]
- \* Medidas y formas de la probeta.
- \* Tipo de grasa utilizada
- \* Temperatura de ensayo.
- \* Índice de embutido medido.
- \* Aspecto de la rotura de la probeta.

**Análisis de los resultados**

El IE determina la aptitud de la chapa a ser estampada.

La determinación del IE debe ser completada por la observación de la superficie embutida a fin de determinar su rugosidad y la orientación de las fisuras, que permite deducir la calidad del tamaño de grano.



El diagrama carga-carrera permite precisar el comportamiento de la chapa durante la experiencia. La curva I pone de manifiesto que el inicio del agrietamiento coincide con la carga máxima, en cambio en la curva II indica que la fisura tuvo lugar después de sobrepasar aquella.

## **TEMA 14: 2º PARTE. ENSAYOS DE DESGASTE**

### **Aplicabilidad de los ensayos**

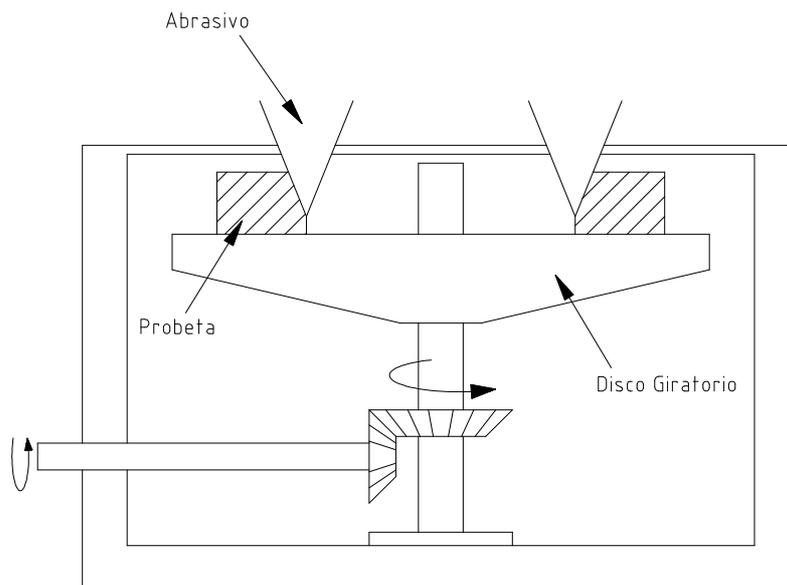
Los ensayos de desgaste tienen por objeto determinar las condiciones de durabilidad de los materiales cuando los mismos se hallan expuestos a impactos reiterados producidos por cuerpos en movimiento (generalmente a rozamiento con otros materiales).

### **Ensayo de materiales no metálicos**

- **Máquina Dorry (IRAM 1539)**

Los materiales pétreos se ensayan con este método.

La máquina está constituida por un disco de fundición de hierro sobre el que se hace incidir continuamente un elemento abrasivo formado por arena con limaduras de hierro, el que se interpone entre el disco giratorio y la probeta.



La probeta a ensayar se construye generalmente de cubos de 10 cm de arista.

El disco se hace girar entre 30 rpm – 33 rpm determinando luego la pérdida de peso o altura del prisma después de 1000, 2000, 3000 y 10000 vueltas.

Previo al ensayo la probeta se seca en estufas a 105 °C hasta el peso constante.

Una vez completado el número de vueltas, se lava la probeta y se la vuelve a pesar, previo secado.

El ensayo se repite con la otra cara de la probeta para obtener un promedio del coeficiente de dureza, que está dado por  $D = - (G_1 - G_2)/3$  ; donde  $G_1$  es el peso inicial en gramos y  $G_2$  el peso final.

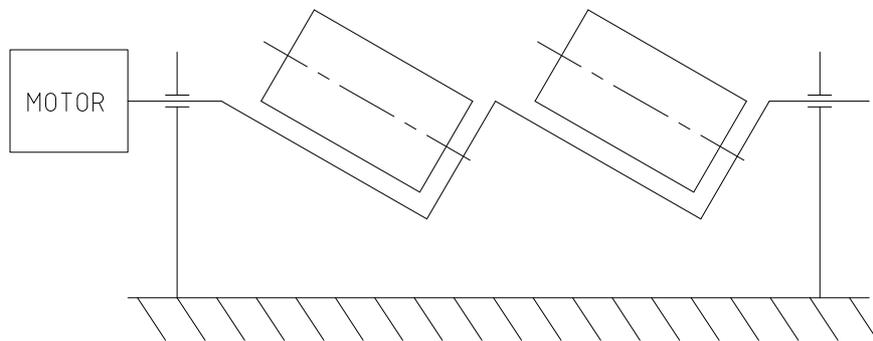
Para que el desgaste sea uniforme en la superficie de la probeta un mecanismo le imprime un lento movimiento de rotación sobre un eje.

- **Máquina Deval (IRAM 1527)**

Los agregados pétreos, tanto para hormigones asfálticos como de cemento Portland se ensayan con este método.

El material en este caso, es sometido al desgaste por frotamiento mutuo entre sus elementos constitutivos.

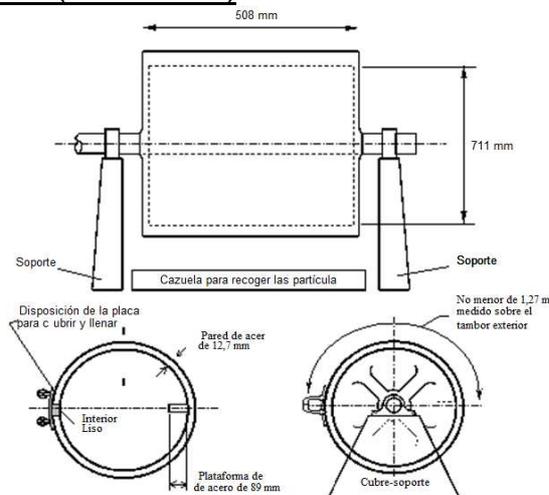
La máquina consta de 2 cilindros cuyo eje está formando un ángulo de 30° con la horizontal.



Se coloca  $5 \pm 0,05$  kg del material a ensayar dentro del cilindro, ya sea solo o con bolas de metal duro, previo secado de 105 °C hasta peso constante.

Después de 10000 revoluciones efectuadas a 30 rpm – 33 rpm, se lavan los fragmentos y se secan, determinando la pérdida de peso que se expresa en forma porcentual.

- **Ensayo Los Angeles (IRAM 1532)**



Es una sección mas reciente del ensayo Deval.

La máquina empleada consta de un cilindro de eje horizontal de diámetro 70 cm y largo 50 cm en cuyo interior se halla dispuesto un obstáculo. Dicho obstaculo provoca la caída vertical de los granos metálicos, que forman la carga y el abrasivo.

El abrasivo está formado por esferas de fundición de 48 mm de diámetro.

La carga que se emplea son unos 5 kg, que se introducen junto con el abrasivo en el cilindro al que se le imprimen 5000 vueltas.

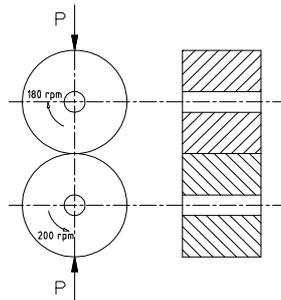
Después de esto se retira el material y se lo tamiza con el tamiz N° 12. Luego se lava y seca la muestra y se pesa con precisión de un gramo.

El porcentaje de pérdida por abrasión se calcula  $p = (G - G_1) / 100.G$  ; donde G es el peso de la muestra seca y  $G_1$  el peso de la muestra retenida en el tamiz.

### **Ensayo de materiales metálicos**

Para determinar el desgaste en metales existen varios dispositivos que operan por rodadura, deslizamiento o ambos a la vez.

La fuerza con que resultan presionados los metales en contacto durante el ensayo puede variar dentro de límites muy amplios.



Los dos metales a ensayar se preparan en forma de discos circulares de entre 30 y 50 mm de diámetro y de aproximadamente 10 mm de espesor.

Estos ruedan bajo carga uno sobre el otro produciéndose un desgaste por rodadura con un 10 % de deslizamiento.

Se hace girar a un disco a 180 rpm y al otro a 200 rpm, presionando entre sí con una carga entre 25 – 200 daN.

Un dinamómetro indica sobre una escala graduada la resistencia momentánea de frotamiento de los discos que se rozan mutuamente.

El desgaste por frotamiento se determina por pesado antes y después del ensayo.

También se lo puede medir por reducción del diámetro.

Los ensayos de desgaste pueden efectuarse en seco o con lubricante.

### **Factores que influyen en el ensayo**

- Acabado superficial defectuoso (favorece el desgaste).
- Dureza superficial (mayor dureza, menor desgaste).
- Tenacidad (mayor tenacidad, menor desgaste).
- Calentamiento (favorece la oxidación que favorece el desgaste).

## **TEMA 15, 1º PARTE: ENSAYOS CON LÍQUIDOS PENETRANTES.**

### Objeto y campo de aplicación:

Este ensayo se utiliza para localizar discontinuidades como traslapes, grietas, fisuras, etc. Esta técnica puede utilizarse en materiales, independientemente de sus propiedades físicas, con la condición que la superficie no sea porosa y compatible con la técnica utilizada. La norma no establece criterios de clasificación de las indicaciones obtenidos, ni los niveles de aceptación o rechazo.

### Principios:

La inspección con líquidos penetrantes consiste esencialmente en la realización de la secuencia de las operaciones siguientes:

- 1) Preparación de la superficie del material, pieza o componente a inspeccionar, mediante una limpieza previa, desengrasado y secado.
- 2) Aplicación del líquido penetrante en la superficie preparada, dejando transcurrir el tiempo necesario para permitir su penetración en cualquier discontinuidad.
- 3) Remoción del exceso del líquido penetrante. Evitando eliminar el retenido en cualquier discontinuidad.
- 4) Aplicación del revelador con el objeto de extraer a la superficie, el líquido penetrante retenido en la discontinuidad, resaltando de esta forma la indicación.
- 5) Examen visual y evaluación bajo condiciones apropiadas de iluminación.
- 6) Limpieza de la superficie ensayada y, si fuera necesario aplicación de anticorrosivo.

### Productos utilizados en el ensayo:

Los productos para el ensayo se seleccionan de acuerdo con el material, pieza o componente a examinar, su condición superficial y circunstancias bajo las cuales se realiza el ensayo. El conjunto de productos a utilizar debe ser mutuamente compatible y el conjunto destinado a cierto uso específico se denomina “sistema”, y está conformado por:

- Líquido penetrante (penetrante)
  - Removedor del exceso de penetrante
  - Revelador para el penetrante (revelador)
- } Sistema

## Líquidos Penetrantes:

Se pueden clasificar según:

1) De acuerdo a la técnica de inspección en:

Tipo A → Líquidos penetrantes fluorescentes

Tipo B → Líquidos penetrantes coloreados

Tipo C → Líquidos penetrantes duales (combinación de los otros dos anteriores)

Tipo D → Líquidos penetrantes especiales

2) Según el método de remoción del exceso de penetrante en :

- Lavable con agua
- Post emulsificado
- Removible con disolvente

Los líquidos penetrantes deben tener baja tensión superficial, se debe tener en cuenta su capilaridad, deben ser de baja viscosidad, de baja densidad, etc.

## Removedores:

Se agrupan en 3 clases principales según qué se utilice en la remoción:

- Agua (solamente)
- Emulsionantes:
  - o De base oleosa (aceite) *Lipofilicos*
  - o De base acuosa. *Hidrofilicos*
- Disolventes

## Reveladores:

Se pueden clasificar en:

- Polvos secos
- Soluciones o suspensiones acuosas:
  - o Suspensión de polvo en agua.

- Solución de polvo en agua.
- Suspensión de polvo en disolventes volátiles no acuosas:
  - Inflamables
  - No inflamables

### Limpieza y preparación de la superficie:

Se deben tomar los recaudos necesarios para asegurar que la tarea de limpieza previa, desengrasado y secado no afecten los resultados del ensayo.

Los productos y procesos de limpieza deben ser compatibles con el material examinado y con los productos del sistema de líquido penetrante.

Las superficies y cualquier discontinuidad que posean, deben estar limpias y libre de contaminación. La limpieza y rugosidad superficial deben satisfacer los requisitos especificados.

Siempre que sea permitido se prefieren, para la remoción de contaminantes, los métodos químicos de limpieza. Los métodos físicos eliminan fundamentalmente los contaminantes de la superficie y generalmente son incapaces de quitar los que se encuentran dentro de la discontinuidad. Además los métodos físicos de limpieza pueden sellar parcial o totalmente la discontinuidad.

La limpieza de la superficie es una operación fundamental de la cual depende el éxito del ensayo.

La elección del método adecuado de limpieza se basa en factores tales como:

- El tipo de contaminante a ser removido.
- Efecto del método de limpieza sobre la pieza
- Aplicabilidad a la pieza
- Los requerimientos específicos e limpieza del comprador

Se recomienda la aplicación de por lo menos una de estas técnicas. En caso de emplear preparados comerciales deben seguirse las instrucciones del fabricante.

- Desengrasante → Elimina suciedad, grasa y aceites. Puede ser ácido, básico o neutro.
- Disolvente → Remueven aceites, grasas, ceras y en general materia orgánica. Se aplica mediante pincel, aerosol, pulverizadores por inmersión, etc.

- Vapor desengrasante → Remueve aceites pesados, grasas y material orgánico.
- Soluciones decapantes → Remueve capas de óxido. Después de aplicar, lavar y enjuagar la pieza.
- Limpieza ultrasónica → La agitación ultrasónica en la limpieza mejora la eficiencia.
- Remoción de pinturas → Se pueden efectuar con disolventes o por removedores alcalinos en caliente.
- Limpieza mecánica → Remueve cascarillas, óxido, etc. Puede ser rasquetado, pulido, granallado, arenado, etc.
- Quemado con aire → Elimina humedad y suciedad orgánica liviana.

Una vez completada la limpieza, las piezas deben enjuagarse y secarse perfectamente antes de aplicar el líquido penetrante. El secado puede producirse con un leve calentamiento de la pieza o por una corriente de aire caliente.

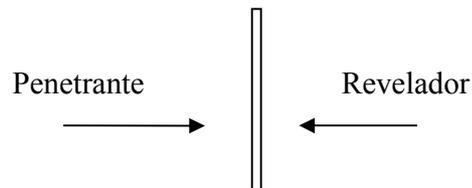
### Procedimiento de ensayo:

Una vez que la superficie esté perfectamente limpia y seca seguimos estos pasos:

- En general la temperatura de la superficie y la de los productos deben estar dentro de los límites indicados en las especificaciones del conjunto de productos a utilizar.
- La superficie a ensayar debe mojarse completamente y en forma uniforme con el penetrante. Este puede aplicarse con pincel, con pulverizador, por inmersión, por pulverización electrostática.
- El tiempo de penetración depende de las propiedades del líquido penetrante, de la temperatura de ensayo, del material a ensayar y de los defectos a detectar. En ningún caso debe secarse el líquido penetrante. Tiempos de penetración más largos producen una indicación más clara.
- Después del tiempo de penetración en caso de ser necesario se aplica el emulsificador.
- Una vez transcurridos los tiempos adecuados se remueve la película superficial de líquido penetrante (o emulsificador si corresponde). Una remoción ineficiente deja un fondo que luego interviene en las observaciones y una remoción en exceso remueve el líquido alojado en las discontinuidades muy abiertas, produciendo errores luego.
- Después de la remoción del exceso debe secarse nuevamente la pieza, mediante paños, aire caliente, estufas, etc.

- Luego se aplica el revelador en forma uniforme y compatible con el líquido penetrante
- Se deja actuar el revelador el tiempo suficiente para la aparición de todas las indicaciones. Tiempos de revelador excesivos pueden causar el sangrado del penetrante, lo cual producirá indicaciones anchas y poco nítidas.
- Los líquidos penetrantes fluorescentes se observan con radiación ultravioleta (luz negra) lo cual es un inconveniente porque es necesario una habitación oscura para su observación y un tiempo hasta que el observador se acostumbra a la oscuridad.
- Los líquidos penetrantes coloreados se observan con luz natural (luz blanca).
- Una vez transcurrido el tiempo de revelado, se efectúa la inspección de la pieza, en condiciones adecuadas de observación.

Cuando el espesor del material a ensayar es muy delgado se aplica el método por transparencia o conducción. Este método es igual al explicado antes, pero en este caso el penetrante se aplica en una cara y luego aplica el revelador sobre la cara opuesta. Si tiene una fisura el penetrante pasa de lado a lado y el revelador marca la fisura. (Ej.: intercambiador de calor).



### Sensibilidad:

Los líquidos penetrantes permiten visualizar fisuras de más de 1  $\mu\text{m}$ .

### Propiedades físicas de los líquidos penetrantes:

- Viscosidad: Tiene marcado efecto sobre las propiedades del penetrante. Influye mucho sobre la velocidad de entrada del líquido en las grietas.
- Tensión superficial y poder humectante: Son las 2 propiedades que determinan la facultad de penetración del líquido.
- Volatilidad: Debe ser pequeño para garantizar la estabilidad en forma líquida del penetrante una vez extendido sobre la superficie.
- Inercia química: El penetrante debe ser inerte y no corrosivo.
- Toxicidad, olor e irritación de la piel: El efecto de los líquidos sobre los operadores es de principal importancia.

## **TEMA 15, 2º PARTE: ENSAYOS CON PARTÍCULAS MAGNETIZABLES.**

### Aplicabilidad y limitaciones del método:

Este método se basa en que toda partícula ferrosa, susceptible a ser magnetizada, al entrar en contacto con un imán se orienta de acuerdo con su respectiva polaridad y sigue la línea de fuerza del campo magnético.

Dichas líneas se interrumpen tan pronto como el cuerpo principal presenta alguna discontinuidad superficial.

Si se trata de fallas superficiales las partículas siguen el contorno de la grieta, las que resultan perfectamente delineadas.

En cambio una falla sub-superficial (hasta 0,8 mm) da origen a una acumulación desdibujada de las finas partículas en la inmediación del defecto.

Las fallas superficiales son detectadas sin ningún requisito. No sucede lo mismo con las fallas sub-superficiales cuyo mayor o menor grado de definición depende de la profundidad de la falla.

El método es utilizado únicamente en materiales ferromagnéticas, y es muy utilizado para detectar fisuras producidas por el temple o en inspección de dientes de engranajes, álabes de turbina y árboles sometidos a momentos torsor (cigüeñales, ejes, etc.)

Este método no puede realizarse en aceros austeníticos (industria química y alimenticia), acero no magnetizable (acero inoxidable).

Siempre se busca que la falla y el campo magnético sean perpendiculares.

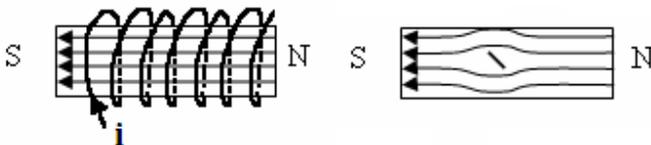
El campo magnético siempre busca el camino más permeable.

### Procedimiento de magnetización:

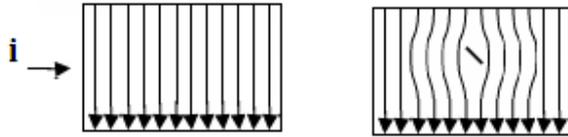
Para magnetizar las piezas a exámenes generalmente se emplea corriente continua, pero existen caras en que se aplica corriente alterna.

La pieza se puede magnetizar de 2 formas:

- *Magnetización longitudinal:* se utiliza para detectar fisuras transversales y se logra con un solenoide o varias vueltas de un conductor arrollado en la pieza, por el cual se hace pasar corriente. Una falla transversal desvía lateralmente las líneas de flujo magnético longitudinal.



- *Magnetización transversal*: se utiliza para detectar fisuras longitudinales y se logra utilizando un yugo por partes.



Los métodos de magnetización pueden ser residuales o continuos. En caso de ser continuos la corriente induce el flujo magnético durante todo el tiempo que dure la prueba y en caso de ser residual se aplica la corriente y elimina, quedando en la pieza magnetismo residual cuando se aplica el polvo magnético.

El uso de uno u otro método depende del material a examinar y su receptividad magnética.

### Polvo magnético:

El polvo está constituido por hierro u óxido de hierro magnético.

Generalmente el polvo se provee en colores negros y rojos oscuros, empleándose aquel que más se destaque sobre la superficie de la pieza a examinar (éstas se observan con luz blanca). También existen con revestimiento fluorescente que permiten efectuar la observación con luz negra.

Su tamaño oscila entre 60  $\mu\text{m}$  y 300  $\mu\text{m}$ , siendo las más empleadas las de 130  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$ .

En piezas con fisuras finas se utiliza partículas más finas y en piezas con fisuras mayores se utilizan partículas más grandes. En muchos casos en la misma pieza encontramos ambos tipos de fisura, por lo que se utiliza un polvo magnético con 20 % de partículas finas y 80 % de partículas gruesas.

Las partículas son de forma alargada para obtener una orientación fácil. Las partículas de hierro metálicas están recubiertas para evitar la oxidación y que se adhiera a la pieza. El polvo magnético se puede aplicar en seco o en húmedo. En el primer caso se espolvorea sobre la pieza, mientras que en el segundo esta suspendida, ya sea en agua o aceite de baja viscosidad.

### Procedimiento de ensayo:

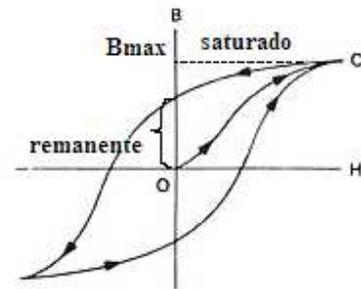
- Antes de aplicar el polvo se limpia la superficie eliminando impurezas, grasas, pinturas u óxidos. Esto se hace de forma mecánica o química.
- Se magnetiza la pieza de la mejor forma para obtener un buen ensayo.
- Se aplica el polvo seco o en suspensión y se observa cuidadosamente.
- Se puede tomar una fotografía para que quede registro.

### Desmagnetización de las piezas ensayadas:

En muchos casos la pieza después del ensayo queda magnetizada y esto se puede utilizar en esa condición, pero en otros casos es necesario eliminar el campo inducido. La desmagnetización se realiza sometiendo a la pieza a la acción de un campo magnético que invierta continuamente en dirección y que disminuye al mismo tiempo su resistencia.

B → Campo Magnético

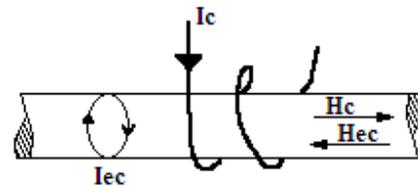
H → Intensidad de campo



## Tema 15, 3º Parte: Ensayos por Inducción Electromagnética.

### Principios básicos:

La pieza a ensayar pasa por un cabezal de ensayo que contiene la bobina de ensayo. Dichas bobinas reciben la alimentación de una corriente alterna  $I_c$  de amplitud constante, que genera un campo magnético alterno  $H_c$ , alrededor del arrollamiento. Siendo conductor el material a ensayar, el campo magnético alterno induce un flujo de corriente parásita  $I_{ec}$  en el material, que a su vez, genera un campo magnético  $H_{ec}$  que tiende a oponerse al campo primario de la bobina.



De este modo queda debilitado el campo primario de la bobina, reduciéndose la inductancia de la misma.

La presencia de una falla modifica la corriente parásita local en el material y esas pequeñas modificaciones en la corriente son detectadas por el instrumento de medida. La sensibilidad del aparato para captar las fallas se puede aumentar eligiendo adecuadamente la frecuencia, la fase y el diseño de las bobinas.

Este método tiene la ventaja de que puede aplicarse a cualquier tipo de material conductor de la electricidad, independientemente de sus propiedades magnéticas (materiales ferrosos y no ferrosos), con lo cual el campo de aplicación es mucho más amplio que el ensayo de partículas magnetizables.

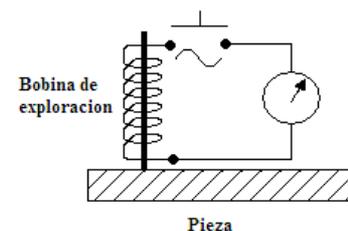
El resultado de la medición es independiente del ancho de la fisura.

Los aparatos para la detección de fisuras tienen palpadores que sirven para determinar la profundidad de la grieta.

### Control diferencial:

#### - De bobina de exploración:

Consiste en hacer pasar una corriente alterna por una bobina de exploración, generando un campo magnético  $B$ . Las variaciones en el campo (producidas por fisuras, poros, escorias, etc.) son detectadas por la misma bobina,



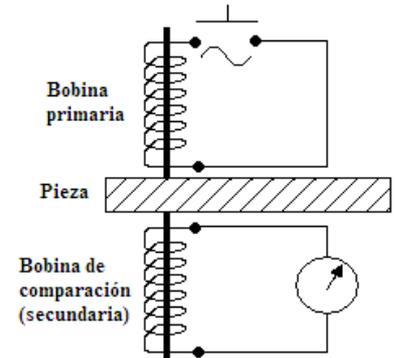
debido a las corrientes parásitas formadas en la pieza. Se utiliza principalmente para:

- Determinar espesores de metales no ferromagnéticos
- Encontrar despegues grandes de capas con separación pequeña
- Espesor de capa aislante
- Para piezas de gran superficie

- De bobina en horquilla:

El funcionamiento es igual al anterior, sólo que una bobina genera el campo B, y la otra detecta las alteraciones. Las 2 se montan en una horquilla manteniendo la separación constante. Se utiliza principalmente para:

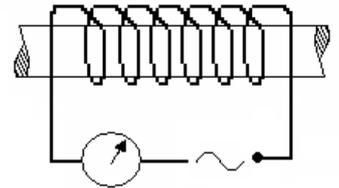
- Determinar espesores de láminas de chapa
- Comprobar defectos
- Para piezas no tan grandes



- De bobina periférica:

Difiere de las otras dos en la exploración. En este caso la pieza va por dentro de la bobina y no por fuera como en las dos anteriores. Se utiliza principalmente para:

- Piezas delgadas y alargadas
- Barras, ejes, etc.



## TEMA 16: RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL.

### Radiaciones Ionizantes:

Los rayos X y los rayos  $\gamma$  son radiaciones electromagnéticas (ondas) que poseen la propiedad de penetrar en los materiales, inclusive los metales. Dicha propiedad se aprovecha en metalurgia para estudiar la estructura de los metales.

Ello se logra mediante la captación sobre una película sensible de los espectros que producen al atravesar los cuerpos en estudio.

Las ondas de radiación se mueven a una velocidad constante de  $V = 3 \times 10^8$  m/s y no son desviadas por campos eléctricos, ni magnéticos, no se refractan, atraviesan cuerpos opacos, impresionan placas.

Son absorbidos por los cuerpos según su espesor, densidad y su longitud de onda (a mayor espesor, densidad y mayor longitud de onda, entonces mayor absorción y la placa se ve más clara).

La radiación electromagnética tiene una energía característica.  $E = h \cdot f$  [J]

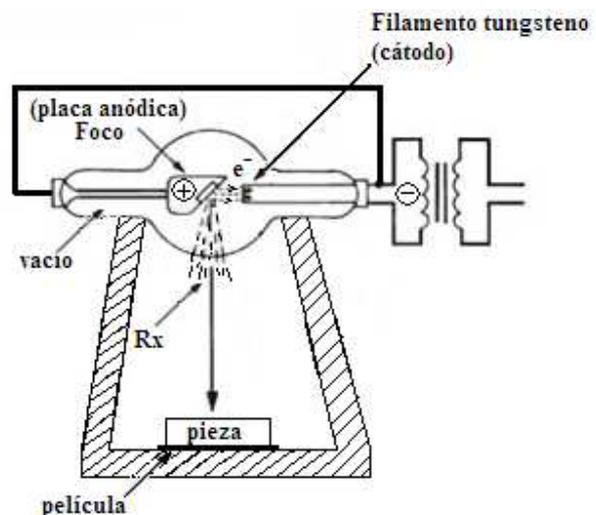
Donde  $h \rightarrow$  Constante de Planck =  $6,62 \times 10^{-34}$  J.s

$f \rightarrow$  Frecuencia en Hz

Tipos de Radiación	}	Visible $\rightarrow E \approx 10$ eV
		Rx $\rightarrow E = (1 \text{ KeV a } 100 \text{ KeV})$
		R $\gamma$ $\rightarrow E = (100 \text{ KeV a } 1 \text{ MeV})$
		Cósmica $\rightarrow E \approx 10$ MeV

### Funcionamiento del tubo Roëntgen. Generación de rayos X:

La generación de rayos X se produce cuando los electrones emitidos por un filamento incandescente (de tungsteno) que constituye el cátodo, choca contra una placa anódica. Dichos electrones se desplazaban a gran velocidad por lo que al ser detenidos bruscamente por el ánodo, parte de la energía cinética se transforma en energía radiante con una frecuencia  $F$ , la otra parte de la energía sale de la cohesión de los electrones. Es decir, la corriente  $i$  genera electrones que después van a generar energía por:



- Efecto de frenamiento: Rx de espectro continuo
- Colisión entre electrones: Rx de espectro discontinuo.

El rendimiento de un tubo de rayos X se expresa por la relación entre la energía radiante producida y la energía gastada.

El rendimiento es independiente de la corriente que circula por el tubo, y aumenta con el número de átomos del ánodo y con el voltaje. La necesidad de emplear voltajes elevados se debe a que los rayos X pierden gran parte de su energía al atravesar los materiales, con lo cual con voltaje elevado se asegura la posibilidad de que los rayos penetren espesores considerables de casi todos los materiales y que la energía con que lo hacen sea suficiente como para impresionar una placa o película radiográfica.

El voltaje que se le aplica al tubo y la corriente que pasa por el mismo se puede regular en forma independiente. De este modo se puede operar dentro de un amplio campo de posibilidades que hacen factible radiografiar ya sea un material delgado o un espesor de acero de 350 mm.

### Generación de rayos $\gamma$ :

La principal fuente de rayos  $\gamma$  proviene de la fisión de los elementos radiactivos o de los elementos radiactivos obtenidos artificialmente por exposición de algunos metales a una fuente radiactiva en pilas atómicas por lo que reciben el nombre de isótopos o radioisótopos.

Los elementos radioisótopos o isótopos más usados en los ensayos de gammagrafía son el Radio 226, Cesio 137, Cobalto 65 e Iridio 192.

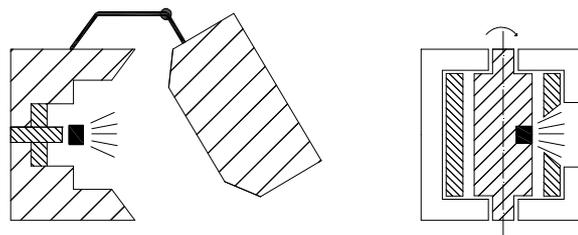
Los radioisótopos se colocan en pequeñas cápsulas de plata, encerrando el conjunto en un recipiente de duraluminio para asegurar su protección.

Para los casos comunes de gammagrafía se coloca entre 100 y 300 mg del elemento radiactivo en una misma unidad. La energía radiante varía directamente con la cantidad de isótopos empleados. Para la utilización de rayos  $\gamma$  debe seleccionarse correctamente el radioisótopo teniendo en cuenta las longitudes de onda que necesitamos y la velocidad de desintegración de éste.

Radioisótopo: Isótopo radiactivo de un elemento, que se produce artificialmente mediante bombardeo con partículas de elevada energía.

### Tipos de fuente:

Radioisótopo preparado.



### Diferencia entre rayos $\gamma$ y rayos X:

Los rayos  $\gamma$  difieren de los rayos X por tener una longitud de onda menor, por esta razón una radiografía con rayos X requiere solamente unos minutos de exposición, mientras que los rayos  $\gamma$  varias horas cuando se trata de espesores de acero superiores a 25 mm

Desde el punto de vista de la imagen obtenida, las radiografías realizadas con rayos X son mejores que las realizadas con rayos  $\gamma$ .

El equipo de rayos X es considerablemente más caro que el de rayos  $\gamma$ , aunque el de rayos  $\gamma$  requiere la renovación de la fuente cada cierto tiempo.

El equipo de rayos  $\gamma$  funciona sin necesidad de alimentación eléctrica, es más ligero y más manejable que el de rayos X.

Los rayos  $\gamma$  tienen un poder mayor de penetración en materiales gruesos o pesados aunque esto afecta ligeramente la definición.

Los equipos de rayos X son más seguros, ya que solo radian cuando se trabaja, una vez desconectados de la electricidad detienen el proceso.

### Película radiográfica: Proceso fotográfico:

Una vez que la radiación ha atravesado el objeto a radiografiar, el flujo pasante será más o menos intenso según el espesor del material atravesado y la naturaleza de éste.

Lo que al principio llamamos imagen virtual puede ser transformada en real si se proyecta sobre un material fotosensible (película) sometiéndola a determinadas manipulaciones (proceso).

La película radiográfica consiste en una suspensión de un haluro de plata extendida en forma de capa fina por las dos caras de una hoja soporte transparente de acetato de celulosa. Los granos de plata, generalmente cloruro y bromuro son el componente sensible de la emulsión. Cuando la radiación incide sobre algún grano de haluro, éste queda sensibilizado de tal modo que, aunque de momento no sea posible distinguir en él ninguna modificación especial, al ser sometido a un tratamiento químico adecuado con un producto reductor (revelador), se descompone gran parte en plata metálica que lo ennegrece y en halógeno.

Las partes de la emulsión que han tenido más radiación tendrán mayor proporción de granos sensibilizados por unidad de superficie y luego de revelado el material, esta zona resultará más oscura por la mayor cantidad de plata (negro) liberada.

Una vez obtenida la imagen latente, hay que transformarla en otra real, examinable y duradera. Se consigue esto mediante un proceso químico que tiene lugar en dos etapas:

- Revelado: En el cual un agente reductor suave continúa en los granos de haluro impresionados, la reducción a plata metálica, actuando de catalizador del proceso la plata reducida sobre el germen. (4 minutos aproximadamente).
- Fijado: En el que un producto, capaz de disolver el haluro no revelado, lo elimina, dejando transparentes e insensibles las zonas impresionadas. (5 minutos aproximadamente)

Después del fijado se lava la película en abundante agua corriente. Luego se seca y escurre con cuidado. A continuación suele sumergirse en una solución detergente que contiene alcohol, el cual activa la evaporación del agua y distribuye uniformemente la humedad sobre la película.

## Características de la imagen y de las películas radiográficas:

La naturaleza de la emulsión es de gran importancia, ya que de ello depende principalmente el aspecto físico de la imagen, teniendo en cuenta que dicha imagen está formada por los puntos negros de los granos de plata reducido y que la cantidad de dichos granos por unidad de superficie, es crítica para la nitidez de la imagen.

En general, puede decirse que las películas de grano fino dan imágenes de alta definición y gran calidad, aunque necesita mucho tiempo para impresionarse (película lenta). En cambio, el grano grueso es causa de imagen de inferior calidad, pero se necesita una exposición breve (película rápida).

El ennegrecimiento de la película se mide por su densidad fotográfica D.

$D = \log (I_i/I_t)$        $I_i \rightarrow$  Luz con que se ilumina la película para observarla a trasluz

$I_t \rightarrow$  Luz que pasa al ojo del observador

La sensibilidad es la facultad característica de cada emulsión de ennegrecerse mas o menos para una cierta exposición.

$$S = dD / d(\log E)$$

Las películas pueden agruparse como sigue:

- Películas de tipo directo, grano muy fino, alto contraste y baja velocidad.
- Películas de tipo directo, grano fino, alto contraste y velocidad media.
- Películas de tipo directo, grano y contraste medios y alta velocidad.
- Películas de tipo indirecto, para emplear con pantallas reforzadoras.

## Hojas reforzadoras:

Estas pueden ser metálicas o fluorescentes. En general son artificios destinados a mejorar la calidad de la imagen y/o conseguir con dosis bajas de radiación imágenes que solo podrían obtenerse con otros más altos.

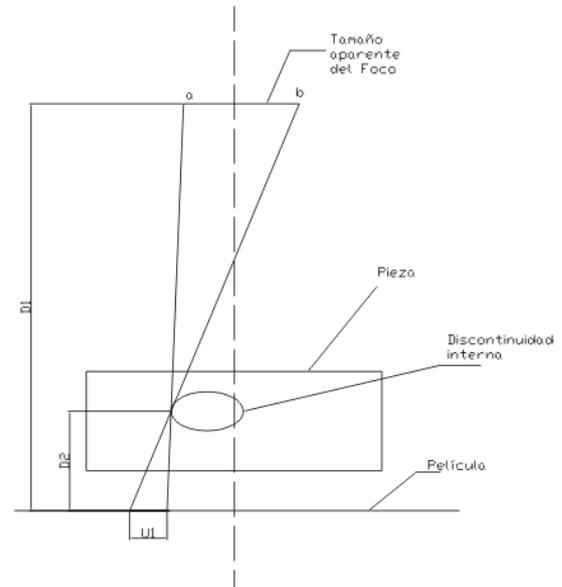
Las pantallas fluorescentes se basan en el efecto de fluorescencia o ley de Stokes. Las pantallas metálicas tienen mayor uso, consisten en hojas de plomo de 0,1 mm a 0,001 mm de grosor montadas sobre cartulina, entre las cuales se coloca la película radiográfica, procurando que su adaptación a las superficies metálicas sea lo más perfecta posible.

## Factores que influyen en la obtención de una radiografía de calidad:

Podemos estimar que la calidad radiográfica viene afectada por numerosos factores que se agrupan en 2 ramas: factores que afectan a la definición y factores que afectan al contraste.

La *definición* puede definirse como el grado de nitidez que presentan los bordes de la imagen correspondientes a las partículas del objeto radiografiado. La penumbra afecta la nitidez. La penumbra es función de la dimensión aparente máxima de la fuente, de la distancia entre fuente y película y la distancia entre objeto y película. La penumbra no puede evitarse, pero puede reducirse si:

- La fuente es lo más pequeña posible.
- La distancia fuente-película (D1) sea la mayor posible
- La distancia objeto-película sea lo menor posible.



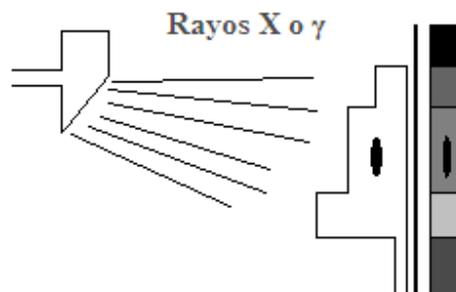
La distancia fuente-película, tiene un límite establecido por el punto en que el decrecimiento de la penumbra queda enmarcado por los efectos de la difusión y aporte se aumenta mucho el tiempo de exposición.

- El *contraste* puede definirse como la diferencia de luminosidad que percibe el observador entre dos partes más o menos oscuras. Esta percepción depende de:
  - Del observador y de los medios de visualización
  - De la naturaleza y forma del objeto
  - De las características de la película utilizada y su procesado
  - De la naturaleza de la radiación
  - De la técnica operatoria seguida

### Interpretación de placas radiográficas:

Cuando los rayos atraviesan un material de densidad uniforme, exento de fallas y de espesor constante la película queda impresionada uniformemente, por que recibe la misma cantidad de radiación en todos sus puntos (la película queda toda del mismo color).

En cambio cuando el material es de distintas densidades y/o espesores, la cantidad de radiación



absorbida por el material esta en relación con la densidad con la cual:

- A mayor densidad y/o espesor, menos es la radiación que atraviesa esa parte y por lo tanto la película queda menos impresionada (color claro).
- A menor densidad y/o espesor, mayor es la radiación que atraviesa esa parte y por lo tanto la película queda más impresionada (colores oscuros). En los lugares que no existe material el color es negro.

La formación de la imagen radiográfica se rige por las leyes de la perspectiva cónica, lo que se debe tener muy en cuenta al interpretarlas. Por ejemplo en la radiografía aparece una elipse o un ángulo obtuso, corresponde en el objeto a un círculo o un ángulo agudo.

### Indicador de Calidad de Imagen (ICI):

Se utiliza para calibrar la sensibilidad que se puede obtener en una radiografía. Lo que equivale a la magnitud más pequeña de defecto que es posible observar.

Si se coloca el ICI sobre el objeto a radiografiar, este se comporta como un incremento conocido de espesor. Si una vez manipulada la radiografía y examinada en condiciones adecuadas, puede percibirse la imagen del ICI, es lógico suponer que otro incremento de espesor igual o mayor será también perceptible, y si no se percibe el ICI, tampoco se podrá percibir un espesor igual o menor al del ICI.

Calidad ICI =  $(e/E) \times 100\%$        $e \rightarrow$  Espesor del ICI

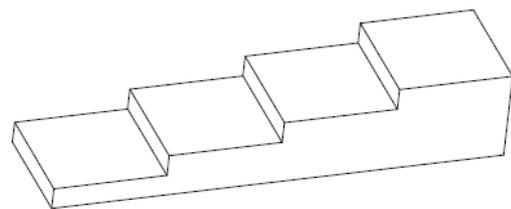
$E \rightarrow$  Espesor total de la pieza

Cuanto menor sea este valor, menor será la calidad de imagen.

Los indicadores se pueden clasificar en:

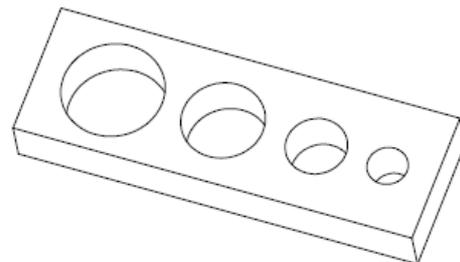
- Indicador de escalerilla:

Consiste en escaleras talladas en un material de similar absorción de rayos comparado con el material a radiografiar. Es esencial conocer la altura de los escalones para tener una escala de grises en la radiografía y notar cual es el mínimo espesor visible.



- Indicador de agujeros:

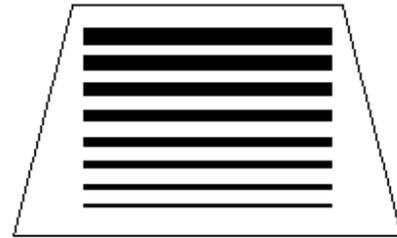
Consiste en plaquitas planas cuyo grosor está perfectamente determinado, en la que se realizan varios orificios de diámetros crecientes y conocidas.



La mayor cantidad de ICI de la norma ASME pertenece a este tipo.

- Indicador de hilo:

Son conjuntos de hilos de material similar al que va a radiografiar. Los diámetros de los hilos varían con una cierta proporción. La lectura se realiza sobre el hilo más fino visible. Este sistema utiliza la norma DIN y norma ISO.



Son 16 varillas agrupadas en 3 grupos:

- o Grupo 1: varilla 1 a la 7
- o Grupo 2: varilla 6 a la 12
- o Grupo 3: varilla 10 a la 16

Los grupos de hilos están montados sobre caucho, plástico, etc.

### Identificación de la sección radiográfica:

Cada sección a radiografiar se identifica con letra o símbolos. La imagen de este elemento debe aparecer en la radiografía para asegurar la correcta identificación de la sección.

### Elección de la energía de radiación:

La elección de la energía de radiación depende de:

- El espesor y material del espécimen
- La accesibilidad para el equipo radiográfico empleado

Como regla general, el contraste radiográfico aumenta a medida que disminuye la energía de radiación, por lo tanto siempre que no existan otras razones se debe trabajar con la menor energía posible compatible con un tiempo de exposición aceptable.

### Procedimiento de ensayo:

Para el procedimiento de ensayo hay que tener en cuenta las siguientes cuestiones:

- Hay que metodizar la distancia foco-probeta
- Hay que metodizar la penumbra

- Hay que metodizar el ICI
- Hay que metodizar la identificación del producto
- Hay que metodizar el tiempo de exposición
- Hay que definir el material y espesor de la pieza
- Hay que definir la corriente  $i_{\max}$  (en equipos de rayos X)
- Hay que definir la diferencia de potencial  $\Delta V_{\max}$  (en equipos de rayos X)
- Hay que definir el tamaño del foco
- Hay que definir el tiempo de calentamiento del filamento; aumento gradual de  $i$  (en equipos de rayos X)
- Hay que definir la calidad de la película y la pantalla reforzadora

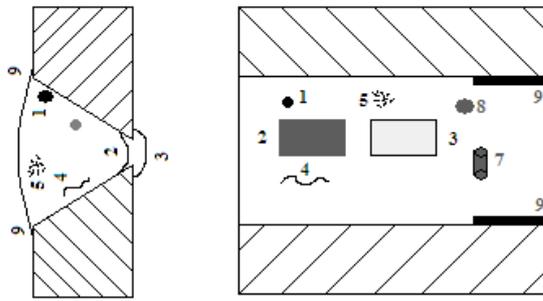
### Normas de aplicación para uniones soldadas:

Estas normas nos indican si el material es utilizable o debe ser soldado nuevamente para corregir defectos:

- ASME CODE sección VIII/ IX
- AA SOTO AWS 01.5
- API 1129
- AWS 01.4

### Defectos en soldaduras:

1. Poro (se ve oscuro)
2. Falta de penetración: no suelda todo el talón (se ve una línea recta)
3. Sobre espesor de la raíz: suelda con espesor grande el talón (se ve una línea recta más clara que 2)
4. Fisura (se ven oscuras)
5. Escorias (se ven grises)
6. Falta de fusión (se ve oscuro)
7. Porosidad vermicular: es una burbuja que sube cuando el metal está líquido y se detiene cuando solidifica (se ve oscuro)
8. Inclusiones: por ejemplo tungsteno (se ve más claro por ser más denso)
9. Soldadura (se ve oscura)



Defectos en materiales fundidos:

1. Poro (se ve oscuro)
2. Nido de poros (se ven oscuros)
3. Porosidad por contracción: rechupes (se ven oscuros)
4. Escorias no metálicas
5. Fisuras (se ven oscuras)

## **TEMA 17: ENSAYO POR ULTRASONIDO**

### Comportamiento de las ondas ultrasónicas:

La aplicación de ultrasonido para la detección de fallas constituye uno de los métodos de ensayo no destructivos más importantes, tanto por su versatilidad como por su facilidad de aplicación.

El ensayo con ultrasonido constituye un método de control para los materiales que poseen conductividad acústica como los metales, cerámicas, plásticos, etc.

Las ondas ultrasónicas tienen una frecuencia de oscilación de  $F > 20$  [KHz]. Desde el punto de vista teórico, las ondas se pueden propagar en cualquier medio donde existan átomos o moléculas que puedan vibrar elásticamente, es decir que estas ondas pueden propagarse tanto por medios sólidos como por líquidos o gaseosos.

Sin embargo debe tenerse en cuenta que tanto en los gases como en líquidos las ondas sonoras se pueden propagar solo longitudinalmente y no transversalmente. Ello se debe a que en los gases el módulo de elasticidad transversal  $G$  es nulo. En cambio en los cuerpos sólidos se presentan tanto ondas transversales, longitudinales o ambas a la vez. Ello se debe a que el vínculo elástico de los átomos tiende a mantener a esos en una posición de equilibrio.

Los tipos de ondas que se pueden presentar en los sólidos son:

- Ondas longitudinales y transversales: en las ondas longitudinales la dirección de oscilación coincide con la dirección de propagación.  
En las ondas transversales la dirección de oscilación de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Esas ondas se presentan en los sólidos cuando sus dimensiones en todas las direcciones son muy superiores a la longitud de onda aplicada.
- Onda de alargamiento, de flexión y de torsión: Estas ondas tienen lugar en aquellos cuerpos cuyo espesor es del mismo orden que el de la longitud de onda.  
La onda de torsión se puede formar en cuerpos con forma de barras. Se trata de oscilaciones alrededor del eje longitudinal de la barra.
- Onda de superficie: Estas ondas se propagan solamente en las superficies y suelen seguir las irregularidades de las mismas.

Cada problema en particular es función del tipo de onda que se elija, si bien las más usadas son las longitudinales y transversales.

### Velocidad de propagación:

$V = \lambda \cdot F$  —————→  $V$  depende del tipo de material, de su densidad, de la temperatura, de la estructura cristalina, de la orientación cristalina y de la presión (para gases).

$$V_{\text{aire}} (0 \text{ } ^\circ\text{C}) = 330 \text{ [m/s]}$$

$$V_{\text{agua}} (20 \text{ } ^\circ\text{C}) = 1460 \text{ [m/s]}$$

$$V_{\text{aire}} (20 \text{ } ^\circ\text{C}) = 340 \text{ [m/s]}$$

$$V_{\text{acero}} (20 \text{ } ^\circ\text{C}) = 5900 \text{ [m/s]}$$

### Generador de ultrasonido:

Existen de dos tipos, los piezoeléctricos para  $f > 100$  [MHz] y los electromagnéticos para  $f < 100$  [MHz], de 20 [KHz] a 200 [KHz].

- Generador piezoeléctrico (Corie 1870):

La onda ultrasónica se genera en un palpador por la excitación de su placa vibratoria por medio de una alta frecuencia. Para las placas vibratorias se utiliza un cristal piezoeléctrico que es generalmente de cuarzo aunque existen otras sustancias que sirven para el mismo fin. En estas se genera el efecto llamado piezoeléctrico. Una pequeña placa cortada de un cristal de cuarzo natural orientado de modo que sus caras sean perpendiculares a los ejes cristalográficos presentan la particularidad de que si sobre dos caras opuestas de la placa se ejerce una sollicitación de tracción o compresión este se carga eléctricamente estableciendo una tensión eléctrica entre ambos. Si se recubren ambas caras con láminas metálicas, es posible medir la tensión eléctrica generada.

En consecuencia, si se hace incidir una onda ultrasónica perpendicularmente sobre la placa de cuarzo, esta quedará sometida a un estado de sollicitación oscilante de compresión – tracción. Por ende entre ambas caras de la placa aparecerá una tensión eléctrica alterna que será inducida por el aparato ultrasónico previa amplificación.

El efecto piezoeléctrico descrito es recíproco. En efecto, si se someten a las dos caras opuestas de la placa de cuarzo a una tensión eléctrica alterna, se originan en la misma vibraciones de igual frecuencia. De esta manera se puede provocar vibraciones en la banda superior del ultrasonido, que se propagan al cabezal del aparato como ondas ultrasónicas.

- Generador electro magnético (Joule 1850):

Este efecto consiste en que los metales ferromagnéticos, tales como aleaciones Fe-Ni, poseen la propiedad de contraerse o dilatarse en ciertas y determinadas direcciones cuando se las somete a la influencia de campos magnéticos.

### Equipamiento utilizado:

Existe gran variedad de equipos de ultrasonido para realizar ensayos no destructivos según la finalidad del ensayo, como puede ser problemas de defectología (detección e identificación de heterogeneidades), problemas de caracterización (naturaleza y estado del material) o problemas de metrología (control de espesor).

Cada problema requiere una conjugación adecuada de las siguientes características: sistemas de excitación, sistema de emisión y recepción del ultrasonido, frecuencia de ensayo, sistema de sincronismo, generador de alta frecuencia, amplificador, sistema de representación y monitores, palpadores.

### Sistemas de emisión y recepción de ultrasonido:

Se pueden clasificar según operen por esos métodos:

- Método de resonancia.
- Método de transparencia.
- Método de impulso-eco.

Estos métodos se clasifican a su vez por la magnitud medida:

- Frecuencia de resonancia (B).
- Intensidad acústica (I)
- Tiempo de recorrido del ultrasonido (T).
- Intensidad acústica y tiempo de recorrido (IT)
- Método de resonancia:

Este método se hace en la medida de la frecuencia de resonancia por reflexión y se emplea primordialmente para medir espesores de productos de superficies paralelas, no resulta adecuado para detección de heterogeneidades, tampoco es adecuado para la medida de espesores de corrosión o picaduras.

- Método de transparencia:

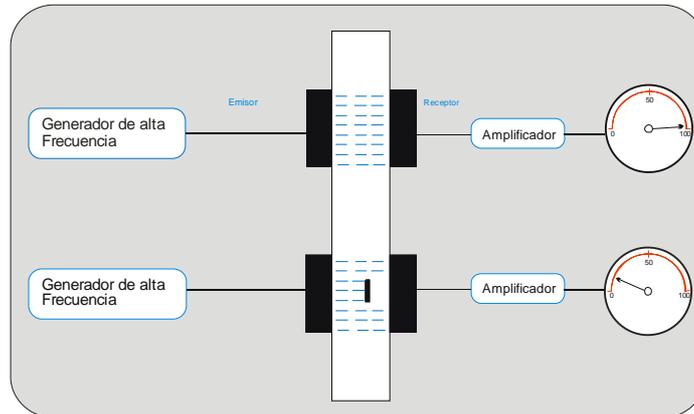
Este método está basado en el efecto de sombra que un obstáculo (heterogeneidad en el seno de la muestra) produce al ser iluminado por el haz de ultrasonido.

El oscilador emisor y el receptor actúan separados y opuestos, recogiendo este último la debilitación de la intensidad acústica debido al obstáculo.

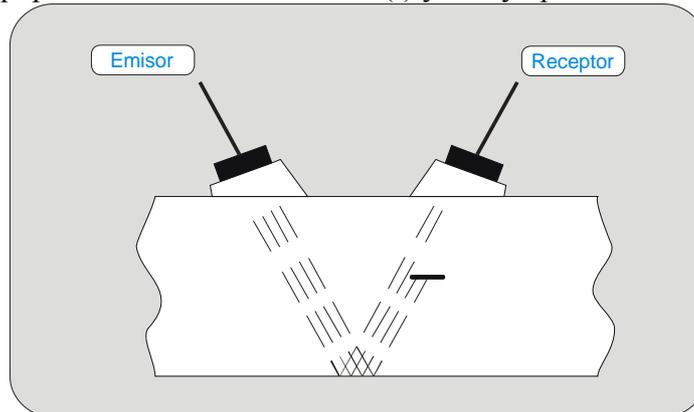
El método opera por transmisión, reflexión, conducción o proyección.

Pueden medir:

- Intensidad acústica ( $I$ ) de un haz de ultrasonido de excitación continua que atraviesa el material.
- Intensidad acústica y tiempo de recorrido ( $IT$ ).



Equipo de medida de intensidad ( $I$ ) y ensayo por transmisión.



Ensayo de medida de intensidad ( $I$ ) por reflexión.

- Método impulso – eco:

Están basados en el efecto de eco que un “reflector” (heterogeneidad en el seno o en la superficie de una muestra) produce al ser iluminado por un haz de ultrasonido.

En estos métodos el oscilador receptor separado o formando una unidad con el oscilador emisor recoge el eco del reflector transformándolo en la indicación correspondiente.

Con este método se puede medir:

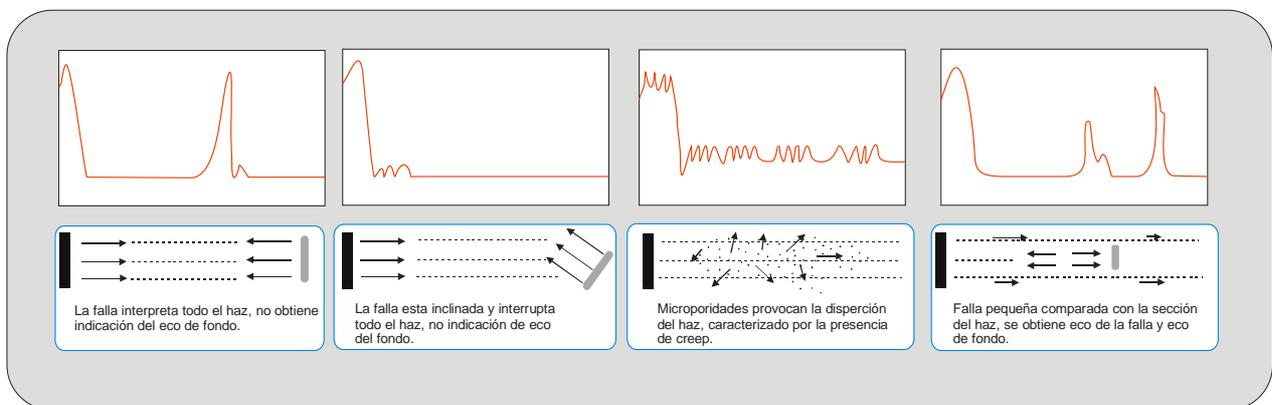
- Tiempo de recorrido ( $T$ ) que tarda el impulso acústico en recorrer un espesor dado de material (recorrido de ida y vuelta por reflexión).

Se utiliza mucho para medir espesores en industrias que tienen problemas de corrosión.

- Intensidad acústica y tiempo de recorrido (IT), emite impulsos acústicos cortos a intervalos constantes de manera que se obtiene una respuesta periódica que es función del tiempo de recorrido del impulso acústico del oscilador emisor al receptor.

El impulso acústico recibido o eco, procedente de su reflexión en una heterogeneidad o en la superficie límite de la muestra, se transforma en una señal que aparece en la pantalla en porciones proporcionales al tiempo que demora en ser recibida por el receptor (si hay una falla demora menos) y su altura es proporcional a la presión acústica reflejada (indica el tamaño de la falla).

Se darán algunos ejemplos de este método y forma de medida IT por ser el más utilizado.



### Factores que influyen en los resultados:

- Medio de acoplamiento: Se debe colocar un medio acústicamente conductor entre el palpador y la pieza, ya que una fina capa de aire impedirá la transmisión de la presión acústica a la pieza. Los acoplamientos generalmente empleados son grasas y aceites de diverso grado de viscosidad.
- Condiciones y acabado de la superficie: Las cascarillas de óxidos o los tratamientos termoquímicos o protectivos mal adheridos dan lugar a la merma de transmisión. La rugosidad también es un inconveniente. Conviene preparar la superficie de exploración con lija, desbaste, chorro de arena, etc.
- Efecto de la curvatura de la superficie: produce cambios en la divergencia del haz, aumentándolo o disminuyéndolo.
- Efecto de la frecuencia de excitación y diámetro del cristal: La disminución de la frecuencia y excitación y el aumento del diámetro del cristal mejoran la transmisión del ultrasonido a la pieza.

### Palpadores utilizados:

Los palpadores constituyen una de las unidades básicas del equipo de ultrasonido. El oscilador constituye el elemento clave y el resto de los componentes que integran el palpador modifican las características emisoras y receptoras de este.

Los palpadores se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Palpadores de contacto: Se aplica directamente a la superficie de la muestra, con cierta presión interponiendo un medio de acoplamiento. Según la dirección de propagación del haz pueden ser de incidencia normal o incidencia angular.
- Palpadores de inmersión: Los palpadores no están en contacto directo con la muestra, están sumergidos en un líquido. Se utilizan cuando se realizan exploraciones de gran volumen y extensión o muestras de forma relativamente compleja.

## **TEMA 18: TEORÍA DE LA FOTOELASTICIDAD**

### **Fotoelasticidad:**

El vidrio, el celuloide, el lucite y otros materiales, sometidos a tensiones, exhiben ciertos diseños o formas coloreadas cuando se examinan con luz polarizada.

El retardo óptico que es causante de los efectos de color, es proporcional a la diferencia de las tensiones principales que reinaban en el vidrio.

Se constituyen modelos con materiales apropiados y se los somete a cargas similares a la que está sometida la pieza representada, se las examina con luz monocromática y se ve que las tensiones desarrolladas en el modelo son las mismas que ocurrirán en la pieza.

Esta técnica se utiliza con estructuras de contorno irregular, cuya solución analítica es muy compleja, o cuando se trata de concentración de tensiones con cambio de sección.

Entre las principales ventajas del método fotoelástico tenemos:

- Se obtiene un panorama total de la distribución de tensiones.
- Mide las tensiones punto a punto en problemas bidimensionales.
- Brinda una exacta determinación de las tensiones en cuerpos irregulares.
- Proporciona resultados cualitativos para ubicar lugares de máxima y mínima tensión.

En cuanto a las desventajas:

- Es un método indirecto que requiere el empleo de moldes a escala.
- La separación de tensiones principales individuales en puntos internos se hace borrosa.
- Se aplica solo en sollicitaciones bidimensionales (los métodos tridimensionales son muy complejos)
- La aplicación del método se limita a la determinación de tensiones elásticas debidas a la aplicación de fuerzas externas.

## Cristales birrefringentes:

Estos cristales son anisótricos, es decir, la velocidad de una onda luminosa que se propaga a través de ellos no es la misma en todas las direcciones.

Una consecuencia de esta propiedad consiste en que un rayo de luz que incide normalmente sobre el cristal es dividido en dos rayos al entrar en el cristal.

El rayo correspondiente a las superficies de ondas tangenciales a las ondas secundarias esféricas no se desvían y reciben el nombre de rayos ordinarios.

El rayo correspondiente a las superficies de ondas tangenciales a las elipsoides se desvían y se denominan rayos extraordinarios.

Si el cristal gira en torno al rayo incidente, el rayo ordinario permanece fijo, pero el extraordinario gira en torno a él.

