

Proyecto Fin de Carrera

**DISEÑO Y MANUAL DE OPERACIÓN DEL
LABORATORIO DE MATERIALES DE LA
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS DE
VARKAUS (FINLANDIA)
LABORATORY OF THE UNIVERSITY OF APPLIED
SCIENCES; VARKAUS, FINLAND.**

Autor/a: Carmen Aguado Learte

Director/es y/o ponente: Fco. Javier Martínez Gómez

Departamento de Ingeniería Mecánica

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial
Especialidad: Mecánica

Contenido

1	Objeto y alcance del proyecto:.....	6
2	Tipos de ensayos a realizar en materiales:.....	8
2.1	Ensayos no destructivos (Non-Destructive Tests, NDT):	8
2.1.1	Ensayo con líquidos penetrantes:.....	9
2.1.2	Ensayo de partículas magnéticas:	11
2.1.3	Corriente de Foucault:	13
2.1.4	Ensayo de ultrasonidos:	15
2.1.5	Test de rayos X (radiología industrial):	17
2.2	Ensayos destructivos:	19
2.2.1	Conceptos previos:	20
2.2.2	Ensayo de tracción:	23
2.2.3	Ensayo de fluencia:	27
2.2.4	Fractura:	29
2.2.5	Fatiga:.....	31
2.2.6	Ensayo de dureza:.....	33
3	Máquinas analizadas para la instalación del laboratorio:.....	40
3.1	Análisis y manual de instalación uso y mantenimiento de la máquina de la máquina Metallographic Cut-Off Machine TR100E:	40
3.1.1	Partes en las que se divide la máquina: Metallographic Cut-Off Machine TR100E:	41
3.1.2	Condiciones de seguridad:	46
3.1.3	Configuración de la máquina metalográfica Metallographic Cut-Off Machine TR100E:	47
3.1.4	Pasos a seguir para realizar el proceso:.....	50
3.1.5	Mantenimiento:	50

3.2	Análisis y manual de instalación uso y mantenimiento de la máquina de la máquina CitoPress-1:.....	51
3.2.1	Partes de que consta CitoPress-1:	51
3.2.2	Condiciones y medidas de seguridad:	54
3.2.3	Configuración de CitoPress-1:	56
3.2.4	Mantenimiento:	59
3.3	Análisis y manual de instalación uso y mantenimiento de la máquina TegraSystem-250.....	60
3.3.1	Análisis y manual de instalación uso y mantenimiento de la máquina TegraPol-21:	60
3.3.2	TegraForce-5:.....	67
3.3.3	TegraDoser-5:.....	75
3.4	Análisis y manual de instalación uso y mantenimiento de la máquina de ensayo de dureza, Hardness Tester-675:	81
3.4.1	Partes de la máquina, HardnessTester-675:	82
3.4.2	Condiciones y medidas de seguridad:	85
3.4.3	Configuración de la máquina HardnessTester-675:.....	86
3.4.4	Mantenimiento y regulaciones de una máquina de ensayo de dureza Rockwell (HardnessTester-675):.....	93
4	Trabajando en el laboratorio:	96
4.1	Trabajando con Metallographic TR100E:	96
4.2	Trabajando con CitoPress-1:.....	101
4.2.1	Proceso de ensamblaje:	101
4.2.2	Cómo trabajar con CitoPress-1:.....	102
4.2.3	Pasos previos a la producción de la probeta:	102
4.2.4	Cómo producir la probeta:	102
4.2.5	Ensamblaje en caliente:.....	103

4.2.6	Parámetros de CitoPress-1:	104
4.2.7	Cómo optimizar el proceso en CitoPress-1:	105
4.3	Funcionamiento del conjunto de máquinas TegraSystem-250:.....	105
4.3.1	Esmerilado:.....	105
4.3.2	Pulido:.....	107
4.3.3	Parámetros importantes:	108
4.3.4	Cobre:.....	110
4.3.5	Aluminio:.....	112
4.3.6	Acero inoxidable:	114
4.4	Trabajando con la máquina de dureza HardnessTester-675:	117
4.4.1	Variedad de ensayos de dureza:	117
4.4.2	Definición de dureza:	117
4.4.3	Cómo determinar la dureza Rockwell:	118
4.4.4	Diferentes escalas Rockwell:	119
4.4.5	Materiales aplicados a cada tipo de ensayo de dureza:	119
4.4.6	Escalas de dureza superficial Rockwell:.....	121
4.4.7	Terminología:.....	122
4.4.8	Ejemplos y posibles problemas de las mediciones de dureza:...	122
4.4.9	Unidades:	123
4.4.10	Cómo seleccionar el test de dureza correcto:	124
5	Conclusiones:	125
	BIBLIOGRAFÍA / REFERENCIAS:.....	127
	ANEXO 1 SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	128
	ANEXO 3 ALUMINIO.	130
	ANEXO 4 COBRE.....	136
	ANEXO 5 ACERO Y ACERO INOXIDABLE.	142

1 Objeto y alcance del proyecto:

El presente proyecto se ha realizado en el marco de una estancia Erasmus realizada en la Universidad de Ciencias Aplicadas de Varkaus de Finlandia (University of Applied Sciences, Varkaus, Finland).

La finalidad del proyecto es dar respuesta a la necesidad de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Varkaus de Finlandia del diseño y puesta en marcha en una primera etapa de un laboratorio de ensayos de materiales.

En una etapa posterior, la Universidad de Varkaus, pretende incorporar maquinaria adicional para la caracterización completa de materiales (una MUE para ensayos de tracción/deformación y fatiga y termofluencia).

Las fases del proyecto han sido las siguientes:

- Análisis del proceso;
- Descripción general de los procesos de ensayo;
- Análisis de la maquinaria;
- Estudio de la disposición en planta;
- Elaboración de manual para los técnicos del laboratorio.

El proyecto abarca desde la fase inicial (recepción de la muestra), la preparación a realizar para su correcto ensayo (pulido, esmerilado), hasta la realización de ensayos de determinación de su dureza.

En la primera fase del proceso la muestra de material que va a ser ensayado se corta en la máquina *Metallographic Cut-Off MachineTR100E*. A continuación, en la segunda fase, el técnico confeccionará una probeta en la máquina *CitoPress-1*, a partir de la muestra de material recién cortada. Con esta probeta, el técnico continuará con la tercera fase en *TegraSystem-250*, procediendo a pulir o esmerilar la probeta para obtener la calidad superficial deseada. La última fase del proceso se realiza en *HardnessTester-675* en la que se determina la dureza.

En este proyecto se describe detalladamente la totalidad del proceso de análisis metalográfico así como los principales ensayos que pueden realizarse con los distintos materiales.

Del mismo modo, se realiza una descripción de los materiales que se emplean mayoritariamente en el laboratorio de la Universidad de Varkaus.

Es importante resaltar que como resultado del trabajo desarrollado se puso en marcha, partiendo de cero, el citado laboratorio de ensayos de materiales con plena capacidad operativa para la realización de ensayos de dureza.

2 Tipos de ensayos a realizar en materiales:

Para comprobar y detectar defectos, heterogeneidades o discontinuidades, se estudia tanto el interior como el exterior del material objeto de ensayo, pudiendo realizarse dos tipos de ensayos: destructivos y no destructivos, que a continuación vamos a describir de forma sucinta.

2.1 Ensayos no destructivos (Non-Destructive Tests, NDT):

Los ensayos no destructivos se realizan sobre productos o materiales que han sido sometidos a un proceso de fabricación. Estos ensayos se emplean para detectar defectos, discontinuidades o impurezas. Gracias a ellos se obtienen datos de la muestra sin destruirla y sin producir cambios en sus características.

Este tipo de ensayos permite mantener el nivel de calidad en los productos finales, aumentar la fiabilidad de los mismos, y prever cualquier tipo de fallo o fractura del material, reduciendo, por tanto, los costes de mantenimiento.

Los ensayos no destructivos se basan en la medida de una propiedad cuyo cambio puede estar relacionado con la aparición de algún tipo de fallo.

Los ensayos no destructivos más empleados son:

- Test de líquidos penetrantes;
- Test de partículas magnéticas;
- Corrientes inducidas (“Eddy current test”);
- Test de ultrasonidos;
- Test de rayos X.

Con anterioridad y posterioridad a este tipo de ensayos debe realizarse una inspección visual de las piezas. Gracias a esta inspección se detectará si existen defectos y también se comprobarán los resultados de los procesos anteriormente nombrados.

2.1.1 Ensayo con líquidos penetrantes:

El proceso de líquidos penetrantes es un método no destructivo que permite encontrar discontinuidades. Está basado en la propiedad de ciertos líquidos de acceder (por capilaridad) en los agujeros y discontinuidades de la superficie de los materiales.

Este método se divide en cuatro pasos principales. Antes de poner en práctica este proceso, la superficie de estudio debe estar limpia y seca. En caso contrario, cualquier tipo de suciedad podría entrar en las discontinuidades del material y bloquear así al líquido penetrante, lo que haría imposible su detección.

Este método es un proceso simple y barato que puede ser aplicado sobre casi todo tipo de material (excepto los porosos). Como desventaja, sólo puede detectar defectos superficiales. Se debe tener cuidado con el líquido penetrante así como con el polvo reactivo, ya que se debe evitar que éste reaccione con el material estudiado.

Paso 1: Aplicación del líquido penetrante:

Una vez que la superficie está limpia y seca, el líquido penetrante se aplica extendiendo una capa uniforme sobre la totalidad de la superficie. De este modo, el líquido se introduce en todos los defectos.

Los líquidos penetrantes pueden ser de dos tipos:

- Con color: Se trata normalmente de líquidos orgánicos a los que se les añade un pigmento rojo que le da un color intenso.
- Fluorescente: Normalmente son líquidos amarillos, visibles cuando son iluminados con luz ultravioleta.

Paso 2: Limpieza del exceso de penetrante:

Se debe eliminar todo el líquido que no ha penetrado en los fallos de la superficie de estudio. Así, cuando el polvo revelador se añade, existe suficiente contraste entre los defectos y el resto de la superficie.

Esta limpieza se puede realizar de tres modos distintos:

- Con agua: Se emplea cuando el líquido penetrante es soluble en agua.
- Con agua y emulsionador: Si el líquido penetrante no es directamente soluble en agua, se debe añadir un emulsionador.
- Con disolvente: Necesario cuando se añaden líquidos penetrantes especiales.

Paso 3: Aplicación del líquido revelador:

Su finalidad, es que el líquido penetrante llegue al interior de los defectos y salga a la superficie de la muestra. Se aplica como una capa uniforme en toda la superficie de la misma. El material, absorbe el líquido penetrante para sacarlo fuera de los agujeros y así hacerlo visible gracias a su color característico.

Paso 4: Observación:

Después de cinco o diez minutos de la aplicación del líquido revelador, es momento de examinar cuidadosamente la superficie. Una zona coloreada indicará un fallo de calidad superficial.

En la imagen de debajo aparecen los cuatro pasos en los que se divide la actuación de los líquidos penetrantes.

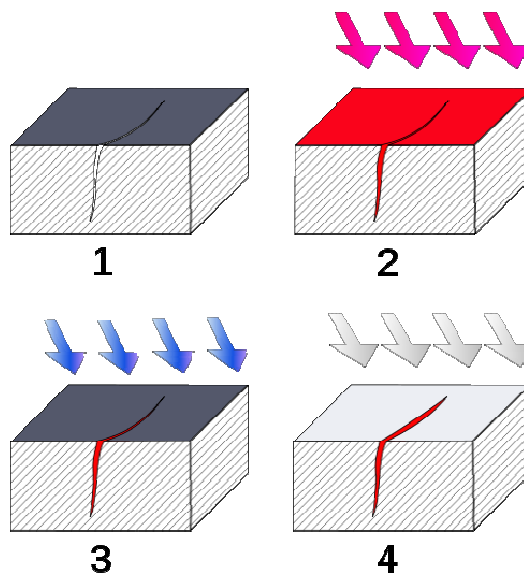


FIGURA 1: Los cuatro pasos de los líquidos penetrantes
(Fuente: Wikipedia, "Penetrant testing principle of a material").

2.1.2 Ensayo de partículas magnéticas:

Este método se basa en la aplicación de un campo magnético sobre todo el material ferromagnético. Crea líneas magnéticas y, cuando un defecto aparece, éstas se distorsionan. Para apreciar esta distorsión, se precisa la adición de polvos de partículas magnéticas. Estas partículas se sitúan en torno al fallo para que éste sea detectado. En la figura 2 se muestra un ejemplo visual de este proceso.

Como ventajas de este método, cabe citar que puede detectar defectos en la superficie y subsuperficie del material (por ejemplo bajo una capa de pintura) y que, además, es un proceso de detección de defectos rápido y económico. Sus desventajas son que sólo puede ser aplicado sobre materiales ferromagnéticos y que es difícil de aplicar sobre probetas cuya forma es irregular.

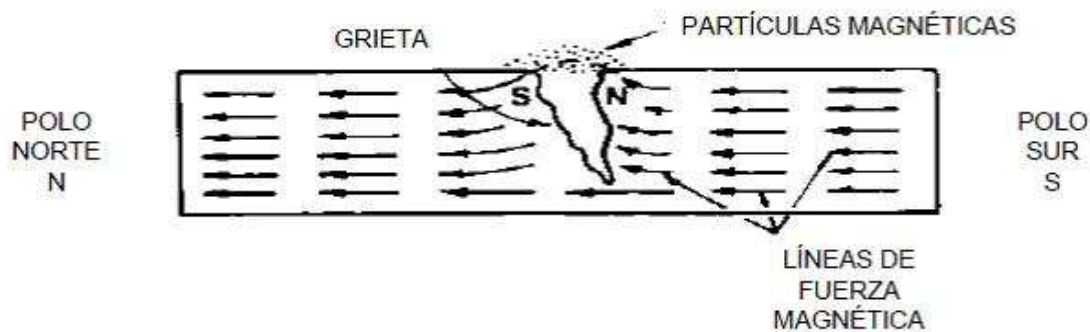


FIGURA 2: Principio de las partículas magnéticas
 (Fuente: "The collaboration for NDT Education, Iowa State University").

Este método se divide, del mismo modo que el anterior, en cuatro pasos principales:

Paso 1: Someter el material al campo magnético:

Existen dos sistemas para aplicar el campo magnético:

- Magnetismo: El material ferromagnético se coloca entre dos polos magnéticos. Entonces se crea un circuito cerrado que hace que las líneas magnéticas viajen a lo largo de la probeta.
- Corriente eléctrica: El campo magnético es creado al pasar corriente eléctrica a través del material. Existen tres modos distintos de producir el mismo:
 - Circular.
 - Longitudinal.
 - Puntas de contacto.

Paso 2: Aplicación del polvo de partículas magnéticas:

Cuando el material es magnetizado, se extiende una fina capa de partículas magnéticas sobre su superficie. Éstas van a mostrar dónde se encuentran los defectos cuando se acumulen en un punto determinado. Las partículas pueden

ser también fluorescentes o de color. Su tamaño, forma y densidad pueden ser diferentes. El modo de aplicación de las mismas sobre el material depende de las características del mismo ya que pueden ser aplicadas de modo seco o húmedo.

Paso 3: Observación de los resultados:

Una vez que las partículas magnéticas se han aplicado, se debe comprobar dónde se acumulan. Si existiese un defecto en la superficie, las partículas mostrarían claramente la forma del defecto. En caso de encontrarse en la subsuperficie, esta acumulación de partículas sería más distorsionada. Existen dos modos de visualización: usando luz blanca o negra (UV, ultravioleta).

Paso 4: Desmagnetización del material:

Para evitar problemas posteriores, el material debe ser desmagnetizado tras la realización del test. La desmagnetización se basa en la aplicación sobre el material de un campo magnético alternativo cuya intensidad descienda gradualmente hasta que ésta sea nula.

2.1.3 Corriente de Foucault:

La diferencia entre el método de ensayo mediante corrientes inducidas de Foucault ("Eddy Current Test", en inglés) y otros, es que permite determinar las características del material, como su composición química o su dureza.

Este método se basa en colocar el material en el interior de un campo magnético (H_p) con una frecuencia determinada (f). Se crea un campo eléctrico circular que al mismo tiempo crea un campo magnético (H_s). Este campo magnético es perpendicular al eléctrico y, en dirección contraria al magnético sobre el que se coloca inicialmente (H_p). De este modo, se modifica el valor de H_p . Esta diferencia en su valor, en caso de existir, es el indicativo de que se ha hallado un defecto en el material.

Este principio se muestra de manera esquemática en la figura 3.

Una probeta del material estudiado da un resultado de H_p más H_s .

Si se realiza un estudio diferente sobre otra probeta del mismo material y ésta tiene alguna diferencia en su composición, en sus características o posee algún fallo, el campo creado H_s será distinto. De este modo, su resultado, la suma de ambos (H_s más H_p) será diferente también.

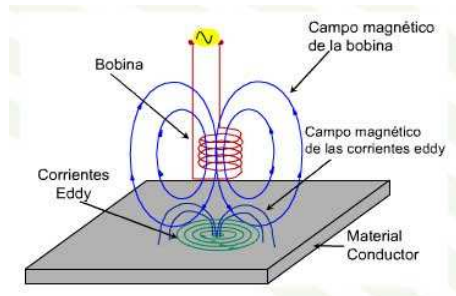


FIGURA 3: Principio físico de la corriente de Foucault
(Fuente: “The collaboration for NDT Education, Iowa State University”).

Para este tipo de test se necesita:

- Un generador de alta frecuencia.
- Una bobina inductora que proporcione un fuerte campo magnético.
- Un indicador que presente la señal detectada por la bobina. (Puede ser un indicador analógico de aguja o la pantalla de un osciloscopio).

Para comparar los resultados obtenidos en este test, se suele emplear una muestra estandarizada del material a estudiar.

Se evalúa el valor de H_p más H_s de la muestra del material. Estos mismos valores se toman del material a estudiar en el laboratorio.

Si existe cualquier diferencia en la composición del material, una grieta o una discontinuidad, H_s será distinta. Por tanto, el indicador empleado en el ensayo dará un valor diferente para el resultado de la suma de H_s y H_p .

Este método es usado en la detección de defectos tanto en materiales magnéticos como no magnéticos. Se emplea también para la clasificación de materiales según el tratamiento térmico al que se han sometido.

Este método sólo detecta fallos a una cierta profundidad del material (esto dependerá de las características de la probeta).

Dependiendo del número de bobinas de las que conste el equipo, éste puede ser simple o doble:

- Simple: Sólo una bobina inductora.
- Doble: Dos bobinas inductoras. Una primaria conectada al generador de alta frecuencia, y otra secundaria que detecta las variaciones de corriente y es conectada al indicador (generalmente un osciloscopio).

2.1.4 Ensayo de ultrasonidos:

Los ultrasonidos y las ondas sonoras de la radio son del mismo tipo, sólo difieren en su frecuencia. Las ondas de ultrasonido son más altas, es decir, el oído humano no puede oírlas (su frecuencia es mayor de los 20 KHz). Para llevar a cabo el ensayo de ultrasonidos se emplean frecuencias entre 0.2 y 25 MHz.

La parte más importante del equipo de ultrasonidos es el palpador (también llamado sonda o transductor). Es la parte responsable de generar el haz de ultrasonidos. Está compuesto por un cristal piezoeléctrico que transforma la energía eléctrica en mecánica.

Cuando este transductor es conectado al generador de ondas de alta frecuencia, el cristal piezoeléctrico (que transforma las ondas de ultrasonido en energía mecánica) conduce la energía a la probeta. Y, a la inversa, el cristal transforma la energía mecánica en eléctrica.

Este método se basa en cómo se transmiten las ondas de ultrasonido a través de los materiales sólidos. Su velocidad de propagación, es única para cada material. Las ondas de ultrasonido se propagan a través del material hasta que encuentran un elemento en perpendicular a ellas. En este caso, la onda no continuará, se reflejará e invertirá su dirección. Este cambio es recibido por el cristal piezoeléctrico que va a realizar la transformación a energía eléctrica.

La figura 4 muestra un esquema de cómo ocurre este proceso.

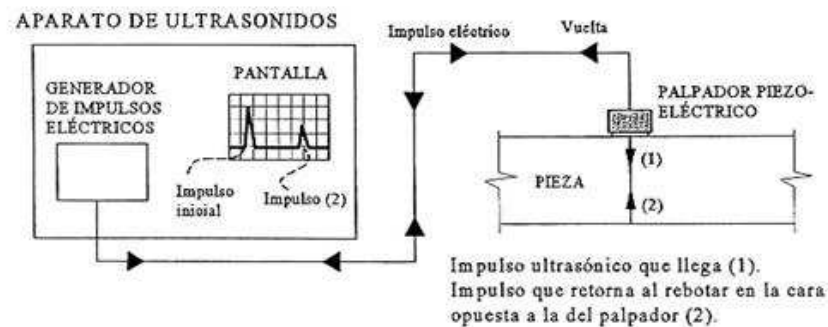


FIGURA 4: Principio de ultrasonidos
(Fuente: “The collaboration for NDT Education, Iowa State University”).

Este método se usa principalmente para detectar fallos en el interior de las probetas, pero también puede emplearse para detectar defectos superficiales (en este caso no resulta un test económico).

Existen numerosos modos de aplicarlo, pero dos son los más usados:

a) Método de transmisión o de intensidad:

En este método se emplean dos transductores. Uno manda las ondas de ultrasonido, mientras el otro recibe la señal devuelta una vez que haya atravesado la muestra. Los dos transductores deben estar enfrentados.

Si no se detecta ninguna discontinuidad, el receptor debe obtener una señal de igual intensidad a la que el transductor envió en primera instancia (esta se mide y se muestra).

En caso de encontrar cualquier defecto en la probeta, parte del haz de ultrasonidos se reflejará. La intensidad de la onda recibida no será del 100%, esta disminuirá en proporción al tamaño del defecto detectado.

b) Método pulso-eco:

En lugar de usar dos transductores, sólo se emplea uno que va a enviar y recibir las ondas de ultrasonido. Por tanto, en lugar de medir la intensidad del haz enviado, se mide el reflejado.

En este caso, el transductor es conectado al generador. La transformación de la energía eléctrica en mecánica se realiza mediante el cristal piezoeléctrico. Esta energía mecánica se transmite a la probeta y se refleja de nuevo a través del transductor.

Cuando el cristal piezoeléctrico recoge el haz reflejado lo transforma en un impulso eléctrico. Este impulso se muestra en la pantalla de un indicador en una tabla de dos variables. Este impulso aparecerá como un pico.

Si no existe ningún defecto en la probeta, sólo aparecerá reflejado en la tabla un pico inicial y uno final a causa del final de la probeta.

En caso de que la probeta sea defectuosa, aparecerán estos dos picos y un tercero entre ambos. Este tercer pico es proporcional a su posición real en la probeta y su altura al tamaño del defecto.

Con este proceso se evita el problema de enfrentar correctamente los dos transductores como ocurría en el método anterior.

Existen transductores normales para defectos perpendiculares y angulares para los oblicuos.

2.1.5 Test de rayos X (radiología industrial):

Para realizar este proceso, los rayos-X y los rayos- γ deben entrar en contacto con la superficie de la probeta sometida a estudio. Detrás de la probeta, una película fotográfica detectará la radiación y permitirá determinar la cantidad de energía recibida por la probeta. En la figura 5 se muestra de manera esquemática el principio de funcionamiento de este ensayo.

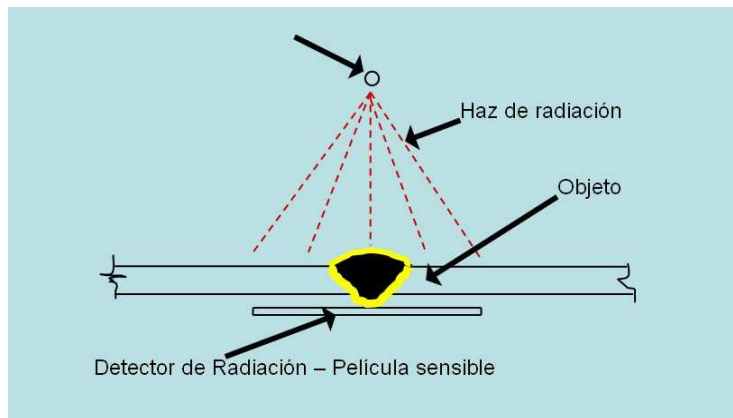


FIGURA 5: Principio del test radiográfico
(Fuente: Endicsa.com.ar).

Los rayos-X y los rayos- γ son similares, pero los primeros poseen mayor longitud de onda que los segundos. Esto quiere decir que los rayos-X tienen menos energía que los rayos- γ . Esta energía es lo que va a determinar la profundidad a la que los rayos pueden entrar en el material estudiado. Otra diferencia entre ambos, es que los rayos-X son producidos artificialmente, por tanto son más seguros, al contrario que los rayos- γ que emiten radiación por sí mismos y, por tanto, son más peligrosos.

Los equipos para realizar estos dos procesos son similares. Ambos poseen la máquina que emite los rayos y una película fotográfica donde se muestra la imagen de la probeta. La muestra se debe situar entre estos dos elementos.

Los rayos-X y los rayos- γ entran en contacto con la probeta con una cierta intensidad (I_0) y, mientras circulan a través del material, esta intensidad decrece proporcionalmente al espesor de la probeta.

Si el este espesor es constante, la intensidad mostrada es constante; pero si hay alguna discontinuidad, como el espesor que atraviesa es menor, la intensidad mostrada será mayor.

La figura 6 explica este test mostrando el efecto de las discontinuidades de la probeta sobre la película fotográfica.

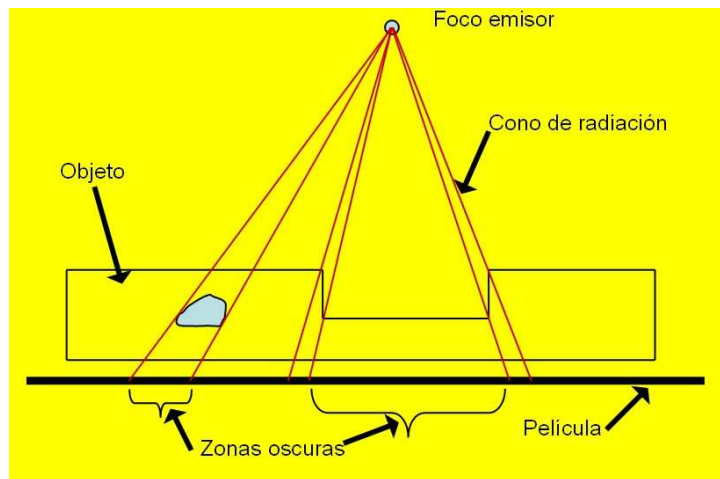


FIGURA 6: Principio del test radiográfico.
(Fuente: Endicsa.com.ar).

Este método se emplea para detectar defectos internos en casi todo tipo de material, exceptuando aquellos que tengan un coeficiente de absorción de radiación elevado.

2.2 Ensayos destructivos:

El objetivo de estos procesos es averiguar las características mecánicas de un material al someterlo a diferentes esfuerzos. Se analiza su reacción tras la aplicación de los mismos.

Estos ensayos determinarán las características de los materiales y sus posibles usos.

Al contrario de los ensayos no destructivos, estos se pueden aplicar en cualquier momento del proceso de manufactura (en la recepción de la materia prima, en pasos intermedios del proceso o en el producto final).

El equipo debe ser calibrado empleando probetas estandarizadas. De este modo, los resultados obtenidos al realizar el test serán correctos y fiables.

Este tipo de test debe seguir ciertos pasos:

- Recopilación de probetas;
- Preparación de las probetas;
- Recopilación de datos iniciales;
- Llevar a cabo el test;
- Recopilación de datos finales;
- Resultados (calculando propiedades);
- Realizar un informe del test.

2.2.1 Conceptos previos:

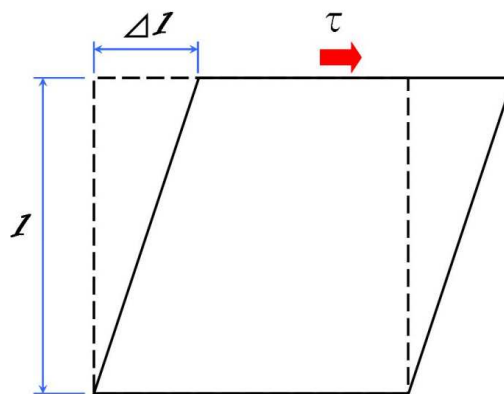
a) Cortadura, cizalladura o esfuerzo cortante:

Se define como el esfuerzo que soporta una pieza cuando sobre ella actúan fuerzas contenidas en la propia superficie de actuación.

Se representa mediante el símbolo τ .

Es aquella que, fijado a un plano, actúa tangente al mismo.

En la figura 7 una gráfica que muestra la tensión del esfuerzo cortante, cuyo valor se calcula mediante la fórmula 1.



**FIGURA 7: Tensión cortante ó de cizalladura
(Fuente: Wikipedia).**

$$\tau = \frac{F}{\Delta l}$$

Fórmula 1: Expresión de cálculo del esfuerzo cortante.

Donde: τ = tensión cortante (de cizalladura);

F = fuerza aplicada;

Δl = Sección sobre la que se aplica la fuerza.

b) Deformación:

Cambio de tamaño o forma de un cuerpo debido a una tensión aplicada sobre el mismo o por dilatación térmica.

La deformación es un término adimensional que se calcula mediante la fórmula 2.

$$\epsilon = \frac{\Delta s}{s} = \frac{s' - s}{s}$$

Fórmula 2: Expresión de cálculo de la deformación.

Donde : ϵ = Deformación;

s' = Sección final;

s = Sección inicial.

Existen dos tipos de deformaciones, tal como se muestra en la figura 8:

- Deformación irreversible:

Deformación en la que el material, tras la aplicación de la tensión, no vuelve a su tamaño y forma originales. Se encuentra en la región plástica de la gráfica en la figura 8.

- Deformación reversible:

Deformación en la que el material, tras la aplicación de la tensión, vuelve a su tamaño y forma originales. Se encuentra en la región elástica de la gráfica en la figura 8.

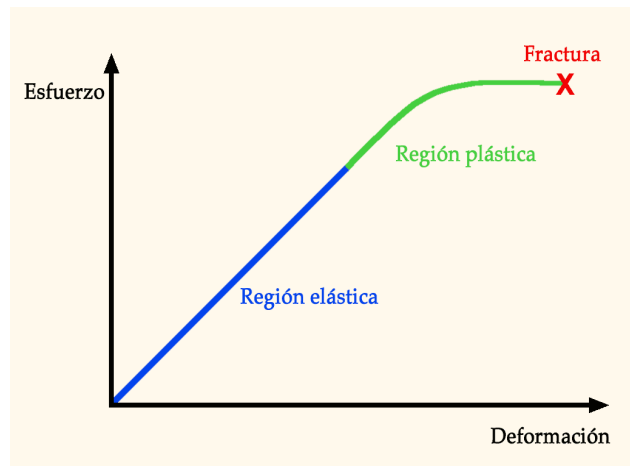


FIGURA 8: Relación esfuerzo frente a deformación de un material.
(Fuente: Wikipedia).

- c) Coeficiente de Poisson:

La relación entre las deformaciones longitudinales (que producen cambios transversales) se puede determinar mediante este parámetro, el coeficiente de Poisson.

Se representa mediante ν , es un término adimensional calculado mediante la fórmula 3.

$$\nu = -\frac{d\epsilon_{trans}}{d\epsilon_{axial}} = -\frac{d\epsilon_y}{d\epsilon_x} = -\frac{d\epsilon_z}{d\epsilon_x}$$

Fórmula 3: Expresión de cálculo del Índice de Poisson.

Donde: ν = Índice de Poisson resultante;

$d\epsilon_{trans}$ = Tensión transversal;

$d\epsilon_{axial}$ = Tensión en el eje.

d) Diagrama esfuerzo/deformación:

Es la representación en una gráfica del esfuerzo (la tensión) aplicado frente a la deformación causada en la probeta. Esta curva es característica de cada material. En la figura 9 se da un ejemplo de cómo es esta gráfica.

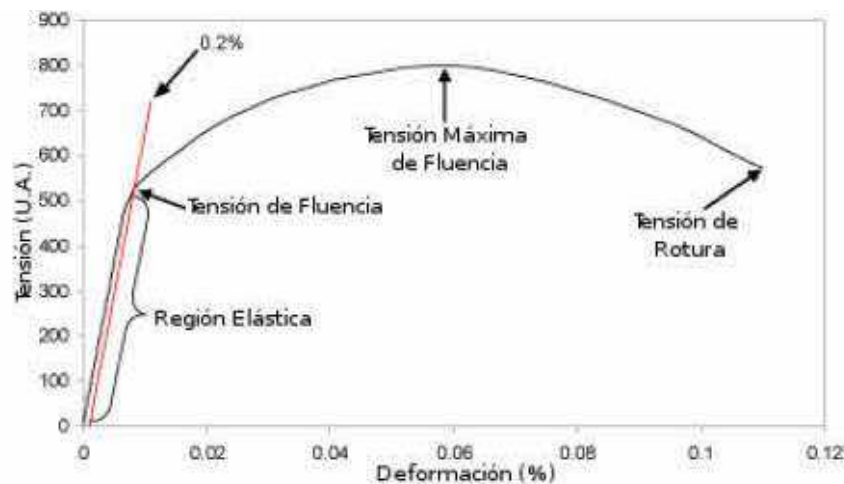


FIGURA 9: Curva tensión frente a esfuerzo
(Fuente: Wikipedia).

2.2.2 Ensayo de tracción:

El test de tracción se emplea para obtener información de los materiales como su resistencia ó su ductilidad. Generalmente, en este test se aplica un esfuerzo de tracción sobre una probeta hasta que ésta se rompe.

Aunque se usa normalmente en metales, este test se puede emplear en todo tipo de materiales.

Para llevarlo a cabo se emplea una probeta estandarizada que posee dos partes diferenciadas. Normalmente los extremos de la probeta son más anchos, por ellos se sujeta la probeta a la máquina. La zona central, cuyo diámetro es menor, debe estar calibrada y será la medida tomada como sección inicial. En este área se van a dibujar también líneas paralelas que van a delimitar la longitud inicial.

El estándar Europeo a seguir al practicar este test es la norma EN 10 002. En la figura 10 se muestran las dimensiones principales de una probeta normalizada.

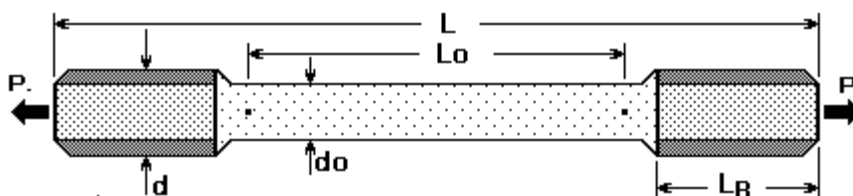


Figura 10: Probeta estandarizada con sus dimensiones principales
(Fuente: “Engineering Materials and Their Applications”).

Una vez que la probeta ha sido colocada en la máquina, se le aplica una tensión de tracción a velocidad constante. La máquina también mide la fuerza y la deformación mostrando dichas variables en los diagramas esfuerzo/deformación que plasman la evolución del test.

Al principio, cuando la tensión aplicada es pequeña, el alargamiento sufrido por la probeta es proporcional al esfuerzo. Esto se conoce como la Ley de Hooke. Como se ve en la gráfica anterior, la figura 9, esta parte se representa como una línea recta cuya tangente es un valor constante conocido como el Módulo de Young.

En esta primera zona descrita, en la línea recta, sólo aparece deformación reversible. Cuando la tensión aplicada sobre el material desaparece, éste vuelve a su forma y volumen del principio.

Si la tensión continúa creciendo, la línea recta se convierte en una curva. Esta curva consta de un máximo, este punto se conoce como el límite de proporcionalidad del material. Una vez que este punto se sobrepasa, al incrementar la fuerza de deformación ésta se convierte en irreversible.

La tensión límite entre la deformación reversible y la irreversible se denomina límite elástico.

En algunos casos aparece una zona en la que el alargamiento aumenta sin incrementar la tensión aplicada, esto se conoce como fluencia.

Si la fuerza continua creciendo, aparece el fenómeno de estricción. Es decir, cuando aumenta la tensión, la deformación se localiza en la zona central y comienza a disminuir su sección transversal hasta que ésta es tan fina que no puede soportar la tensión, y la probeta se rompe.

Gracias a este test se pueden determinar las siguientes características mecánicas:

a) Módulo de Young:

Valor de la relación entre la tensión y la deformación. Se determina gracias a la primera parte de la curva Tensión/Esfuerzo, conocida como la “Zona Elástica”.

Se representa con la letra E sus unidades en el S.I. son N/m^2 (MPa). Se calcula mediante el cociente expresado en la fórmula 4 ó a través del diagrama esfuerzo/deformación. Se puede interpretar como el valor de la rigidez del material.

$$E \equiv \frac{\text{tensile stress}}{\text{tensile strain}} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} = \frac{FL_0}{A_0\Delta L}$$

Fórmula 4: Expresión de cálculo del Módulo de Young.

Donde: σ = Valor de la tensión aplicada;

A_0 = Sección inicial de la probeta;

L_0 = Longitud inicial de la probeta.

ϵ = valor de la deformación.

b) Límite elástico:

Máxima fuerza que se puede aplicar a un material sin que éste sufra una deformación irreversible.

Dicho de otro modo, tensión máxima que un material puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes (es decir, deformación elástica). Si se aumenta la tensión aplicada, la deformación será irreversible, plástica.

Se trata del punto límite entre la deformación reversible (elástica) y la irreversible (plástica). Es un dato relevante ya que cuando se está diseñando se debe trabajar por debajo de este valor.

La unidad del límite elástico, al ser una tensión, es el megapascal (MPa).

c) Resistencia a la tracción:

Máxima tensión que la sección inicial de la probeta puede soportar durante el test de tracción antes de romperse. Su valor, en megapascuales (MPa), se calcula mediante la fórmula 5.

$$\sigma = \frac{\text{Máx. Tensión}}{A_0}$$

Fórmula 5: Expresión de la resistencia a la tracción.

Donde: σ = Resistencia a la tracción;

A_0 = Sección inicial de la probeta.

d) Alargamiento:

Diferencia entre la última longitud medida durante el test y la tomada inicialmente.

Se expresa como un porcentaje sobre la longitud inicial, su cálculo mediante la fórmula 6.

$$A = \frac{L - L_0}{L_0} * 100$$

Fórmula 6: Expresión de cálculo del alargamiento.

Donde: L = Longitud final;

L_0 = Longitud inicial.

e) Estricción:

Último efecto producido a causa de una disminución de la sección en el punto de concentración de tensiones.

Es decir, este fenómeno se da en la zona de rotura debido a una reducción de la sección de la probeta.

Su cálculo es porcentual y se calcula a partir de la sección inicial como vemos en la fórmula 7.

$$Z = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100$$

Fórmula 7: Expresión de cálculo de la estricción.

Donde: S = Sección final;

S_0 = Sección inicial.

2.2.3 Ensayo de fluencia:

La fluencia aparece cuando, durante un periodo largo de tiempo, se aplican tensiones por debajo del límite elástico del material. (Aunque al aplicar tensiones por debajo de dicho límite, el material tiende a deformarse de modo permanente).

La fluencia aumenta cuando se calienta el material y cerca de su temperatura de fusión.

Los factores principales que afectan en este test son tiempo, tensión y temperatura.

Este proceso consiste en someter la probeta a temperatura uniforme y a una tensión de tracción constante. Se determina la deformación de la probeta bajo los efectos de esta tensión de acuerdo con el tiempo, midiendo el alargamiento sufrido a cierta temperatura durante el ensayo.

La figura 11 adjunta muestra los tres estados de un test de fluencia.

1. Primera etapa: zona de fluencia primaria, las deformaciones aumentan con el tiempo;
2. Segunda etapa: zona de fluencia secundaria o de estado estable, ya que la velocidad de deformación debido a la fluencia es sensiblemente constante;
3. Tercera etapa: zona de fluencia terciaria, donde aumenta rápidamente la deformación, hay una gran estricción y se da la rotura (punto último de la gráfica).

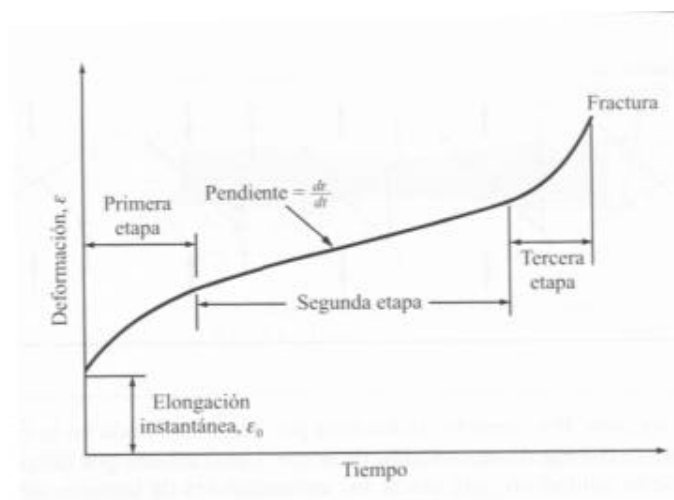


FIGURA 11: Estados de fluencia frente al tiempo.
(Fuente: "Dynacast studies").

Para llevar a cabo este tipo de test existen ciertos estándares a seguir dependiendo de si el test ha sido interrumpido o no.

Si se trata de un test continuo, se determina la deformación después del test con la temperatura aplicada midiendo el alargamiento sobre el tiempo transcurrido. En este caso se aplica la norma UNE 7-322.

Si el test ha sido interrumpido se aplica la norma UNE 7-321. Existen un número de interrupciones posibles y una vez que la probeta es enfriada se determina la deformación midiendo el alargamiento.

2.2.4 Fractura:

Se denomina fractura, ó rotura, a la separación de un sólido en dos o más partes al someterlo a esfuerzo o tensión.

Este proceso posee dos estados diferentes: la aparición de grietas y la propagación de las mismas a través del material.

Existen también dos tipos de fracturas, dúctil y frágil.

En el caso de la fractura dúctil se aprecia deformación plástica antes de (y durante) la propagación de la grieta. En una fractura frágil, la deformación es prácticamente nula y existe una rápida propagación de la grieta.

La fractura dúctil de una muestra permite que se tomen medidas de seguridad antes de que produzca la rotura. Esto es debido a que, antes de que las grietas aparezcan, aparece una cierta deformación. Por el contrario, la fractura frágil es inmediata.

Además, la fractura dúctil necesita una mayor energía para romperse. Esta energía puede ser absorbida en la rotura. Dicha energía se denomina tenacidad.

En algunos casos, es interesante saber el comportamiento de los materiales ante impactos. El ensayo llevado a cabo mediante el péndulo de Charpy (mostrado en la figura 12) es el método más empleado para tal estudio.

El ensayo Charpy determina la cantidad de energía absorbida por un material durante la fractura. Se trata de un test con valores estandarizados de esfuerzos.

Esta energía absorbida por la muestra, informa de la dureza del material.

Se emplea como herramienta para estudiar la dependencia con la temperatura y la transición dúctil-frágil.

La máquina consiste en un péndulo (llamado martillo o maza) que golpea la probeta del material estudiado. La energía transferida al material se puede calcular comparando la diferencia de la altura del martillo antes y después de una gran fractura.

El tamaño de la probeta puede afectar también a los resultados. Con sus dimensiones tomadas, determinar si el material está libre de tensiones.

Todas estas medidas están descritas en las normas ASTM E23, ISO 148-1 o EN 10045-1.

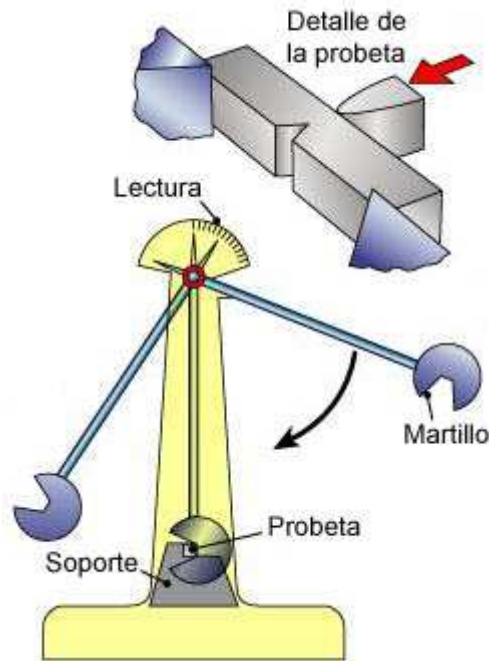


FIGURA 12: Elementos de una máquina de ensayo Charpy y detalle de la probeta.
(Fuente: "Sachin Chaturvedi investigation").

2.2.5 Fatiga:

La fatiga es el progresivo daño estructural localizado que ocurre cuando un material es sometido a cargas cíclicas. Los valores nominales máximos de tensión, serán inferiores al valor del límite de la resistencia a la tracción del material estudiado. Asimismo, estos valores de tensión, deberán estar por debajo del límite elástico de la muestra.

El ensayo de fatiga se divide en tres estados:

- Aparición de grietas;
- Propagación de las grietas;
- Rotura.

Este proceso está basado en el sometimiento de una probeta a cargas repetidas. Dichas cargas se retiran de forma cíclica. Con ello, grietas microscópicas comenzarán a formarse en la superficie. Una de estas grietas podría alcanzar un tamaño crítico. En este caso, la estructura se rompería.

Se comienza el test desde una tensión relativamente elevada. Cuando aparece una grieta, se determina el número de ciclos (N) a los que ésta se ha dado. Estos resultados se mostrarán en una tabla denominada Wöhler mostrada en la figura 13.

El valor de la tensión cuando se produce la rotura siempre es el mismo, sin tener en cuenta el número de ciclos. Esto es denominado límite de fatiga o resistencia a la fatiga.

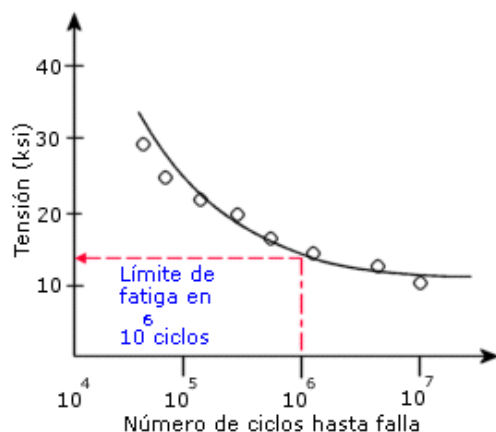


FIGURA 13: Ejemplo de gráfica Wöhler, tensión frente a número de ciclos.
(Fuente: web "Sólo ingeniería").

Existen diferentes tipos de test de fatiga:

- Tensión-compresión.
- Flexión.
- Torsión.
- Flexión rotativa.

2.2.6 Ensayo de dureza:

Se define dureza como la resistencia de la superficie de una muestra a ser deformada mediante penetración o rayadura.

Los métodos más comunes para evaluar la dureza son:

- Escala de dureza Brinell.
- Escala de dureza Vickers.
- Escala de dureza Rockwell.
- Escala de dureza Shore.

2.2.6.1 Escala de dureza Brinell:

Se caracteriza por un indentador de acero. Éste posee forma de bola y su diámetro es de 10 mm sobre la que se aplica una fuerza de 3000 kg durante un tiempo determinado.

En la figura 14 se muestra un esquema del ensayo de dureza Brinell.

Este ensayo se basa en la aplicación de una fuerza mediante un indentador. Se retira éste tras un tiempo establecido. El indentador dejará una huella que habrá quedado marcada en la superficie. Esta huella será medida. Gracias a estas medidas se determina la dureza buscada.

Mediante la fórmula 8 se calcula la dureza a través de dicha huella.

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d_2^2})}$$

Fórmula 8: Expresión de cálculo de la dureza Brinell.

Donde: P = Fuerza aplicada (kgf);

D = Diámetro del indentador (mm);

d = Diámetro de indentación (mm).

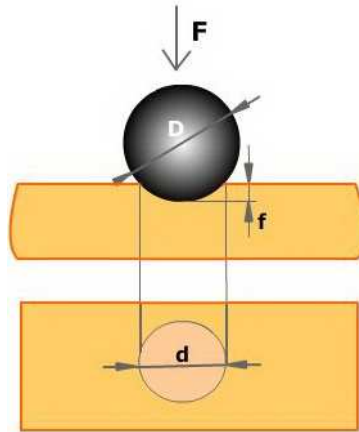


FIGURA 14: Esquema del ensayo Brinell.
(Fuente: Wikipedia).

La fuerza debe ser proporcional al cuadrado del diámetro del indentador y el diámetro depende del material.

Este método es empleado para determinar la dureza de materiales relativamente blandos. Ya que en caso de emplearse sobre materiales duros, el indentador resultaría dañado.

Las características de este test están reguladas según la norma UNE-EN 10 003 (Materiales Metálicos para el Ensayo Brinell). En ella se dice, que si la dureza no es superior a 450, se usa una bola de acero como indentador. Si es por debajo de 650, se emplea una bola de wolframio (por su mayor dureza). Llamando así al test HBS o HBW, respectivamente.

2.2.6.2 Escala de dureza Vickers:

Este método aparece debido a la limitación existente en el ensayo Brinell con respecto a los materiales duros.

En este caso, se emplea una pirámide de base cuadrada como indentador (en lugar de una bola de acero). La característica principal de este indentador es que sus caras opuestas forman un ángulo entre sí de 136° .

El ensayo Vickers es normalmente más sencillo de usar que otros test de dureza. Esto es debido a que los cálculos requeridos en él (como se ve en la fórmula 9) son independientes del tamaño del indentador. Por su parte el indentador, puede ser empleado para todos los materiales sin tener en cuenta su dureza.

$$HV = \frac{F}{A} \approx \frac{1.8544F}{d^2}$$

Fórmula 9: Expresión de cálculo de la dureza Vickers.

Donde: F = Fuerza (kgf);

$d = (d_1 + d_2)/2$ (mm): semisuma de las diagonales de la huella;

HV = Número de dureza Vickers (kgf/mm²).

Este test se basa en la norma UNE 7-423 (Ensayo Vickers para materiales metálicos). El proceso a realizar es similar al seguido en el ensayo Brinell.

La siguiente, la figura 15, muestra el ensayo de dureza Vickers:

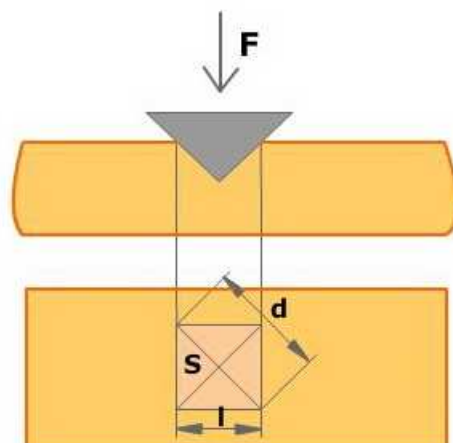


FIGURA 15: Medidas del ensayo Vickers
(Fuente: Wikipedia).

2.2.6.3 Escala de dureza Rockwell:

Los ensayos Rockwell son mucho más rápidos que otros porque el valor de la dureza se lee directamente de la pantalla de la máquina.

Los principios de este test son los mismos que en los ensayos anteriormente explicados. Es decir, un indentador aplicará una fuerza determinada durante un tiempo establecido. Éste dejará una huella de la que se tomarán los datos necesarios para la dureza Rockwell.

En este caso, en lugar de medir la superficie de dicha huella, lo que se medirá es la profundidad de la misma.

Otra diferencia, es que la fuerza no se aplicará de una sola vez. Esto quiere decir que se aplica una carga menor previa, seguida del resto de la carga total a aplicar.

Con estos dos principios el proceso puede ser descrito como sigue.

Se coloca la probeta en la máquina y se aplica la carga previa sobre ella. Ésta dejará una huella con una profundidad determinada. Justo después, la fuerza completa es aplicada durante un tiempo determinado, aumentando así la profundidad de la huella. Por último, se retira la fuerza añadida en el segundo paso. La deformación elástica del material, hace que la huella dejada posea una nueva profundidad.

El valor de la dureza se calcula mediante estos tres valores dependiendo de la deformación elástica del material. Este valor será directamente leído del dial de la máquina.

En la figura 16 adjunta se aclara visualmente el proceso.

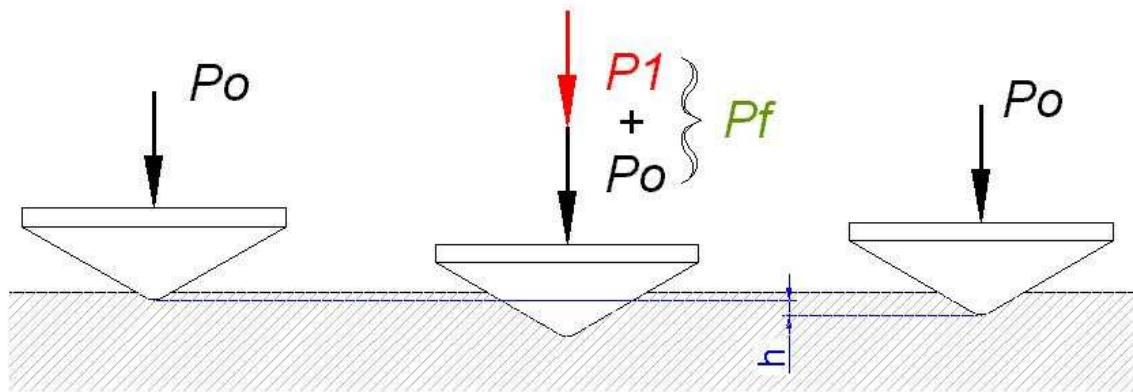


FIGURA 16: Pasos del ensayo Rockwell
(Fuente: "Engineering materials and their applications").

Existen dos tipos de ensayos de dureza Rockwell: Rockwell C (HRc, empleado en materiales muy duros ya que el indentador es un diamante) y Rockwell B (HRb, usado en materiales blandos).

❖ **Rockwell C:**

Este ensayo se caracteriza porque el indentador es un cono de diamante con un ángulo de 120° . Dicho cono es sometido a un esfuerzo de 150 kg, esfuerzo aplicado en dos pasos. Primero una carga previa de 10 kg, seguida de una carga adicional de 140 kg.

Esta dureza se determina con la fórmula 10.

$$HRc = 100 - e$$

Fórmula 10: Expresión de cálculo de la dureza Rockwell C.

❖ **Rockwell B:**

En este caso, el indentador es una bola de acero templado. Su diámetro es de 1,58 mm. La carga aplicada es de 100 kg, dividida en una precarga de 10 kg y una carga adicional de 90 kg.

Ahora la dureza es calculada mediante la fórmula 11.

$$HRb = 130 - e$$

Fórmula 11: Expresión de cálculo de la dureza Rockwell B.

2.2.6.4 Escala Shore:

Todos los ensayos de dureza anteriormente nombrados son conocidos como test de dureza elásticos. Esto se debe a que la fuerza aplicada en ellos se lleva a cabo de forma lenta.

En el caso del ensayo Shore la carga se aplica como un impacto sobre la superficie del material tal como muestra la figura 17.

La dureza es medida comprobando la altura que alcanza el martillo después de golpear la probeta.

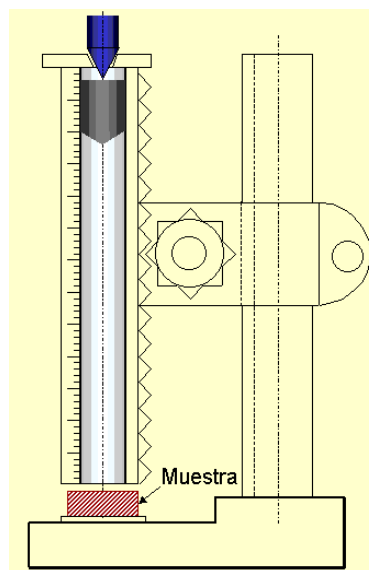


FIGURA 17: Esquema del escleroscopio (esclerómetro Shore)
(Fuente: "Wikipedia").

El durómetro está hecho de un tubo de cristal de 300 mm de alto con un objeto en su interior que actúa como un martillo. Este tubo está dividido gradualmente en 100 partes (0 en su base y 100 en la parte superior), siendo posible su expansión hasta las 140 divisiones para materiales muy duros.

En la base se coloca la probeta a estudiar y se deja que el martillo caiga y golpee la misma.

Dependiendo de la dureza del material el martillo alcanzará una altura mayor o menor tras el impacto:

- Si el material sobre el que se ha realizado el ensayo es blando, mucha energía será absorbida por la probeta en el impacto. Por tanto, el martillo no alcanzará una altura muy elevada tras el golpe.
- Por otro lado, si el material ensayado es duro, no absorberá mucha energía. Al contrario que en el caso anterior, el martillo alcanzará una altura elevada.

Este método no resulta muy preciso. Sin embargo es mucho más barato de llevar a cabo, más rápido y la máquina se puede llevar de un sitio a otro.

3 Máquinas analizadas para la instalación del laboratorio:

El proceso requiere de cuatro máquinas asociadas a los siguientes procesos:

Primer proceso: corte de una probeta del material para poder introducirlo en las siguientes máquinas que conforman el proceso.

La máquina seleccionada para este proceso es la Metallographic Cut-Off Machine TR100E.

Segundo proceso: fabricación de las probetas que serán utilizadas en el tercer proceso

La máquina analizada/seleccionada para este proceso es la CitoPress-1.

Tercer proceso: operación de esmerilado y pulido de las probetas realizadas en el segundo proceso hasta que se alcanza la calidad superficial requerida para los ensayos

La máquina analizada/seleccionada para este proceso es la TegraSystem-250, las probetas son esmeriladas y pulidas.

Cuarto proceso: Realización del test de dureza Rockwell

La máquina analizada/seleccionada para este proceso es la HardnessTester-675.

3.1 Análisis y manual de instalación uso y mantenimiento de la máquina de la máquina Metallographic Cut-Off Machine TR100E:

La primera máquina del proceso es la máquina Metallographic Cut-Off Machine TR100E. En esta máquina se cortan muestras de numerosos materiales que serán analizados en el laboratorio de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Varkaus, Finlandia.

3.1.1 Partes en las que se divide la máquina: Metallographic Cut-Off Machine TR100E:

Todos los componentes de la máquina han sido diseñados para reducir la corrosión durante su uso.

Es decir, numerosos elementos de la máquina están hechos de acero inoxidable. Por otro lado, la carcasa que cubre la rueda de corte y la superficie de trabajo de la máquina están niqueladas. Cabe destacar que todas aquellas partes que no están hechas de acero inoxidable, o no han sido niqueladas, están cubiertas con una capa de pintura antiácida.

Aquí se muestra una lista de los principales elementos de la máquina de corte mostrados en las siguientes fotografías adjuntas, figura 18 y 19:

1. Posee una gran carcasa de seguridad hecha con plexiglás que permite al técnico de laboratorio comprobar fácilmente cómo está transcurriendo el proceso de corte.

Gracias a esta tapa protectora, ninguna chispa producida durante el corte alcanzará al operario, por tanto, no se quemará. Tampoco saltará ninguna partícula de suciedad o resto de material que se desprenda al cortar la muestra.

2. Control de los parámetros del motor de la rueda de corte para que ésta gire a la velocidad deseada.
3. Panel de PVC que tapa el tanque de líquido refrigerante. Posee ciertos orificios que impiden el paso de grandes residuos al verter el líquido refrigerante durante el tiempo de trabajo.
4. Superficie de trabajo con presencia de orificios para tuerca de métrica 10 (M10). De este modo, las piezas se sujetan fácilmente con diferentes amarres. Esto impide que la probeta se mueva cuando el técnico de laboratorio se dispone a trabajar en esta máquina.
5. La carcasa de la máquina está hecha de acero inoxidable para reducir su corrosión al realizar el proceso de corte. Asimismo, y como se ha

citado anteriormente, la bandeja donde se colocan las probetas está hecha también de acero inoxidable.

6. Apertura lateral de acero inoxidable que permite cortar piezas grandes.
7. Botón de emergencia.
8. Conector para el motor de la rueda de corte. A la derecha de la máquina, junto al botón de emergencia, existe el botón START/STOP de la bomba.
9. Control del nivel. Se emplea para posicionar la mesa de trabajo a la distancia correcta de la rueda de corte. Esto se hace con referencia al volumen de material que se quiere cortar.
10. Esta máquina emplea ruedas de corte abrasivas.

Para evitar cualquier tipo de daño estructural, esta máquina opera con corte frío, es decir, corta las fibras de los materiales.

De este modo, se obtiene una calidad superficial excelente en la cara de la pieza cortada. Esto es necesario para los procesos siguientes llevados a cabo en el laboratorio.

La máquina incluye numerosas ruedas de corte para posibilitar el trabajo con diferentes tipos de materiales, siendo la mayor de ellas de 200 mm (así se permite el corte de probetas con una sección máxima de 60 mm).

Estas ruedas de corte son:

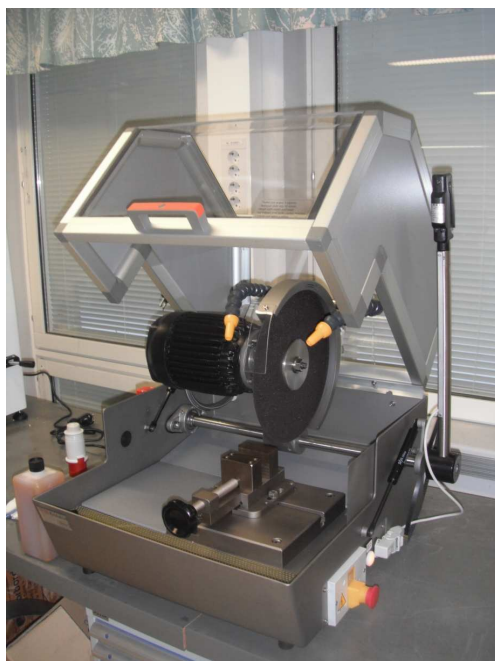
- N°2 rueda de corte abrasiva tipo J (J-Type);
- N°2 rueda de corte abrasiva tipo L (L-Type);
- N°2 rueda de corte abrasiva tipo M (M-Type).

11. Cubierta protectora de la rueda de corte.
12. Tuercas para el amarre de la rueda de corte.
13. Brida para fijar la rueda de corte.

-
14. Motor de la rueda de corte y motor de la bomba, botón START/STOP. Con él, la rueda abrasiva de corte girará o parará.

La máquina también posibilita el movimiento arriba o abajo de la rueda de corte. Gracias a esto se ajustará la distancia a la que se encuentre la pieza que se va a cortar.

15. Boquilla de manguera ajustable (tubo articulado) para la refrigeración de la pieza durante la operación de corte. De este modo, se puede concentrar el fluido refrigerante en el área concreta donde se va a realizar el corte.
16. Carcasa hecha de PVC transparente. Protege al técnico de laboratorio de cualquier deshecho que pueda saltar de la mesa de trabajo al realizar el corte de la probeta con el disco de corte.
17. Manguera de salida a través de la cual se bombea el líquido de refrigeración empleado durante la operación.
18. Cable eléctrico para abastecer de electricidad al motor.
19. Motor de la bomba del líquido refrigerante.
20. Tubo de carga del líquido refrigerante.
21. Cable eléctrico para abastecer de electricidad la rueda de corte.
22. Interruptor de seguridad de la carcasa. Asegura que la cubierta nunca se abra mientras la rueda de corte esté en funcionamiento.



**FIGURA 18: Parte frontal de la máquina:
Metallographic Cut-Off Machine TR100E.**



**FIGURA 19: Parte trasera de la máquina:
Metallographic Cut-Off Machine TR100E.**

En la tabla 1 adjunta se muestran algunas especificaciones técnicas de esta máquina TR100E.

Modelo de la máquina de corte	TR 100 E
Manufacturada en el año	2010
Peso de la máquina (kg)	100
Dimensiones de la máquina (mm)	Long = 700 Prof = 750 Altura = 570
Diámetro máximo de la rueda de corte abrasiva (mm)	300
Diámetro máximo de la rueda de corte de diamante (mm)	250-300
Máxima velocidad del huso de la rueda de corte (rpm)	2800
Voltaje (V)	380
Motor de la rueda de corte. Marca ISGEV, 2 polos, 220/380/50 Hz 3-fases, protección IP55, clase F Aislamiento térmico (conforme a las normas CEI)	Potencia (kW) 2.2
Bomba del motor del líquido refrigerante, marca SACEM, 2 polos, 220/380/50 Hz 3-fases	Potencia (kW) 0.09
Capacidad del tanque de fluido refrigerante (l)	24
Nivel de intensidad del sonido	75dB (A)

***TABLA 1: Especificaciones técnicas de la máquina:
Metallographic CutOff Machine TR100E (Fuente: Guía REMET).***

3.1.2 Condiciones de seguridad:

Cuando se transporta la máquina metalográfica, se debe desplazar usando un elevador para moverla de un modo seguro.

Se debe dejar en un lugar apropiado, protegiendo la máquina de malas condiciones atmosféricas. Dicho emplazamiento debe estar bien iluminado para poder realizar los cortes de forma adecuada.

Al disponer de una apertura lateral para piezas más grandes, se debe dejar suficiente espacio libre en el lado derecho de la máquina. Así se posibilita el empleo de dicha apertura (deberá dejarse en el lado derecho de la máquina entre uno y dos metros).

Además, es necesario disponer de una toma a tierra adecuada. El técnico de laboratorio debe disponer de tomas de corriente suficientes para conectar la máquina al suministro eléctrico. De otro modo, la máquina podría sufrir daños a causa de sobrecargas.

La máquina posee numerosas protecciones que aumentan su seguridad:

- a) La cubierta de plexiglás hace que la operación de corte quede aislada del técnico de laboratorio. Cuando ésta se encuentra levantada, no es posible accionar el motor de la rueda de corte. De igual modo, no es posible abrir la tapa de plexiglás hasta que la rueda no ha parado completamente.
- b) Bajo la rueda de corte existe una bandeja de metal con dos objetivos principales. Por un lado, sirve para acumular el líquido refrigerante sobrante de la operación de corte. Por otro lado, en caso de rotura de alguna parte del disco abrasivo, ésta retendrá los fragmentos de la rueda abrasiva.
- c) La apertura lateral de la que dispone la máquina para el corte de piezas más largas está protegida por una tapa hecha de acero inoxidable.

Por motivos de seguridad, cuando la tapa de plexiglás está cerrada, su apertura queda bloqueada.

-
- d) En el lado derecho de la máquina existe un pulsador rojo (una seta) de emergencia. En caso de presionarlo, las funciones de corte de la máquina se desactivan.

Algunas operaciones no son permitidas en esta máquina.

- La máquina Metallographic Cut-Off Machine TR100E no debe ser usada para pulir (sus ruedas son de corte).
- No se pueden hacer cortes secos con esta máquina.
- Los líquidos refrigerantes usados no deben ser fácilmente inflamables. Ya que, en caso de usarlos, podrían aparecer chispas durante el proceso de corte o con el material. Esto desencadenaría reacciones violentas durante el proceso.

3.1.3 Configuración de la máquina metalográfica Metallographic Cut-Off Machine TR100E:

El primer paso a seguir es la conexión de las tuberías y cables situados en la parte trasera de la máquina:

- Tubo de drenaje del líquido refrigerante:

Conectar un extremo del tubo al drenaje existente en la parte trasera de la máquina. Después, ajustarlo con una brida al otro extremo del tanque de refrigeración.

- Tubo de carga del líquido refrigerante:

Conectarlo a la bomba de líquido refrigerante y sujetarlo apropiadamente con una brida.

- Conexión eléctrica:

Insertar el enchufe a través del orificio de la cabina de la que dispone la máquina para su protección. Conéctese éste a la bomba.

3.1.3.1 Conexiones eléctricas:

El técnico de laboratorio comprobará el correcto funcionamiento de la toma eléctrica a las que se va a conectar la máquina de corte.

El técnico debe asegurarse de que la corriente dada por la red es la indicada en la placa de propiedades de la máquina Metallographic CutOff MachineTR100E. La conexión eléctrica necesita disponer de una correcta toma a tierra.

Una vez conectada la máquina, se debe comprobar que el disco de corte gira en la dirección apropiada.

En caso de que esto no sea así, la máquina debe ser apagada y desconectada. A continuación, se debe cambiar la fase de trabajo de la máquina. Finalmente el técnico comprueba que el giro es el correcto.

Asimismo, el dispositivo de cierre magnético de la máquina debe activarse cuando la máquina esté en funcionamiento. El operario comprobará que es apropiado su funcionamiento.

3.1.3.2 Sistema de refrigeración:

El sistema de refrigeración se compone de tres partes: líquido refrigerante, una bomba y dos boquillas.

Estas boquillas se insertarán en los tubos por donde discurre el líquido refrigerante. El flujo de éste se regulará mediante un grifo.

A su salida a través del tubo, el líquido es filtrado gracias a una rejilla que impide el paso de residuos. Así, se favorece la limpieza de la máquina, lo cual permite un mantenimiento de la misma en condiciones óptimas.

Para preparar la emulsión, se llena el tanque con agua y añadiéndole el aceite. Después se cierra la tapa. Por último, el técnico de laboratorio encenderá la

bomba durante unos segundos. Así se facilitará el proceso de mezcla del aceite con el líquido refrigerante.

3.1.3.3 Montaje de la rueda de corte:

La máquina de corte de las muestras del laboratorio está equipada con diferentes tipos de ruedas abrasivas. Su elección depende de la dureza del material al que se va a realizar el corte.

Las ruedas de las que dispone la máquina son:

- Rueda de SiC tipo J: Rueda suave, para cortar materiales muy duros.
- Rueda de SiC tipo L: Rueda de dureza media, para cortar metales no muy duros y para uso general.
- Rueda de SiC tipo M: Rueda de dureza alta, para cortar metales no ferrosos, metales blandos y acero inoxidable.
- Rueda de Al_2O_3 tipo K: Rueda para cortar aleaciones de titanio, plástico, etc.

Las ruedas de corte se colocan en la máquina entre dos bridas bañadas en níquel (haciéndolas resistentes a la corrosión) y separadas entre sí por un aro de acero inoxidable.

No es necesario un ajuste excesivo de la rueda de corte, puesto que la máquina posee efecto de autorretención cuando se está trabajando con ella.

3.1.3.4 Amarre de la muestra:

Se coloca la pieza que se va a cortar ajustando los tornillos que la fijarán a la mesa de trabajo. Para ello se emplean los destornilladores específicos proporcionados por la compañía diseñadora de la máquina (Struers).

El sistema de amarre de la muestra a la máquina de corte permite su colocación en la dirección deseada para realizar el mismo.

3.1.4 Pasos a seguir para realizar el proceso:

Primero, se debe comprobar que todos los componentes de seguridad están trabajando adecuadamente. En caso contrario, la máquina no debe ser arrancada.

La pieza a cortar debe estar correctamente amarrada a la mesa de trabajo con los tornillos en forma de T y bridas correspondientes.

Las mangueras conductoras del líquido refrigerante, por su parte, deben estar orientadas apuntando a ambos lados de la rueda de corte abrasiva.

Una vez que está todo dispuesto para empezar a trabajar, se cierra la tapa de seguridad de plexiglás.

Tras esto, se presiona el botón START/STOP del que dispone el motor de la rueda de corte. Ésta deberá comenzar a girar antes de entrar en contacto la rueda con la pieza que se va a cortar.

Se debe evitar que el primer contacto entre la rueda abrasiva y la pieza sea violento y brusco. Es decir, se deben controlar todos los parámetros de la rueda de corte (refrigeración de la misma y velocidad de giro).

Cuando el proceso de corte ha concluido, la velocidad de giro de la rueda debe ser reducida pero no puesta a cero directamente.

Se aparta la rueda de la pieza lentamente. Con ello se evitará, en caso de que la pieza no estuviese bien fijada, que la pieza recién cortada impacte bruscamente contra la parte trasera de la máquina. Gracias a esto el área de corte al final del proceso no resultará quemada.

3.1.5 Mantenimiento:

La máquina Metallographic Cut-Off Machine TR100E no necesita un mantenimiento regular debido a que todas sus piezas están continuamente lubricadas.

Sin embargo, se debe tener especial cuidado en la limpieza de la máquina. Numerosos residuos pueden quedar acumulados en la rueda de corte.

Por otro lado, el líquido refrigerante ha de cambiarse cada 200/250 horas de trabajo aproximadamente. Asimismo, el tanque donde éste se acumula debe ser limpiado cuidadosamente. De este modo, se retirarán adecuadamente todos los residuos acumulados en el fondo del mismo.

Periódicamente hay que comprobar la cantidad de refrigerante que queda disponible en la máquina. En caso de que fuera necesario estabilizar el nivel del mismo, se debe de añadir en las proporciones adecuadas el agua y el aceite del que se compone el refrigerante.

3.2 Análisis y manual de instalación uso y mantenimiento de la máquina de la máquina CitoPress-1:

CitoPress-1 es una prensa de montaje que dispone de giro rápido de la probeta, gracias a lo cual se incrementa su capacidad de producción. Posee un sistema hidráulico con el que la presión es controlada con gran precisión, asegurando, así, todas las probetas.

3.2.1 Partes de que consta CitoPress-1:

Las partes principales de la máquina CitoPress-1 se muestran en la fotografía adjunta, figura 20:

1. Panel frontal.
2. Tapa de la unidad de montura.
3. Tapa superior de la unidad de montura.
4. Unidad de montura.
5. Brazo giratorio de cierre de la tapa superior.
6. Tapa superior de cierre.



Figura 20: Partes frontales de CitoPress-1.

La parte trasera de la prensa CitoPress-1, tal como se ve en la siguiente fotografía, figura 21, consta de:

1. Conexión a la red eléctrica.
2. Interruptor de la red eléctrica.
3. Fusibles.
4. Entrada de agua.
5. Válvula de ventilación.
6. Tubo de salida de agua.



FIGURA 21: Partes traseras de la máquina CitoPress-1.

Características específicas de la prensa CitoPress-1:

- Las unidades de montaje son de bajo peso. Con esto la prensa consigue que su calentamiento sea rápido.
- El técnico del laboratorio puede controlar individualmente parámetros como: temperatura, fuerza/presión, tiempo de calentamiento, tiempo de enfriamiento.
- La prensa detecta automáticamente las dimensiones del cilindro.
- Dispone de una pantalla de control.
- Para facilitar el control visual del proceso, la altura de montaje de la muestra es baja.
- El cierre de la tapa de la prensa consiste en la alineación de sus tres pestañas.
- Para facilitar su limpieza, el acceso al interior de la máquina es sencillo.
- La tapa superior puede ser elevada para un posicionamiento correcto.
- Serpentin para la calefacción (1000 W).
- Sistema hidráulico de elevada precisión para el control de la presión.
- Niveles de refrigeración predeterminados: elevado / medio / bajo (Hi / Med / Lo, respectivamente).

La siguiente tabla, la tabla 2, muestra las características principales de la prensa CitoPress-1.

Objeto de la tabla		Especificaciones	
		Medidas/International	US
Especificaciones de ensamble			
Unidades de ensamble	Diámetro	25, 30, 40, 50 mm	1 (1/4)'' 1(1/2)''
Compresión	Fuerza en el vástago del pistón	50 – 350 * bar en pasos de 25 bar	725 – 5076 * psi en pasos de 363 psi
		*) Nota: Con el empleo del cilindro de 50 mm de diámetro, la fuerza máxima es limitada a 250 bar / 3625 psi	
Calentamiento	Temperatura	120 / 150 / 180 °C	248 / 302 / 356 °F
	Tiempo	Variable entre 1 y 15 min	

TABLA 2: Especificaciones técnicas de la prensa CitoPress-1
(Fuente: Struers Guide).

3.2.2 Condiciones y medidas de seguridad:

Antes de emplear la prensa, el técnico de laboratorio debe saber cómo emplear adecuadamente la máquina leyendo atentamente cómo trabajar con ella.

En cuanto al laboratorio en el que se encuentra la máquina, dos aspectos principales se deben tener en cuenta.

La prensa debe estar bien ventilada. Y, por otro lado, la mesa sobre la que ésta se apoya, debe soportar el peso de la prensa. Además, la mesa debe ser nivelada y dispuesta a una altura cómoda de trabajo para el técnico de laboratorio.

3.2.2.1 Condiciones relativas a los aspectos eléctricos:

La prensa CitoPress-1 debe tener toma a tierra. Del mismo modo, el técnico de laboratorio comprobará que el voltaje proporcionado a la prensa es el adecuado.

Durante la instalación de la prensa, así como al final del proceso que ésta realiza, el operario se asegurará de que la máquina CitoPress-1 esté desconectada de la toma de corriente eléctrica.

3.2.2.2 La importancia del agua en la prensa CitoPress-1:

En la prensa CitoPress-1 el agua va a ser empleada como medio de refrigeración.

El técnico de laboratorio debe confirmar que no existen pérdidas en las conexiones del agua de la prensa. Asimismo, debe hacer que éstas se hagan de un modo seguro.

Una vez confirmado esto, el técnico abrirá el paso del agua a la prensa para poder trabajar con ella. De igual modo hará a la inversa (es decir, el operario cortará el flujo de agua al finalizar el proceso).

Además, durante el funcionamiento de la prensa, el técnico del laboratorio se asegurará de que el agua proveniente del tubo de salida no se mezcle con el agua de entrada. El agua refrigerante deberá estar fría. Sin embargo, el agua a la salida de la prensa estará sometida a elevadas temperaturas.

La máquina CitoPress-1 consta de tres niveles para la temperatura del agua (Hi/Med/Lo, es decir, Alta/Media/Baja). La principal ventaja de esta selección es el ahorro de la misma.

Es significativo el hecho de que, en la mayoría de los casos, con el empleo del nivel medio de agua es suficiente. Por ello, el uso de agua se ve reducido significativamente.

3.2.2.3 Proceso seguido en CitoPress-1:

El técnico del laboratorio revisará que la unidad de montaje de las muestras en la prensa está correctamente posicionada.

A parte de ello, el operario comprobará que la tapa que cierra el brazo superior está perfectamente encajada en el cilindro de montaje, ó completamente retirada del mismo.

Por otro lado, no se debe trabajar con la prensa con una fuerza debida a la presión superior a la que es recomendada por el fabricante (Struers).

El técnico de laboratorio debe asegurarse de que el cilindro se enfría durante un par de minutos antes de abrirlo.

3.2.3 Configuración de CitoPress-1:

3.2.3.1 Condiciones relativas a las conexiones eléctricas:

La máquina CitoPress-1 necesita dos tipos diferentes de conexiones para su funcionamiento:

- Un enchufe monofásico (denominado Europeo). Sus cables deben estar conectados del siguiente modo:
 - Amarillo/verde: a tierra;
 - Marrón: línea de tensión;
 - Azul: neutro.
- Un enchufe bifásico (Norteamericano NEMA). Sus cables deben estar conectados del siguiente modo:
 - Verde: tierra;
 - Negro: línea de tensión;
 - Blanco: línea de tensión.

Ambos cables, tanto el enchufe monofásico como el bifásico, están equipados en el otro extremo con un cable IEC 320. Éste se conecta a la máquina CitoPress-1.

3.2.3.2 Válvula de ventilación y suministro de agua a la prensa:

Para obtener la presión adecuada, se abre la válvula del sistema hidráulico de ventilación de la máquina CitoPress-1.

Por otro lado, el agua de refrigeración proviene de la toma de agua disponible en el laboratorio.

Antes de comenzar este paso, el técnico de laboratorio se asegurará de que no existe nada que obstruya la manguera por la que discurrirá el agua refrigerante.

Esta manguera que sale de la tubería de entrada de agua, se debe insertar en la parte trasera de la máquina CitoPress-1.

Seguidamente, el filtro de la junta se coloca contra la manguera de presión con la tuerca de acoplamiento a la superficie plana. Además, la junta de acoplamiento debe estar completamente ajustada.

El otro extremo de la manguera de entrada de agua, se conecta a la tubería principal para el agua fría.

Para finalizar, el extremo libre de la manguera que sale de la máquina, se coloca en un desagüe.

En este punto, el técnico del laboratorio comprobará que existe suficiente diferencia de alturas entre la salida y el desagüe. Así el líquido refrigerante fluirá a través de la manguera.

3.2.3.3 Instalación de la máquina CitoPress-1:

Para instalar CitoPress-1, seguir los siguientes nueve pasos:

1. Primero el técnico del laboratorio retira la carcasa que la cubre. Una vez abierta la prensa, se coloca su cilindro hidráulico.
2. Para alinear el cilindro hidráulico, se debe rotar la columna hasta que coincidan agujero y cilindro. Sus dos flechas quedarán alienadas. Este giro se realiza en sentido horario.
3. La prensa se nivela mediante los pernos presentes en la misma. Para evitar problemas al bloquearlos en su posición final, el operario debe colocar a un lado tanto los cables, como las mangueras de agua.

Así, el montaje quedará fijado en su posición correcta. De este modo, el técnico de laboratorio no causará ningún daño en la máquina durante su uso.

4. Por otro lado, el operario se asegura de que la tuerca de retención queda ajustada y en posición vertical. Esto permite poder cerrar después (paso 9) la tapa de la máquina inicialmente retirada (paso 1).
5. A parte de colocar apropiadamente la unidad de montaje, los dos cables deben ser conectados correctamente a los enchufes de CitoPress-1.
6. También la toma de agua, así como la salida de la misma, se deben ajustar en las tomas de la máquina.
7. El brazo inferior será instalado colocándolo en el límite del vástago del pistón.

Este brazo inferior debe estar girado de modo que queden ajustados los agujeros en el eje del límite del vástago, y las pestañas presentes en el brazo. Se trata de una parte del sistema de seguridad de la máquina CitoPress-1.

8. Además, se insertará el perno del pistón. El técnico del laboratorio se asegurará de que el perno no sobresalga del cilindro.

Para instalar el brazo giratorio, se desliza el mismo a lo largo de la camisa del cilindro.

9. El último paso, es montar la tapa que cierra la parte superior del brazo giratorio.

3.2.3.4 Ajuste de los parámetros de CitoPress-1:

Por un lado, la máquina ajusta por sí sola los parámetros del método a llevar a cabo.

Esto la prensa lo hace automáticamente de acuerdo con el tamaño del cilindro escogido. Gracias a esto, se evitan posibles errores debidos a un ajuste manual e inadecuado del cilindro.

Por otra parte, se pueden controlar parámetros como la presión, el tiempo de calentamiento y enfriamiento. Esto asegura una gran flexibilidad para el proceso.

Una alarma acústica avisa al técnico del laboratorio del final del proceso.

Por otro lado, CitoPress-1 presenta una función accesorio ya que cuenta con una pantalla táctil LCD. Esta pantalla, muestra gráficamente los parámetros y el proceso llevado a cabo en la prensa. Para cambiarlos, se emplea la pantalla táctil del control.

3.2.4 Mantenimiento:

El técnico de laboratorio, usando un trapo húmedo, limpiará todas las partes accesibles.

Para limpiar la superficie cilíndrica, se debe emplear una rasqueta. De este modo cualquier resto de resina se retirará fácilmente.

El operario también retirará los restos localizados en el filtro de agua ya que podrían obstruirlo.

Una vez al año, el técnico del laboratorio, descalcificará la tubería en forma de bobina por donde discurre el líquido refrigerante. Este proceso se lleva a cabo mediante un líquido suave que descalcificará la tubería. Se deja actuar este líquido durante media hora. Sin embargo, en caso de que quedaran restos tras

este proceso, éste se debe repetir dejándolo en la unidad de montaje durante una noche antes de conectar el agua de nuevo el siguiente día de trabajo.

3.3 Análisis y manual de instalación uso y mantenimiento de la máquina TegraSystem-250

El conjunto de máquinas que forman TegraSystem-250 es el tercer paso del proceso llevado a cabo en el laboratorio de materiales de la Universidad. Gracias a esta máquina se consigue una superficie lisa de la probeta mediante pulido y esmerilado.

El conjunto de TegraSystem-250 se compone de tres partes diferentes. TegraPol-21, la cual puede trabajar sin necesidad de las otras dos partes que son accesorias. Éstas son TegraForce-5 y TegraDoser-5, las cuales mejoran las capacidades de TegraPol-21.

3.3.1 Análisis y manual de instalación uso y mantenimiento de la máquina TegraPol-21:

En la máquina TegraPol-21 se pulen y esmerilan los metales. Puede realizar el pulido por sí sola sin la utilización de ningún accesorio. Sin embargo, el operario puede establecer manualmente ciertos parámetros como dirección de la rotación o velocidad.

3.3.1.1 Partes integrantes de la máquina TegraPol-21:

Para la comprensión de la máquina se deben tener en cuenta ambos lados de TegraPol-21, su parte delantera y su parte trasera.

En la parte frontal de TegraPol-21, tal como se ve en la fotografía adjunta (figura 22), se pueden distinguir tres elementos básicos.

Estos son:

1. Grifo con toma de agua y manguera para rociar la probeta.
2. Mesa de trabajo giratoria.
3. Panel de control de parámetros frontal.



Figura 22: Parte frontal de TegraPol-21.

En la parte trasera de la máquina, se localizan las conexiones eléctricas y las tomas de agua. La fotografía siguiente, figura 23, muestra esta vista de la máquina TegraPol-21:

1. Toma de agua.
2. Salida de agua para TegraDoser-5.
3. Salida de agua.
4. Enchufe a la corriente eléctrica.
5. Enchufe para mover la muestra (conexión eléctrica a TegraForce-5).
6. Unidad de dosificación (conexión eléctrica a TegraDoser-5).
7. Enchufe auxiliar (no utilizado normalmente).
8. Interruptor principal.
9. Fusibles.

10. Conexión a la red eléctrica de TegraPol-21.
11. Clavija de comunicación de las tres partes diferenciadas.
12. Parada de emergencia.



FIGURA 23: Parte trasera de TegraPol-21.

En la tabla 3 se muestran especificaciones técnicas de TegraPol-21.

Máquina		Especificaciones de TegraPol-21
Disco	Diámetro	250 mm / 10"
	Velocidad	50-300 rpm variable
	Dirección de rotación	Sentido antihorario
	Núm. de motores	1
	Motor	370 W/ 0.50HP
	Par en el disco <300 rpm	11.8 Nm/8.7ft-lbf

	600 rpm	-
	Max	>20Nm /14.8ft-lbf
Equipo conectado	TegraForce-3/-5	1
	TegraDoser-5	1
Software y Electrónica	Controles	Pantalla táctil
	Memoria	FLASH-ROM/RAM/NV-RAM
	LCD	128x64 pixeles
Nivel de ruido	Durante su empleo	62DbA
Temperatura ambiente	5-40°C/41-104°F	
Humedad	Sin condensación	0-95%RH
Suministro de energía	Voltaje/Frecuencia	200-240V/50-60Hz
	Potencia nominal con carga	440 W
	Potencia de vacío	16W
	Intensidad, nom	2.2A
	Intensidad, max	5.6A
	Presión del agua	1-10bar/14.5-145 psi
	Toma de agua	½ " or ¾ "
	Salida de agua	Diam 32mm/1 ¼ "
Dimensiones y peso	Anchura	430mm/16.9"
	Profundidad	715mm/28.1"

	Altura	325mm/12.8"
	Peso	33kg/72.8 lbs

TABLA 3: Especificaciones técnicas de TegraPol-21
(Fuente: Struers Guide).

3.3.1.2 Condiciones y medidas de seguridad referidas a TegraPol-21:

La máquina TegraPol-21 necesita luz y temperatura apropiadas para el trabajo, tal como indica la tabla 3 anteriormente mostrada.

La mesa de trabajo, por su parte, será amplia para disponer del espacio necesario en caso de añadir TegraDoser-5 y TegraPol-21. También se estudiará que la mesa sea capaz de soportar el peso del conjunto de las tres máquinas. La mesa debe estar, asimismo, colocada a la altura adecuada para el técnico del laboratorio.

El técnico del laboratorio colocará adecuadamente el disco de pulido en la máquina TegraPol-21. Esto ocurrirá cuando los pasadores del mismo estén enganchados a los agujeros dispuestos en la mesa giratoria.

No es peligrosa la utilización de esta máquina, pero el técnico del laboratorio, por su seguridad, estudiará los movimientos llevados a cabo en TegraPol-21. Es decir, el operario deberá prestar atención a los movimientos de rotación que transcurren en la máquina. Estos movimientos son dos: rotación del disco de pulido, y el realizado por la probeta durante la operación.

El técnico de laboratorio no tocará el disco que lleva a cabo el proceso de pulido si el posicionamiento del mismo se realiza manualmente.

Del mismo modo, el operario no cogerá la probeta de la bandeja mientras el disco de pulido esté en funcionamiento.

Para terminar, TegraPol-21 debe tener toma sólo de agua fría. En caso contrario, la función principal de enfriar la probeta durante el proceso de pulido no funcionará.

3.3.1.3 Configuración de TegraPol-21:

a) Suministro de agua:

Toma de agua:

Encajar la tubería de entrada de agua con 90° de codo en la parte trasera de TegraPol-21. Tras ello, ajustar el otro extremo de la tubería al grifo de salida de agua fría. El suministro de agua fría estará sometido a una presión de 1-10 bar.

Conexión de la salida de agua:

En TegraPol-21 se dispone de una manguera por la que discurre el agua. Tomar el extremo libre de la manguera e introducirlo en la tubería de salida de agua usando una abrazadera para fijar dicha unión. El otro extremo se deja libre hacia el desagüe para la salida de agua.

b) Abastecimiento de energía:

El técnico del laboratorio comprobará que la máquina TegraPol-21 está conectada a una red eléctrica que satisfaga sus necesidades. Estos datos aparecen incluidos en la placa de características de la máquina. Además, comprobar que está correctamente hecha su toma a tierra.

c) Configuración del software:

Si no se instalan los accesorios TegraForce-5 o TegraDoser-5 en TegraPol-21, el operario ajustará sólo un par de opciones del software de la máquina TegraPol-21. Estas opciones serían: velocidad de pulido o método de esmerilado, y el método a seguir de adición del agua:

- Antes de comenzar, el técnico del laboratorio establecerá la velocidad de pulido, ó el método de esmerilado. Esto se realiza ya que sólo se pueden realizar ajustes manuales en el plan de trabajo de TegraPol-21.

Para determinar la velocidad de giro del disco de pulido el operario consultará la guía “Struers Metalog Guide” (Guía Metalográfica Struers).

En ella, se especifican métodos de preparación para la mayoría de los materiales.

Estos métodos están basados en dos propiedades concretas: dureza y ductilidad. De este modo, se puede adecuar el método a emplear en TegraPol-21 para la muestra estudiada en el laboratorio.

- Además, el técnico de laboratorio, una vez seleccionada la velocidad de giro y, por tanto, su método de esmerilado, decidirá sobre la refrigeración a seguir en el proceso.

El medio a emplear es el agua, será el refrigerante de este proceso. El técnico del laboratorio decidirá si se añade agua automáticamente durante todo el proceso de pulido, ó sólo en ciertos momentos. En este segundo caso, se añadiría el agua manualmente. Para ello se presionaría el botón de la máquina específico para este fin.

d) Pasos de trabajo:

Una vez que el proceso deseado ha sido seleccionado, se presiona el botón de inicio. Así la mesa giratoria comenzará a rotar.

Si no se activa automáticamente el suministro de agua para la operación es porque se trata de un proceso seco. Sin embargo, en caso de que sea necesario su uso un momento determinado, presionar el botón manualmente (sólo añadirá agua mientras éste sea presionado).

Cuando el proceso haya acabado, el técnico del laboratorio presionará el botón de parada en el panel frontal.

En caso de que se produjera una emergencia durante el proceso, presionar el botón con dicho nombre localizado en el lateral de la máquina.

Después de un proceso de pulido, se presionará el botón de arranque continuamente. Así se logra limpiar los residuos que hayan quedado sobre el disco de corte. Para parar este proceso soltar dicho botón.

3.3.1.4 Mantenimiento de TegraPol-21:

Una recomendación con respecto al correcto mantenimiento de TegraPol-21, es limpiar semanalmente el disco de pulido. Para ello, el técnico del laboratorio sacará el disco de la máquina. Así limpiará tanto la suciedad de la bandeja (en la mesa de trabajo en el interior de la máquina), como el tubo de desagüe.

3.3.2 TegraForce-5:

Se trata de un accesorio para TegraPol-21 que se emplea para pulir no sólo de modo manual. En este accesorio, es posible emplear un disco provisto de orificios para sujetar en él las probetas.

Gracias a TegraForce-5, la fuerza empleada para presionar la muestra contra el disco puede ser ajustada en TegraPol-21.

3.3.2.1 Partes de la máquina TegraForce-5:

Casi cada movimiento de TegraForce-5 es controlado mediante TegraPol-21, por tanto, no hay botones de manejo en ella.

Sin embargo, la máquina consta de tres partes principales mostradas en la siguiente fotografía, figura 24:

1. D-Sub conexión para TegraDoser-5: Boquilla para la toma de agua de TegraDoser-5.
2. Válvula de salida del filtro de agua/aceite al aire comprimido.
3. Luz de LED para iluminar el disco.



FIGURA 24: Partes principales de TegraForce-5.

En la tabla 4 adjunta se muestran ciertas especificaciones de TegraForce-5.

Objeto de la table		Especificaciones de TegraForce-5
Sujecion de la probeta y movimientos de la misma	Velocidad	50-150 rpm variable
	Dirección de rotación	Sentido horario y antihorario
	Motor	115 W
	Par Max.	9.0 Nm
Accesorios conectados		TegraDoser-1 ó TegraDoser-5
Nivel de ruido	Durante la operación	62 dB (A)
Temperatura ambiente		5-40°C/41-104°F
Humedad	Sin condensación	0-95% RH

Conexiones	Voltaje	24 V de TegraPol-21
	Intensidad Inom/Imax	2.0 A / 3.0 A
	Toma de agua	diam 5 mm + diam 8 mm
	Presión del aire	5-10 bar / 72-145 psi
	Calidad del aire	El suministro de aire debe tener la calidad 5.6.4, especificado en la norma ISO 8573-1
Dimensiones y peso	Ancho	180 mm / 7.1"
	Profundo	388 mm / 15.3"
	Alto	572 mm / 22.5"
	Peso	18 kg / 39.7 lbs

TABLA 4: Especificaciones técnicas de TegraForce-5
(Fuente: Struers Guide).

3.3.2.2 Configuración de TegraForce-5:

a) Instalación de TegraForce-5 en TegraPol-21:

En el primer paso, el técnico del laboratorio, quitará la tapa que cubre el orificio localizado en la parte superior de la máquina TegraPol-21.

Quitará, del mismo modo, los protectores que cubren los tornillos localizados en el lado izquierdo de la carcasa de TegraPol-21.

Una vez dejado a la vista el orificio, el operario colocará la columna que soporta el peso de TegraForce-5 en TegraPol-21. El técnico del laboratorio, girará dicha columna hasta que la pestaña quede ajustada en la ranura que se encuentra al final del orificio destapado de TegraPol-21.

Seguidamente, enroscar la tuerca que se encuentra al final de la columna de TegraForce-5 hasta que ésta quede asegurada (realizar este movimiento por la parte inferior de TegraPol-21).

Ajustar del mismo modo los dos tornillos que se encuentran en el lado izquierdo de TegraPol-21 y cubrirlos con los protectores quitados inicialmente.

Sólo queda conectar la parte trasera de TegraForce-5 a la parte trasera de TegraPol-21, y también a la toma de aire comprimido.

Tras ajustar el accesorio TegraForce-5 a la máquina TegraPol-21, colocar en dicho accesorio, en TegraForce-5, el disco para colocar sobre él la probeta (una sola probeta).

Encender TegraPol-21 para adecuar la distancia de TegraForce-5 con el disco de pulido de TegraPol-21.

Presionando el botón de arriba/abajo (up/down), mover TegraForce-5 hasta la posición más baja.

La distancia que debe existir entre la probeta y el disco de pulido debe ser de 1-1.5 mm. Para modificar dicha distancia, aflojar el tornillo del anillo de fricción y moverlo arriba o abajo dependiendo del movimiento buscado (ajustarlo nuevamente una vez encontrada la posición buscada).

b) Ajustando la Fricción:

Para ajustar la fricción de los movimientos de TegraForce-5, el operario aflojará el tornillo del anillo de fricción.

Para aumentar la fricción, girar el anillo en el sentido de las agujas del reloj; para reducirla, sentido contrario a las agujas del reloj.

El técnico del laboratorio tendrá especial cuidado al realizar este movimiento ya que podría cambiar, sin desearlo, la distancia entre probeta y disco.

c) Conexiones eléctricas:

Sólo hay un cable unido a TegraForce-5. Conectar éste a la conexión al motor de TegraPol-21. Esta conexión se encuentra en la parte trasera de TegraPol-21.

Una vez que ambas, máquina principal y su accesorio, están conectadas, sólo con encender TegraPol-21 ambas partes de la máquina quedarán abastecidas con los 24 V que necesitan.

Además, esta conexión entre TegraPol-21 y TegraForce-5 posibilita la comunicación de las partes de TegraSystem-250.

d) Conexiones de aire comprimido:

La calidad del sistema de aire comprimido usado en TegraForce-5 deber ser la estipulada en la normativa ISO 8573-1. Su presión estará entre 5 y 10 bar.

El técnico del laboratorio montará la manguera para el aire comprimido en el acoplamiento localizado para este fin. Asegurará la unión de esta manguera con TegraForce-5 con una abrazadera.

Por último, conectará a la toma de aire dicha manguera proveniente de TegraForce-5.

El accesorio TegraForce-5, consta de un filtro para el agua/aceite que retira las partículas residuales más gruesas del circuito de aire comprimido.

Para vaciar dicho filtro, el técnico de laboratorio quitará la probeta y el disco de pulido. Ya que, en caso contrario, podrían acabar contaminados de las sustancias depositadas en el filtro.

Tras esto, presionar la válvula de escape.

El técnico del laboratorio colocará un contenedor debajo del filtro para retener el agua.

3.3.2.3 Cómo introducir la probeta en TegraForce-5:

TegraForce-5 puede ser empleada para una sola probeta o para varias empleando, en este caso, el disco de sujeción de probetas múltiple.

Para introducir el disco de sujeción de las muestras (ya sea simple o múltiple), se posicionará TegraForce-5 en su punto más alto. Es decir, el técnico del laboratorio presionará el botón negro de subida/bajada (raise/lower) hasta asegurarse de que TegraForce-5 está completamente subida. El técnico mantendrá este botón negro pulsado e introducirá el disco de sujeción de la probeta.

Dicho disco debe encajar mediante la alineación de las tres pestañas de las que consta. En este punto, el operario dejará de pulsar el botón negro ya que el disco habrá quedado bloqueado en la posición buscada.

3.3.2.4 Alineamiento de TegraForce-5:

TegraForce-5 está equipada con un mecanismo automático que alinea el conjunto de con el disco de sujeción de la probeta (para una o varias probetas).

Asegura, de este modo, que si se baja la posición de la columna de TegraForce-5, ésta volverá a su posición inicial.

Para alinear manualmente la columna de TegraForce-5 con el disco de pulido de TegraPol-21, se cambia la posición de la columna nombrada con el botón anteriormente mencionado para subir/bajar (raise/lower) su altura.

El técnico de laboratorio moverá la columna de TegraForce-5 a derecha e izquierda. Gracias a esto, la columna donde se encuentra el disco con las muestras en TegraForce-5 quedará totalmente alineada con el disco de pulido de la mesa de trabajo de la máquina TegraPol-21.

El técnico del laboratorio colocará la probeta muy próxima al límite del disco que la sujeta: entre la probeta y el final del disco debe haber 2-3 mm.

3.3.2.5 Establecimiento de los parámetros de preparación de la operación:

Antes de comenzar con el proceso el técnico del laboratorio especificará la velocidad de giro del disco, el tiempo de preparación, la fuerza, la sujeción de la probeta (o probetas) y la aplicación de agua.

Después de que TegraForce-5 haya sido montada correctamente y conectada a TegraPol-21, en la pantalla principal se muestran temas a tener en cuenta al trabajar con esta máquina.

Estos parámetros de TegraPol-21 son:

- Se debe optar por el empleo de una sola probeta ("Single Samples Preparation") o de varias ("Sample Holder Preparation").
- Además de la preparación manual del proceso. Sus valores son mostrados en las dos tablas adjuntas a continuación: tablas 5 y 6.
- Otra opción, reducir la fuerza aplicada ("Force Reduction"). Con esto se obtiene una superficie más fina y el tiempo de preparación de la probeta para el siguiente paso será menor.

Esta opción disminuye la fuerza gradualmente durante los treinta últimos segundos del proceso de pulido. La fuerza se reduce en pasos de 5 N hasta que la fuerza última de 10 N es alcanzada.

Opciones	TegraPol-21 y 31	Incremento del cambio
Velocidad del disco *	50-300	10 rpm
Sujeción (TegraForce-5)	50-150	10 rpm
Tiempo	60m 00s	30s
	05m 00s	10s
	01m 00s	10s
	00m 05s	5s
Fuerza/dirección	10-100/sentido horario u antihorario	5 N
Agua (refrigerante)	ON / OFF	

TABLA 5: Parámetros para una única probeta.
(Fuente: Struers Guide).

Opciones	TegraPol-21 & 31	Incremento de cambio
Velocidad de disco *	50-300	10 rpm
Sujección (TegraForce-5)	50-150	10 rpm
Tiempo	60m 00s	30s
	05m 00s	10s
	01m 00s	10s
	00m 05s	5s
Fuerza/Dirección	30-400/sentido horario u antihorario	10 N
Agua (refrigerante)	ON / OFF	

TABLA 6: Parámetros para varias probetas.
(Fuente: Struers Guide).

3.3.2.6 Mantenimiento de TegraForce-5:

El mantenimiento de TegraForce-5 es relativamente sencillo, ya que se trata de una máquina prácticamente automática. El técnico del laboratorio limpiará las partes accesibles de la misma.

Así, limpiará el disco de sujeción de las probetas. Para eliminar las sustancias de desecho nocivas para el sistema de aire comprimido, el operario presionará la válvula de desagüe de TegraForce-5. Tras esto, el técnico de laboratorio podrá vaciar y limpiar el filtro de agua (o aceite) empleado durante el proceso.

3.3.3 TegraDoser-5:

El accesorio TegraDoser-5, es un sistema automático que dosifica la cantidad de lubricante a emplear en el proceso de pulido. Este sistema asegura el empleo de la cantidad necesaria.

Gracias a TegraDoser-5 se alcanzan las calidades superficiales requeridas sin la aparición de rayas o rasguños en las probetas.

3.3.3.1 Partes de TegraDoser-5:

1. Panel frontal de control mostrado en la siguiente fotografía, figura 25:



FIGURA 25: Panel de control frontal TegraDoser-5.

En la parte trasera de TegraDoser-5 encontramos, como puede verse en la fotografía siguiente, figura 26:

1. Conexión a la red eléctrica (conector RJ45).
2. Conexión de servicio (conector de puerto de serie).
3. Tubos de silicona para el suministro de lubricante de las botellas accesorias de TegraDoser-5.
4. Conexión a tres bombas.
5. Bomba-OP.
6. Válvula de regulación para la presión del agua.
7. Manguera para el agua desde TegraPol-21 a la bomba-OP.
8. Encendido e interfaz para la conexión con TegraPol-21.
9. Manguera de TegraForce-5.

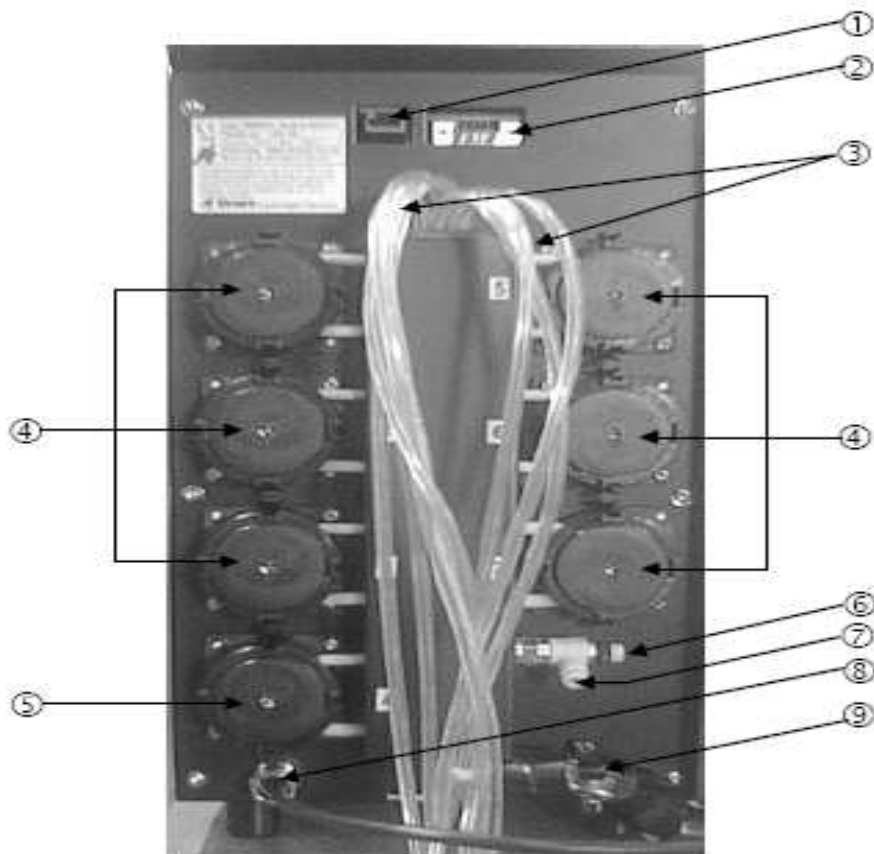


FIGURA 26: Parte trasera de TegraDoser-5.

En la tabla 7 adjunta aquí, se muestran una serie de especificaciones técnicas de TegraDoser-5:

Objeto de la tabla		Especificaciones	
		Medidas/internacional	US
Dimensiones y peso	Anchura	200mm	8"
	Profundidad	210mm excluyendo la bandeja de las botellas 550mm incluyendo la bandeja de las botellas	8.3" excluyendo la bandeja de las botellas 21.7" incluyendo la bandeja de las botellas
	Altura	380mm	15"

	Peso	8.5kg excluyendo la bandeja de las botellas 10.0kg incluyendo la bandeja de las botellas	18.7lbs. excluyendo la bandeja de las botellas 22 lbs incluyendo la bandeja de las botellas
Niveles de las dosificaciones	Suspensiones	0.2-4 ml (20 dosis)	
	Una única suspension (todo en una) (DiaPro, DiaDuo)	0.2-12 ml (20 dosis)	
	Lubricantes	0.2-12 ml (20 dosis)	
	Suspensiones-OP	2-90 ml (20 steps)	
Objeto de la tabla		Especificaciones	
Electrónica y software	Pantalla: LCD	240x128 dots con luz blanca	
	Controles	Pantalla táctil	
	Memoria	FLASH, RAM y no volátil RAM	
	Comunicación Incluyendo automático: Start/Stop	Con las otras máquinas del conjunto de TegraSystem-250	
	Intercambio de datos	Conectando un ordenador a la máquina	
Ambiente	Temperatura ambiente	5-40°C/41-104°F	

	Humedad	0-95% RH sin condensación
Conexión eléctrica	Voltaje	24 V, 1A dado por TegraPol-21

TABLA 7: Especificaciones técnicas de TegraDoser-5.
(Fuente: Struers Guide).

3.3.3.2 Condiciones de seguridad:

En el accesorio TegraDoser-5 no existen elementos móviles.

Como se ha citado anteriormente para TegraSystem-250, la máquina TegraDoser-5, debe estar situada en un emplazamiento correcto, sobre una mesa que pueda soportar su peso y a una altura suficientemente alta para las condiciones de trabajo del técnico de laboratorio.

3.3.3.3 Configuración de TegraDoser-5:

a) Conexiones eléctricas:

Sólo existe una única conexión eléctrica entre TegraPol-21 y TegraDoser-5.

Este enchufe provee con 24 V de energía eléctrica a TegraDoser-5 y la comunica a una base de datos. Ésta imposibilita que ambas máquinas trabajen a la par. Para conectarla, se debe apagar TegraPol-21.

b) Suministro de agua:

El técnico del laboratorio conectará un extremo de la manguera proveniente de TegraDoser-5 a la parte trasera de TegraPol-21.

Para ajustar el flujo de agua, el operario empleará el regulador que se encuentra en la parte trasera de TegraDoser-5.

c) Cabeza de manguera con 7 boquillas para las botellas de las dosis:

El operario moverá la manguera hacia un lado para ganar movilidad. Gracias a este movimiento, podrá insertar la cabeza en el orificio del lateral de TegraForce-5. Por seguridad, el técnico de laboratorio colocará una brida una vez colocada la manguera.

d) Parámetros informáticos:

Además de seleccionar el idioma deseado, se pueden establecer ciertos parámetros de trabajo como, por ejemplo, la administración de dosis de TegraDoser-5 o el proceso a llevar a cabo en TegraPol-21.

e) Establecimiento de la dosis:

Dos valores pueden ser establecidos:

- El técnico del laboratorio podrá seleccionar la dosis inicial que se le da a la probeta para lubricarla.
- Del mismo modo, podrá determinar el número de dosis dadas a lo largo del proceso.

TegraDoser-5 posee un listado de los parámetros a tener en cuenta de ciertos materiales ya estipulados. (Materiales no presentes en dicha lista pueden ser estudiados, empleados y, por tanto, añadidos a la misma).

f) Proceso de preparación:

Un método de preparación será seleccionado por el técnico de laboratorio antes de empezar el proceso de lubricación.

Estos métodos han sido establecidos por Struers, fabricante de la máquina. Se pueden crear nuevos métodos a partir de lo obtenido en TegraDoser-5 desde cero mediante estudios en el laboratorio.

Lo importante en este punto es asegurarse que TegraForce-5 está bloqueada en su posición antes de llevar a cabo el proceso de operación.

g) Proceso de operación:

Una vez que todos los parámetros de TegraDoser-5 han sido establecidos, las únicas variables que se pueden modificar durante el proceso son fuerza y las dosis de refrigerante. Cualquier otro parámetro deberá ser modificado parando la máquina completamente.

3.3.3.4 Mantenimiento:

En caso de que TegraDoser-5 esté conectada, el técnico del laboratorio comprobará y rellenará, en caso de ser necesario, su lubricante.

Un programa interno de la máquina permite seleccionar la limpieza de qué tubos debe ser llevada a cabo.

Además, al trabajar con lubricantes que contienen alcohol, los tubos pueden acabar dañados a lo largo del tiempo. Es posible el empleo de tubos de silicona para esta situación, ya que poseen una mejor resistencia al alcohol.

3.4 Análisis y manual de instalación uso y mantenimiento de la máquina de ensayo de dureza, Hardness Tester-675:

La dureza se define como la resistencia de un material a ser penetrado por otro bajo condiciones específicas del indentador y su carga aplicada.

El ensayo Brinell usa una bola de acero endurecido (en ciertas ocasiones con carburo) y varios niveles de fuerza durante un tiempo específico. La profundidad de las huellas es medida para establecer la dureza del material. Si la huella es profunda, el material será blando.

El ensayo Rockwell es similar al Brinell pero emplea otras fuerzas y un indentador más pequeño (escala Rockwell B) o un indentador de diamante (escala Rockwell C). Este ensayo posibilita al técnico de laboratorio realizar un test de dureza preciso en unos pocos segundos.

El ensayo de dureza es una alternativa relativamente simple al test de tracción.

La resistencia de un material a ser penetrado por otro es una indicación cualitativa de su resistencia. El indentador puede ser una bola o elemento puntiagudo y está hecho de un material mucho más duro que del que se va a estudiar su dureza (por ejemplo de acero templado, carburo de tungsteno o diamante).

Los ensayos de dureza Rockwell emplean diferentes cargas e indentadores, la profundidad de la huella es medida por la máquina y se obtiene como resultado su valor en el dial.

3.4.1 Partes de la máquina, HardnessTester-675:

Estas partes se pueden apreciar en la siguiente fotografía, en la figura 27:

1. Pantalla táctil LCD.
2. Sujeción de la probeta.
3. Botón de parada de emergencia.
4. Indentador (penetrador).
5. Brazo para aplicar la fuerza.



FIGURA 27: Partes de HardnessTester-675.

Las características principales de la máquina de dureza Rockwell, HardnessTester675 (con pantalla táctil y convertidor de escala Rockwell) son las siguientes:

- Ensayos de dureza Rockwell y superficial.
- Conversión simultánea a otras escalas de dureza (HV, HB y otras escalas HR).
- Marco robusto para el empleo de probetas grandes.
- Pantalla táctil LCD con menú para seleccionar el ensayo (disponibles varios idiomas).
- Alta velocidad en los procedimientos de precarga, carga y descarga para una elevada eficiencia.
- Estadísticas continuas que incluyen la media de las medidas realizadas, desviaciones, etc.
- Almacenamiento de 20,000 medidas de dureza.
- Gráficas de las estadísticas que pueden ser impresas mediante el uso de una impresora externa conectada a la máquina HardenssTester-675.
- Los datos obtenidos pueden ser leídos en el ordenador a través de Office (Word y Excel).
- Conexión directa a un PC con el conector bidireccional USB2.

Algunas especificaciones concretas de la máquina de los ensayos de dureza se adjuntan en la siguiente tabla 8.

Escalas Rockwell estandarizadas	A, B, C, D, E, F, G, K, L, M, P, R, V 15 N, 30 N, 45 N, 15 T, 30 T, 45 T, 15 W, 30 W, 45 W, 15 X, 30 X, 45 X, 15 Y, 30 Y, 45 Y
Conversión a	HV, HB, y otras escalas de dureza HR
Precarga	3 kgf / 10 kgf
Cargas principales	15, 30, 45, 60, 100, 150 kg
Aplicación de la precarga	Manual
Ensayo con la carga	Automático
Salida de datos	Impresora de gran velocidad y USB2
LCD Display	Pantalla táctil que muestra el valor de la dureza, su conversión, fuerza empleada en el ensayo, progreso de la presión, tiempo, contenidos de la memoria, todos los ajustes de la máquina, 'Go' / 'No go', estadísticas
Sujeción de la probeta	Espacio vertical 275 mm Espacio horizontal 190 mm
Abastecimiento de energía	110 / 240 V, 50 – 60 Hz
Dimensiones de la máquina	Aproximadamente 940mm x 390mm x 670mm (HxWxD)
Peso neto	Aproximadamente 140kg

***TABLA 8: Especificaciones técnicas de HardnessTester-675.
(Fuente Innovatest Guide).***

La máquina consta de:

- Salida de datos mediante el empleo de USB2 y RS-232C.
- Indentador de diamante Rockwell. Indentador en forma de bola 1/6”.
- Bolas Rockwell para los ensayos.
- Yunque plano de \varnothing 60 mm. Yunque plano de \varnothing 150 mm. Yunque en forma de V de 40 mm.
- Conexión eléctrica.
- Un fusible adicional.
- Patas para ajustar la altura de la máquina (cuatro).
- Maletín de accesorios.

3.4.2 Condiciones y medidas de seguridad:

El ensayo de dureza Rockwell es uno de los más utilizados para determinar la dureza de los materiales porque:

- El ensayo Rockwell es sencillo de llevar a cabo. Esto implica que el técnico de laboratorio no debe estar específicamente preparado para realizar el mismo.
- Al emplear diferentes cargas e indentadores, el ensayo de dureza Rockwell puede ser usado para calcular la dureza de la mayoría de los metales y aleaciones (como son el aluminio, cobre o acero inoxidable). Trabajando así en un rango de materiales que va desde el material más blando al acero más duro.
- Para completar el ensayo, la máquina necesita entre 5 y 10 segundos. Es decir, la medición de la dureza de un material se realiza rápidamente.

-
- Todas las medidas son directamente leídas de un dial (o incluso en el ordenador si éste está conectado).

3.4.3 Configuración de la máquina HardnessTester-675:

3.4.3.1 Introducción al ensayo de dureza Rockwell:

El ensayo de dureza Rockwell comienza con el movimiento del indentador a la superficie plana del material a estudiar.

El primer paso, es la aplicación de la precarga y de este modo se establece la posición de referencia. Después, la carga total es aplicada para un tiempo establecido. Por último, se retira la carga añadida hasta quedarse de nuevo en el valor de la precarga.

El valor resultante de dureza Rockwell muestra también la diferencia en la profundidad de la huella desde la posición de referencia (antes de aplicar el total de la carga).

3.4.3.2 Explicación de los parámetros del ensayo de dureza Rockwell:

El ensayo de dureza Rockwell consiste en medir la profundidad adicional en la que un indentador pesado es usado antes de aplicar la carga total. Esta carga previa se denomina precarga.

Esta precarga ha dejado una huella previa, con su correspondiente profundidad. La aplicación de la precarga elimina la posibilidad del material de volver a su posición inicial. Es decir, por medio del uso de esta precarga, el técnico de laboratorio es capaz de atravesar las desigualdades presentes en la superficie del material a estudiar.

Básicamente, existen dos tipos de ensayos de dureza Rockwell: Rockwell y Rockwell superficial:

- En un ensayo Rockwell, la precarga es de 10 kg, y la carga restante es de 60, 100 o 150 kg (sin tener en cuenta el tipo de indentador usado).
- En el ensayo Rockwell superficial, la precarga es de 3 kg, y el resto de la carga a aplicar es de 15, 30 o 45 kg.

Dependiendo del material del que se está estudiando su dureza, el técnico de laboratorio debe elegir el indentador que debe ser empleado:

- El indentador de diamante en forma de cono es empleado principalmente para determinar la dureza de materiales duros (por ejemplo, probetas hechas de acero templado o carburo cementado).
- Indentadores de acero templado en forma de bola, disponibles en diámetros de 1.6, 3.2, 6 y 12.5 mm, son usados para ensayos de materiales blandos (probetas hechas, por ejemplo, con aceros aleados, aceros suaves de fundición, metales no ferrosos y alguno no metálicos también).

La siguiente imagen número 28 adjunta muestra gráficamente los pasos ahora descritos:

- La precarga se aplica primero, F_0 (figura 28 A) normalmente de 10 kgf, y una posición de referencia se establece en el dial de la máquina de ensayo de dureza Rockwell.
- Tras esto, se aplica el resto de la carga, y el valor de dureza Rockwell aparece automáticamente en la pantalla.

Lo que debe hacer el técnico de laboratorio al trabajar con la máquina de dureza HardnessTester-675 es:

- En primer lugar, aplicar la precarga. Cuando el equilibrio se ha alcanzado deberá establecer la posición de referencia.

- Segundo, mientras esta precarga sigue aplicada, se añade el resto de la carga. Esto da como resultado una huella más profunda (figura 28 B).
- Cuando el equilibrio se ha vuelto a alcanzar el técnico de laboratorio retirará dicha carga, pero se mantendrá la precarga aplicada.

Al quitar esa carga añadida, se permite que la probeta sobre la que se está haciendo el ensayo se recupere parcialmente.

Por tanto, se ve reducida la profundidad de la huella (figura 28 C).

- El aumento permanente de la huella, resultado de la aplicación del resto de la carga y su retirada, es el valor usado para el cálculo del valor de dureza Rockwell.

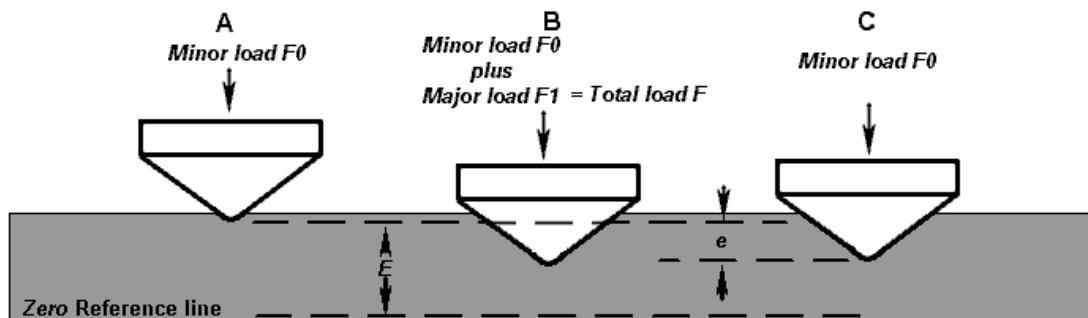


FIGURA 28: Principio Rockwell.
(Fuente: "Surface engineering forum").

3.4.3.3 Método para expresar la dureza Rockwell de una muestra:

Los valores de dureza Rockwell son expresados con número y letra. Cada valor de dureza va a acompañado de la letra 'H' (dureza, "hardness", en inglés), seguida de la letra 'R' (de Rockwell) y, por último, otra letra que indica la escala empleada.

Por ejemplo, un valor de 60 en la escala C se expresa como 60 HRC; en la escala B sería 60 HRB (del mismo modo se haría con las otras escalas).

Independientemente de la escala usada la posición de referencia (posición en la que ya se ha aplicado la precarga) es la misma.

Dependiendo del indentador empleado:

- a) Cuando la lectura de la dureza se realiza con un indentador de diamante, el valor de Rockwell es calculado al restárselo a 100. Este resultado es multiplicado por el incremento, que es de 0.002 mm.

Por tanto, y aplicando lo explicado, una lectura de 60 HRC indicaría la profundidad del indentador desde la precarga hasta la aplicación de la carga total de:

$$(100 - 60) = 40;$$

$$40 * 0.002 = 0.08\text{mm}$$

- b) Para indentadores en forma de bola, el valor de la dureza se resta de 130.

Por tanto, para una lectura de 80 HRB la profundidad es determinada como sigue:

$$(130 - 80) = 50;$$

$$50 * 0.002 = 0.1 \text{ mm de profundidad.}$$

La fórmula 12 para calcular la dureza Rockwell:

$$HR = E - e$$

FÓRMULA 12: Cálculo de la dureza Rockwell.

Donde:

- HR: Valor de dureza Rockwell.
- E: Constante que depende del indentador empleado. 100 unidades en caso de que el indentador sea un diamante, 130 si es una bola de acero (ver: tabla 9).

- e: Incremento permanente de de la profundidad de la huella debido a la aplicación de la totalidad de la carga (F1) medido en unidades de 0.002 mm.
- D: Diámetro de la bola de acero (mm).
- F: Carga total (kgf).
- F0: Precarga (kgf).
- F1: Resto de la carga aplicada (kgf).

3.4.3.4 Tabla Rockwell:

En la tabla 9 adjunta se muestra la relación existente entre la escala empleada y su indentador. De igual modo, muestra el valor de la precarga y resto de carga que el técnico de laboratorio deberá aplicar durante el ensayo de dureza.

Escala	Indentador	Precarga F0 Kgf	Carga restante F1 Kgf	Carga total F Kgf	Valor de E
A	Cono de diamante	10	50	60	100
B	(1/16)'' bola de acero	10	90	100	130
C	Cono de diamante	10	140	150	100
D	Cono de diamante	10	90	100	100
E	(1/8)'' bola de acero	10	90	100	130

F	(1/16)'' bola de acero	10	50	60	130
G	(1/16)'' bola de acero	10	140	150	130
H	(1/8)'' bola de acero	10	50	60	130
K	(1/8)'' bola de acero	10	140	150	130
L	(1/4)'' bola de acero	10	50	60	130
M	(1/4)'' bola de acero	10	90	100	130
P	(1/4)'' bola de acero	10	140	150	130
R	(1/2)'' bola de acero	10	50	60	130
S	(1/2)'' bola de acero	10	90	100	130
V	(1/2)'' bola de acero	10	140	150	130

***TABLA 9: Escalas de ensayos Rockwell
(Fuente: "Surface engineering forum").***

3.4.3.5 Escalas de dureza Rockwell:

Los valores de dureza Rockwell son expresados como una combinación del número que indica la dureza y un símbolo que representa el indentador, la precarga y el resto de la misma.

El valor resultante de dureza es expresado con el símbolo HR y la designación de su escala.

Existen treinta tipos de escalas distintas.

La mayoría de las aplicaciones en las que se usa este ensayo están cubiertas con las escalas Rockwell C y B para ensayos en aceros, latón y otros metales.

Sin embargo, debido al aumento del uso de otros materiales que no son los anteriormente nombrados, el técnico de laboratorio necesita un conocimiento básico de los factores que intervienen en el ensayo de dureza. Deberá elegir la escala correcta. Así asegurará la precisión del test.

La elección no es sólo entre el ensayo normal de dureza y el de la superficie, existen tres cargas distintas para cada caso, y también diferentes tamaños de indentadores (tanto para el diamante y para el diámetro de la bola de acero).

El técnico de laboratorio realizará un análisis preliminar de la probeta. Gracias a este estudio, podrá seleccionar la escala adecuada. Esto es realizado en caso de que no exista ningún tipo de especificación por parte del fabricante sobre qué escala emplear.

De este modo, el técnico de laboratorio analizará:

- Tipo de material.
- Espesor de la probeta.
- Localización del ensayo.
- Limitaciones de la escala.

Las aplicaciones típicas de las escalas de un test Rockwell de dureza se muestran en la tabla 10 siguiente.

Escala	Aplicación típica
B	Aleaciones de cobre, aceros blando, aleaciones de aluminio, hierro ductile
C	Acero, fundiciones de acero, acerlo malleable perlítico, titatnio, acero endurecido y otros materials de dureza mayor a HRB100
A	Carburos cementados, aceros finos
D	Acero fino y medio, acero malleable perlítico
E	Fundición de acero, aluminio y aleaciones de magnesio
F	Aleaciones de cobre con tratamiento térmico de recocido
G	Fósforo de bronce, aceros maleables. Hasta límites de dureza de HRG 92, para evitar la deformación del indentador en forma de bola
H	Aluminio y zinc
K, L, M, P, R, S, V	Materiales muy blandos ó finos. Emplera la bola más pequeña como indentador

TABLA 10: Aplicación del empleo habitual de las escalas Rockwell
(Fuente: Innovatest Guide).

3.4.4 Mantenimiento y regulaciones de una máquina de ensayo de dureza Rockwell (HardnessTester-675):

La normativa de los ensayos de dureza Rockwell está definida en ASTM E18 Metals (metales), ISO 6508 Metals (metales), ASTM D785 Plastics (plásticos).

-
- Normativa de las rayaduras:

Hoy en día, para realizar cualquier ensayo de dureza se verifica el indentador a emplear siguiendo los requisitos de la norma ISO 6508-2 que detalla el ensayo de dureza Rockwell.

(ISO 6508-2: Metallic materials – Rockwell hardness test – Part 2: Verification and calibration of testing machines).

- Verificación de los indentadores:

- La superficie del cono de diamante y la punta en forma de esfera del indentador, deben estar pulidas. Sólo de este modo se producirá una profundidad de penetración de 0.3 mm de manera tangencial a la superficie de estudio.

Tanto la superficie del indentador, como la de la probeta, deben estar libres de defectos superficiales.

- La verificación de la forma del indentador puede llevarse a cabo de dos maneras. Mediante una medición directa o a través del empleo de una pantalla.

Dicha verificación debe hacerse en no menos de cuatro secciones de medidas iguales.

- El cono de diamante debe tener un ángulo de $120^{\circ} \pm 0.35^{\circ}$
- El ángulo existente entre el eje del cono de diamante y el eje de sujeción del indentador (perpendicular a la mesa de trabajo) no debe ser mayor de 0.5° .
- La punta del indentador debe ser esférica.

Su radio debe ser determinado a través de valores tomados en secciones de planos en dirección axial.

La distancia entre dichos planos (cuya forma serán círculos concéntricos) no debe sobrepasar los 0.004 mm.

Cada valor debe estar en el intervalo 0.2+/- 0.015 mm. La media tomada de entre, al menos, cuatro valores debe estar en el intervalo 0.2+/- 0.01 mm.

- Para resumir, los valores estándar aceptados son:
 - Radio (R): 200+/- 10 μm .
 - Ángulo: $120^\circ \pm 0.35^\circ$.
 - Desviación del perfil: +/- 2 μm .

4 Trabajando en el laboratorio:

La base de la fiabilidad de un proceso de ensayo es su repetibilidad. En caso contrario, cada vez que se estudiase un material concreto, se alcanzarían distintos resultados. Para que esto sea posible, se deben establecer ciertos parámetros. De este modo, cada vez que un test se repita bajo estas condiciones preestablecidas, los resultados serán siempre fiables.

El objetivo del proceso seguido en este laboratorio es alcanzar una superficie perfecta para el estudio de la estructura del material, quitando todo tipo de deformaciones, rayas, arañazos, polvo, daños térmicos... etc.

Resulta muy complejo llegar a este tipo de calidad superficial pero, por otro lado, estas propiedades tan precisas son sólo necesarias en ciertos casos específicos.

En los test hechos en el laboratorio, fueron estudiados los siguientes materiales:

- Acero inoxidable.
- Aluminio.
- Diferentes aceros.
- Cobre.

4.1 Trabajando con Metallographic TR100E:

El primer paso en el proceso descrito suele ser cortar la pieza. Esto es debido a que, normalmente, la muestra que se tiene inicialmente es muy grande. Para los siguientes pasos del proceso, la superficie de corte debe estar tan lisa y sin presencia de imperfecciones como sea posible.

Para el desarrollo de estos test se ha empleado el método de corte por disco abrasivo. Éste es el que produce el menor daño en la probeta en relación con el tiempo necesario para realizarlo.

La rueda de corte consta de partículas abrasivas y de un aglutinante.

Además, se emplea un líquido refrigerante para limpiar y enfriar la zona de corte. Gracias a esto, se evitan imperfecciones en la probeta debidas al calor alcanzado durante el proceso de corte.

Dependiendo de la ductilidad y dureza del material, se usan diferentes tipos de ruedas.

A continuación se citan las ruedas de corte más comunes y su utilidad:

- Materiales cerámicos y carburos sinterizados son cortados con ruedas de diamante enlazado químicamente con metal o baquelita.
- Los materiales ferrosos son cortados mediante ruedas de óxido de aluminio (Al_2O_3) con baquelita como aglutinante.
- Ruedas de nitruro de Boro cúbico (CBN) se usan para el corte de los materiales ferrosos más duros.
- Para materiales no ferrosos se emplean ruedas de carburo de silicio (SiC) con baquelita.

Para decidir cuál usar, se deben analizar las diferencias entre los distintos discos (de diamante o CBN y de SiC o Al_2O_3).

Las diferencias entre ellas son:

- Las primeras son de larga duración a causa de la dureza de sus partículas abrasivas y el aglutinante.

Por ello son también llamadas ruedas de consumo a largo plazo.

También en estas ruedas existe sólo una fina capa de abrasivo a lo largo de todo el perímetro de la rueda.

Hay dos tipos de variantes en las ruedas de diamante, dependiendo del aglutinante. Tanto el aglutinante de metal como el de Baquelita son empleados para el corte de materiales extremadamente duros.

Las ruedas de CBN sólo están disponibles con aglutinante de Baquelita y son usadas para cortar materiales ferrosos duros.

- Por otro lado, las ruedas de corte de SiC y Al_2O_3 se desgastan antes y son más baratas.

Están compuestas por partículas abrasivas en toda la superficie del disco de corte.

Son también llamadas ruedas consumibles.

Las ruedas consumibles se pueden dividir en dos grupos, en ruedas duras y blandas, esto se especifica en relación con su dureza o su capacidad para retener o descartar partículas del aglutinante.

Los discos de corte de dureza elevada retienen mejor el abrasivo presente que los blandos.

Las ruedas de corte más blandas se usan para cortar materiales duros y frágiles debido a la presencia en éstos de partículas abrasivas con grano afilado.

Discos de corte con enlaces duros deben ser usados con materiales blandos y dúctiles ya que se desgastan menos que otros.

La máquina TR100E, de la que dispone este laboratorio, consta de cuatro ruedas diferentes:

- Disco de SiC, tipo J:
Rueda blanda para cortar materiales muy duros.
- Disco SiC, tipo L:
Rueda de dureza media para cortar metales de dureza media, también para uso general.
- Disco SiC, tipo M:

Rueda dura para cortar metales no ferrosos, aceros blandos y acero inoxidable.

- Disco Al_2O_3 , tipo K:

Rueda para cortar aleaciones de titanio, plástico, etc.

Hubo dos problemas en el laboratorio al realizar el corte de ciertos materiales.

El primer error, tiene que ver con las condiciones de seguridad mencionadas anteriormente. Cierta tensión debía ser aplicada en la pieza que iba a ser cortada.

El primer ensayo se hizo con una pieza de acero que no había sido correctamente fijada, por lo que al cortarla la pieza se desplazó de su sitio.

Se continuó con el proceso hasta que la probeta comenzó a girar sin control y terminó impactando contra la rueda de corte lo que hizo que ésta se rompiera en pedazos. La carcasa protectora de plexiglás evitó un daño mayor.

Después de limpiar el interior de la máquina retirando todos los desperdicios producidos se llevó a cabo un segundo ensayo. Este ensayo también derivó en un problema.

En este caso, no se comprobó correctamente que la rueda de corte elegida era apropiada para el material ensayado. Todos los materiales estudiados eran metales no ferrosos y, como se ha dicho anteriormente, la rueda que se debe emplear es la de SiC.

La máquina Metallographic TR100E consta de tres tipos distintos de ruedas de SiC.

La primera elección fue una rueda de SiC tipo J, la cual es empleada para materiales muy duros. Parece una rueda de corte apropiada para este ensayo pero resulta estar hecha de un material blando, que se desgasta muy rápido para así poder usar grano nuevo de corte en cada giro de la misma. Al no ser suficientemente dura esta rueda, se desgastó antes de que el corte total de la probeta estuviera hecho.

La elección final fue una rueda de SiC tipo M empleada para el corte de metales no ferrosos, aceros blandos y acero inoxidable como se muestra en la tabla adjunta, figura 29, tomada de la guía del proveedor (Struers).

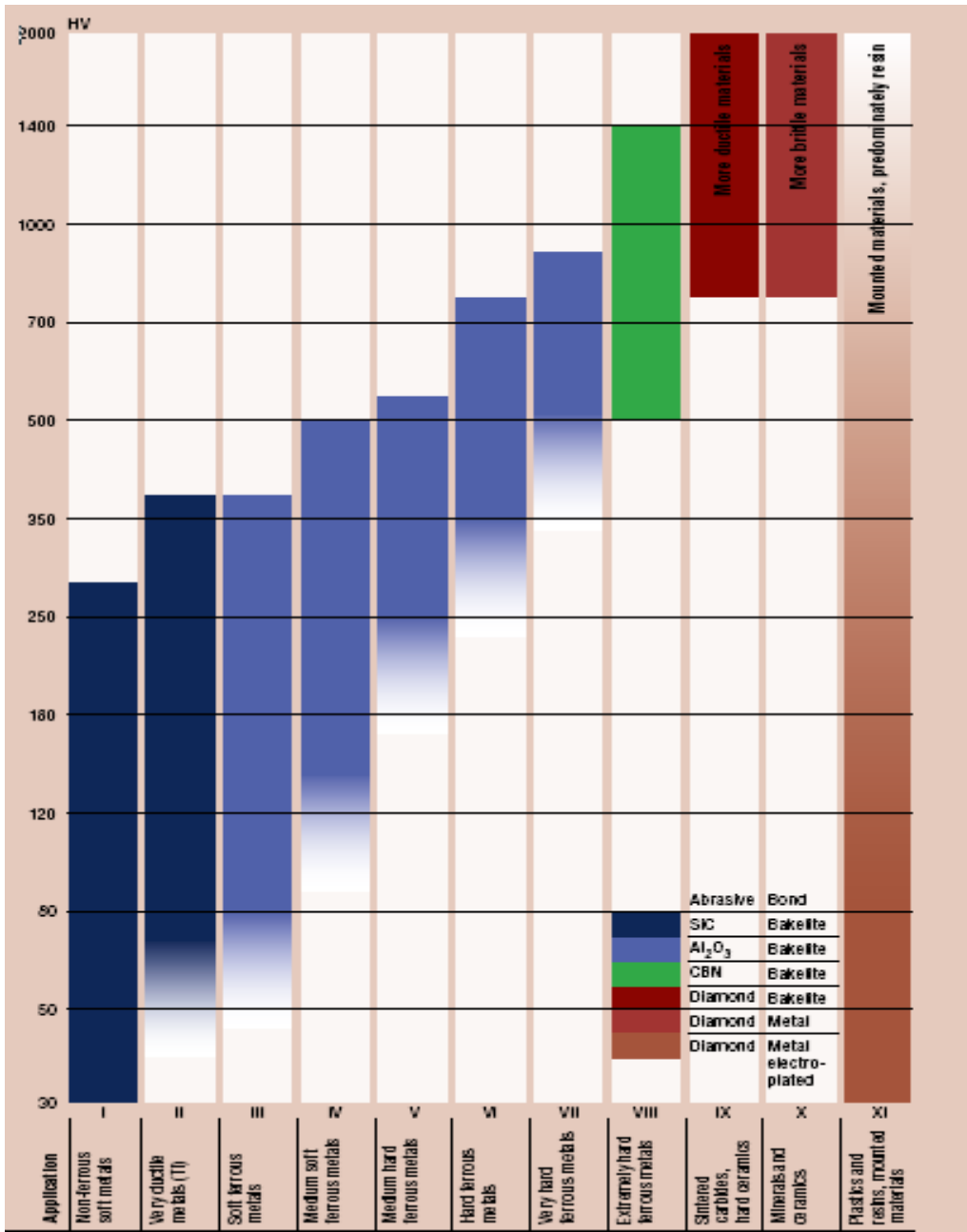


FIGURA 29: Tabla para la elección de la rueda de corte apropiada para cada material. (Fuente: Struers Guide).

El técnico del laboratorio tomará estas muestras que quedan tal como se muestra en la siguiente fotografía, figura 30, y las llevará a la prensa CitoPress-1. En ella, las muestras recién cortadas serán montadas para obtener las probetas.



FIGURA 30: Muestras de material recién cortado en la máquina Metallographic Cut-Off Machine TR100E.

4.2 Trabajando con CitoPress-1:

CitoPress-1 es una prensa de montaje sencilla. Es posible emplearla en un laboratorio que requiera pocas probetas hechas al día.

La presión de la misma es controlada muy eficientemente por su sistema hidráulico. Además de esto, el cambio de un cilindro hidráulico a otro, así como su limpieza, se realiza de manera sencilla.

4.2.1 Proceso de ensamblaje:

Las probetas son encastradas en una resina que facilitará su transporte y mejorará el resultado de su montaje. Así el técnico de laboratorio obtendrá las probetas para continuar con el proceso.

4.2.2 Cómo trabajar con CitoPress-1:

Al encender la prensa, el primer paso que el técnico de laboratorio debe hacer es encender la máquina y abrir la llave de paso del agua (ya que es el único líquido empleado en esta prensa para refrigerar el proceso).

Además de esto, el técnico de laboratorio pondrá especial atención en no mezclar la toma de agua con la salida de la misma. El agua debe estar fría durante el proceso. A la salida, el agua habrá aumentado de temperatura.

En la prensa CitoPress-1 la muestra es colocada en el brazo giratorio. También se añade la resina para crear la probeta a partir de la misma.

4.2.3 Pasos previos a la producción de la probeta:

Para obtener los mejores resultados posibles al crear la probeta, la muestra original debe estar perfectamente limpia antes de su ensamblaje. Es decir, su superficie no debe contener grasa ni ninguna otra sustancia que pueda impedir que la resina quede adherida a la muestra.

4.2.4 Cómo producir la probeta:

Existen dos técnicas de ensamblaje:

- Ensamblaje en caliente:

Técnica adecuada en el caso de necesitar que se produzcan numerosas probetas en el laboratorio.

Las probetas resultantes poseen alta cualificación para realizar posteriores ensayos en ellas, así como un tamaño y forma uniformes.

Además, se requiere un período de tiempo menor.

- **Ensamblaje en frío:**

Se emplea tanto para grandes cantidades de probetas saliendo simultáneamente de la prensa así como para probetas únicas.

La elección de una u otra técnica es mediante el estudio previo del número de probetas necesarias en el laboratorio, así como la calidad requerida de ellas.

El proceso elegido en el laboratorio de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Varkaus es el ensamblaje en caliente. Esto es debido a que, en general, las resinas necesarias para este proceso son menos caras que las empleadas en el montaje en frío.

4.2.5 Ensamblaje en caliente:

Existen dos tipos de resinas para el ensamblaje en caliente:

- Resinas termoestables (duroplásticos) son endurecidas a temperaturas elevadas.
- Resinas termoplásticas son reblandecidas o derretidas a altas temperaturas y endurecidas al enfriarse.

Las resinas termoplásticas requieren un periodo de tiempo mucho más largo de enfriamiento que las termoestables.

Al añadir la resina apropiada, el técnico de laboratorio debe evitar esparcirla sobre el material. La resina debe ser aplicada moviendo el brazo de la prensa ya que éste está provisto de una carcasa de elevada seguridad.

Debido a esta carcasa que aísla el proceso del exterior, el técnico de laboratorio no está expuesto a ningún riesgo. Gracias a que el brazo giratorio de la prensa se posiciona muy fácilmente y de modo seguro.

En la fotografía siguiente, figura 31, se muestra cómo son las probetas al salir de CitoPress-1 para ser llevadas a la siguiente máquina: el conjunto formado por TegraSystem-250.

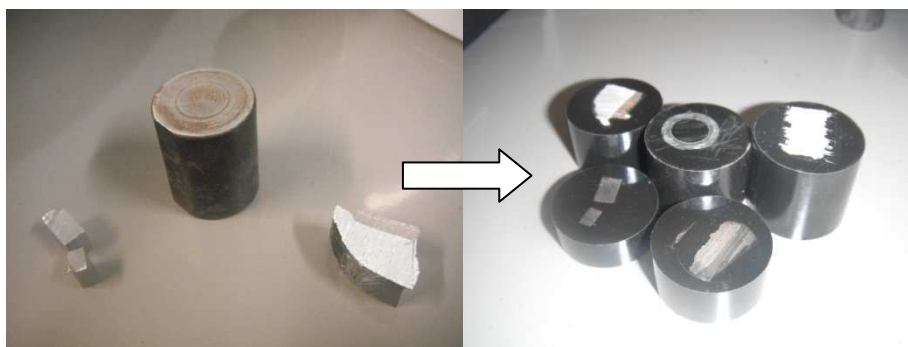


FIGURA 31: Probetas antes y después del proceso llevado a cabo en la máquina CitoPress-1.

4.2.6 Parámetros de CitoPress-1:

La prensa CitoPress-1 consta de un sistema hidráulico específico gracias al cual la máquina aplica la presión precisa. Con esto se evita la aplicación de presiones excesivas en el ensamblaje de las probetas.

Una vez que la resina es introducida en CitoPress-1 y el material cortado también, el técnico de laboratorio debe seleccionar qué proceso se va a llevar a cabo.

Es importante mencionar que todos los parámetros empleados en la prensa quedan archivados en la memoria de la máquina. Es decir, al encender la máquina, el último método empleado se muestra en la pantalla. Lo que implica que, si el operario realizara un proceso anteriormente llevado a cabo en la prensa, éste no malgastará su tiempo. Esto mejora notablemente la eficiencia del proceso.

La máquina ajusta por sí misma los parámetros del método al cambiar de cilindro de acuerdo con el tamaño de éste.

Sin embargo, se pueden realizar cambios manualmente. El técnico de laboratorio puede seleccionar y cambiar cualquier parámetro del proceso en la pantalla. De hecho, en la parte frontal de la máquina, dispone de un botón “turn/push” (girar, empujar) que permite al operario realizar los ajustes pertinentes.

4.2.7 Cómo optimizar el proceso en CitoPress-1:

Un buen método para reducir el tiempo de ensamblaje es mediante el empleo piezas hechas de metal. El metal conduce muy bien el calor, por tanto, el contacto térmico entre el metal y el brazo está asegurado.

Ó bien reduciendo la cantidad de resina empleada al crear la probeta. Las resinas conducen mal el calor. Esta propiedad suya es uno de los factores que más limita los tiempos de calentamiento y enfriamiento. Por tanto, resulta eficiente para el proceso reducir la distancia que el calor tiene que viajar a través de la resina.

4.3 Funcionamiento del conjunto de máquinas TegraSystem-250:

Se realiza un proceso de esmerilado o de pulido tras el montaje de la probeta en la prensa. Su objetivo es eliminar el exceso de material que se encuentra en su superficie. Para ello, se emplean partículas abrasivas en sucesivos pasos.

Estas partículas se emplean hasta que alcanzar la calidad superficial deseada necesaria para un ensayo posterior específico.

Ambos procesos, esmerilado y pulido, poseen pocas diferencias entre sí. Existen diferentes discos dependiendo del material.

4.3.1 Esmerilado:

Es el primer paso para eliminar el material sobrante de la pieza. Este proceso, básicamente, retira el material dañado y deformado.

El objetivo de este proceso es obtener una superficie plana con deformaciones mínimas en la superficie de la pieza.

El esmerilado puede ser dividido a su vez en dos procesos diferenciados:

a) Esmerilado plano:

Normalmente el primer paso a llevar a cabo es un esmerilado plano. Asegura superficies de calidad muy similar en todas las piezas. Esto se consigue independientemente de cómo se encontraran éstas en primera instancia o de qué tratamientos previos habían sufrido dichas piezas.

Cuando se trabaja con varias muestras al mismo tiempo, con el disco de sujeción de probetas múltiple, todas las superficies deberán estar a la misma altura.

En el esmerilado plano se emplean partículas abrasivas de grano de gran tamaño por su velocidad eliminando material defectuoso.

Dependiendo de las propiedades de los materiales a estudiar, se emplea un abrasivo u otro:

- MD-Primo es un disco de SiC usado para materiales blandos (<150 HV).
- Por otra parte, MD-Piano es un disco empleado para materiales duros (>150 HV).

Las superficies de ambos discos, de MD-Primo y MD-Piano, están basadas en la capacidad abrasiva de las partículas que los forman contra el enlace de la resina.

b) Esmerilado fino:

Con el esmerilado fino, las superficies obtenidas presentan tan poca deformación que puede ser quitada durante los siguientes procesos de pulido. En este caso se usa un grano de tamaño 15, 9 y 6 μm .

Al igual que en el esmerilado plano, existen diferentes tipos de discos a emplear dependiendo de la dureza del material a estudiar.

-
- Para materiales blandos (<150HV), se emplean discos MD-Largo.
 - Para materiales duros (>150HV) MD-Allegro es más apropiado ya que contiene diamante suspendido que queda adherido al disco.

Gracias al diamante presente en estos discos, prácticamente se retira la totalidad del material sobrante. De igual modo, se garantiza una superficie perfectamente plana.

4.3.2 Pulido:

Al igual que el esmerilado, el pulido elimina todo daño localizado en la superficie de la probeta debido a operaciones anteriores.

Sin embargo, los discos empleados en el pulido son más elásticos y están compuestos por partículas abrasivas más finas.

El pulido también puede ser dividido en dos procesos diferentes:

a) Pulido con suspensiones de diamante:

Debido a la dureza del diamante, el pulido de diamante corta muy rápido la muestra. Se alcanza una superficie plana sin grietas o deformaciones.

Los discos de pulido MD-Mol o MD-Nap son los más empleados en este proceso. Ya que éstos son los más elásticos. Este tipo de discos están hechos con un tamaño de grano pequeño, de 3 o 1 μm .

b) Pulido con suspensiones de óxido:

Algunos materiales especiales, como los dúctiles y los blandos, necesitan un pulido final para alcanzar una superficie plana óptima de la probeta. Para estos casos se usa el pulido de óxido.

En él se emplea un tamaño de grano de aproximadamente 0.04 μm y un pH de 9.8 (lo que hace que las probetas no presenten deformaciones o grietas).

Dependiendo del material se usa una u otra suspensión:

- OP-U es una suspensión para el proceso de pulido usado para todo tipo de materiales.
- Para aquéllos que son realmente dúctiles son más adecuadas las suspensiones OP-S con agentes que aumentan la reacción química que se produce.
- OP-A es una suspensión de alúmina ácida usada para el pulido final de las aleaciones del acero.

4.3.3 Parámetros importantes:

Para posibilitar la repetibilidad del proceso se deben tener en cuenta los siguientes siete parámetros:

1. Superficie:

Cada disco consta de superficies distintas cuyo uso será más o menos adecuado dependiendo del material de la probeta. Su elección influirá en la superficie final obtenida.

2. Abrasivo:

El empleo de diamante es lo más común en todos los métodos de pulido. Existen dos únicas excepciones. Por un lado, en esmerilado plano, empleado para materiales blandos. Por otro, en el pulido con suspensiones de óxido, donde se emplea sílice coloidal para obtener una superficie libre de rayaduras.

En los test del laboratorio se empleó MetaDi, con suspensión monocristalina de diamante: 1µm Combo y 9µm Combo. Se realizó esta elección debido a que, gracias a él, se alcanza una superficie plana en el periodo de tiempo más breve. Esto es válido para casi todo tipo de material ensayado.

3. Tamaño de grano:

Influye en el daño y la planitud de la probeta. Cuanto más pequeño sea el tamaño de grano, aparecerán menos cantidad de imperfecciones.

4. Lubricante:

Es el líquido empleado para enfriar y lubricar el proceso.

En los test del laboratorio se empleó, en gran medida, agua a modo de líquido refrigerante. Para los materiales especiales, se usó como abrasivo el líquido lubricante MetaDi para diluir en diamante.

5. Velocidad de rotación:

Se trata de la velocidad fijada para el giro del disco en el caso de esmerilado y pulido.

En el caso de los test del laboratorio para esmerilado plano, se empleó un disco de gran velocidad de giro. Gracias a él se retiró rápidamente el material sobrante.

6. Fuerza:

Fuerza total con la que se sujeta la pieza contra el disco.

7. Tiempo:

El tiempo de preparación es el transcurrido mientras el disco gira contra la probeta.

El tiempo puede afectar a la probeta dañándola debido a un exceso de calor, lo que conlleva daños térmicos.

Si la probeta es más grande de la estandarizada, el tiempo deberá ser mayor. Si es más pequeña, el tiempo no variará y la fuerza será la que se verá reducida.

Aquí se adjunta una tabla, mostrada en la figura 32, donde se puede comparar fuerza frente al tiempo dependiendo del área de probeta.

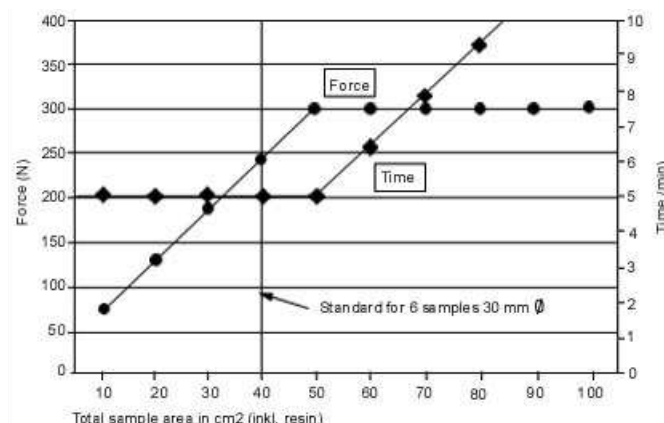


FIGURA 32: Ajustes de los parámetros.
(Fuente: Struers Guide).

Para los ensayos que fueron realizados en el laboratorio se siguieron procesos disponibles en la página web del fabricante de la máquina. En ella se pueden consultar procesos ya preparados para los materiales más comunes.

En las siguientes tablas, de la 11 a la 16 (ambas incluidas), se muestran algunos de los valores dados por “Struers Company” para los parámetros anteriormente nombrados.

Algunos de esos valores pueden ser modificados ya que son establecidos para tamaños de probetas estandarizados.

4.3.4 Cobre:

El cobre es un material blando que lo hace muy susceptible a la deformación mecánica y a las rayas durante el proceso de esmerilado y pulido.

Se recomienda, a la hora de pulirlo o esmerilarlo, tomar un disco con el grano más fino. Así se evitará un exceso de deformación en las probetas.

Del mismo modo, la fuerza empleada debe ser la más baja posible para prevenir una deformación más profunda.

Para determinar los parámetros previamente explicados de la máquina, se deben seguir las tablas presentes en la guía del fabricante, Struers.

Las tablas correspondientes al cobre son las tablas siguientes, tablas 11 y 12:












 Step	 PG	 FG	 FG	 FG
 Surface	Disco (lija) SiC	Disco (lija) SiC	Disco (lija) SiC	Disco (lija) SiC
 Grit/ Grain Size	320	800	1200	4000
 Lubricant	Agua	Agua	Agua	Agua
 [rpm]	300	300	300	300
 Force	150	150	150	150
 Time [min]	El necesario	1 min	1 min	1 min

TABLA 11: Preparación mecánica para el esmerilado de Cobre.
(Fuente: Struers Guide).








 Step	 DP	 OP
 Surface	MD-Mol	OP-Chem
Suspensión	DiaPro Mol	Nitrato de hierro (III)
 [rpm]	150	150
 Force	150	90
 Time [min]	4 min	1 min

TABLA 12: Preparación mecánica para el pulido del cobre.
(Fuente: Struers Guide).

4.3.5 Aluminio:

El aluminio es también un material muy blando que puede ser rayado fácilmente en procesos mecánicos.












Carburo de silicio y partículas de diamante pueden ser añadidas a la superficie de la probeta.

La solución cuando se pule o esmerila, es usar la hoja de SiC más fino.

En caso de realizar un pulido con diamante, éste se deberá usar tanto como sea necesario para retirar el exceso de material. La fuerza empleada también deberá ser la menor posible para disminuir al mínimo la fricción entre la hoja de pulido y la pieza.

Se recomienda, en caso de pulir con agua, añadir una suspensión libre de partículas de diamante y un lubricante.

Para establecer los parámetros de la máquina se siguen las tablas 13 y 14 del fabricante.

 Step	 PG	 FG	 FG	 FG
 Surface	Disco (lija) SiC	Disco (lija) SiC	Disco (lija) SiC	Disco (lija) SiC
 Grit/ Grain Size	320 ó 500	800	1200	4000
 Lubricant	Agua	Agua	Agua	Agua
 [rpm]	300	300	300	300
 Force	150	150	150	150
 Time [min]	Hasta alcanzar planicie	30 seg	30 seg	30 seg

**TABLA 13: Preparación mecánica para el esmerilado de aluminio.
(Fuente: Struers Guide).**








 Step	 DP	 OP
 Surface	MD-Mol	OP-Chem
Suspensión	DiaPro Mol	OP-U ó OP-S
 [rpm]	150	150
 Force	150	90
 Time [min]	4 min	2-5 min

TABLA 14: Preparación mecánica para el pulido de aluminio.
(Fuente: Struers Guide).

4.3.6 Acero inoxidable:

Uno de los mayores problemas que presenta el acero inoxidable es la retención de carburos e inclusiones. La solución para este material, es el pulido de diamante que deja estos aceros muy reflectantes.

Como una regla general para todos los materiales estudiados en el laboratorio, se empleó el proceso de esmerilado plano. Concretamente, se empleó el grano más fino disponible y se disminuyó al mínimo la fuerza. Gracias a esto, se evitaron mayores deformaciones. Estas medidas fueron tomadas ya que todos los materiales empleados son relativamente blandos.

En las siguientes tablas 15 y 16 se muestran los valores que deben ser introducidos en TegraSystem-250.









 Step	 PG	 FG
 Surface	Disco (lija) Si	MD-Largo
Suspensión	-	DiaPro Allegro/Largo
 Lubricant	Agua	-
 [rpm]	300	150
 Force	25 por muestra	40 por muestra
 Time [min]	El necesario	5 min

TABLA 15: Preparación mecánica para el esmerilado del acero inoxidable.
(Fuente: Struers Guide).








 Step	 DP	 OP
 Surface	MD-Dac	MD-Chem
Suspensión	DiaPro Dac	OP-S/OP-AA
 [rpm]	150	150
 Force	20 por muestra	15 por muestra
 Time [min]	4 min	2-3 min

TABLA 16: Preparación mecánica para el pulido de acero inoxidable.
(Fuente: Struers Guide).

La fotografía siguiente, figura 33, muestra la planitud obtenida después del proceso llevado a cabo en TegraSystem-250:

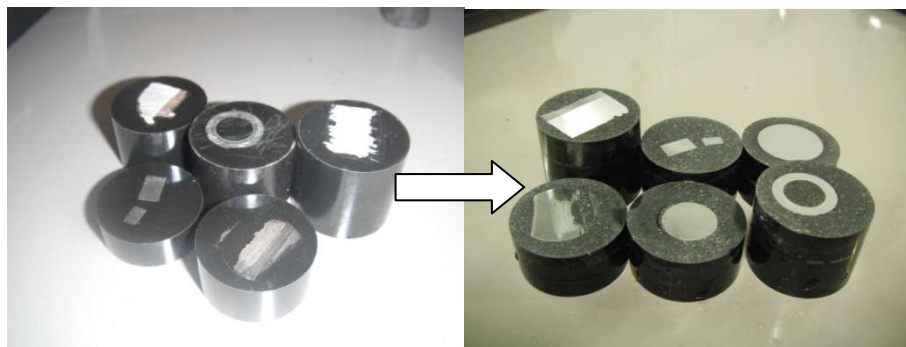


FIGURA 33: Probetas antes y después del proceso ocurrido en TegraSystem-250.

4.4 Trabajando con la máquina de dureza HardnessTester-675:

El objetivo principal del test de dureza es determinar si un material es apropiado para ser empleado con el fin deseado.

Realizando el test de dureza en un laboratorio, el técnico de laboratorio puede determinar propiedades como dureza, ductilidad y resistencia.

4.4.1 Variedad de ensayos de dureza:

Existe una gran variedad de tipos de test de dureza que se pueden realizar en un material.

- Por un lado, la dureza de un material puede ser determinado midiendo el tamaño de la huella dejada por el indentador.

Dichas mediciones se llevan a cabo en los test de dureza Vickers (10gf – 100Kgf), Knoop (10gf – 1Kgf) ó Brinell (1Kgf – 3000Kgf).

- Por otro lado, si lo que se mide es la profundidad de la huella realizada se trata del test de dureza Rockwell.

Cuándo emplear un tipo u otro de test de dureza se dice que está basado en tradición o historia en lugar de estar basado en cálculos concretos. Sin embargo, hablando de ciertos materiales concretos, se dice qué método es más recomendado.

4.4.2 Definición de dureza:

Oposición que ofrecen los materiales a alteraciones como, entre otras: la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes.

Sin embargo, la dureza no es una propiedad fundamental de un material. A consecuencia de esto, los valores de dureza son arbitrarios.

Por tanto, cuando se determina la dureza de un material, siempre se ha de mencionar en relación con el test empleado para hallar la misma.

Información que debe ser dada:

- Carga aplicada en el indentador;
- Forma en es aplicada la carga;
- Duración del test;
- Geometría del indentador empleado.

Un ejemplo de cómo se debe escribir correctamente la dureza de un material es: 60 HRC ó 200 HV 500/15.

Desviaciones de los valores estándar, como la duración del test, deben ser anotadas en las fichas de trabajo.

De hecho, generalmente, la variación del valor de la dureza medida se relaciona, directamente, con la calidad de la preparación de la superficie de la probeta antes del test.

Por tanto, antes de decidir una calidad superficial inferior, las condiciones bajo las que ha sido realizado el ensayo, deben ser tenidas en cuenta. Así se podrá determinar correctamente la calidad superficial, y el resultado del test será fiable.

4.4.3 Cómo determinar la dureza Rockwell:

La dureza Rockwell se establece gracias a la huella dejada en la superficie del material estudiado por el indentador que ha penetrado en él.

El test Rockwell es usado comúnmente por tratarse de un ensayo rápido, realizado sin necesidad de tener conocimientos concretos por parte de quien lo lleva a cabo.

Sin embargo, antes de colocar la probeta en la máquina, su superficie debe estar tratada para el proceso. Es decir, el técnico de laboratorio debe asegurarse de que la superficie de la probeta está limpia y pulida.

Cuando el ensayo de dureza Rockwell acaba, el técnico de laboratorio puede determinar si el material estudiado es duro o blando. Esto se hace midiendo la profundidad de la huella como ha sido explicado anteriormente.

Para resumir, la idea principal de un ensayo de dureza es que cuanto más profundo llegue el indentador en la probeta (con una carga y un indentador establecidos) más blando será éste.

4.4.4 Diferentes escalas Rockwell:

Los ensayos de dureza Rockwell pueden ser realizados usando:

- Cinco indentadores diferentes: cono de diamante $1/16''$, $1/8''$, $1/4''$, $1/2''$, bola de carburo de tungsteno.
- Seis cargas principales diferentes: 15 kgf, 30 kgf, 45 kgf, 60 kgf, 100 kgf, 150 kgf.

Por tanto, existen treinta maneras diferentes de realizar el ensayo de dureza Rockwell. Número alcanzado mediante las combinaciones de los indentadores y cargas anteriormente listados.

Se debe tener en cuenta el tipo de material estudiado y su aplicación futura para establecer el uso de una escala u otra.

4.4.5 Materiales aplicados a cada tipo de ensayo de dureza:

A continuación la tabla 17 muestra la relación del ensayo de dureza Rockwell con el indentador a emplear dependiendo del material usado.

MÉTODO DE ENSAYO Escala (Indentador/carga)	APLICACIÓN/MATERIAL
HRA (Dia/60)	Acero fino y acero templado
HRB (1/16" /100)	Aleaciones de cobre, aceros blandos, aleaciones de aluminio, acero maleable
HRC (Dia/150)	Acero, aceros fundidos, titanio, acero endurecido, Jominy Test
HRD (Dia/100)	Acero fino y acero fundido
HRE (1/8" /100)	Acero fundido, aluminio y aleaciones de magnesio.
HRF (1/16" /60)	Aleaciones de cobre recocido
HRG (1/16" /150)	Bronce, aceros maleables
HRH (1/8" /60)	Aluminio, zinc, plomo
HRK (1/8" /150)	Para materiales muy blandos o finos incluyendo los plásticos (ASTM D785). Se usa la bola más pequeña como indentador.
HRL (1/4" /60)	
HRM (1/4" /100)	
HRP (1/4" /150)	
HRR (1/2" /60)	
HRS (1/2" /100)	
HRV (1/2" /150)	

TABLA 17: Escalas de dureza Rockwell. (Fuente: "Fundamentals Of Engineering Materials").

4.4.6 Escalas de dureza superficial Rockwell:

Las escalas de dureza superficial Rockwell son usadas para ensayos sobre materiales muy finos o pequeños para las escalas habituales.

Generalmente se emplean indentadores de diamante para los materiales más duros. Los indentadores en forma de bola se utilizan para los más blandos.

Cómo determinar qué método usar al estudiar los diferentes materiales se muestra en la siguiente tabla 18.

MÉTODO DE ENSAYO (escala del indentador)	APLICACIÓN / MATERIAL
HR15N (Dia)	Carburo cementado, acero fino
HR30N (Dia)	acero, aceros fundidos endurecidos, titanio
HR45N (Dia)	Acero fino y acero cementado
HR15T (1/16")	Aleaciones de cobre, aceros blandos, aleaciones de aluminio, hierro maleable
HR30T (1/16")	Aleaciones de cobre, metales blandos en láminas
HR45T	Bronce, aceros maleables
HR15W (1/8")	Acero fundido, aluminio y aleaciones de magnesio
HR30W (1/8")	Aluminio, zinc y plomo
HR45W (1/8")	Acero, acero fundido

HR15X (1/4")	Laminas finas de acero.
HR30X (1/4")	
HR45X (1/4")	
HR15Y (1/2")	
HR30Y (1/2")	
HR45Y (1/2")	

TABLA 18: Método de establecer la dureza Rockwell dependiendo del material estudiado.
(Fuente: Fundamentals Of Engineering Materials).

4.4.7 Terminología:

Ya que existen diferentes tipos de cargas que pueden ser aplicadas para determinar la dureza de un material, hay que diferenciar entre dos grupos de ensayos: ensayos de microdureza y los ensayos de macrodureza (estos nombres son dados dependiendo de la carga aplicada a través del indentador a lo largo del proceso).

Es decir:

- El ensayo de microdureza se emplea para cargas de indentación menores a 1 Kgf. En este tipo de ensayos la superficie del material debe haber sido previamente pulida.
- El ensayo de macrodureza se utiliza para cargas de indentación superiores a 1 Kgf (también es conocido como el ensayo de dureza habitual). En este tipo de ensayos la superficie del material suele ser suficiente con que esté molida o limpia.

4.4.8 Ejemplos y posibles problemas de las mediciones de dureza:

Por ejemplo, los diferentes escalas de dureza son: HRA, HRB, HRC, HR30N... etc.

Normativa aplicable al test de dureza Rockwell son: ASTM E18 / ISO 6508 / JIS Z 2245.

Los tres problemas más comunes durante las mediciones en el laboratorio con HardenssTester-675 fueron:

- Puede resultar complejo obtener superficies paralelas planas en algunas piezas en la máquina TegraSystem-250, lo cual es algo necesario para una correcta medición de la dureza de un material.

Además, el indentador debe estar situado perpendicularmente a la superficie para obtener un valor fiable.

Para evitar estos problemas el técnico de laboratorio deberá sujetar la probeta en la máquina usando dispositivos de sujeción.

- Puede resultar problemático evaluar la dureza de una muestra si su superficie presenta rugosidades.

Para evitar problemas con la calidad de la superficie ésta debe ser correctamente pulida en TegraSystem-250.

- Asegurar siempre que las probetas están perfectamente limpias.

En caso contrario, cualquier resto dejado en la superficie de la probeta podría complicar la lectura llevando a interpretaciones incorrectas del valor obtenido.

4.4.9 Unidades:

Las cargas aplicadas deben ser expresadas en Newton (N) sin embargo son comúnmente expresadas en kilogramos-fuerza (kgf), gramos-fuerza (gf) o pondios (p).

(1kgf = 1000gf = 1000p = 9.81 N).

4.4.10 Cómo seleccionar el test de dureza correcto:

Para seleccionar el ensayo de dureza apropiado, se deben estudiar las probetas específicas de las que se quiere obtener el valor de su dureza.

Durante el ensayo de dureza es importante mantener los parámetros principales bajo control para así obtener, gracias al ensayo, precisión en el trabajo hecho y repetibilidad.

Las medidas de dureza son usadas para obtener información de la calidad de un material después del proceso hecho sobre él, o después de haber sido sometido a tratamientos térmicos.

Por ejemplo, al estudiar las propiedades de un metal específico, se emplean los test de dureza mediante indentado. El más común es el ensayo de dureza Rockwell.

Sin embargo, para estudiar la resistencia a la fractura de una cerámica se realiza un ensayo de dureza Vickers. En materiales metalocerámicos (cermet), carburos sinterizados, etc.

5 Conclusiones:

En este proyecto se han desarrollado los siguientes aspectos en relación a la puesta en marcha de una primera fase del laboratorio de materiales de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Varkaus,:

- Análisis de los procesos con carácter general.
- Análisis y descripción de los ensayos de determinación de dureza que son los que en esta primera fase se van a implantar.
- Descripción del montaje y conexionado de las máquinas (conexiones eléctricas y de refrigeración, ensamblaje de los equipos).
- Disposición correcta de las máquinas (mesa de trabajo apropiada que cumple condiciones de seguridad).
- Calibración de las máquinas (comprobación de los aspectos técnicos de los equipos).
- Descripción de los procedimientos operativos a seguir por los técnicos de laboratorio a realizar conforme a unas condiciones de seguridad adecuadas.
- Descripción del procedimiento operativo para el ensayo de muestras y comparación de los resultados obtenidos con tablas patrón para validar los procesos de ensayo.

El alcance de este proyecto, como ya se ha dicho, es analizar los procesos de ensayo, la maquinaria adecuada y establecer los procedimientos y condiciones de seguridad necesarios para la preparación de muestras y posterior determinación de la dureza de los materiales, dejando el laboratorio en condiciones plenamente operativas para la realización del ensayo.

Como se cita anteriormente, este proyecto, es la primera fase de uno más general que incluirá en el futuro diversos ensayos, dado que sobre esta base, la Universidad de Ciencias Aplicadas de Varkaus tiene previsto en fases sucesivas, ampliar el laboratorio para realizar una caracterización completa de cualquier tipo de material mediante ensayos de resistencia a la tracción, a la fluencia, fractura, test de fatiga, etc.

Otra futura línea de desarrollo del laboratorio será comprobar cómo los materiales estudiados cambian su comportamiento frente a diferentes situaciones térmicas.

Igualmente se plantea la posibilidad de estudiar la microestructura del material para tener más información sobre sus características (ensayos metalográficos).

Dada la presencia de Centros de Desarrollo de la Industria del Automóvil próximos a la facultad, tiene sentido valorar la ampliación del laboratorio citada. Con esto, se posibilita el estudio completo de los materiales empleados en dicho centro.

BIBLIOGRAFÍA / REFERENCIAS:

Richard, A.Flinn & Paul, K.Trojan. 1979

Engineering Materials And Their Applications. Houghton Mifflin & Co.
Boston, Mass., U.S.A.

Peter, A. Thornton & Vito, J. Colangelo. 1985

Fundamentals Of Engineering Materials. Prentice-Hall, Inc., Englewood
Cliffs, New Jersey.

Martin Sanjose, Jesus; Madre Sediles, Maria Antonieta & Franco Gimeno, Jose
Manuel. 2004

Ingeniería de Materiales Para Industria y Construcción. S. A. Mira
Editores. Zaragoza, Spain.

Franco Gimeno, Jose Manuel & Martin Sanjose, Jesus. 1999

Ensayos No Destructivos Para Industria y Construcción. Prensas
Universitarias de Zaragoza. Zaragoza, Spain.

Struers A/S. 2011

<http://www.struers.com> Retrieved 8 November 2010

Innovatest Europe BV. 2001

<http://www.innovatest-europe.com/> Retrieved 2 December 2010

ANEXO 1 SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.

NDT: Test no destructivos.

UV: Ultra violeta.

τ : Tensión cortante.

F : Fuerza aplicada.

ΔI : Sección transversal.

ε : Deformación (adim).

ν : Índice de Poisson.

$d\varepsilon_{\text{trans}}$: Deformación transversal.

$d\varepsilon_{\text{axial}}$: Deformación axial.

σ_E : Límite Elástico.

E : Módulo de Young.

σ : Tensor de tensiones.

A_0 : Sección inicial (mm^2).

L_0 : Longitud inicial (mm).

L : Longitud final (mm).

S : Sección final (mm^2).

S_0 : Sección inicial (mm^2).

N : Número de ciclos.

P : Fuerza aplicada (kgf).

D : Diámetro del indentador (mm).

D : Diámetro de indentación (mm).

HV: Pirámide de Vickers.

DPH: Número de la dureza de la pirámide.

F : Esfuerzo medido kgf.

HV: Dureza medida kgf/mm².

HRc: Dureza Rockwell C.

HRb: Dureza Rockwell B.

Hi: Alto.

Med: Medio.

Lo: Bajo.

LCD: Liquid Crystal Display.

Ø: Diámetro.

F : Carga total aplicada.

HR: Número de dureza Rockwell.

E: Constante dependiente de la forma del indentador.

e: Incremento permanente de la profundidad de penetración debido a la carga mayor aplicada, medido en unidades de 0.002 mm.

F: Carga total en kgf.

F0: Carga previa en kgf.

F1: Carga adicional en kgf.

R: Radio (mm).

+/- : Desviación en la medida.

CBN: Nitruro de Boro Cúbico.

Fcc : Estructura cúbica de caras centradas.

ANEXO 3 ALUMINIO.

1. Introducción al aluminio y a sus aleaciones:

El aluminio posee una apariencia blanca/plateada; es ligero y se usa en infinidad de aplicaciones. Principalmente, el aluminio es adecuado para la construcción y posee una resistencia a la corrosión elevada (gracias a su capa pasiva de óxido de aluminio, es capaz de renovarse por sí misma de forma espontánea cuando la superficie es dañada).

Añadiendo muy pequeñas cantidades de elementos de aleación el aluminio puede aumentar su dureza. Debido a la baja densidad de las aleaciones de aluminio, son especialmente apropiadas para la industria aeroespacial e, incluso, para la industria del automóvil.

2. Descripción del aluminio:

El aluminio puro posee un gran número de características deseables. Es un metal blando, duradero, ligero, dúctil y maleable; con una apariencia entre plateado y gris claro dependiendo de su calidad superficial. Además de esto, es un material no magnético. Es posible diluirlo en agua en ciertas formas, pero es insoluble en alcohol. El aluminio es fácil de trabajar, fundir y extruir. Cuando es expuesto al aire, el aluminio posee una gran resistencia a la corrosión debido a la capa de óxido que se crea para prevenirlo de oxidaciones futuras.

En el campo de la conductividad, el aluminio es capaz de ser un superconductor, con una temperatura de 1.2 kelvins y un campo magnético de aproximadamente 100 gauss (10 militeslas). El aluminio puro posee una baja resistencia a la tracción. Su fuerza media es 7-11 MPa. Sin embargo, el aluminio puro es muy blando, cuanto más puro es, más blando resulta ser, lo que le hace más susceptible de sufrir deformaciones mecánicas así como la aparición de grietas (para evitar estos daños, el técnico de laboratorio debe usar el disco más fino de SiC al esmerilarlo).

Otras propiedades del aluminio son su elevada conductividad o que es fácilmente maleable. Es un metal no tóxico (e insípido) por ello es el material preferido a la hora de fabricar latas o máquinas para panaderías, así como bombas para la distribución de líquidos para el consumo humano (el aluminio es ampliamente empleado en la industria del empaquetamiento de alimentos).

3. Aleaciones de aluminio:

Las aleaciones de aluminio resultan ser menos resistentes a la corrosión, debido a su sometimiento a reacciones galvánicas (aleaciones hechas con cobre) para obtener las aleaciones más duras.

Por otro lado, las aleaciones de aluminio presentan una dureza entre los 200 MPa y los 600 MPa (al aumentar el contenido de material aleante el aluminio se endurece).

Cuando las aleaciones de aluminio son sometidas al tratamiento térmico de templado, éstas mejoran sus propiedades mecánicas.

El aluminio forma rápidamente aleaciones con numerosos materiales como cobre, zinc, magnesio, manganeso y silicona (por ejemplo, duraluminio). Como dato curioso, señalar que la mayoría de los metales llamados actualmente “aluminio” son en realidad aleaciones del mismo.

Los compuestos más importantes formados a partir del aluminio son:

- Óxido de aluminio;
- Sulfatos;
- Sulfato soluble en potasio (alum);
- El óxido, alúmina, aparece de forma natural como rubí (Al_2O_3), zafiro, corindón y lija (es empleada para hacer cristales y para recipientes refractarios).

4. Tabla de propiedades del Aluminio:

La siguiente tabla muestra las principales propiedades del aluminio.

Símbolo químico	Al
Número atómico	13
Grupo	13
Periodo	3
Aspecto	plateado
Bloque	p
Densidad	2698.4 kg/m³
Masa atómica	26.9815386 u
Radio medio	125 pm
Radio atómico	118
Radio covalente	118 pm
Configuración electrónica	[Ne]3s²3p¹
Electrones por capa	2, 8, 3
Estados de oxidación	3
Óxido	anfótero
Estructura cristalina	cúbica centrada en las caras
Estado	sólido
Punto de fusión	933.47 K
Punto de ebullición	2792 K
Calor de fusión	10.79 kJ/mol

Presión de vapor	2,42 × 10⁻⁶Pa a 577 K
Volumen molar	10,00×10⁻⁶m³/mol
Electronegatividad	1,61
Calor específico	900 J/(K·kg)
Conductividad eléctrica	37,7 × 10⁶S/m
Conductividad térmica	237 W/(K·m)

TABLA 1: Propiedades generales del aluminio.

5. Estructura atómica del Aluminio:

Los átomos de aluminio poseen una estructura cúbica centrada en las caras (CCC). Su energía de apilamiento es de aproximadamente 200 mJ/m².

La estructura metalográfica del aluminio se emplea para determinar el tamaño de grano en el proceso de control de calidad del mismo.

6. Usos generales del Aluminio y de sus aleaciones:

El Aluminio es el metal no ferroso más empleado. Encontramos aluminio puro solo cuando la Resistencia a la corrosión y/o su maquinabilidad son más importantes que la obtención de fuerza o dureza del material.

El aluminio es uno de los metales que retiene la totalidad de la capacidad reflectante de la plata cuando éste se presenta en forma de pequeñas partículas, por tanto, es un material cuyo uso es importante en pinturas plateadas.

Algunos de sus muchos usos, son:

- Láminas, tubos, piezas de fundición... (El aluminio es usado para la industria automovilística, aeroespacial, camiones, vagones de tren, bicicletas, etc).
- El aluminio es empleado para empaquetar alimentos (por ejemplo, latas).
- En el campo de la construcción, el aluminio está presente en la creación de ventanas, puertas; así como en los alambres empleados para la construcción, etc.
- Un gran número de artículos del hogar están compuestos de aluminio (utensilios de cocina, por ejemplo). Así como bates de béisbol o relojes.
- Las carcasas externas de artículos electrónicos (como ejemplo, la carcasa de un equipo fotográfico).
- Las líneas de alta tensión son hechas con aluminio.
- “Super Purity Aluminium”, SPA; es decir, un aluminio con un elevado porcentaje de pureza en él (del 99.980% al 99.999%) empleado en el campo de la electrónica y en CD.
- Disparadores térmicos para aplicaciones electrónicas como transistores y CPU están hechos con aluminio.
- Farolas, mástiles de barcos... hechos también de aluminio.
- Un gran número de países (que incluyen Francia, Italia, Polonia, Finlandia, Rumanía) han empleado aluminio para el acuñado de sus monedas (o aleaciones de aluminio).

7. Comparación de algunas propiedades del Aluminio con otros materiales:

El aluminio posee un tercio de la densidad y rigidez del acero. Hablando de su conductividad, el aluminio es un buen conductor del calor y de la electricidad; tiene el 62% de la conductividad del Cobre.

ANEXO 4 COBRE.

1. Introducción al Cobre y sus aleaciones:

Una pieza de cobre es fácilmente cambiada de forma y tamaño. Posee un color atractivo y una resistencia a la corrosión buena.

Su elevada conductividad térmica lo hace apropiado para la fabricación de tubos, recipientes isotérmicos e intercambiadores de calor en las industrias farmacéuticas, alimentarias y de bebidas. Ya que el cobre posee una gran conductividad eléctrica se emplea en cables, componentes de los interruptores, bobinas del motor y generadores.

Sin embargo, en la industria de la electrónica se emplea principalmente cobre libre de oxígeno.

2. Descripción del Cobre:

El cobre es maleable, dúctil y extremadamente buen conductor del calor y la electricidad, por ello es ideal para la creación de cables. El cobre posee una reactividad química baja.

En un ambiente húmedo, en la superficie del cobre, se forma una capa verdosa que lo protege de otros ataques ya que es una capa que lo hace muy resistente a la corrosión (esta capa es denominada pátina).

Cuanto más puro es el cobre, más blando y susceptible a la deformación mecánica y a la aparición de imperfecciones.

3. Aleaciones de Cobre:

Generalmente, las aleaciones de cobre son más duras que el cobre puro, pero poseen una tendencia a la aparición de grietas. Sin embargo, prácticamente la totalidad de elementos que se alean con el cobre son dañados por la conducción de la electricidad, haciendo de la pureza del metal una característica importante.

Las aleaciones más establecidas del cobre son:

- Bronce;
- Latón (aleación de cobre y zinc);
- Cobre-estaño-zinc (esta aleación era lo suficientemente fuerte como para emplearse en la producción de pistolas y cañones, era conocida como metal de las armas).
- Cobre y níquel (fue el metal más empleado para monedas de baja denominación, esta aleación especial es conocida como cuproníquel).

Existe una gran variedad de aleaciones de cobre; sin embargo, zinc (latón) y estaño (bronce) son las más importantes.

- El latón es una aleación de cobre con un 5-45% de zinc. El cobre posee una elevada solubilidad para el zinc y sus aleaciones son muy homogéneas. Latón con menos de un 28% de zinc es conocido como 'latón rojo' y resulta muy apropiado para mecanizarlo. Aumentando el porcentaje de zinc contenido en la aleación, el latón se endurece y, por tanto, es más mecanizable. Añadiendo aluminio, manganeso, hierro, níquel y estaño, se pueden producir tipos especiales de latón (estas nuevas aleaciones poseen unas propiedades químicas y mecánicas específicas). Adiciones de pequeñas cantidades de plomo aumentan las propiedades mecánicas del latón.
- El bronce es una aleación de cobre y estaño que es dividida en aleaciones forjadas, con hasta un 8.5% de estaño; y aleaciones

fundidas, con una cantidad habitualmente entre el 9-12% de estaño en ellas; y también las llamadas fundiciones de ‘metal de campana’ con hasta un 20% de estaño.

4. Tabla de las propiedades del Cobre:

La siguiente tabla adjunta muestra las principales propiedades del cobre.

Símbolo químico	Cu
Número atómico	29
Grupo	11
Periodo	4
Aspecto	metálico, rojizo
Bloque	d
Densidad	8960 kg/m³
Masa atómica	63.536 u
Radio medio	135 [3]pm pm
Radio atómico	145 [3]pm (Radio de Bohr)
Radio covalente	138 [3]pm pm
Radio de van der Waals	140 [3]pm pm
Configuración electrónica	[Ar]3d¹⁰4s¹
Estados de oxidación	+1, +2
Óxido	levemente básico
Estructura cristalina	cúbica centrada en las caras
Estado	sólido

Punto de fusión	1357.77 K
Punto de ebullición	3200 K
Calor de fusión	13.1 kJ/mol
Electronegatividad	1,9
Calor específico	385 J/(K·kg)
Conductividad eléctrica	58,108 × 106S/m
Conductividad térmica	400 W/(K·m)

TABLA 1: Propiedades generales del cobre.

5. Estructura atómica del Cobre:

El cobre es un metal con una estructura cúbica centrada en las caras (su estructura en forma de banda es la excepción a la regla de Madelung, en lugar de tener dos electrones en la capa 4s tiene solo uno). Normalmente presenta un color rojizo porque refleja la luz roja y la naranja, del mismo modo, absorbe otras frecuencias en el espectro visible.

El cobre es normalmente distribuido en forma de grano fino con estructura policristalina (como casi todos los metales para la industria y de uso comercial). Esta forma específica de abastecimiento de los metales es debido a que, de este modo, presentan una dureza mayor (en forma policristalina es mayor que en la mono cristalina, de hecho, esta diferencia es mayor en granos de tamaño más pequeño).

Se encuentra en el grupo 'Ib' de la tabla periódica (el cobre se encuentra en el mismo grupo que la plata y el oro).

6. Usos generales del Cobre y sus aleaciones:

Los cobres libres de oxígeno se emplean para aplicaciones donde una elevada conductividad es requerida así como una ductilidad excepcional. La mayoría de los usos del cobre puro sin alear se basan en su elevada conducción tanto de la electricidad como del calor, así como en su elevada Resistencia a la corrosión.

La mayoría del cobre es empleado para usos distintos como:

- Cobre libre de oxígeno es empleado para la fabricación de equipamiento electrónico (60%).
- El cobre ha sido utilizado para la construcción desde la antigüedad (para los tejados y para las cañerías, 20%).
- El cobre es empleado para prevenir que un edificio sea directamente atacado por un rayo en una tormenta eléctrica. Antenas de cobre (pararrayos), que son colocadas en el tejado de un edificio, se conectan a una placa de metal bajo tierra. De este modo, la corriente eléctrica es dispersada a través de la tierra sin causar daños en la estructura principal del edificio.
- Para las máquinas industriales (por ejemplo, para los intercambiadores de calor, 15%; ó en un 5% son empleadas sus aleaciones).
- Cobre aleado con níquel (por ejemplo cuproníquel y monel) es empleado para la construcción de barcos debido a su alta resistencia a la corrosión.
- Los compuestos de cobre en estado líquido son usados para preservar la madera (particularmente se emplean en el tratamiento de restauración de porciones de madera dañadas debido a pudrición por hongos).
- Aproximadamente el 2% de la producción de cobre es desviado para la producción de compuestos. Las principales aplicaciones son para suplementos nutricionales y para fungicidas agrícolas.

7. Comparación de algunas propiedades del Cobre con otros materiales:

El cobre es más blando que el acero pero más duro que el zinc y puede ser pulido para obtener una superficie brillante.

El oro posee una resistencia a la corrosión mejor que la que presenta el cobre.

El cobre líquido tiene un color verdoso (lo mismo le ocurre al oro en un ambiente carente de luz ambiente). De hecho, los únicos tres metales básicos con otro color natural que no sea gris o plata son el cobre, osmio (azulado) y oro (amarillo).

ANEXO 5 ACERO Y ACERO INOXIDABLE.

1. Introducción al Acero:

Hoy en día el acero es uno de los materiales más comunes en el mundo. Su producción anual es de más de 1.3 billones.

Los tratamientos térmicos a los que se puede someter el acero son numerosos. Los más comunes son recocido, templado y revenido:

- El recocido es el proceso de calentar el acero hasta una temperatura lo suficientemente alta para ablandarlo. Este proceso se lleva a cabo en tres fases diferenciadas: recuperación, recristalización y crecimiento del grano. Dependiendo del tipo de recocido del acero y de los componentes presentes en sus aleaciones, la temperatura requerida para llevar a cabo el proceso varía.
- Templado y revenido envuelven primero, calentar hasta la fase de austenita del acero y finalmente, templándolo en agua (o aceite). Gracias a su rápido enfriamiento, el resultado obtenido es un acero con estructura martensita.

Después, el acero es tratado con un tipo específico de recocido y revenido. Parte de la martensita se transforma en cementita (o esferoidita).

Gracias a esta transformación el metal reduce sus tensiones internas y sus defectos, lo que da como resultado un metal más dúctil y resistente a la fractura.

2. Descripción del Acero:

El acero es una aleación que consiste principalmente en hierro que contiene entre un 0.2% y un 2.1% en peso de carbono (depende del grado) que actúa

como un agente endurecedor (la adición de carbono previene de dislocaciones en la red de la estructura cristalina del acero).

Para controlar las propiedades del acero (como su dureza, ductilidad y resistencia a la tracción) la cantidad de elementos aleantes debe variar así como la forma en la que éstos están presentes (se debe diferenciar entre elementos diluidos de los que están en fase de precipitación).

El hierro fundido son las aleaciones con una mayor presencia de carbono (más del 2.1%). Más conocido como fundición gris, debido a su bajo punto de fusión y su capacidad para ser fundido.

3. Aleaciones del Acero:

Para realizar una aleación de acero el material más empleado es el carbono, pero se emplean otros materiales aleantes como el manganeso, cromo, vanadio o tungsteno.

Una de las aleaciones de acero más usadas y conocidas, es el acero inoxidable, también conocido como 'inox steel'. Otro modo de llamarlo es C.R.E.S. ("Corrosion Resistant Steel", acero resistente a la corrosión) cuando el tipo de aleación y su grado no están detallados (particularmente empleado en la industria de la aviación).

El acero inoxidable se diferencia del acero al carbono por el contenido en cromo en su aleación (un mínimo de 10.5 u 11% en peso de contenido en cromo). Cuando es expuesto al aire y la humedad, el acero al carbono se oxida, mientras que el acero inoxidable no.

Es decir, el acero inoxidable contiene el cromo suficiente para formar una capa pasiva de óxido de cromo (la pasivación sólo ocurre cuando el porcentaje de cromo presente en la aleación es suficientemente elevada). La capa formada es muy fina para ser visible, por tanto el metal permanece lustroso.

Esta capa se crea para prevenir una mayor corrosión de la superficie y para evitar su propagación en la estructura del metal (ya que esta capa es impermeable al agua y al aire, por tanto protege el metal).

Además, esta capa se reproduce rápidamente cuando la superficie es rayada. Este fenómeno, la pasivación, se ve en otros materiales como aluminio o titanio.

Además, el acero inoxidable ni se corroe ni le aparecen manchas como le ocurre al acero común, aunque no es anticorrosivo (de hecho, su resistencia a la corrosión puede verse adversamente afectada si el metal es usado en un ambiente sin presencia de oxígeno).

El acero inoxidable tiene un bajo mantenimiento y un relativamente bajo coste.

Debido a estas propiedades, el acero inoxidable es empleado cuando son necesarias las propiedades del acero así como la resistencia a la corrosión.

Dependiendo de la estructura cristalina de los aceros existen cinco familias de acero inoxidable. Cada familia tiene un comportamiento metalúrgico diferente.

Las familias de acero inoxidable son las siguientes:

- Los aceros inoxidables ferríticos son aceros inoxidables con cromo puro. Su contenido en cromo es variable (entre el 12 y el 18%) y con un bajo contenido de carbono. Los aceros inoxidables ferríticos son magnéticos y no se pueden endurecer mediante tratamientos térmicos.
- Los aceros martensíticos fueron los primeros aceros inoxidables comercializados. Fueron generalizados gracias a su uso para la fabricación de cubertería. Comparándolos a otros aceros inoxidables, los aceros inoxidables martensíticos tienen un relativamente elevado contenido en carbono (oscila entre un 0.1% y un 1.2%). El acero con cromo puro existe. Contienen entre un 12% y un 18% de cromo. La aleación 410 es la básica, puede ser endurecida mediante los tratamientos térmicos de templeado y revenido. Los aceros inoxidables

martensíticos pueden ser tratados térmicamente para obtener una mayor dureza y una buena ductilidad.

- El acero inoxidable austenítico es el resultado de añadir níquel en él en la cantidad suficiente para cambiar su estructura interna a austenita. De hecho, la adición de níquel a las aleaciones de acero inoxidable aumenta su resistencia a la corrosión. Trescientas series de acero inoxidable austenítico son no magnéticas. Su composición es de un 18% de cromo y un 8% de níquel. Los aceros inoxidables austeníticos son los más usados, un 70% de producción. El acero inoxidable austenítico no es posible de endurecer mediante tratamientos térmicos.
- Duplex son aceros inoxidables que contienen un porcentaje elevado (entre el 18 y el 28%) de cromo y cantidades moderadas de níquel (entre un 4.5 y un 8%). Su aproximadamente igual cantidad en volumen de ferrita y austenita (una microestructura equilibrada de Duplex) y su composición química, hacen de estos aceros inoxidables unos metales con una resistencia a la corrosión elevada y unas propiedades mecánicas excelentes. (Las aleaciones más conocidas son la 2304 y la 2205).

Debido a la adición de cromo, molibdeno y nitrógeno se creó un nuevo grado de Duplex. Se les conoce como Super Duplex. Presenta una mejor resistencia a la aparición de grietas que las estructuras austeníticas habituales o que las Duplex. (La más común es la aleación 2507).

- Los aceros inoxidables precipitados pueden ser endurecidos mediante tratamientos térmicos. Se comportan como los martensíticos pero su estructura metalúrgica es diferente. Estos aceros inoxidables combinan una elevada dureza y una gran resistencia a la corrosión.

La principal propiedad de un acero inoxidable es su elevada resistencia a la oxidación a temperatura ambiente. Esta propiedad es normalmente conseguida mediante la adición de un 13% en peso, como mínimo, de cromo (mientras que en que en ambientes secos hasta un 26%).

4. Tabla de propiedades del Acero:

La siguiente tabla muestra las principales propiedades del acero.

Símbolo químico	Fe
Número atómico	26
Grupo	8
Periodo	4
Aspecto	metálico brillante con un tono grisáceo
Bloque	d
Densidad	7874 kg/m³
Masa atómica	55.845 u
Radio medio	140 pm
Radio atómico	156
Radio covalente	126 pm
Configuración electrónica	[Ar]3d⁶4s²
Electrones por capa	2, 8, 14, 2
Estados de oxidación	2, 3
Óxido	anfótero
Estructura cristalina	cúbica centrada en el cuerpo
Estado	sólido
Punto de fusión	1808 K
Punto de ebullición	3023 K

Calor de fusión	13.8 kJ/mol
Presión de vapor	7,05 Pa a 1808 K
Electronegatividad	1,83
Calor específico	440 J/(K·kg)
Conductividad eléctrica	9,93·10⁶S/m
Conductividad térmica	80,2 W/(K·m)

TABLA 1: Propiedades generales del acero.

5. Usos generales del Acero y sus aleaciones:

El acero es un componente presente en:

- Para la construcción de edificios (en aquellos en los que su estructura sea de hormigón se empleará el acero para reforzar la misma).
- Para la infraestructura de estadios, rascacielos, puentes, aviones, barcos... etc.
- Herramientas de uso general (como tornillos, clavos o destornilladores).
- Para la construcción de la carrocería de un coche (pese al creciente uso del aluminio, el acero se emplea en la construcción de la mayoría de las partes del coche).
- Equipamiento pesado como apisonadoras.
- En armas (para la composición de los chalecos antibalas o para vehículos blindados).
- Para la fabricación de electrodomésticos (como por ejemplo, las lavadoras).
- Otras aplicaciones comunes que incluyen las tuberías o en mina.